

ORIGINAL RESEARCH PAPER

## Bioavailability and Ecological Risk Assessment of Nickel in Surface Sediments of Asaluyeh, Strait of Hormuz and Jask

Afshin Aali<sup>1</sup>, Samira Ghiyasi<sup>2</sup>, Homira Agah<sup>3\*</sup>, Shahrzad Khoramnejadian<sup>4</sup>, Abolfazl Saleh<sup>5</sup>

1- Islamic Azad University, Damavand Branch, Department of Environment, damavad, Iran.

2- Associate Prof. Islamic Azad University, Damavand Branch, damavad, Iran.

3- Iranian National Institute for Oceanography and Atmospheric Sciences. Marine Sciences faculty, Department of Biological Sciences, Tehran, Iran.

4- Assistant Prof. Islamic Azad University, Damavand Branch, damavad, Iran.

5- Associate Prof. Iranian National Institute for Oceanography and Atmospheric Sciences, Tehran, Iran.

### ARTICLE INFO

#### Article History:

Received: 2023/09/19

Revised: 2023/12/23

Accepted: 2023/12/23

#### Keywords:

Heavy metals

Asaluyeh

Jask

Strait of Hormuz

Sequential extraction

Atomic Absorption

\*Corresponding author:

✉ [aaagah\\_hom@yahoo.com](mailto:aaagah_hom@yahoo.com)

orcid: 0000-0002-2369-2383

doi: [10.52547/joc.14.55.5](https://doi.org/10.52547/joc.14.55.5)

doi:

### ABSTRACT

**Background and Theoretical Foundations:** Different studies conducted on the sediments of the Persian Gulf, strait of Hormuz and the Sea of Oman show that the amount of nickel, as a toxic metal, in these water bodies is more than its threshold effect level. In order to determine the risk of nickel for benthic organisms, the sediment samples of these water areas were subjected to sequential extraction and analysis in order to determine the bioavailability of nickel and subsequently the level of biological risks to benthic organisms.

**Methodology:** In this study, the surface sediments of 5 stations in the Persian Gulf, the Strait of Hormuz and the Sea of Oman were analyzed in order to determine the total nickel concentration and determine the bioavailability of nickel during 6 successive extraction stages. Nickel concentration, which was extracted during 6 stages were analyzed by Atomic Absorption analyzing instrument (Furnace).

**Findings:** The results showed that the concentration of nickel in the monitored stations varied between 96 and 113 mg/kg, which is more than the nickel threshold Effect Level (TEL: 15.9 mg/kg). The results of consecutive extraction in 6 stages showed that the concentration of stages 1 and 2 (accessible part of metals for benthic life) was lower than the detection limit of the instrument and their concentration can be neglected.

**Conclusion:** The amount of nickel in the third stage of extraction (bonding with oxide or hydroxides of iron and manganese) was much lower than the TEL (15.9 mg/Kg) and under environmental changes and redox conditions, the bioavailability of nickel will be lower than the TEL. The results showed that although the nickel pollution in the coastal sediments of the Persian Gulf, the Strait of Hormuz and the Sea of Oman was more than the TEL; due to the low exchangeable part, the current pollution is not considered a serious risk for the marine life.



NUMBER OF TABLES

3



NUMBER OF FIGURES

5



NUMBER OF REFERENCES

62

## مقاله پژوهشی

## دسترس‌ی زیستی و ارزیابی خطر اکولوژیک نیکل در رسوبات سطحی عسلویه، تنگه هرمز و جاسک

افشین عالی<sup>۱</sup>، سمیرا قیاسی<sup>۲</sup>، همیرا آگاه<sup>۳\*</sup>، شهرزاد خرم نژادیان<sup>۴</sup>، ابوالفضل صالح<sup>۵</sup>

۱- دانشگاه آزاد اسلامی واحد دماوند گروه محیط زیست، دماوند، ایران.

۲- دانشیار دانشگاه آزاد واحد دماوند، دماوند، ایران.

۳- پژوهشگاه ملی اقیانوس شناسی و علوم جوی. پژوهشکده علوم دریایی گروه علوم زیستی، تهران، ایران.

۴- استادیار دانشگاه آزاد واحد دماوند، دماوند، ایران.

۵- دانشیار پژوهشگاه ملی اقیانوس شناسی و علوم جوی، تهران ایران.

چکیده	اطلاعات مقاله
<p><b>پیشینه و مبانی نظری پژوهش:</b> مطالعات صورت گرفته بر رسوبات خلیج فارس، تنگه هرمز و دریای عمان نشان می‌دهد که میزان نیکل به عنوان فلز سمی، در این پیکره‌های آبی بیش از حد آستانه آن است. در این مطالعه برای تعیین میزان دسترس‌ی زیستی فلز نیکل موجود در رسوبات عسلویه، تنگه هرمز و جاسک به‌عنوان مناطقی با غلظت بالای نیکل در آب‌های جنوبی کشور و نیز متعاقب آن تعیین میزان خطرات زیستی این فلز برای کف زیان، نمونه‌های رسوب مناطق آبی فوق مورد استخراج متوالی و آنالیز قرار گرفتند.</p> <p><b>روش شناسی:</b> در این مطالعه با تکیه بر نتایج غلظت نیکل کل در رسوبات ۷۶ ایستگاه در خلیج فارس، تنگه هرمز و دریای عمان، رسوبات سطحی ۵ ایستگاه در عسلویه، تنگه هرمز و جاسک که دارای بالاترین غلظت نیکل کل در این سه حوزه آبی بودند، انتخاب شدند تا میزان دسترس‌ی زیستی نیکل مشخص شود. نمونه‌ها مورد استخراج متوالی و آنالیز در طی ۶ مرحله قرار گرفتند. غلظت نیکل توسط دستگاه جذب اتمی (کوره) Atomic Absorption (Furnace) اندازه‌گیری شد.</p> <p><b>یافته‌ها:</b> علی‌الرغم اینکه غلظت نیکل در ایستگاه‌های مورد پایش (۹۶-۱۱۳ mg/Kg) بیش از حد آستانه آن (۱۵/۹ mg/Kg) بود، ولی نتایج استخراج متوالی در ۶ مرحله نشان داد که غلظت مراحل ۱ و ۲ (بخش قابل دسترس فلزات برای آبزیان) کمتر از حد تشخیص دستگاه (۳ ppb) بوده و غلظت آنها قابل اغماض است.</p> <p><b>نتیجه‌گیری:</b> هر چند آلودگی نیکل در رسوبات ساحلی عسلویه، تنگه هرمز و جاسک بیش از حد آستانه است؛ ولی به دلیل پایین بودن بخش قابل تبادل (مراحل ۱ و ۲)، آلودگی موجود در حال حاضر برای کفزیان خطر جدی محسوب نمی‌شود. میزان نیکل در مرحله سوم استخراج (پیوند با اکسید یا هیدراکسیدهای آهن و منگنز) نیز بسیار کمتر از حد آستانه (۱۵،۹ mg/Kg) بود و در صورت بروز تغییرات محیطی و فراهم شدن شرایط احیا میزان دسترس‌ی زیستی نیکل کمتر از حد آستانه آن است.</p>	<p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۶/۲۸. تاریخ بازبینی: ۱۴۰۲/۱۰/۲. تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۲.</p> <p><b>واژگان کلیدی:</b> فلزات سنگین عسلویه جاسک تنگه هرمز استخراج متوالی جذب اتمی</p> <p>*نویسنده مسئول ✉ <a href="mailto:aaagah_hom@yahoo.com">aaagah_hom@yahoo.com</a> orcid: 0000-0002-2369-2383 doi: 10.52547/joc.14.55.5 dor:</p>

