



ORIGINAL RESEARCH PAPER (Marine Science)

Use of Macrobenthos Biodiversity in Assessing the Ecological Status of Zangi Estuary about Heavy Metal Contamination

Heydari, R.¹, Mohammadiroozbahani, M.^{1*}, Rajabzadeh Ghatrami, E.¹, Nabavi, M.B.¹¹ Department of Environmental Sciences, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

ARTICLE INFO

Code: A-10-1622-1

Article History:

Received: 13/01/2021

Revised: 27/07/2021

Accepted: 08/08/2021

Keywords:

Macrobenthos

Ecological index

contamination index

Sediment

Contamination

Mousa estuary

*Corresponding author:

✉ mmohammadiroozbahani@yahoo.com

ABSTRACT

Background and Objectives: In the present study, the possibility of using macrobenthos as a biological indicator to assess the level of contamination of the rust estuary with heavy metals has been investigated.

Methods: Sampling was performed in 2016 from 4 stations in the Zangi estuary at full tide. Sediment was harvested from each station using Van Wen (with a cross-section of 0.025 m²) to identify benthos, determine heavy metals in sediment, decide the organic matter, and granulate sediments. In all four stations, clay particles formed the central part of the sediments.

Findings: The range of organic matter was 6.90-6.98%, with station 3 having the highest percentage and station 4 having the lowest rate of organic matter. The identified macrobenthos in the Zangi estuary was divided into five categories: Bivalvia, Gastropoda, Polychaeta, Crustacea, and Fish, and 26 genera and species. Station 1, with 13 species, had the highest number of species, and Station 2 had the highest number of macrobenthos per square meter and the highest Shannon diversity and uniformity index. Species of Hydroides sp. Polychaeta, with 25.97%, had the highest frequency in the population of Zangi estuary macrobenthos. Accordingly, Polychaeta with 49.1% and Bivalvia with 37.21% had the most abundant category, and fish with 0.86% had the lowest frequency. Polychaeta class in stations 1 and 4 with 63.26 and 56.1% and Bivalvia class in stations 2 and 3 with 44 and 33.06%, respectively, had the highest percentage. Zinc, nickel, and chromium had the highest concentrations with averages of 32.41, 23.13, and 19.16 mg/kg. Selenium had the lowest concentration in all four stations. The mean concentrations of heavy metals in stations 2 and 3 were significantly less polluted with stations 1 and 4 ($p < 0.05$). Calculation of the degree of pollution in 4 stations of Zangi estuary showed the degree of severe pollution for these stations. Based on the contamination factor, except for vanadium at all stations and lead metal at station 2, which is in the highly contaminated range, other metals were in the low to high contamination range. Thus, the concentration of all metals in the bell ring was alarming.

Conclusion: The results of the present study showed that the first and most important factor influencing the distribution of estuarine macrobenthos was the percentage of bed clay particles, heavy metals such as cadmium, lead, nickel, vanadium, chromium, and zinc, and then the organic matter in the bed. Also, copper metal had the slightest effect and correlation with macrobenthos among the studied metals.

10.52547/joc.12.47.12

©2021 JOC. All rights reserved



NUMBER OF TABLES

5



NUMBER OF FIGURES

6



NUMBER OF REFERENCES

43

مقاله پژوهشی (علوم دریایی)

استفاده از تنوع زیستی ماکروبتوزها در ارزیابی وضعیت بوم‌شناختی خور زنگی در خلیج فارس و ارتباط آن با آلودگی فلزات سنگین در رسوبات

روش‌ها: مریم محمدی روزبهانی^{۱*}، ابراهیم رجب‌زاده قطرمی^۱، سیدمحمدباقر نبوی^۱^۱گروه محیط زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

اطلاعات مقاله

چکیده

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۱۴
 تاریخ بازبینی: ۱۴۰۰/۰۵/۰۵
 تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۱۷

واژگان کلیدی:

ماکروبتوز
 شاخص زیستی
 شاخص آلودگی
 رسوب
 آلودگی
 خور موسی

*نویسنده مسئول

✉ mmohammadiroozbahani
 @yahoo.com

پیشینه و اهداف: توسعه و گسترش صنایع شیمیایی و پتروشیمی در کشورهای نفت خیزی نظیر ایران در ایجاد آلودگی بی‌تأثیر نبوده است از این رو جهت تضمین بقای اکوسیستم، باید همگام با توسعه این صنایع، پایش مستمر محیط و اجزای زنده و غیر زنده اکوسیستم‌های آبی باید بررسی شود. در مطالعه‌ی حاضر امکان استفاده از ماکروبتوزها به عنوان شاخص زیستی برای ارزیابی سطح آلودگی خور زنگی به فلزات سنگین مورد بررسی قرار گرفته است.

روش‌ها: نمونه برداری در تابستان سال ۱۳۹۶ و از ۴ ایستگاه در خور زنگی و در زمان جزر کامل انجام شد. از هر ایستگاه رسوبات با استفاده از گرب ون وین (با سطح مقطع ۰/۰۲۵ متر مربع) برای شناسایی کفزیان، اندازه‌گیری فلزات سنگین در رسوب، تعیین مواد آلی و دانه بندی رسوبات برداشت شد.

یافته‌ها: در هر ۴ ایستگاه ذرات رسی، بخش اصلی رسوبات را تشکیل دادند. میزان مواد آلی ۱۰/۹۸-۶/۹۰ درصد بود که ایستگاه ۳ بالاترین درصد و ایستگاه ۴ کمترین درصد مواد آلی را داشت. ماکروبتوزهای شناسایی شده در خور زنگی در پنج رده دوکفه‌ای‌ها، شکم‌پایان، پرتاران، سخت پوستان و ماهی‌ها و ۲۶ جنس و گونه قرار گرفتند. ایستگاه ۱ با ۱۳ گونه بیشترین تعداد گونه و ایستگاه ۲ بالاترین تعداد ماکروبتوز در مترمربع و بالاترین میزان شاخص تنوع شانون و یکنواختی را داشت. گونه‌ی *Hydroides sp.* از پرتاران با ۲۵/۹۷ درصد بالاترین فراوانی را در جمعیت ماکروبتوزهای خور زنگی داشت. در خور زنگی، پرتاران با ۴۹/۱ درصد و دوکفه‌ای با ۳۷/۲۱ درصد فراوانترین رده و ماهیان با ۰/۸۶ درصد کمترین فراوانی را داشت. رده پرتاران در ایستگاه‌های ۱ و ۴ با ۶۳/۲۶ و ۵۶/۱ درصد و رده دوکفه‌ای در ایستگاه‌های ۲ و ۳ با ۴۴ و ۳۳/۰۶ درصد، بالاترین درصد حضور را داشتند. فلز روی، نیکل و کروم با میانگین ۳۲/۴۱، ۲۳/۱۳ و ۱۹/۱۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم بیشترین غلظت را در رسوبات داشتند. سلنیوم کمترین غلظت را در هر ۴ ایستگاه داشت. میانگین غلظت فلزات سنگین در رسوبات ایستگاه‌های ۲ و ۳ با اختلاف معنی‌دار با ایستگاه‌های ۱ و ۴ آلودگی کمتری داشتند ($p < 0/05$). محاسبه درجه آلودگی در ۴ ایستگاه خور زنگی، درجه شدیداً آلوده را برای این ایستگاه‌ها نشان داد. بر اساس فاکتور آلودگی، به جز وانادیوم در تمام ایستگاه‌ها و فلز سرب در ایستگاه ۲ که در محدوده‌ی شدیداً آلوده قرار دارند، سایر فلزات در محدوده‌ی آلودگی کم تا زیاد قرار داشتند. به این ترتیب غلظت تمام فلزات در خور زنگی در وضعیت هشداردهنده بود.

نتیجه‌گیری: نتایج مطالعه حاضر نشان داد که اولین و مهمترین فاکتور مؤثر بر روی پراکنش ماکروبتوزهای خور زنگی درصد ذرات رس بستر، فلزات سنگینی نظیر کادمیوم، سرب، نیکل، وانادیوم، کروم و روی و سپس مواد آلی موجود در بستر بود. همچنین فلز مس در بین فلزات مورد بررسی کمترین تأثیر گذاری و همبستگی را با تعداد ماکروبتوزها داشت. با توجه به نتایج همبستگی فلزات در رسوبات و تنوع ماکروبتوزها، مشخص گردید که بین مقادیر فلزات در ایستگاه‌ها و کاهش تنوع بتوزها، ارتباط مثبت و معنی دار وجود دارد و مقادیر فلزات در رسوب در تعیین تراکم، پراکنش و تنوع ماکروبتوزها مؤثر می‌باشد. با توجه به اهمیت ماکروبتوزها در زنجیره غذایی آبزیان و ورود آلاینده‌های فلزی در ماکروبتوزها، کل موجودات زنجیره غذایی از جمله ماهیان تحت تأثیر قرار خواهند گرفت و به دلیل خاصیت تجمع بیولوژیکی فلزات سنگین، موجودات دریایی تحت تأثیر این آلاینده‌ها قرار خواهند گرفت. از این رو، پیشنهاد می‌شود منابع آلاینده فلزات سنگین در این خور شناسایی و از ورود آنها جلوگیری به عمل آید.