## مقدمه

خلیج فارس یکی از اکوسیستم‌های حساس و ویژه است که توسط کشورهای درحال توسعه و بسیاری از نقاط ساحلی غنی از نفت احاطه شده است [۲۰] و [۲۱]. خلیج فارس با توجه به داشتن پایانه‌های نفتی، بنادر و تردد کشتی‌ها و وجود صنایع پتروشیمی و شیمیایی در منطقه، نیاز به پایش‌های ویژه دارد. در سال‌های اخیر، ارزیابی بسیاری از انواع آلودگی نظیر فلزات سنگین در این منطقه که خواستگاه بسیاری از غذاهای دریایی جهت مصارف انسانی است، توجه بسیار زیادی را به خود جلب نموده است [۲۱]، [۲۲] و [۲۳]. تنگه هرمز به دلیل عبور نفتکش‌های متعدد در هر روز مورد توجه ویژه است. همچنین مناطق شمال غربی دریای عمان به دلیل نزدیکی به تنگه هرمز و محلی برای توقف کشتی‌های نفتکش و سایر شناورها، پیش از ورود به منطقه خلیج فارس مورد تهدید برای آلودگی‌های مختلف بوده و بسیار حائز اهمیت است. مطالعات متعددی در مناطق مختلف خلیج فارس و دریای عمان از منظر اندازه‌گیری فلزات سنگین در آب، رسوب و انواع آبزیان صورت گرفته است. مطالعات نشان می‌دهد که پیکره‌های آبی مورد نظر از دیدگاه آرسنیک، جیوه، نیکل، کادمیم و در برخی ایستگاه‌ها از نظر کروم و سرب مورد تهدید می‌باشند. هر چند منبع آلودگی‌های موجود در مناطق مورد بررسی طبیعی است ولی فعالیت‌های انسانی ایستگاه‌های حوزه خلیج فارس و بنادر فعال دریای عمان را تحت تأثیر قرار می‌دهد [۲۴]، [۲۵] و [۲۶].

## پیشینه و مبانی نظری پژوهش

تاکنون مطالعات متعددی در خصوص تعیین غلظت فلزات سنگین از جمله نیکل در رسوبات خلیج فارس و دریای عمان انجام شده است، برای مثال Dehghan Madiseh و همکاران [۲۷] در منطقه خوربات ماهشهر، Kazemi و همکاران [۲۸] در منطقه شمال شرق و شمال غرب خلیج فارس، کوسج و همکاران [۲۹] رسوبات مناطق قشم، بندر خمیر و بندر لافت استان هرمزگان، غلامدخت بندری و رضایی [۳۰] رسوبات ساحلی جزیره هرمز، واعظی و همکاران [۳۱] رسوبات خور موسی در کرانه خلیج فارس، قاسمی و زارعی [۳۲] رسوبات ساحلی شهر بندرعباس، حق شناس و همکاران [۳۳] رسوبات سطحی منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس، Allami و همکاران [۳۴] غلظت فلزات رسوبات سواحل خلیج فارس در بنادر کنگان و سیراف در استان بوشهر، Karbassi و همکارانش [۳۵] رسوبات خلیج فارس در منطقه بوشهر، Seifi و همکارانش [۳۶] رسوبات مناطق شمالی خلیج فارس، Abdolahpur و همکارانش [۳۷] رسوبات دهانه رود اروند، تنگه مله، و تنگه موسی، Bibak و همکارانش [۳۸] رسوبات بندر امام حسن، بندر عامری، بندر بوشهر و خلیج نایبند، Ranjbar و همکارانش [۳۹] رسوبات جزایر مرجانی خلیج فارس، Pejman و همکارانش [۴۰] رسوبات نواحی شمالی خلیج فارس، Arfaeinia و همکارانش [۴۱] رسوبات مناطق مختلف صنعتی، شهری، کشاورزی، و طبیعی را در سواحل شمالی خلیج فارس، Delshab و همکاران [۴۲] رسوبات منطقه عسلویه، Rezaei، همکارانش [۴۳] رسوبات سواحل شمالی خلیج فارس، Agah و همکاران [۴۴] در منطقه چابهار را بررسی و ضمن تأیید منها غالب طبیعی برای فلزات سنگین مناطق مورد مطالعه، بر تأثیر فعالیت‌های انسانی در برخی مناطق بخصوص برای فلزاتی

رشد جمعیت و توسعه فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی موجب ورود روزافزون انواع آلودگی‌ها از جمله آلودگی فلزات سنگین به منابع دریایی شده است. آلاینده‌ها پس از ورود به منابع آبی با جذب بر سطح ذرات معلق به مرور بر سطح بستر تجمع یافته و نقش مهمی در چرخه‌های ایفا می‌کنند. این ویژگی موجب شده تا رسوبات سطحی شناساگرهای مناسبی برای تعیین میزان آلودگی دریا و خطرات بیولوژیکی برای کفزیان محسوب شوند. همچنین این آلاینده‌ها با ورود به بدن انسان در چرخه حیات می‌توانند اثرات منفی بر سلامت انسان بر جای گذارند. به این جهت تعیین نوع و میزان آلاینده‌های تجمع یافته بر بستر دریا حائز اهمیت است.

آلودگی فلزات سنگین به دلیل پایداری و سمت، از اهمیت بخصوصی برخوردار هستند [۱]، [۲]. برخی از فلزات سنگین مانند نیکل که در دسته عناصر سمی و سرطان زا دسته بندی می‌شوند؛ در مقادیر کم برای تولید سلول‌های قرمز خون در بدن انسان مورد نیاز است. هر چند این فلز به طور طبیعی در محیط‌های دریایی وجود دارد؛ ولی، فعالیت‌های انسانی در برخی مناطق بر میزان آنها حتی تا ۵ برابر غلظت طبیعی می‌افزاید. این فلز در مقادیر بالا سمی است و ورود طولانی مدت به بدن می‌تواند باعث کاهش وزن بدن، صدماتی به قلب، کبد، تحریک و حساسیت بالا شود. بیشترین غلظت نیکل در استخوان، ریه، کلیه و کبد دیده می‌شود [۳].

خواص فلزات سنگین به غلظت کل و نیز شکل فیزیکیوشیمیایی (گونه زایی، speciation) آنها بستگی دارد [۴]. فلزات سنگین در طی فرایندهای مختلف شیمیایی در محیط زیست دریایی حضور دارند که متناسب با نوع پیوند برای آبی دسترسی‌های مختلف زیستی فراهم می‌کنند. تغییرات در شرایط محیطی، مانند اسیدی شدن، پتانسیل اکسیداسیون و غلظت لیگاندهای آلی، می‌تواند باعث حرکت عنصر از فاز جامد به مایع و موجب انتقال آلودگی به آب‌های اطراف شوند. یکی از راه‌هایی که بتوان میزان دسترسی زیستی کفزیان به آلاینده‌های تجمع یافته در بستر دریا و به عبارتی میزان خطر اکولوژیک واقعی را تعیین نمود، استخراج متوالی فلزات سنگین است [۵]. استخراج متوالی می‌تواند اطلاعاتی در مورد شناسایی محل‌های اتصال اصلی و قدرت اتصال فلز به ذرات در رسوب را ارائه دهد. با کسب این اطلاعات می‌توان درک واضح‌تری از فرایندهای حاکم بر فلزات سنگین و خطرات احتمالی ناشی از آن به دست آورد. از میان روش‌های استخراج متوالی پیشنهاد شده برای بررسی توزیع فلزات سنگین در خاک و رسوب، روش‌های استخراج پنج و شش مرحله‌ای که توسط Tessier و همکاران [۶] و نیز Kersten و Forstner [۷] ارائه شده‌اند که به ترتیب بیش از سایر روش‌ها مورد استقبال سایر دانشمندان قرار گرفته‌اند. هر چند برخی روش‌های استخراج متوالی به‌روز و اصلاح شده نیز مورد استقبال محققین قرار گرفته است [۸]، [۹]، [۱۰]، [۱۱]. با توجه به تنوع روش‌ها و پروتکل‌های موجود، جامعه اروپا (EC) نیز روش استاندارد پیشنهاد کرده که توسط محققین مختلف مورد استفاده قرار گرفته است [۱۲]، [۱۳]، [۱۴]، [۱۵]، [۱۶]، [۱۷]، [۱۸]، [۱۹].

در کل ایستگاه‌های مورد بررسی در سه حوزه آبی بر اساس نزدیکی منابع آلودگی، شهرها و بنادر، مسیر تردد کشتی‌ها انتخاب شدند (شکل ۱). نمونه‌ها با سه تکرار توسط نمونه‌بردار ون وین در سال ۲۰۲۱ نمونه‌برداری شدند (جدول ۱). نمونه رسوبات در زیپ کیف یا ظروف پلاستیکی بسته‌بندی و برچسب زنی شده و تا زمان بررسی در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. نمونه‌های رسوب جمع‌آوری شده به‌وسیله دستگاه (freeze-drier Model: OPR-FDB-5503, Korea) در محیط سرما (۵۰- درجه سانتی‌گراد) خشک‌شده به دو بخش تقسیم شدند. بخشی از رسوبات الک شده و کوچک‌ترین دانه‌بندی (مش ۱۰۶ و ۱۲۵) آنها جداسازی شده در ظروف پلاستیکی برچسب دار در فریزر (۱۰- درجه سانتی‌گراد) برای انجام آنالیزهای مربوطه نگهداری شدند [۴۹] و [۵۰]. بخش دوم برای تعیین مش بندی مورد استفاده قرار گرفت.

در مرحله بعد نمونه‌ها طبق روش زیر مورد استخراج متوالی ۶ مرحله‌ای قرار گرفتند تا از میزان خطر اکولوژیک اطلاعات دقیقی به دست آید [۵۱].

**مرحله اول**، بخش قابل تبادل: حدود ۱۰ گرم از نمونه خشک شده توسط ۸ میلی‌لیتر  $MgCl_2$  (۱ مولار) و  $pH=7$  برای یک ساعت در درجه حرارت اتاق و هم زدن مداوم مورد استخراج قرار می‌گیرد.

**مرحله دوم** اسید- محلول (کربنات‌ها): به رسوب باقیمانده از مرحله یک، ۸ میلی‌لیتر  $NaOAc$  (۱ مولار)،  $pH=7$  برای ۵ ساعت در درجه حرارت اتاق و هم زدن مداوم مورد استخراج قرار می‌گیرد.

**مرحله سوم**، بخش وابسته به عناصر احیا (اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن و منگنز): ادامه هضم با ۲۰ میلی‌لیتر  $NH_2OH.HCl$  (۰,۰۰۴ مولار در ۲۵٪  $v/v$ )  $HOAC$  در ۶ ساعت در  $3 \pm 96^\circ C$  و هم زدن شدید مورد استخراج قرار می‌گیرند. مرحله سوم به دلیل داشتن سطوح زیاد از اهمیت خاص خود برخوردار است [۵۲]. اکسیدهای آهن و منگنز روی سطوح ذرات می‌توانند محل جذب مناسبی برای فلزات ایجاد کنند؛ با این حال فلزات تحت شرایط احیا ممکن است محلول و قابل دسترس شوند [۵۳].

**مرحله چهارم**، بخش وابسته به مواد قابل اکسید (پیوند گوگردی): ۳ میلی‌لیتر محلول ۰,۰۲ مولار اسید نیتریک و ۵ میلی‌لیتر آب اکسیژنه ۳۰٪ با  $pH=2$  و در ۲ ساعت در تحت  $3 \pm 85^\circ C$  و هم زدن شدید برای هضم بکار رفت در ادامه ۳ میلی‌لیتر آب اکسیژنه ۳۰٪ اضافه می‌شود. پس از ۳ ساعت به محلول خنک شده ۵ میلی‌لیتر محلول ۳ مولار  $NH_4OAc$  در محلول ۲۰٪ حجمی/حجمی اسید نیتریک برای نیم ساعت در رج حرارت اتاق و هم زدن شدید مورد هضم قرار می‌گیرد. این مرحله (بخش آلی) نقش مهمی در نگهداری فلزات در رسوبات بازی می‌کند [۵۴] که دلیل آن وابستگی شدید فلزات به مواد هوموسی است که فلزات با آنها کمپلکس‌های پیچیده‌ای تشکیل می‌دهند.