مقدمه

فلزات سنگین در محیط‌های تالابی، رودخانه و دریایی بسیار پایداری دارند و می‌توانند برای بسیاری از زیست‌مندان مضر باشند. این عناصر موجود در آب و رسوب ممکن است به سهولت و به مقدار زیاد در دسترس جانوران به ویژه کفزیان قرار گیرند. افزایش غلظت مواد مضر در آب و رسوب در محیط‌های رودخانه‌ای و دریایی، افزایش حجم این مواد را در بافت بدن موجودات آبی در پی دارد. این روند در صورت تداوم، سبب بروز تغییرات زیستی در آبزیان و ماهیان می‌شود و از طریق زنجیره غذایی به تشدید عوامل بیماری‌زا در انسان منجر می‌شود [۱۲].

خور زنگی، یکی از خورهای خورموسی است که با داشتن انواع متنوعی از کفزیان و ماهی‌ها هم از نظر شیلاتی و هم زیست محیطی اهمیت زیادی دارد. اما احداث پتروشیمی ماهشهر و تخلیه پساب‌های این مجتمع به درون این خور، زمینه را برای بروز تغییرات زیستی فراوان در آن فراهم کرده است. ارتباط خور زنگی با خور موسی، توسط احداث جاده در بخش شرقی و احداث راه‌آهن در بخش غربی قطع شده است. همچنین عبور جاده‌ای از وسط بخش محصور خور منجر به تقسیم این خور به دو منطقه شرقی و غربی شده است. این تغییرات در کنار تخلیه انواع مختلفی از پساب‌ها، به شدت سلامت این خور را به خطر انداخته است. توجه به اینکه جهت پی بردن به پایداری یک اکوسیستم آبی، شناخت موجودات آبی آن و نیز نقش این موجودات در ارزیابی کیفیت آب ضروری است، لذا هدف از این مطالعه استفاده از شاخص‌های بیولوژیک و پارامترهای فیزیکی شیمیایی در تعیین میزان آلودگی، در خور زنگی واقع در خور موسی که در مجاورت خروجی پساب پتروشیمی بندر امام است، می‌باشد.

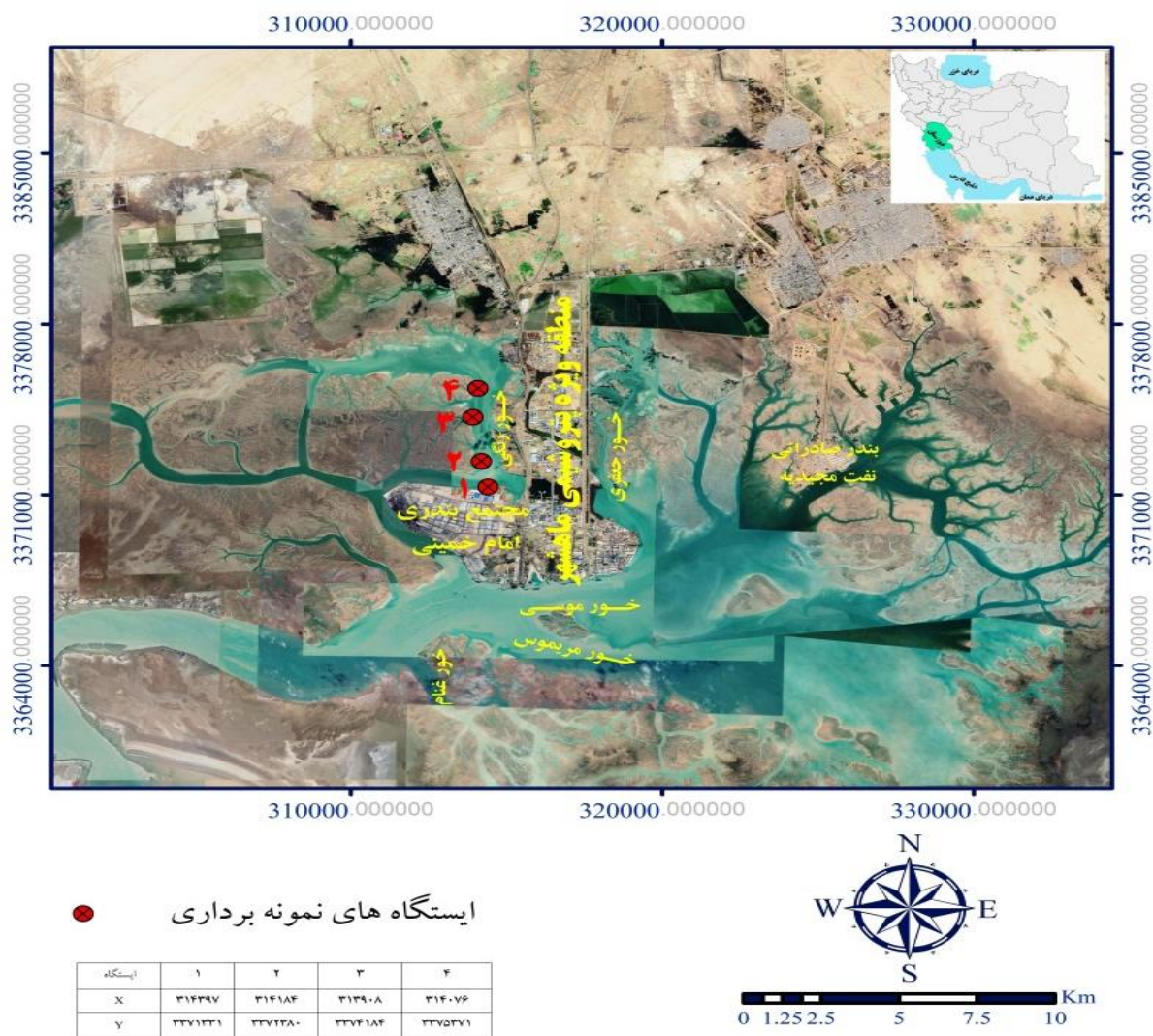
روش پژوهش

۱. روش نمونه‌برداری

نمونه برداری در تابستان سال ۱۳۹۶ و از ۴ ایستگاه در خور زنگی و مطابق با شکل ۱ انجام شد. نمونه‌برداری در زمان جزر کامل به طوری که عمق آب ۱/۵ متر بود، انجام شد. از هر ایستگاه رسوبات با استفاده از گرب ون وین (با سطح مقطع ۰/۲۵ متر مربع) و با ۳ تکرار برای شناسایی کفزیان، اندازه‌گیری میزان فلزات سنگین در رسوب، تعیین مواد آلی و دانه بندی رسوبات برداشت شد. نمونه‌های حاوی ماکروبن‌توزها توسط الک با سایز ۵۰۰ میکرون و با استفاده از آب دریا شسته شده و به همراه مقداری از آب دریا، در ظروف پلی اتیلنی که از قبل توسط اسید نیتریک غلیظ، رقیق و آب مقطر شسته شده بودند، تخلیه و با اضافه کردن فرمالین ۵ درصد برای تثبیت نمونه‌ها، برچسب گذاری شدند. نمونه‌های رسوب برای اندازه‌گیری فلزات سنگین، مواد آلی و دانه بندی نیز در ظروف پلی اتیلن تخلیه و برچسب گذاری شدند و توسط یخدان حاوی یخ جهت انجام مراحل بعدی به آزمایشگاه منتقل شدند [۱۳].

رسوبات به عنوان بزرگترین انبار برای ذخیره آلاینده‌ها در محیط‌های آبی و نیز جایگاهی خاص برای ناپاکی‌هایی که می‌توانند برای دوره‌های طولانی مدت بمانند، به شمار می‌روند. یکی از دلایلی که موجب اهمیت بررسی فلزات موجود در رسوبات می‌شود، این است که بسیاری از گونه‌های زیستی بخش عمده دوره زندگی خود را در محیط رسوبی یا روی آن می‌گذرانند [۱]. در دهه‌های اخیر ماکروبن‌توزها به دلیل زندگی و ارتباط مستقیم با رسوبات تالاب، ارائه رفتاری متناسب با شرایط محیط و ارائه نقشی مهم در انتقال مواد و انرژی، به عنوان شاخصی مهم برای سلامت اکوسیستم تالاب شناسایی شده‌اند [۲]. ماکروبن‌توزها در محیط‌های آبی دارای چندین نقش مهم می‌باشند که از مهم‌ترین وظایف آن‌ها تغذیه آبزیان، جابه جایی و چرخش مواد غذایی در اکوسیستم آبی و تبدیل مواد آلی به مواد معدنی است [۳، ۴]. ماکروبن‌توزها مواد آلی را تجزیه کرده و در اکوسیستم‌های آبی، دومین و سومین سطح غذایی را تشکیل می‌دهند [۵]. بسیاری از این موجودات (بن‌توزها) غذای اصلی ماهیان کف‌زی و حتی گروهی از ماهیان پلاژیک را تشکیل می‌دهند، آن‌ها نقش بسیار مهمی را در چرخش دوباره مواد مغذی در اکوسیستم‌های آبی بازی می‌کنند [۶]. بی‌مهرگان ماکروبن‌توزی با ارائه درکی دقیق از شرایط شیمیایی و میکروبیولوژیکی محیط آبی با حداقل نوسانات ممکن، شاخص زیستی بسیار مفیدی محسوب می‌شوند [۷]. در طی سال‌های اخیر مطالعاتی که همزمان دو، سه یا تعداد بیشتری از پارامترهای زیستی و غیر زیستی را مورد بررسی قرار می‌دهند، رو به رشد بوده و به موضوعی نوین در پژوهش‌های تنوع زیستی تبدیل شده است. این مطالعات می‌توانند بینش‌های جدید و جامع‌تری را در پاسخ تنوع زیستی به تغییرات زیست محیطی که به طور معمول از درک تجربی و در مطالعات سنتی به دست می‌آیند را فراهم کند [۸]. Mohammed belal و همکاران (۲۰۱۹) از بی‌مهرگان ماکروبن‌توزی به عنوان شاخص بیواندیکاتور برای آب و رسوب استفاده کردند [۹]. Bahrebar و همکاران (۲۰۲۰) ساختار و پراکنش ماکروبن‌توزهای پارک ملی دریایی Boojagh (جنوب دریای خزر) را جهت بررسی اثرات گونه‌های غیر بومی مورد بررسی قرار دادند [۱۰]. Mohammadiroozbahani و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی که بر روی غلظت فلزات سنگین در رسوبات خورموسی و ارتباط آن‌ها با غلظت فلزات سنگین انجام دادند، استقرار صنایع پتروشیمی، اکتشاف و استخراج نفت و ... را در اطراف خور موسی را عامل افزایش آلودگی در رسوبات و به دنبال آن ماکروبن‌توزها ذکر کردند [۱۱].

توسعه و گسترش صنایع شیمیایی و پتروشیمی در کشورهای نفت خیزی نظیر ایران در ایجاد آلودگی بی‌تأثیر نبوده است اما جلوگیری از پیشرفت آنها نیز امر غیر منطقی است. از این رو باید همگام با توسعه این صنایع، با پایش مستمر محیط و اجزا زنده و غیر زنده اکوسیستم‌های آبی، بقای اکوسیستم نیز تضمین شود.



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه در خور زنگی

Fig. 1: The study area in Zangi estuary

شاخص غنای گونه‌های [۲۰]:

$$R_1 = \frac{S-1}{\ln(n)} \quad (1)$$

= تعداد گونه‌های صید شده، n = تعداد کل افراد صید شده

شاخص تنوع شانون (H') [۲۰]:

$$H' = - \sum_{i=1}^s \left[\left(\frac{n_i}{N} \right) \ln \left(\frac{n_i}{N} \right) \right] \quad (2)$$

n_i = تعداد کل افراد متعلق به i امین گونه، N = تعداد کل افراد نمونه، S = تعداد کل گونه‌ها

شاخص غالبیت سیمپسون [۲۱]:

۲. شناسایی نمونه‌های بنتوز

نمونه‌های بنتوز مربوط به هر ایستگاه درون پتری دیش ریخته شده و برای شناسایی به زیر استریومیکروسکوپ مدل Olampyus BH2 منتقل شدند. گروه‌های مختلف ماکروبنتوزی بعد از عملیات جداسازی، با استفاده از منابع و کلیدهای شناسایی معتبر و در دسترس از قبیل پرتاران [۱۴، ۱۵]، نرم تنان [۱۶، ۱۷]، سخت پوستان [۱۸] و سایر ماکروبنتوزها با استفاده از Bellan و Santini (۱۹۸۰) در سطح علمی خانواده و برخی تا حد جنس شناسایی شده و فراوانی آن‌ها به صورت عدد در مترمربع ثبت گردید [۱۹].

۳. شاخص‌های تنوع زیستی

شاخص‌های تنوع زیستی بر اساس معادلات زیر محاسبه گردید.

$$C_f = \frac{C_0}{C_n} \quad (4)$$

مجموعه فاکتورهای آلودگی برای عناصر مورد بررسی نشان دهنده درجه آلودگی (Cdeg) است که از معادله ۲ به دست آمد [۲۲] (جدول ۱).

$$Cdeg = \sum C_f \quad (5)$$

۵. دانه‌بندی رسوبات

جهت دانه بندی قسمتی از رسوبات در درجه حرارت ۷۰ درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک و سپس ۲۵ گرم از رسوبات خشک را با ۲۵۰ میلی لیتر آب و ۱۰ میلی لیتر محلول هگزا متافسفات اضافه و رسوبات به مدت ۱۵ دقیقه هم زده شد و سپس در طول شب ته نشین گردید. روز بعد مجدداً رسوبات را به مدت ۱۵ دقیقه هم زده و سپس رسوبات را در الک ۶۳ میکرون در زیر شیر آب شستشو داده تا دیگر رسوبی از الک عبور نکند، سپس مواد باقیمانده در الک را در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد خشک سپس به دقت از یک سری الک با چشمه‌های ۴، ۲، ۱، ۰/۵، ۰/۲۵ میلی متر عبور داده شد و مقدار رسوبات باقیمانده در هر الک را به دقت خارج کرده و وزن نموده و بدین ترتیب وزن و درصد هر نوع دانه بندی مشخص شد [۱۳].

۶. تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای ارزیابی تفاوت معنادار از آزمون one-way ANOVA با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۳ و از پس آزمون تعقیبی دانکن برای تشخیص تفاوت در ایستگاه‌ها استفاده شد. جهت تفسیر روابط بین متغیرها ماتریس عاملی به کار گرفته شد.

$$D = 1 - \sum_{i=2}^S \left| \frac{ni(ni-1)}{N(N-1)} \right| \quad (3)$$

n_i = تعداد کل افراد متعلق به i امین گونه،

N = تعداد کل افراد نمونه

۴. آماده‌سازی و هضم نمونه‌های رسوب

پس از خشک کردن نمونه در آن ۷۰ درجه سانتی‌گراد، ۱ گرم از نمونه پودر شده با استفاده از ترازوی سارتریوس با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم وزن (GR 200, Germany) توزین شد. ۱ سی سی مخلوط HNO_3 و HCL با نسبت ۳:۱ و ۶ میلی لیتر HF به آن‌ها افزوده و به مدت ۱۵۰ دقیقه بر روی حمام در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شدند. پس از شفاف شدن رنگ نمونه‌ها و سرد شدن آن‌ها، ۷/۳ گرم اسید بوریک در ۲۰ میلی لیتر آب عاری از یون حل و به نمونه‌های سرد شده فوق اضافه شد. نمونه‌های هضم شده به بالن ژوژه ۵۰ میلی لیتری منتقل و با آب دو بار تقطیر، رقیق شدند. نمونه‌های رقیق شده با استفاده از کاغذ صافی واتمن ۴۲ (ساخت کشور آلمان)، فیلتر و تا زمان قرائت فلزات سنگین کادمیوم، کروم، نیکل، سرب، سلنیوم، روی، مس و وانادیوم توسط دستگاه اسپکتروفتومتر جذب اتمی (Perkin Elmer 100 B) مجهز به سیستم کوره گرافیتی آنها در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد در یخچال نگهداری شدند [۲۲]. فلزات سنگین به صورت میلی گرم در هر کیلوگرم گزارش شدند.

۵. ارزیابی آلودگی عناصر سنگین در رسوبات

این شاخص با استفاده از فاکتور آلودگی (C_f) (معادله ۱) محاسبه شد. در این معادله C_n غلظت هر عنصر در رسوب و C_0 متوسط غلظت هر عنصر در زمینه است [۲۳].

جدول ۱: درجه بندی آلودگی رسوبات براساس فاکتور آلودگی و درجه آلودگی [۲۳]

Table 1: Sediment pollution rating based on pollution factor and degree of pollution (Hakanson, 1980)

درجه آلودگی Degree of pollution	فاکتور آلودگی Pollution factor	رده آلودگی
$Cdeg < 8$	$C_f < 1$	آلودگی کم Low pollution
$8 < Cdeg \leq 16$	$1 < C_f \leq 3$	آلودگی متوسط Moderate pollution
$16 < Cdeg \leq 32$	$3 < C_f \leq 6$	آلودگی زیاد High pollution
$Cdeg \geq 32$	$C_f \geq 6$	شدیداً آلوده Highly Infected

ایستگاه ۱ با ۱۳ گونه، بیشترین تعداد گونه و ایستگاه ۳ بالاترین تعداد ماکروبنوز در مترمربع و بالاترین میزان شاخص تنوع شانون و یکنواختی را داشت. گونه‌ی *Hydroides sp.* از پرتاران با ۲۵/۹۷ درصد بالاترین فراوانی را در جمعیت ماکروبنوزهای خور زنگی داشت. تعداد

نتایج و بحث

۱. شناسایی ماکروبنوزهای خور زنگی

ماکروبنوزهای خور زنگی در پنج رده دوکفه‌ای، شکم‌پا، پرتاران، سخت پوستان و ماهی‌ها قرار گرفتند. پرتاران با ۹ گونه غالب‌ترین رده بود.

دوکفه‌ای‌ها با ۳۷/۲۱ درصد فراوانترین رده و ماهیان با ۰/۸۶ درصد کمترین فراوانی را داشت. رده پرتاران در ایستگاه‌های ۱ و ۴ با ۶۳/۲۶ و ۵۶/۱ درصد و رده دوکفه‌ای‌ها در ایستگاه‌های ۲ و ۳ با ۴۴ و ۳۳/۰۶ درصد، بالاترین درصد حضور را داشتند. رده سخت پوستان فقط در ایستگاه ۴ (۲۶/۱۶ درصد فراوانی) شناسایی شد.