مانند نیکل صحه گذاردند. مطالعات فوق نشان می‌دهد که غلظت نیکل در رسوبات خلیج فارس و دریای عمان در غالب موارد بیش از حد آستانه است. هر چند تعیین مقدار کل فلزات رسوب می‌تواند به عنوان معیاری جهت ارزیابی آلودگی منطقه مورد استفاده قرار گیرد؛ ولی این روش به تنهایی نمی‌تواند پتانسیل تحرک پذیری، میزان سمیت و دسترس پذیری ترکیبات مختلف یک فلز را در رسوب نشان دهد. در این خصوص مطالعات متعددی به بررسی میزان دسترسی زیستی فلزات مختلف در رسوبات بستر پرداخته اند. در مطالعه ای آبیسیه و همکاران [۴۵] ترکیبات مختلف فلزات آهن، مس و سرب از رسوبات خور موسی را استخراج نمودند. آنها ترکیبات شیمیایی از قسمت قابل تبادل (Exchangeable)، پیوند با کربنات‌ها (Bound to Carbonates)، پیوند با اکسیدهای فلزی احیا شونده (Reducible metal oxide)، پیوند با مواد آلی و سولفیدی (Bound to Organic Matter and sulfides) و باقیمانده (Residual) را به‌طور مجزا بررسی کردند. نتایج نشان داد که قسمت اعظم فلزات، در بخش اکسیدهای فلزی قابل احیا و در بخش باقیمانده، جای دارند. Nowrouzi و همکاران [۵] استخراج متوالی  $Ni, Pb$  و  $Cd$  در رسوبات سطحی جنگل‌های حرا در جزیره‌ی قشم و بندر خمیر را مطالعه نمودند. نتایج نشان داد که بیش از ۵۱٪ ترکیبات فلزی در بخش باقیمانده قرار دارند که ثابت می‌کند ترکیبات فلزی با استحکام بالایی به رسوب متصل شده‌اند و پایدار هستند. Moore و همکاران [۴۶] غلظت فلزات سنگین در رسوبات سطحی خلیج گواتر را بررسی کردند. نتایج نشان داد که آلودگی منطقه نسبت به فلزات سرب، مس و روی نسبتاً بالا است. همچنین اکسیدهای فلزی آهن و منگنز موجود در رسوبات نقش مهمی در تجمع و کمپلکس کردن ترکیبات مختلف سرب، مس و روی داشتند. در پژوهشی Shirneshan و همکاران [۴۷]، به بررسی  $V, Cu, Ni, Zn, Pb, Cd, Cr$  در رسوبات و آب نه ایستگاه ساحلی واقع در غرب بندرعباس پرداختند. یافته‌ها نشان داده است که در تحت شرایط محیطی بخشی از فلزات سنگین  $Ni, Cu$  و  $Pb$  از رسوب به آب رها شدند و نیکل به عنوان فلز اولویت خطر در منطقه مرکز و شمال شرق شناسایی شد. سلیمانی راد و همکاران در سال ۱۳۹۷ [۴۸] در مطالعه ای غلظت مس، سرب، نیکل، کادمیوم و آهن در رسوبات ۸ ایستگاه در نیمه شمالی جزیره قشم را بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که پس از انجام استخراج متوالی قسمت اعظم فلزات در بخش اکسیدهای فلزی قابل احیا و باقیمانده قرار داشتند.

## روش‌شناسی

با توجه به اثبات حضور فلز سمی نیکل در غلظت‌های بیش از حد آستانه در رسوبات خلیج فارس و دریای عمان و آلوده‌تر بودن مناطق ساحلی نسبت به مناطق فرا ساحل، در این پژوهش با تکیه بر داده‌های نیکل کل موجود در رسوبات ۷۶ ایستگاه خلیج فارس، تنگه هرمز و دریای عمان که قبلاً نیکل کل آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته (شکل ۱)، ۵ ایستگاه در مناطق کم عمق تر عسلویه، تنگه هرمز و جاسک که دارای بالاترین غلظت‌های نیکل بودند، انتخاب شدند و مورد استخراج متوالی شش مرحله‌ای قرار گرفتند تا میزان دسترس پذیری و خطر زیستی برای کفزیان تعیین شود.

قرار دادن چکینگ استاندارد در بین نمونه‌ها در حین تزیق به دستگاه، تهیه سه نمونه مستقل از هر ایستگاه و استفاده از ماده رفرنس IAEA 433 برای تعیین دقت و صحت آنالیز بود. آنالیز مواد آلی در دمای ۴۵۰°C آون به مدت ۶ ساعت به روش loss of ignition صورت گرفت [۵۵] [۵۶] [۵۷].

در این مطالعه به منظور تعیین منشأ آلودگی و ارزیابی خطر اکولوژیک از شاخص‌های فاکتور آلودگی (Contamination factor, CF) و فاکتور غنی‌شدگی (Enrichment factor, EF)، استفاده شد. فاکتور فنی شدگی از رابطه ۱ محاسبه شد.

$$EF = (C_M/C_s)_x / (C_M/C_s)_c \quad \text{رابطه ۱}$$

$(C_M/C_s)_x$  غلظت نیکل به غلظت آهن در نمونه مورد بررسی و  $(C_M/C_s)_c$  غلظت نیکل به غلظت آهن در پوسته زمین [۵۸]. وقتی  $0.5 \leq EF \leq 1.5$  منشأ آلودگی طبیعی و زمانی که  $EF > 0.5$  باشد نشان دهنده آن است که بخشی از آلودگی موجود در رسوب از منبعی به‌جز منابع طبیعی نشأت گرفته است [۵۹].

فاکتور غلظت CF از رابطه ۲ محاسبه شد. CF به چهار دسته تقسیم‌بندی می‌شود: هرگاه  $CF < 1$  تجمع آلودگی منطقی است، هرگاه  $1 \leq CF < 3$  آلودگی رسوب متوسط و اگر  $3 \leq CF < 6$  میزان آلودگی قابل توجه و  $CF > 6$  آلودگی زیاد می‌باشد [۶۰] (Pekey, et al. 2004).

$$CF_{\text{metal}} = C_{\text{metal}} / C_{\text{background}} \quad \text{رابطه ۲}$$

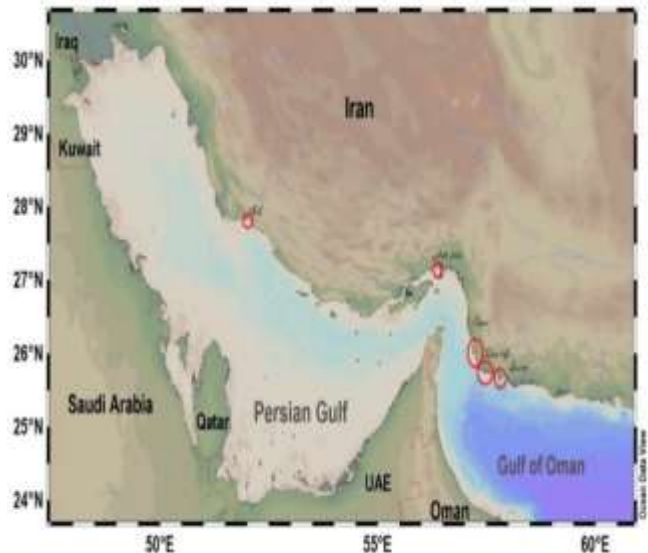
### یافته‌ها و نتایج

شکل ۲ دیدگاهی از میزان نیکل کل در سه منطقه خلیج فارس و دریای عمان با متوسط ۵۹/۸ mg/Kg که قبلاً مورد بررسی قرار گرفته بود را نشان می‌دهد (داده‌های فوق در بخش داده‌های پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی در دسترس است). غلظت نیکل کل در تمام ایستگاه‌ها، بخصوص در ۵ ایستگاه مورد پایش در این تحقیق، بسیار بیش از حد آستانه (۱۵/۹) Threshold Effect Level, TEL: (mg/Kg) و غلظتی که احتمالاً آثار بالینی مشاهده می‌شود (Probable Effect Level, PEL: mg/Kg ۱۳۰) بود (جدول ۲).

جدول ۲ غلظت نیکل، آهن، مواد آلی و دانه بندی رسوبات در ۵ ایستگاه مورد پایش در این مطالعه را نشان می‌دهد. غلظت نیکل در ۵ ایستگاه مورد بررسی (۹۶-۱۱۳ mg/Kg، شکل ۳ و جدول ۲) از جمله بالاترین غلظت‌های نیکل در سه پیکره آبی مورد مطالعه بود. عمق ایستگاه‌های نمونه برداری بین ۱۱ تا ۵۸ متر و مواد آلی بین ۵ تا ۹/۴٪ اندازه‌گیری شدند. با توجه به اینکه میزان سیلت رسوبات فوق بین ۷۸/۶ تا ۹۶/۴٪ بود، لذا بافت رسوبات ایستگاه‌های مورد بررسی سیلتی تعیین شد. غلظت آهن رسوبات مورد پژوهش، بین

جدول ۱: موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد پایش و اعماق متناظر.

طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	موقعیت ایستگاه	کل عمق [m]	ایستگاه
۵۱,۲۱۴۴۱	۲۸,۱۶۵۴۴	گناوه	۱۲	T۳S۱
۵۶,۳۷۳۱۳	۲۷,۰۸۹۰۷	تنگه هرمز	۱۳	T۷S۱
۵۷,۲۸۲۵۰	۲۵,۷۸۲۰۵۶	کوه مبارک	۵۹	T۸S۱
۵۷,۵۴۸۲۵۲	۲۵,۵۹۴۵۸۵	جاسک	۵۳	T۹S۱
۵۷,۴۶۹۱۸۳	۲۵,۷۰۲۱۵۰		۲۴	DOE۸



شکل ۱: منطقه مورد پایش

**مرحله ۵:** رسوب باقیمانده از مرحله ۴ را با ۵ میلی‌لیتر  $\text{HNO}_3$  غلیظ ادغام و در طی ۱ ساعت پس از خشک شدن، مجدداً به رسوبات فوق همان اسید را افزوده و نهایتاً حجم محلول را با آب مقطر به ۵۰ میلی‌لیتر می‌رسانیم. (این مرحله به مراحل پروتکل آنالیز افزوده شد).

**مرحله ۶:** بخش پایدار با باقیمانده رسوب باقیمانده از مرحله ۵ را با مخلوط  $\text{HF:HNO}_3:\text{HClO}_4$  ۷:۳:۱ ادغام و در طی ۱ ساعت پس از خشک شدن، مجدداً به رسوبات فوق همان مخلوط اسیدی را افزوده و سپس ۲ میلی‌لیتر محلول غلیظ اسیدکلریدریک افزوده و پس از خشک شدن ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۵۰٪ می‌افزاییم و نهایتاً حجم محلول را با آب مقطر به ۵۰ میلی‌لیتر می‌رسانیم.

نمونه‌های استخراج شده توسط دستگاه جذب اتمی (کوره SpectraAa 600) با حد تشخیص ۳ ppb و راندمان ۹۷٪ مورد آنالیز قرار گرفتند [۵۱]. کنترل کیفیت شامل سه بار آنالیز نمونه‌ها، گنجاندن بلنک در هر بیج کاری،

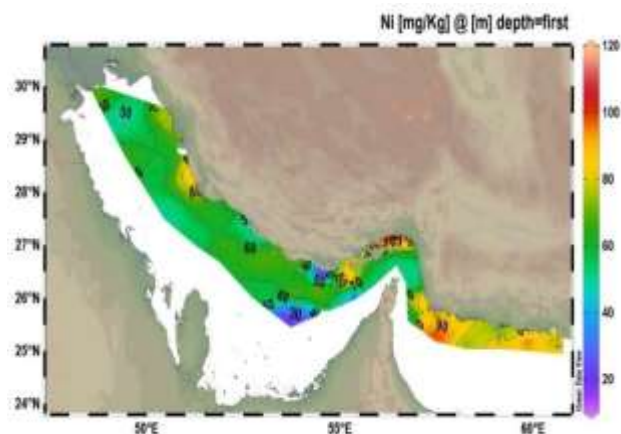
شکل ۳: توزیع نیکل در ایستگاه‌های مورد بررسی

غنی‌شدگی نیکل در ایستگاه‌های مورد بررسی بیش از ۱/۵ بود (جدول ۲) که نشان دهنده آن است که تا حدودی فعالیت‌های انسانی این مناطق را تحت تأثیر قرار داده است. شاخص فاکتور آلودگی (CF) نیکل در ایستگاه‌های مورد بررسی بین ۱/۳ تا ۱/۷ متغیر بود که در محدوده‌های پایین آلودگی رسوب متوسط قرار دارند.

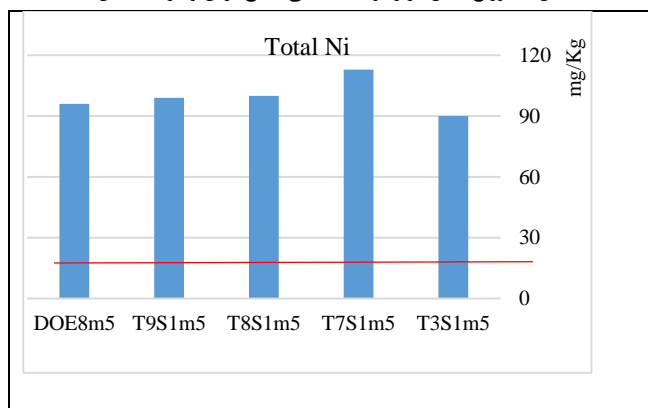
نتایج نشان داد که بخش قابل دسترس فلزات (استخراج مرحله ۱ و ۲) که از اهمیت زیادی برخوردار هستند [۵۴]، نسبت کمی از کل فلزات را به خود اختصاص می‌دهد، لذا دسترسی زیستی در این رسوبات ضعیف است. به عبارتی هر چند غلظت نیکل در رسوبات مورد بررسی از حد آستانه بالاتر بود، ولی به دلیل پایین بودن میزان دسترسی زیستی، آلودگی نیکل خطر جدی برای کفزیان محسوب نمی‌شود [۶۱].

میزان اتصال پایدار فلزات به شبکه مواد معدنی می‌تواند به‌عنوان شناساگر در تشخیص میزان آلودگی از منابع غیر طبیعی یا انسان ساخت باشد. نتایج نشان داد که میزان فلزات این بخش (مرحله سوم) نسبت بسیار کوچکی از کل بخش‌های انسان ساخت بود. نتایج نشان داد که غلظت نیکل در مراحل پنجم بخش قابل توجه آن را تشکیل می‌دهد. در مطالعه‌ای که توسط Gu [۶۲] برای استخراج متوالی Zn, Cu, Ni, Cr, Pb, Cd, Mn در رسوبات ساحلی دریایچه ژلین، چین انجام شد به‌طور مشابهی نتیجه گرفته شد که مقدار فلزات در بخش باقیمانده از بقیه بخش‌های استخراج شده بالاتر بود.

۱,۹۶ تا ۳,۴۳٪ اندازه‌گیری شد که کمتر از میزان آهن در پوسته زمین (۰.۴۷٪) بود.



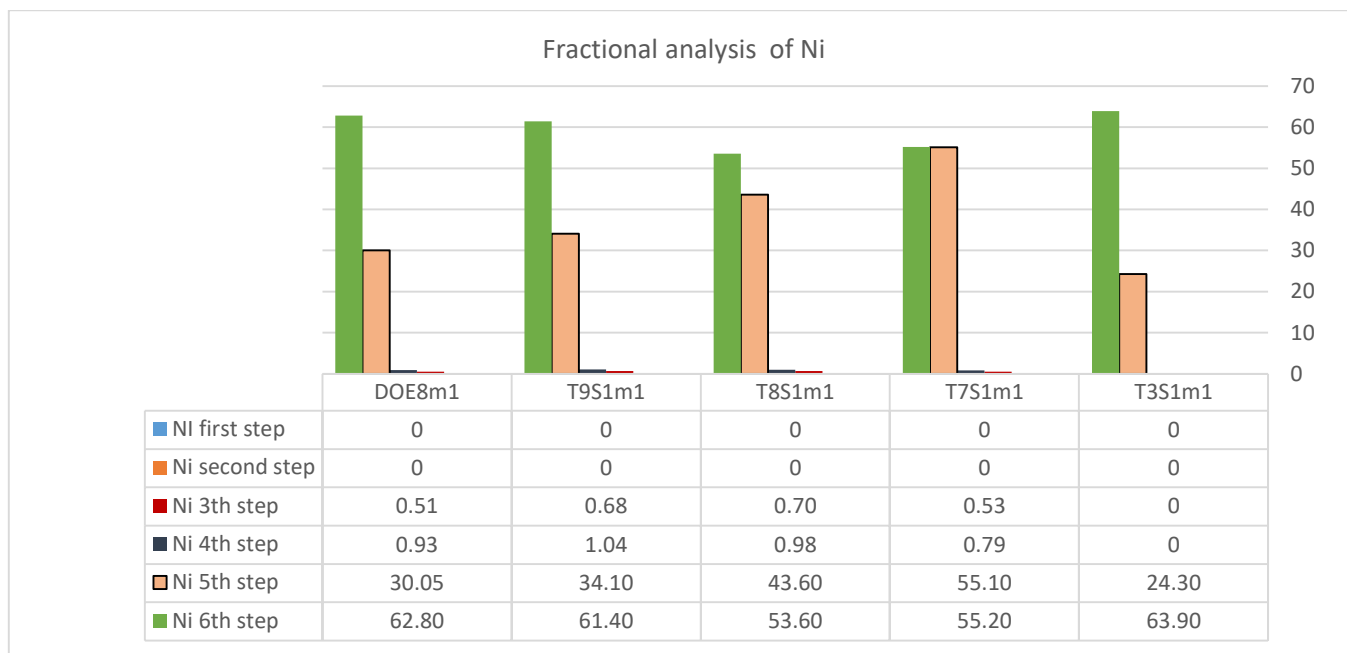
شکل ۲: توزیع نیکل در رسوبات سطحی خلیج فارس و دریای عمان.



جدول ۲: غلظت نیکل (mg/Kg)، مواد آلی (٪) و دانه بندی (٪) رسوبات ایستگاه‌های مورد آنالیز

ایستگاه‌ها	موقعیت ایستگاه	عمق	مواد آلی	رس	سیلت	شن	نیکل	آهن	EF	CF
T۳S۱	گناوه	۱۴/۴	۹/۴	۷/۸	۹۲/۲	۰	۹۰	۱/۹۶	۳/۲	۱/۳
T۷S۱	تنگه هرمز	۱۱	۷/۲	۳/۶	۹۶/۴	۰	۱۱۳	۲/۷۳	۲/۹	۱/۷
T۸S۱	کوه مبارک	۵۸	۵/۰	۳/۳	۷۸/۶	۱۸/۱	۱۰۰	۳/۱۸	۲/۲	۱/۵
T۹S۱	جاسک	۵۲	۶/۰	۱/۵	۹۴/۷	۳/۸	۹۹	۳/۴۳	۲/۰	۱/۵
DOE۸		۲۵	۶/۵	۳/۲	۹۶/۱	۰/۷	۹۶	۲/۷۳	۲/۴	۱/۴
پوسته زمین							۶۸	۴/۷		
TEL	upper continental crust** - مقادیر UCC با استفاده از میانگین نمونه‌های دیامکتیت (Neoproterozoic and Paleozoic) نیوپروتروزویک و پالئوزویک LEL: low effect level; SEL: Severe effect level محاسبه شده اند						۱۵/۹	۲٪ LEL: ۴٪ SEL:		
UCC**							۲۰			
UCC RG							۴۷/۳			
EC-PEL							۱۳۰			

نتایج استخراج متوالی برای دسترسی زیستی نیکل در شکل ۴ و جدول پیوست آن آورده شده است.



شکل ۴: غلظت نیکل (mg/Kg) در هر یک از ۶ مرحله استخراج متوالی در نمونه های انتخابی

جدول ۳: مقایسه میزان نسبت جمع ۴ و ۵ محل استخراج نیکل (mg/Kg) و مقایسه آنها با غلظت آستانه نیکل (۱۵,۹ mg/Kg)

	TNi	۴ مرحله استخراج	۵ مرحله استخراج	درصد جمع ۴ مرحله استخراج به TNi	درصد جمع ۵ مرحله استخراج به TNi	TOM %
T۳S۱	۹۰	۰	۲۴,۳	۰	۲۷	۹/۴
T۷S۱	۱۱۳	۱/۳	۵۶,۴	۱/۲	۴۹,۹	۷/۲
T۸S۱	۱۰۰	۱/۷	۴۵/۳	۱/۷	۴۵/۳	۵
T۹S۱	۹۹	۱/۷	۳۵,۸	۱/۷	۳۷/۲	۶
DOE۸	۹۶	۱/۴	۳۱,۵	۱/۵	۳۲,۸	۶/۵

در شکل‌های ۵ الف و ۵ ب رابطه بین درصد جمع ۴ و ۵ مرحله اول استخراج به غلظت نیکل کل (جدول ۳)، نسب به مشخصه‌های رسوب

### نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که غلظت نیکل در رسوبات ساحلی مورد بررسی بیش از حد آستانه این فلز بود. همچنین فعالیت‌های انسانی بر میزان نیکل تجمع یافته در رسوبات مورد بررسی تأثیر گذار بوده است. نتایج استخراج متوالی مؤید آن است که دو مرحله اول یعنی بخش قابل تبادل و بخش مرتبط با کربنات که از قابلیت دسترسی سهل‌تر برای آبریان برخوردار است؛ در حد کمتر از حد تشخیص دستگاه قرار داشته و مقادیر غلظت آنها قابل اغماض است. میزان نیکل در مرحله سوم استخراج (بخش پیوند خورده با اکسید یا هیدراکسید‌های آهن و منگنز) بسیار کمتر از حد آستانه (۱۵,۹ mg/Kg) بود و در صورت بروز شرایط احیا، آبریان از نظر آلودگی نیکل با خطر جدی مواجه نمی‌شوند.

در جدول ۳ جمع غلظت‌های نیکل استخراج شده در ۴ و ۵ مرحله اول و نیز نسبت مجموع ۴ مرحله اول به کل نیکل موجود در رسوبات محاسبه شد. بر اساس نتایج حاصله، هر چند میزان نیکل استخراج شده در مراحل پایدار (مراحل پنجم و ششم) بسیار بیش از حد آستانه بودند؛ ولی جمع غلظت نیکل در ۴ مرحله اول استخراج کمتر از حد آستانه بود. کمترین درصد مجموع ۴ مرحله به نیکل کل متعلق به ایستگاه T3S1 با میزان قابل اغماض (صفر) و بیشترین (۱/۷٪) متعلق به ایستگاه‌های T۸S۱ و T۹S۱ واقع در تنگه هرمز بودند.