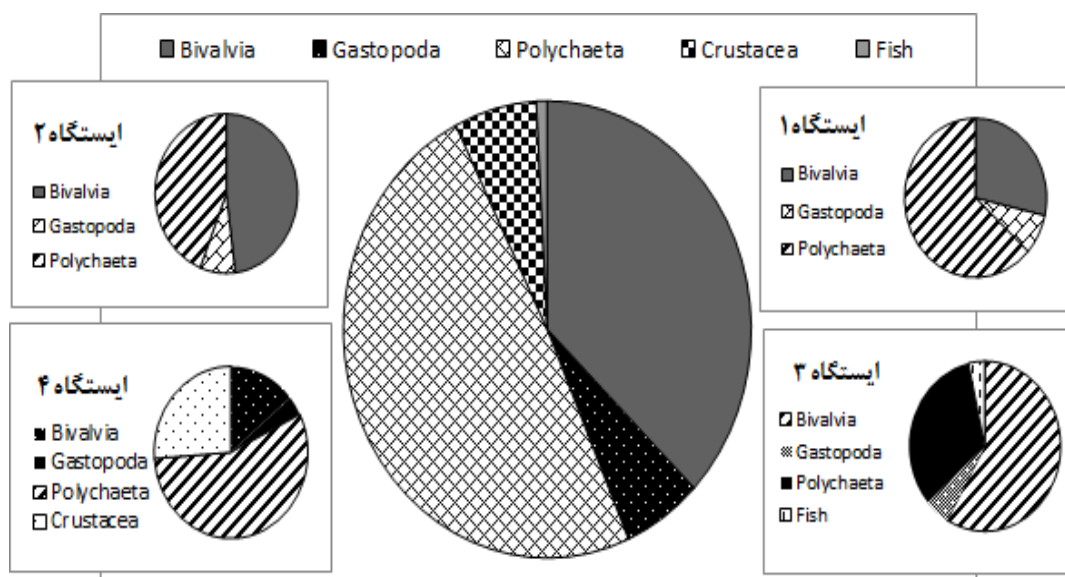
کل بی مهرگان محدودهای بین ۳۳۲ تا ۶۸۶ ماکروبندوز را در هر مترمربع داشت (جدول ۲).

درصد فراوانی رده‌های ماکروبندوزی در ایستگاه‌های مورد بررسی در شکل ۲ نشان داده شده است. درخور زنگی، پرتاران با ۴۹/۱ درصد و

جدول ۲: جمعیت ماکروبندوزها در ایستگاه‌های مورد بررسی (تعداد در متر مربع) در خور زنگی

Table 2: Population of macrobenthos in the studied stations (number per square meter) in Zangi estuary

Total	ایستگاه Station				گونه Species
	4	3	2	1	
دوکفه‌ای‌ها					
268	8	260			<i>Ostrea subucula</i>
246	6	53	80	107	<i>Paphia sp.</i>
106		53	40	13	<i>Anadara sp.</i>
13				13	<i>Tellina sp.</i>
133		40	40	53	<i>Ervillia scaliola</i>
27		27			<i>Corbula sulculosa</i>
13		13			<i>Sternopsis scutata</i>
شکم‌پایان					
13		13			<i>Thais sp.</i>
13				13	<i>Mitrella misera</i>
27				27	<i>Cerithidea sp.</i>
80	27	27	13	13	<i>Umbonium vestiarium</i>
13			13		<i>Tornation persiana</i>
پرتاران					
586	133	160	53	240	<i>Hydroides sp.</i>
67	67				<i>Nephtys sp.</i>
66			13	53	<i>Prionospio sp.</i>
13				13	<i>Phascolin sp.</i>
40				40	<i>Aricidea sp.</i>
213	200			13	<i>Nephtys sp.</i>
13			13		<i>Unkonown Polychaeta sp.</i>
80			27	53	<i>Nereis sp.</i>
43		13	40		<i>Cossura sp.</i>
سخت پوستان					
13	13				<i>Balanus amphitrite</i>
160	160				<i>Apseudes sp.</i>
13	13				<i>Crab larva</i>
ماهی‌ها					
27		27			<i>Fish Larva</i>
2256	627	686	332	651	Total number of people
25	9	11	10	13	Total number of species
2.59	1.68	1.88	2.12	2.06	Diversity of Shannon
0.56	0.597	0.597	0.83	0.60	Monotony
0.10	0.228	0.221	0.14	0.19	Simpson dominance



شکل ۲: درصد فراوانی رده‌های ماکروبنئوزی در ایستگاه‌های مورد بررسی در خور زنگی

Fig. 2: Percentage of frequency of macrobenthos in the studied stations in Zangi estuary

در شکل ۴، ارتباط بین تنوع شانون و غلظت فلزات سنگین در رسوبات خور زنگی نشان داده شده است. میزان تنوع شانون در ایستگاه ۲ با کمترین غلظت فلزات سنگین بالاترین مقدار (۲/۱۲) و در ایستگاه ۴ که از نظر غلظت فلزات سنگین در رتبه‌ی دوم قرار داشت، کمترین مقدار را داشت. مقدار تنوع شانون در ایستگاه ۱ به عنوان ایستگاهی با بالاترین غلظت فلزات سنگین، در رتبه‌ی دوم (۲/۰۶) بعد از ایستگاه ۲ قرار داشت.

۴. دانه بندی رسوبات در خور زنگی

ترکیب رسوبات خور موسی نشان داد که دانه‌هایی با اندازه‌ی کوچکتر از $0.063 <$ میلی متر فراوان‌ترین ذرات و به دنبال آن ذراتی با اندازه $0.063 - 0.125$ و $0.125 >$ قرار داشتند. به این ترتیب در هر ۴ ایستگاه ذرات رسی، بخش اصلی رسوبات را تشکیل دادند. محدوده‌ی مواد آلی در $10/98 - 6/90$ درصد بود که ایستگاه ۳ بالاترین درصد و ایستگاه ۴ کمترین درصد مواد آلی را داشت (جدول ۴).

در ایستگاه ۲ با کمترین میزان ذرات رسی، کمترین تعداد ماکروبنئوز (۳۳۲ عدد در مترمربع) و ایستگاه ۳ با بالاترین درصد ذرات رسی بیشترین تعداد ماکروبنئوز (۶۸۶ عدد در مترمربع) شناسایی شد (شکل ۵).

نتایج مطالعه حاضر (شکل ۶) نشان داد که اولین و مهمترین فاکتور مؤثر بر روی پراکنش ماکروبنئوزهای خور زنگی درصد ذرات رس بستر، فلزات سنگینی نظیر کادمیوم، سرب، نیکل، وانادیوم، کروم و روی و سپس مواد آلی موجود در بستر بود. همچنین فلز مس در بین فلزات مورد بررسی کمترین تأثیر گذاری و همبستگی را با تعداد ماکروبنئوزها داشت.

۲. غلظت فلزات سنگین در رسوبات خور زنگی

مقایسه میانگین ۸ فلز سنگین اندازه‌گیری شده در رسوبات ۴ ایستگاه خور زنگی در جدول ۳ آورده شده است. فلز روی، نیکل و کروم با میانگین $32/41$ ، $23/13$ و $19/16$ میلی‌گرم بر کیلوگرم بیشترین غلظت را داشتند. سلنیوم کمترین غلظت را در هر ۴ ایستگاه داشت. میانگین غلظت فلزات سنگین در ایستگاه‌های ۲ و ۳ با اختلاف معنی‌دار با ایستگاه‌های ۱ و ۴ آلودگی کمتری داشتند ($p < 0.05$). محاسبه درجه آلودگی در ۴ ایستگاه خور زنگی، درجه شدیداً آلوده را برای این ایستگاه‌ها نشان داد.

۳. غلظت فلزات سنگین در رسوبات خور زنگی

مقایسه میانگین ۸ فلز سنگین اندازه‌گیری شده در رسوبات ۴ ایستگاه خور زنگی در جدول ۳ آورده شده است. فلز روی، نیکل و کروم با میانگین $32/41$ ، $23/13$ و $19/16$ میلی‌گرم بر کیلوگرم بیشترین غلظت را داشتند. سلنیوم کمترین غلظت را در هر ۴ ایستگاه داشت. میانگین غلظت فلزات سنگین در ایستگاه‌های ۲ و ۳ با اختلاف معنی‌دار با ایستگاه‌های ۱ و ۴ آلودگی کمتری داشتند ($p < 0.05$). محاسبه درجه آلودگی در ۴ ایستگاه خور زنگی، درجه شدیداً آلوده را برای این ایستگاه‌ها نشان داد.

بر اساس فاکتور آلودگی (شکل ۳)، به جز وانادیوم در تمام ایستگاه‌ها و فلز سرب در ایستگاه ۲ که در محدوده‌ی شدیداً آلوده قرار دارند، سایر فلزات در محدوده‌ی آلودگی کم تا زیاد قرار داشتند. به این ترتیب غلظت تمام فلزات در خور زنگی در وضعیت هشدار دهنده است.

جدول ۳: مقایسه میانگین فلزات سنگین در رسوبات خور زنگی (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

Table 3: Comparison of the average of heavy metals in Zangi estuary sediments (mg / kg)

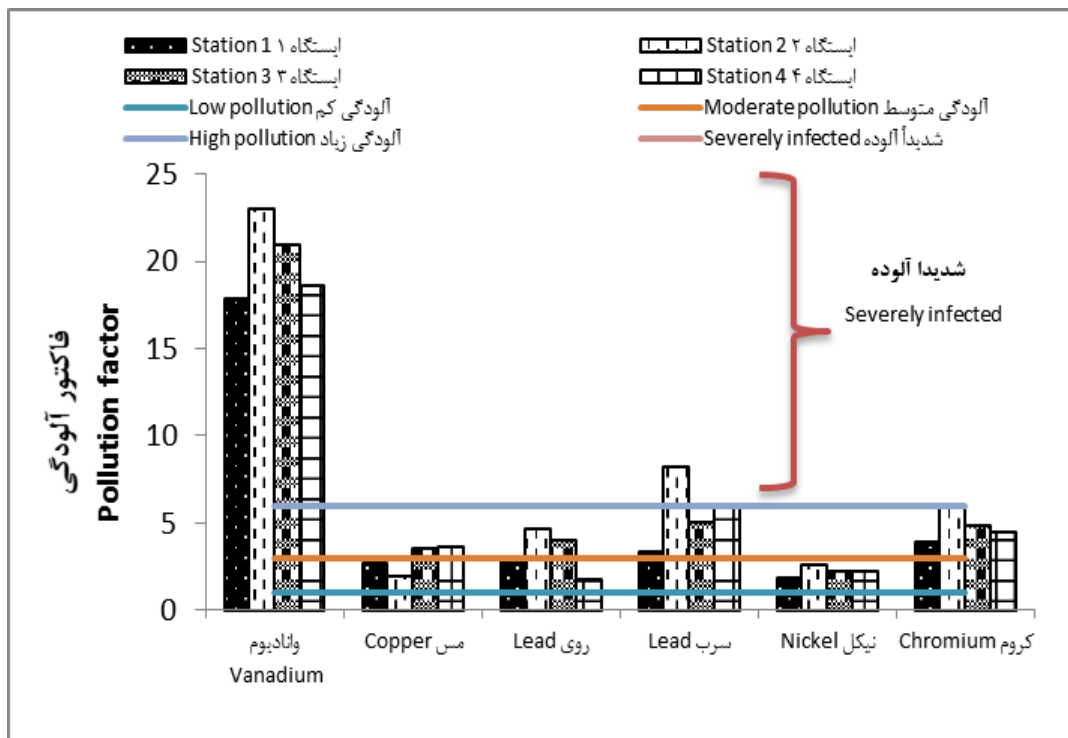
میانگین Average	ایستگاه ۴ Station 4	ایستگاه ۳ Station 3	ایستگاه ۲ Station 2	ایستگاه ۱ Station 1	
0.62±0.13	0.58±0.17 ^{ab}	0.69±0.0 ^b	0.47±0.04 ^a	0.74±0.005 ^b	کادمیوم Cadmium
19.16±3.19	20.07±1.40 ^b	18.46±0.0 ^b	15.13±2.41 ^a	23.01±0.0 ^c	کروم Chromium
23.13±3.05	22.83±0.32 ^b	22.67±0.005 ^b	19.48±1.12 ^a	27.55±0.24 ^c	نیکل Nickel
3.92±1.58	3.31±1.88 ^a	3.96±0.0 ^a	2.44±0.38 ^a	5.97±0.005 ^b	سرب Lead
0.19±0.15	0.13±0.05 ^b	0.45±0.0 ^a	<0.01 ^a	<0.01 ^a	سلنیوم Selenium
32.41±14.23	54.74±2.08 ^c	23.54±0.88 ^a	20.29±2.90 ^a	31.94±0.57 ^b	روی Lead
16.37±4.64	12.55±0.81 ^a	12.81±0.01 ^a	23.25±2.40 ^c	16.88±0.01 ^b	مس Copper
6.53±0.71	6.98±0.26 ^b	6.21±0.0 ^a	5.66±0.59 ^a	7.26±0.0 ^b	وانادیوم Vanadium
-	103.97	88.79	86.73	113.36	غلظت کل Total concentration
	شدیداً آلوده Highly Infected	شدیداً آلوده Highly Infected	شدیداً آلوده Highly Infected	شدیداً آلوده Highly Infected	درجه آلودگی Degree of contamination

حرف غیر مشابه نشان دهنده اختلاف آماری معنی‌دار است (P<0/05).

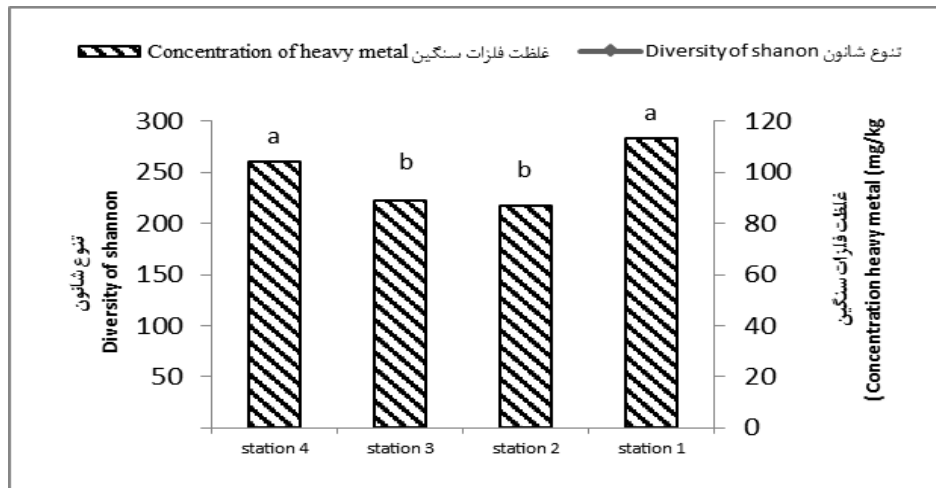
جدول ۴: درصد ذرات تشکیل دهنده رسوب و میزان مواد آلی (درصد) در رسوبات خور زنگی

Table 4: Percentage of sediment-forming particles and amount of organic matter (percentage) in Zangi estuary sediments

مواد آلی Tom	Sand	Silt	Clay	
9.45	0.17	0.4	97.12	ایستگاه ۱ Station 1
9.6	0.12	0.48	93.76	ایستگاه ۲ Station 2
10.98	0.12	0.4	97.36	ایستگاه ۳ Station 3
6.90	0.17	0.42	97	ایستگاه ۴ Station 4

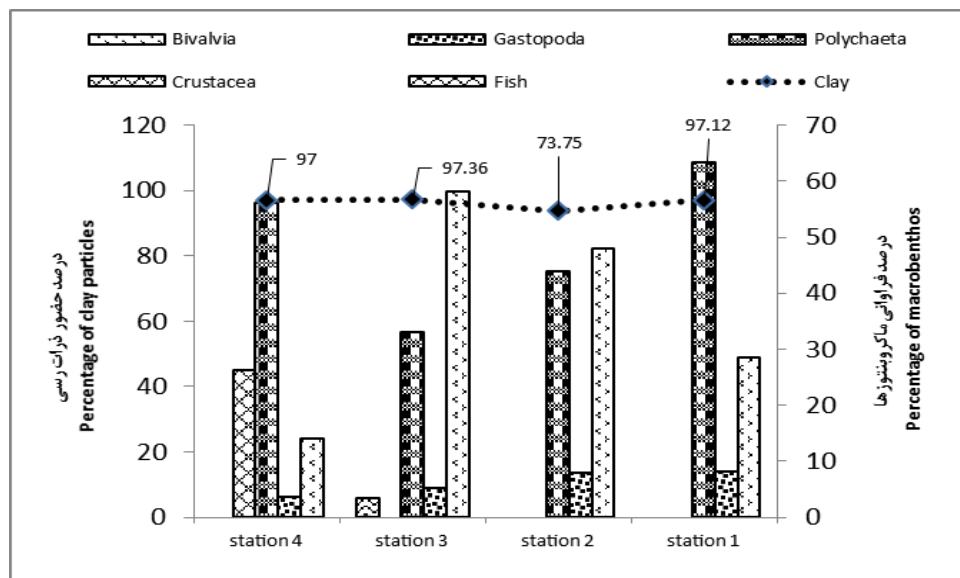


شکل ۳: فاکتور آلودگی فلزات سنگین در ایستگاه‌های خور زنگی
Fig. 3: Heavy metal contamination factor in estuarine stations



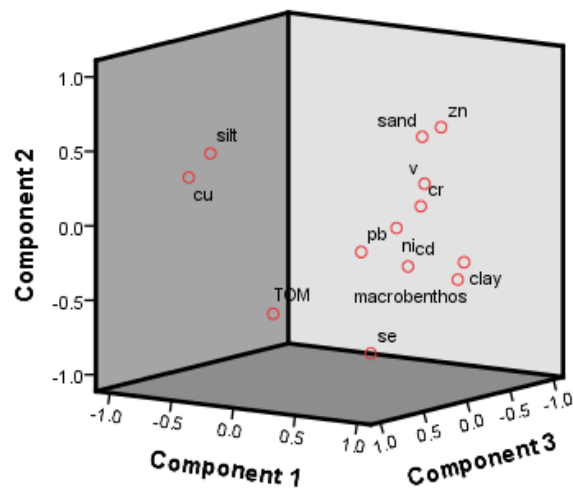
شکل ۴: تنوع شانون و غلظت فلزات سنگین در خور زنگی

Fig. 4: Shannon variation and concentration of heavy metals in the estuary



شکل ۵: بررسی ارتباط بین فراوانی ماکروبنیتوزها و درصد حضور ذرات رسی

Fig. 5: Investigation of the relationship between the frequency of macrobenthos and the percentage of clay particles



شکل ۶: بررسی همبستگی بین اجزای دخیل در تنوع زیستی خور زنگی

Fig. 6: Investigation of the correlation between the components involved in the biodiversity of Zangi estuary

با سایر نقاط در جدول ۵ آورده شده است. در مطالعه‌ی Mohammadi Roozbehani و همکاران (۲۰۱۷) [۱۱] و Vaeze و همکاران (۲۰۱۴) [۲۶] رسوبات غیر آلوده و Jahangiri و Janadeleh (۲۰۱۶) [۲۷] رسوبات آلودگی متوسطی را داشتند در حالی که در مطالعه‌ی حاضر شاخص آلودگی شدیداً آلوده را نشان داد که این موضوع ممکن است ناشی از تفاوت در نوع فلزات سنگین مورد بررسی و محصور بودن خور زنگی در مقایسه با سایر خورهای خور موسی باشد.