از نتایج حاصله می‌توان نتیجه گرفت که هر چند آلودگی نیکل در رسوبات ساحلی عسلویه، تنگه هرمز و جاسک بیش از حد آستانه است؛ ولی به دلیل پایین بودن بخش قابل تبادل، آلودگی موجود در حال حاضر برای کفزیان خطر جدی محسوب نمی‌شود.

در نگارش این مقاله تمرکز نویسندگان اول (افشین عالی) بیشتر بر یافتن روش‌ها، و تهیه گزارش بوده است. تمرکز نویسندگان دوم بر نظارت بر انطباق مقاله با فرمت مجله، تمرکز اصلی نویسندگان سوم (همیرا آگاه) که نویسندگان مسئول مقاله است، بر بخش تجزیه و تحلیل نتایج بوده است. تمرکز نویسندگان چهارم تهیه مطالب منطبق با مقاله بوده و نویسندگان پنجم ضمن تهیه و آماده سازی نمونه‌ها، جمع‌آوری مقالات همسو با موضوع تحقیق را بر عهده داشته است.

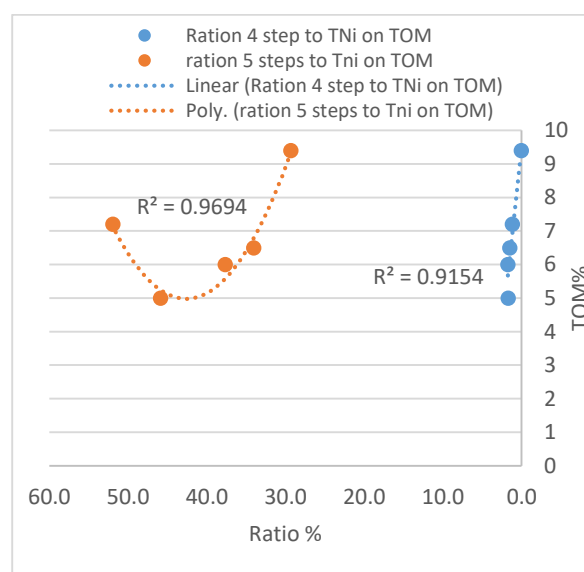
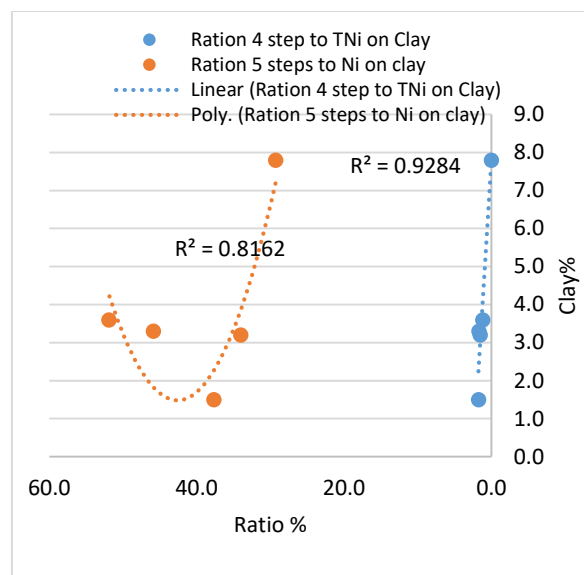
### تشکر و قدردانی:

داده‌های این مقاله مستخرج از پروژه شماره ۹۳۱۰/۱۰۲۰۵۷۱ است که با بودجه تحقیقاتی مشترک پژوهشگاه ملی اقیانوس شناسی و علوم جوی (INIOAS) و صندوق محیط زیست (INEF) تهیه شده است. بدین وسیله از INIOAS و INEF تشکر و قدردانی می‌شود.

### منابع

- [۱] بهادر م، مرادی ع، ناجی ا، دهقانی م. ۱۳۹۳. تأثیر فعالیتهای انسانی بر غلظت فلزات سنگین (Fe و Pb, Zn, Ni) در رسوبات سطحی مصب رودخانه شور، شرق بندرعباس. مجله بوم شناسی آریان. ۵ (۲): ۳۴-۴۴.
- [۲] یوسفی م، آگاه ه، تقوی ل. ۱۳۹۹. بررسی غلظت فلزات سنگین در رسوبات منطقه چابهار حدفاصل پزم تا رمین فصلنامه علمی دریا فنون شماره ۲-۸۵-۹۶. [http://ijmt.iranjournals.ir/article\\_39878\\_a482cea2cde9d33ed5c71205445dc6e5.pdf](http://ijmt.iranjournals.ir/article_39878_a482cea2cde9d33ed5c71205445dc6e5.pdf)
- [3]. Genchi G., Carocci A., Lauria G., Sinicropi M. S., Catalano A. 2020. Nickel: Human Health and Environmental Toxicology. Int J Environ Res Public Health. 2020 Feb; 17(3): 679.
- [4]. Yuan C.G., Shi J., He B., Liu J., Liang L., Jiang G. 2004. Speciation of heavy metals in marine sediments from the East China Sea by ICP-MS with sequential extraction. Environment International 30 769– 783.
- [5]. Nowrouzi M., Pourkhabbaz A. Rezaei M.R. 2014. Sequential extraction analysis of metals in sediments from the Hara Biosphere Reserve of Southern Iran. Chemical Speciation and Bioavailability, 26(4).
- [6]. Tessier A, Campbell PGC, Bisson M. 1979. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. Analytical Chemistry 51:844–51.

(داده بندی و مواد آلی) نمایش داده شده است. نتایج نشان داد که میزان دسترسی زیستی نیکل برای کفزیان با درصد مواد آلی و رس موجود در رسوبات رابطه معنی داری مثبت دارد ( $R^2:0.81-0.97$ ).



شکل ۵: رابطه بین تجمیع غلظت نیکل استخراج شده در ۴ و ۵ مرحله اول با مشخصه های دانه بندی و مواد آلی موجود در رسوب.

### تعارض منافع

این مقاله بر اساس «هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.»