نتایج بدست آمده از این تحقیق نشان داد که از بین ۵ رده شناسایی شده در خور زنگی در سال ۱۳۹۶، رده پرتاران با ۹ گونه غالب‌ترین رده و گونه‌ی کرم پرتار *Hydroides sp.* بالاترین درصد فراوانی را در جمعیت ماکروبن‌توزهای این خور داشت در حالی که در بررسی Nabavi در خوربات موسی (۱۹۹۹) [۲۸]، ۱۲ گروه ماکروبن‌توزی، در مطالعه‌ی Nabavi (۲۰۰۹) [۲۹] در خور زنگی، دروق و غنام ۷۳۰ نمونه سخت پوست از ۵ راسته شناسایی شد که کاهش جمعیت و گروه‌های ماکروبن‌توزی شناسایی شده را با گذشت زمان نشان می‌دهد که با توجه به اینکه جمعیت و تنوع پلی‌کیت‌ها به عنوان نشانگرهای آلودگی مطرح هستند [۲، ۳۰] کاهش آنها نشان از درجه بالای آلودگی و گسترش آلاینده‌ها در منطقه می‌باشد. خور زنگی به دلیل همجواری با تاسیسات پتروشیمی منطقه ویژه به شدت تحت تأثیر فعالیت این صنعت قرار دارد. قطع ارتباط قسمت مرکزی خور که در میان واحدهای صنعتی پتروشیمی محصور مانده، باعث تبخیر شدید آب آن و افزایش شوری در بستر آن شده است.

رسوبات از توانایی بالقوه و بالایی در جذب و انباشت آلاینده‌های فلزی برخوردار هستند از این رو آنالیز رسوبات نقش مهمی را در ارزیابی آلودگی بوم‌سازگان‌های آبی ایفا می‌کنند. از این رو تعیین پراکنش و غلظت فلزات سنگین در رسوبات می‌تواند آینه‌ای از وضعیت زیست محیطی محیط از نظر آلودگی به فلزات سنگین است [۲۴]. در این مطالعه الگوی تجمع فلزات سنگین در رسوبات خور زنگی ترتیب سلنیوم > کادمیوم > سرب > وانادیوم > مس > کروم > نیکل > روی را نشان داد که به ترتیب ایستگاه ۱ و ۴ بالاترین غلظت و ایستگاه‌های ۳ و ۲ کمترین غلظت فلزات سنگین را داشتند اما از نظر شاخص درجه آلودگی تمام ایستگاه‌ها درجه شدیداً آلوده را نشان دادند. در مطالعه‌ی Jahangiri و Janadeleh (۲۰۱۶) در شمال خلیج فارس، ترتیب غلظت فلزات سنگین به صورت کادمیوم > سرب > نیکل > روی بود [۱۱] و در مطالعه‌ی Vaeze و همکاران (۲۰۱۴) مس > کروم > نیکل > روی بود که با توجه به پیوستگی خورهای منطقه‌ی شمال خوزستان و مجاورت منطقه‌ی ویژه اقتصادی پتروشیمی روند یکسانی را با مطالعه‌ی حاضر دارند [۲۵].

فاکتور آلودگی برای فلز وانادیوم سطح شدیداً آلوده را نشان داد بعد از این فلز، سرب و سپس کروم قرار داشت که نشان دهنده وجود پتاسیل خطر در مورد این عناصر در رسوب است. همچنین فلزات مس، روی و نیکل آلودگی متوسطی و بالای ۱ را نشان دادند که وضعیت خطرناکی را برای منطقه پیش‌بینی می‌کند. غلظت فلزات سنگین در خور زنگی

جدول ۵: مقایسه غلظت فلزات سنگین در رسوبات شمال خلیج فارس

Table 5: Comparison of heavy metal concentrations in the sediments of the northern Persian Gulf

منبع	مکان	کادمیوم	کروم	نیکل	سرب	سلنیوم	روی	مس	وانادیوم
		Cadmium	Chromium	Nickel	Lead	Selenium	Lead	Copper	Vanadium
The present study (2016)	خور زنگی (Zangi estuary)	0.62	19.16	23.13	3.92	0.19	32.41	16.37	6.53
	Concentration in the Earth's crust (mg/kg)	0.3	90	50	20	-	95	45	130
Azimi et al (2012) [۲۵]	بندر امام خمینی Imam Khomeini seaport (µg/g)	0.18	-	-	5.63	-	-	17.24	-
Vaeze et al. (2014) [۲۴]	رسوبات خور ماهشهر Sediments of Mahshahr estuary (mg/kg)	-	43	62	-	-	93	22	-
Roозbehani et al [۲۹] (2017)	خور موسی Musa estuary (mg/kg)	-	-	-	6.68	-	76.01	-	-
Janadeleh (2016) Jahangiri and [۲۳]	شمال خلیج فارس North Persian Gulf (mg/kg)	0.23	-	34.05	7.73	-	64.93	-	-
Ngwoke et al (2019) [۳۱]	دلتای نیجریه Nigeria Delta (mg/kg)	0.33	5.47	4.88	7.06	-	19.10	-	0.09
Hedayatzadeh [۳۲] (2020)	رودخانه کارون Karun river (mg/kg)	3.8	53.4	-	26.2	-	72.3	-	-

دیگر منجر به بوجود آمدن لایه‌ای از لجن سیاه رنگ و شرایط بی‌هوایی شده که جامعه ماکروبن‌تیک آنرا به کلی از بین برده و یا فقط تعداد

لایه سفت و نفوذناپذیر نمکی در بستر این ناحیه از یک طرف و ورود دوره‌ای پساب برخی کارخانه‌ها و تجمع آن‌ها در روی این بستر از طرف

روی و مس موجود در رسوبات بر شاخص تنوع زیستی پرتاران تأثیر می‌گذارد [۳۷] که با یافته‌های مطالعه‌ی حاضر هم خوانی دارد.

ترکیب و کیفیت رسوبات هم بر ساختار و هم بر تنوع ماکروبن‌توزها تأثیر می‌گذارد [۹، ۳۸، ۳۹] به گونه‌ای که در بستر ایستگاه‌های ۱ و ۴، لایه‌ی سنگی و غیر قابل نفوذ بیشتری در مقایسه با ایستگاه‌های ۱ و ۴ وجود دارد که این موضوع سبب فراوانی بالاتر دوکفه‌ای‌ها در مقایسه با *Polychaeta* در این ایستگاه‌ها شده است. همچنین درصد بالاتر ذرات رسی در ایستگاه‌های ۱، ۳ و ۴ عاملی است که سبب می‌شود رسوبات مقادیر آب و مواد آلی بیشتری در خود نگه‌داری کنند و این امر موجب افزایش تراکم جانوری شده است از طرفی موجودات ماکروبن‌توزی غالباً موجوداتی اکسیژن دوست می‌باشند و با کاهش فواصل بین ذرات، میزان اکسیژن کاهش و در نتیجه جمعیت به سمت گونه‌هایی با توانایی بالاتر مقاومت تغییر پیدا کرده و غالبیت افزایش می‌یابد [۳۶] که نتیجه این موضوع تنوع گونه‌ای بالاتر در ایستگاه ۲ است. در مطالعه‌ی Saadtmand و همکاران (۲۰۱۹) در رودخانه بهمنشیر نیز بین اندازه ذرات و تراکم جانوری ارتباط معنی‌داری وجود داشت [۴۰]. همچنین در مطالعه‌ی Aghajari Khazaei و همکاران (۲۰۱۹) در سواحل هرمزگان تنوع ماکروبن‌توزها در سواحل دانه درشت‌تر جاسک و لنگه بالاتر بود [۴۱] که با یافته‌های مطالعه‌ی حاضر هم‌خوانی دارد.

مواد آلی از عوامل تأثیر گذار بر روی تنوع ماکروبن‌توزها هستند و درصد پایین‌تر مواد آلی در ایستگاه ۴ در مقایسه با سایر ایستگاه‌ها می‌تواند علت پایین بودن تنوع شانون و بالابودن غالبیت در این ایستگاه باشد. Gholami و Nabavi (۲۰۱۵) [۳۴] میزان کل مواد آلی و دانه‌بندی رسوبات را از جمله دلایل مؤثر بر پراکنش اجتماعات ماکروبن‌تیک رودخانه حفار غربی در خرمشهر گزارش کردند.

براساس درجه آلودگی، رسوبات هر ۴ ایستگاه در محدوده‌ی شدیداً آلوده قرار داشتند در حالی که براساس رقم تنوع شانون (۲/۱۲ - ۱/۶۸) که به عنوان نشانگر زیستی برای ارزیابی تنش در اجتماعات آبی بکاری می‌رود، ($H' = 1-3$) بار آلودگی متوسطی [۱۷، ۴۲] را در منطقه نشان داد که می‌توان نتیجه گرفت آلودگی با فلزات سنگین در خور زنگی در مقایسه با عوامل طبیعی نظیر ترکیب ذرات رسوبات و مواد آلی که در اثر جریان فاضلابی با شوری متفاوت و فعالیت‌های انسانی دچار تغییر می‌شوند، هنوز نتوانسته تأثیر عمیقی بر روی ساختار جمعیتی ماکروبن‌توزها بگذرد. در مطالعه‌ی Onwuteaka (۲۰۱۴) تنوع شانون به عنوان عاملی برای ارزیابی کیفیت اکولوژیک بوده و در رودخانه Bonny با مقدار بین ۲/۴۹ - ۱/۸۱ و تنوع متوسط رو به فقر را نشان داد [۴۳].

مطالعات متعددی نشان داده است که آلاینده‌های مختلف مانند فلزات سنگین در پراکنش بن‌توزها نقش داشته است مانند Takarina و Adiwibowo (۲۰۱۱) [۳۶] که نشان دادند میزان فلزات سنگین مس، روی سرب و کروم در خلیج جاکارتا متأثر از صنایع آلوده کننده

بسیار کمی از ماکروبن‌توزها در کنار سواحل آن تجمع یافته‌اند که تنوع و تعداد آنها به شدت تحت تأثیر فلزات سنگین ورودی از فاضلاب این مجتمع‌ها است.

در مطالعه Darwish Bastami و همکاران (۲۰۱۲) بین شاخص‌های بیولوژیک اندازه‌گیری شده با غلظت فلزات سنگین مس، روی، سرب، کروم و کبالت در رسوب همبستگی منفی وجود داشت [۳۳] که نشان دهنده تأثیر منفی غلظت فلزات بر جوامع ماکروبن‌توزی بود همچنین در مطالعه‌ی Nabavi و Gholami (۲۰۱۵) [۳۴] در رودخانه حفار غربی در خرمشهر نیز پرتاران با ۶۵/۱۹ درصد فراوان‌ترین گونه و نشانه‌ی گسترش آلودگی معرفی کردند که با توجه به تأثیر منفی صنعت پتروشیمی و کاهش جمعیت ماکروبن‌توزها با یافته‌های مطالعه‌ی حاضر هم‌خوانی دارد.

نحوه توزیع ماکروبن‌توزها در خور زنگی منجر به آن شد که نتایجی در ارتباط با تأثیر تخلیه پساب بدست آید به شکلی که در ایستگاه‌های ۱ و ۴ پرتاران و در ایستگاه ۲ و ۳ دوکفه‌ای‌ها غالب بود. بررسی شاخص‌های تنوع شانون و غلظت فلزات سنگین نشان داد که ایستگاه ۲ بالاترین تنوع شانون و کمترین میزان غالبیت و ایستگاه ۴ با کمترین غلظت فلزات سنگین کمترین تنوع شانون و بیشترین غالبیت را داشت. شاخص سیمپسون به فراوانی گونه‌های غالب در نمونه حساس است و با افزایش تنوع کاهش می‌یابد [۳۵-۳۷]. براین اساس هر چند تعداد افراد ماکروبن‌توز موجود در ۳ ایستگاه ۱، ۳ و ۴ در مقایسه با ایستگاه ۲ بالاتر بود اما از نظر غالبیت این سه ایستگاه غالبیت بالاتری در مقایسه با ایستگاه ۲ داشتند که مربوط به حضور پر شمار گونه‌های *Hydroides sp.* در سه ایستگاه ۱، ۳ و ۴، *Paphia sp.* در ایستگاه ۱، *Ostrea subucula* در ایستگاه ۳ و *Nephtys sp.* و *Apseudes sp.* در ایستگاه ۴ بود که درجه غالبیت بالاتر و تنوع شانون کمتر را در این ایستگاه‌ها توجیه می‌کند که ممکن است ناشی از غلظت بالاتر فلزات سنگین در این ایستگاه‌ها در مقایسه با ایستگاه ۲ و ایجاد زمینه برای غالبیت یک یا چند گونه است. با توجه به شکل ۶ تعداد ماکروبن‌توزها با مقادیر بالای فلزات نیکل، سرب، کادمیوم و کروم که در ایستگاه ۱ در مقایسه با سه ایستگاه دیگر مقدار بالاتری دارند همبستگی نزدیکی دارد که ممکن است به دلیل غالبیت تعدادی گونه‌ی خاص نظیر *Hydroides sp.* در این ایستگاه‌ها به علت مقاومت بالاتر آن‌ها در برابر حضور این آلاینده‌ها باشد. تأثیر آشفتگی بر روی تعداد و وفور گونه‌های غالب در مطالعه‌ی Darwish Bastami و همکاران (۲۰۱۲) نیز گزارش شده است [۳۳]. Takarina و Adiwibowo (۲۰۱۸) نشان دادند که میزان فلزات سنگین نیکل، سرب و کروم در خلیج جاکارتا باعث کاهش تنوع و تراکم کفزیان شد به طوری که میزان فلزات سنگین با الگوی تراکم و پراکنش کفزیان در منطقه مشابه بود [۳۶] که با یافته‌های مطالعه‌ی حاضر و تغییر ترکیب ماکروبن‌توزها هم‌خوانی دارد. Novertia و همکاران (۲۰۱۱) در جاکارتای اندونزی با مطالعه اثر فلزات سنگین بر تنوع زیستی ماکروبن‌توزها نتیجه گرفتند که مقادیر

توجه به تأثیر آلاینده‌های فلزی رسوبات بر تنوع و تراکم ماکروبن‌توزها در ایستگاه‌های مورد مطالعه و احتمال تجمع بیولوژیکی فلزات در بافت‌های ماکروبن‌توزها، احتمال ورود این فلزات به زنجیره غذایی و از جمله ماهیان وجود دارد. با توجه به اهمیت تجمع بیولوژیکی و مخاطرات فلزات سنگین بر ماهیان پیشنهاد می‌گردد، صنایع آلاینده در خور مورد مطالعه شناسایی شده و از ورود و گسترش آلاینده‌ها در منطقه جلوگیری شود.

مشارکت نویسندگان

نویسندگان نقشی برابر در مراحل مختلف جمع‌آوری و آنالیز نمونه‌ها، نگارش و ارسال داشتند.

تعارض منافع

«هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.»

References

1. Stamatis N, Kamidis N, Pigada P, Sylaios G, Koutrakis E. Quality Indicators and Possible Ecological Risks of Heavy Metals in the Sediments of three Semi-closed East Mediterranean Gulfs. *Toxics*. 2019;7(2). doi: 10.3390/toxics7020030 pmid: 31146390
2. Li X, Yang W, Sun T, Su L. [Framework of multidimensional macrobenthos biodiversity to evaluate ecological restoration in wetlands]. *Environ Res Letter*. 2019;14:1-15. doi: 10.1088/1748-9326/ab142c
3. Nejatkhah Manavi P. [Heavy Metals in Water, Sediment and Macrobenthos in the Intertidal Zone of Hormozgan Province, Iran]. *Marine Sci*. 2013;3(2):39-47.
4. Bostanzadeh M, Romayani L, Payandeh K, Sabzalipour S, Mohammadi Roozbehani M. [Assessment of Heavy Metals Transition (Pb, Ni and Vanadium) In Hur Al-Azim]. *Wetland Food Chain*. 2020;11(42):15-28. doi: 10.52547/joc.11.42.15
5. Keshavarz M, Dabbagh AB, Soyuf Jahromi M. [Biodiversity Indices for Macrobenthic Community structures of Mangrove Forests, Khamir port, Iran]. *Int J Animal Veterinar Sci*. 2016;3:1-9.
6. Mustapha M, Yakubu H. Lakes, reservoirs and Ponds]. *Int J Environ Sci Develop*. 2015;30:56-66.
7. Yang W, Sun T, Yang ZF. [Does the implementation of environmental flows improve wetland ecosystem services and biodiversity? A literature review Restor]. *Ecologic*. 2016;24:731-742. doi: 10.1111/rec.12435
8. Hung L, Rad S, Xu L, Gui L, Song X, Li Y, et al. [Heavy Metals Distribution, Sources, and Ecological Risk Assessment in HuixianWetland, South China]. *Water*. 2020;12:1-14. doi: 10.3390/w12020431
9. Mhoammed Belal A. [Macro-benthic invertebrates as a bio-indicator for water and sediment quality in Suez Bay, Red Sea]. *Egypt J Aquatic Res*. 2019;45:123-130. doi: 10.1016/j.ejar.2019.03.003
10. Bahrebur S, Negarestan H, Maghsoudlo A, Danehkar A. [Macrobenthic assemblage structure and distribution at the Boojagh Marine National Park, Southern Caspian Sea, Iran]. *Iran J Fisher Sci*. 20020;19:748-767.
11. Mohammadi Roozbehani M, Sobhan Ardakani S, Mashalpour Fard R. [Correlation between the accumulation of aluminum, zinc and lead in sediments with macrobenthos living in Khor Musa]. (Persian). *Wetland Exobiol Quarter*. 2017;9:17-28.
12. Cheggour M, Chafik A, Langston WJ, Burt GR, Benbrahim S, Texier H. [Metals in sediments and the edule form two Moroccan Atlantic Lagoons: Moulay Bou Selham and Sidi Moussa]. *Environ Pollut*. 2001;115(2):149-160. doi: 10.1016/S0269-7491(01)00117-8
13. MOOPAM. [Standard Method 2005 (3010 B, 3010 C)Moopam .1999. IAEA]. Standard Method 2005, EPA 7000 Serie. 2010.
14. Fauchald C. [The polychaete worms definition and keys to the orders families and genera]. *Black Well Sci*. 1997:250.
15. Donald TB, Dance SP, Moolenbeek RG, Oliver PG. [Seashells of eastern Arabia]. Motivine publishing.; 1995.
16. Wolfgang S. [Marine fauna and flora of Bermuda]. AWiley interscience. New York,USA.1986.
17. Bellan K, Santini M. [Ecological Indicators for Assessment of Ecosystem Health]. Second edited by Sven E. Jørgensen, Liu Xu, Robert Costanza.1980.
18. Marques JC, Salas F, Pinricio J, Teixeira H, Neto JM. [Ecological indicators for coastal and estuarine environmental assessment]. Patricio, University of Coimbra, Portugal; H. Teixeira, University of Coimbra, Portugal; J. Neto, University of Coimbra, Portugal.2009.

در بالادست بوده و باعث کاهش تنوع و تراکم کفزیان منطقه گردیده است به طوری که میزان فلزات سنگین با الگوی تراکم و پراکنش کفزیان در منطقه مشابه بوده و هماهنگی داشت.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان دادند که تغییرات ایجاد شده در اکوسیستم خور زنگی که ناشی از همجواری با صنایع پتروشیمی است بر روی جمعیت و نیز تنوع ماکروبن‌توزها مؤثر باشد. از بین فلزات سنگین و پارامترهای بستر شامل دانه‌بندی و میزان مواد آلی، با وجود آلودگی شدید رسوبات به فلزات سنگین، تغییرات ایجاد شده در ترکیب بستر بر روی ماکروبن‌توزها و جمعیت آنها موثرتر بوده است. از بین فلزات سنگین مورد بررسی نیکل، سرب، کادمیوم و کروم تأثیر عمیق‌تری بر روی ساختار جمعیتی ماکروبن‌توزها داشتند. در مجموع یافته‌های این مطالعه نشان دهنده گسترش شدید آلودگی خور زنگی است که توانسته است ساختار زیستی این خور را در معرض خطر قرار دهد. با

19. Krebs CJ. [Ecology: the enperimental analysis of distribotion and abundans]. Harper Collins, New York.1994.
20. ROPME. [Regional Report of the State of the Marine Environment]. Regional Organization for the Protection of the Marine Environment (ROPME, Kuwait).1999.
21. Hakanson L. [Ecological risk index for aquatic pollution control, a sediment ecological approach]. *Water Res.* 1980;**14**:975-1001. doi: 10.1016/0043-1354(80)90143-8
22. Kalinowska A, Szopinska M, Chmiel S, Konczak M, Polkowska Z, Artichowicz W, et al. [Heavy Metals in a High Arctic Fiord and Their Introduction with the Wastewater: A Case Study of Adventfjorden-Longyearbyen System, Svalbard]. *Water.* 2020;**12**:1-16. doi: 10.3390/w12030794
23. Janadeleh H, Jahangiri S. [Risk Assessment and Heavy Metal Contamination in Fish (*Otolithes ruber*) and Sediments in Persian Gulf]. *J Communit Health Res.* 2016;**5**:169-181.
24. Vaeze A, Karbasi A, Valikhani Samani A, Heidari M, Fakhraei M, Rahmati A. [Zoning, distribution and origin of total petroleum hydrocarbons and metal pollutants in the sediments of Mahshahr estuary, Persian Gulf]. (Persian). *Environ Sci Technol.* 2014;**16**:3-19.
25. Azimi A, Dadollahi Sohrab A, Safaieh A, Zolfarnin H, Savari A, Faqiri A. [Study of heavy metal levels of mercury, cadmium, lead and copper in sediments of the northwestern Persian Gulf - Imam Khomeini port]. (Persian). *Oceanograph.* 2012;**3**:33-41.
26. Vaziri B, Hakimi Abed M, Nabavi SMB, Shariat Feizabadi F. [Bioaculation, Lead, Wanadium, Feather, Ordinary Coke, Havaer-e-Azim Wetland]. (Persian). *Oceanograph.* 2021;**In press**.
27. Jayachandran PR, Nandn B, Jima M, Joseph P, Xavier D, Sreedevi OK, et al. [Macrobenthic functional feeding groups in a microtidal monsoonal estuary (Kodungallur-Azhikode estuary, India)]. *Regional Stud Marine Sci.* **25**:1-17. doi: 10.1016/j.rsma.2018.100444
28. Nabavi SMB. [Investigation of macrobenthos of Mahshahr khoriat with emphasis on their role in aquatic nutrition]. PhD thesis in Marine Biology, Islamic Azad University, Science and Research Branch. (Persian)1999.
29. Nabavi SMB. [Investigation of the diversity and distribution of macrobenthos crustaceans on the shores of the Khoriat Mosa estuary (Zangi estuary, Ghanam and Duragh estuaries) as environmental markers]. (Persian): Master Thesis of Shahid Chamran University of Ahvaz.; 2009.
30. Kaiser-Bunbury CN, Mougai J, Whittington AE, Valentin T, Gabriel R, Olesen JM, et al. Ecosystem restoration strengthens pollination network resilience and function. *Nature.* 2017;**542**(7640):223-227. doi: 10.1038/nature21071 pmid: 28135718
31. Ngwoke M, Lgwe O, Ozioko O. [Assessment of heavy metal pollution in marine sediments receiving produced water, Delta State, Nigeria]. *Int J Physic Sci.* 2019;**14**:152-170.
32. Hedayatzadeh F, Hassanzadeh N. [Evaluation of Heavy Metal Contamination and Ecological Risk Assessment in Sediments of Karun using Aquatic Pollution Indices]. *Archiv Hygiene Sci.* 2020;**9**(1):10-26. doi: 10.29252/ArchHygSci.9.1.10
33. Darwish Bastami K, Taheri M, Bagheri H, Bazdani Fashtami M, Soltani F, Haghparast S, et al. [Relationship between the concentration of some heavy metals in sediments and the population of macrobenthos in Gorgan Bay]. (Persian). *J Animal Environ.* 2012;**4**:91-103.
34. Gholami Z, Nabavi M. [The effect of total organic matter and sediment granulation on the distribution of macrobenthic communities in the West Hafar River in Khorramshahr]. (Persian). *Environ Sci Technol.* 2015;**17**:97-103.
35. Yang W, LiX X, Sun T, Pei J, Li M. [Macrobenthos functional groups as indicators of ecological restoration in the northern part of China's Yellow River Delta]. *Wetland Ecolog Indicat.* 2017;**82**:381-391. doi: 10.1016/j.ecolind.2017.06.057
36. Takarina N, Adiwibowo A. [Impact of heavy metals contamination on the biodiversity of marine benthic organisms in Jakarta bay]. *J Coastal Develop.* 2011;**14**:168-171.
37. Noverita D, Takarina ND, Andrio. [Impact of Heavy Metals Contamination on the Biodiversity Of Marine Benthic Organisms In Jakarta Bay]. *J Coastal Develop.* 2011;**168**:171-182.
38. Poff NL, Zimmerman JKH. [Ecological responses to altered flow regimes: a literature review to inform the science and management of environmental flows]. *Freshwater Biol.* 2010;**55**:194-205. doi: 10.1111/j.1365-2427.2009.02272.x
39. Marshall FE. [The influence of restoration efforts in the freshwater Everglades on the salinity regime of Florida Bay Restor]. *Ecologic.* 2017;**25**:S99-106. doi: 10.1111/rec.12454
40. Saadatmand M, Elmizadeh H, Salari Aliabadi MA. [Investigation of the relationship between ecogeomorphology and granulation of bed sediments. Case study: Bahmanshir River]. (Persian). *Sci J Wetland Ecobiol.* 2019;**11**:97-107.
41. Aghajari Khazaei SH, G. A, Seraji F. [Investigation of the relationship between bed tissue and the density of macrobenthos in the coasts of Hormozgan province, Persian Gulf]. (Persian). *J Aquatic Ecol.* 2019;**9**(31-7).
42. Saadatmand M, Elmizadeh H, Salari Aliabadi MA. [Investigation of the relationship between ecogeomorphology and granulation of bed sediments. Case study: Bahmanshir River]. (Persian). *Sci J Wetland Ecobiol.* 2019;**11**:107-197.
43. Onwuteaka J. [The temporal abundance and distribution of polychaete fauna along the shoreline of Bonny River in Nigeria]. *J Environ Sci Toxicol Food Technol.* 2014;**3**:2319-2402.

AUTHOR(S) BIOSKETCHES

Heydari, R., Department of Environmental Sciences, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

heydari.R@fajrco.com

 0000-0002-3960-2821

Mohammadiroozbahani, M., Department of Environmental Sciences, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

mmohammadiroozbahani@yahoo.com

 0000-0003-1850-9617

Rajabzadeh Ghatromi, E., Faculty of Natural Resources of the Sea, Khormashahr University of Marine Sciences and Technology, Khormashahr, Iran.

rajabzadeh48@gmail.com

 0000-0003-1850-9617

Nabavi, M.B., Faculty of Natural Resources of the Sea, Khormashahr University of Marine Sciences and Technology, Khormashahr, Iran.

m.nabavi@kmsu.ac.ir

 0000-0003-3157-0754



HOW TO CITE THIS ARTICLE

Citation (Vancouver) Heydari R, Mohammadiroozbahani M, Rajabzadeh Ghatromi E, Nabavi, M.B. Use of Macrobenthos Biodiversity in Assessing the Ecological Status of Zangi Estuary about Heavy Metal Contamination. *J Oceanography*. 2021; 12(47): 12-25.

 <http://doi.org/10.52547/joc.12.47.12>

 <http://joc.inio.ac.ir/article-1-1625-fa.html>

 0000-0002-3960-2821



COPYRIGHTS

©2021 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.