### مشارکت نویسندگان



- [19]. Tu Q, Shan X, Ni Z. 1994. Evaluation of a sequential extraction procedure for the fractionation of amorphous iron and manganese oxides and organic matter in soils. *Science of the Total Environment* 1994; 151:159–65.
- [20]. Sheppard C, Al-Husiani M, Al-Jamali F, Al-Yamani F, Baldwin R, Bishop J. 2010. The Gulf: a young sea in decline. *Marine Pollution Bulletin* 60: 13–38.
- [21]. De Mora, S., Fowler, S.W., Wyse, E., 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.
- [22]. Agah H., Leermakers M., Elskens M., Fatemi S M. R., Owfi F. Baeyens W. 2009. Mercury and methyl mercury Speciation in the Persian Gulf sediments; *The Journal of Environmental Monitoring and Assessment*. Volume 157, Issue 1-4, pp 363-373. <http://www.springerlink.com/content/17531677392117kn/>
- [23]. Khansari FE, Ghazi-Khansari M and Abdollahi M. 2005. Heavy metals content of canned tuna fish. *Food Chemistry* 93: 293–296.
- [24]. Agah H, Owfi F, Sharif Fazeli M, Fatemi S. M. R, Savari A. 2010. Determining Mercury and methylmercury in sediments of the northern parts of the Persian Gulf. *The Journal of Iranian Oceanography; The journal of Oceanography*; Vol 1 No 3.7-13.
- [25]. Agah H.; Hashtroudi M. S.; Fatemiv S. R., Baeyens W. 2012. Trace metals and Major elements in the sediments of the Northern Persian Gulf; *Journal of Persian Gulf*. Volume 3, Number 7. 45-58.
- [26]. Agah H, Saleh A, Bastami KD, Fumani NS. 2016. Ecological risk, source and preliminary assessment of metals in the surface sediments of Chabahar Bay, Oman Sea. *Marine pollution*. 15; 107(1):383-8.
- [27]. Dehghan-Madiseh, SA. 2007. Identification of sensitive areas in Mahshahr creeks under the effect of the use of biological and ecological indicators. PhD thesis, Khorramshahr University of Marine Science and Technology. 144 p. (in Persian)
- [28]. Kazemi A, Bakhtiari AR, Kheirabadi N, Barani H, Haidari B. 2012. Distribution patterns of metals contamination in sediments based on type regional development on the intertidal coastal zones of the Persian Gulf, Iran. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 88 (1): 100-103.
- [۲۹]. کوسج، ن؛ جعفریان ح؛ رحمانی ع؛ قلیپور، ح. ۱۳۹۹. بررسی میزان تجمع ریستی فلزات سنگین (سرب، نیکل، روی، آهن و مس) در بافت هضله ماهی
- [7]. Kersten M. and Forstner, U. 1986. Chemical Fractionation of Heavy Metals in Anoxic Estuarine and Coastal Sediments. *Water Science and Technology*, Vol. 18, No. 4-5, 1986, pp. 121-130.
- [8]. Borovec Z, Tolar V, Mraz L. 1993. Distribution of some metals in sediments of the central part of the Labe (Elbe) River, Czech Republic. *Ambio*; 22:200–5.
- [9]. Campanella L, Dorazio D, Petronio BM, Pietrantonio E. 1995. Proposal for a metal speciation study in sediments. *Analytica Chimica Acta*; 309: 387–93.
- [10]. Zdenek B. 1996. Evaluation of the concentrations of trace elements in stream sediments by factor and cluster analysis and the sequential extraction procedure. *Science of the Total Environment* 177:237–50.
- [11]. Gomez Ariza JL, Giraldez I, Sanchez-Rodas D, Moralesm E. 2000. Metal sequential extraction procedure optimized for heavily polluted and iron oxide rich sediments. *Analytica Chimica Acta*; 414:151–64.
- [12]. Salomons W. 1993. Adoption of common schemes for single and sequential extractions of trace metals in soil and sediments. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry* 51:3–4.
- [13]. Fiedler HD, Lopez-Sanchez JF, Rubio R, Rauret G, Quevauviller PH, Ure AM, 1994. Study of the stability of extractable trace metal contents in a river sediment using sequential extraction. *Analyst* 119:1109–14.
- [14]. Ho D, Evans GJ. 1997. Operational speciation of Cadmium, copper, lead and zinc in the NIST standard reference materials 2710 and 2711 (Monatna soil) by the BCR sequential extraction procedure and flame atomic absorption spectrometry. *Analytical Communications* 34:363–4.
- [15]. Lopez-Sanchez J-F, Sahuquillo A, Fiedler HD, Rubio R, Rauret G, Muntau H, 1998. CRM 601, A stable material for its extractable content of heavy metals. *Analyst* 123:1675 –7.
- [16]. Usero J, Gamero M, Morillo J, Gracia I. 1998. Comparative study of three sequential extraction procedures for metals in marine sediments. *Environment International* 24:478–96.
- [17]. Agnieszka S, Wieslaw Z. 2002. Application of sequential extraction and the ICPAES method for study of the partitioning of metals in fly ashes. *Microchemical Journal*; 72:9–16.
- [18]. Ramos L, Hernandez LM, Gonzalez MJ. 1994. Sequential fraction of copper, lead, cadmium and zinc in soils from or near Donana National Park. *Journal of Environmental Quality* 23:50-7.

- [38]. Bibak M, Sattari M, Agharokh A, Tahmasebi S, Imanpour Namin J. 2018. Assessing some heavy metals pollution in sediments of the northern Persian Gulf (Bushehr province). *Environmental Health Engineering and Management Journal*; 5(3): 175–179. doi: 10.15171/EHEM.2018.24.
- [39]. Ranjbar Jafarabadi A.; Riyahi Bakhtiyari A.; Shadmehri Toosi A.; Jadot C. 2017. Spatial distribution, ecological and health risk assessment of heavy metals in marine superficial sediments and coastal seawaters of fringing coral reefs of the Persian Gulf, Iran. 185:1090-1111. doi: 10.1016/chemosphere.
- [40]. Pejman A., Nabi Bidhendi G., Ardestani M., Saeedi M., Baghvand A. 2017. Fractionation of heavy metals in sediments and assessment of their availability risk: A case study in the northwestern of Persian Gulf. *Marine Pollution Bulletin*. 114(2):881-887. doi: 10.1016/j.marpolbul.2016.11.021.
- [41]. Arfaeinia H., Dobaradaran S., Moradi M., Pasalari H., AboueeMehrizi E., Taghizadeh F., Esmaili A., Ansarizadeh M. 2019. The effect of land use configurations on concentration, spatial distribution, and ecological risk of heavy metals in coastal sediments of northern part along the Persian Gulf. *Science of the Total Environment* 653 783–791.
- [42]. Delshab H., Farshchi P., Keshavarzi B. 2016. Geochemical distribution, fractionation and contamination assessment of heavy metals in marine sediments of the Asaluyeh port, Persian Gulf. *Marine Pollution Bulletin* MPB-08186; Pages 11.
- [43]. Rezaei M., Kafaei R., Mahmoodi M., Mohammad Sanati A. Ranjbar Vakilabadi D., Arfaeinia H., Dobaradaran S., George A. Sorial, Ramavandi B., Camilla Boffito D. 2021. Heavy metals concentration in mangrove tissues and associated sediments and seawater from the north coast of Persian Gulf, Iran: Ecological and health risk assessment. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management* 15, 100456.
- [44]. Agah. H. 2021. Ecological risk assessment of heavy metals in sediment, fish, and human hair from Chabahar Bay, Makoran, Iran. *Marine Pollution Bulletin* 169 1 112345. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112345>.
- [۴۵] آبسیه س، غانمی ک، نیکپور ی. ۱۳۹۸. بررسی توزیع ترکیبات مس، آهن و سرب در رسوبات سطحی خور موسی به روش استخراج متوالی اقیانوس شناسی / سال دهم/ شماره ۴۰ / زمستان ۱۳۹۸/ ۱۲۳-۱۳۴.
- [46]. Moore, F., Nematollahi, M. J., & Keshavarzi, B., 2014. Heavy metals fractionation in surface sediments of Gowatr bay-Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(1): 4117.
- [47]. Shirneshan, G. Bakhtiari, A. Riyahi, Seyfabadi S. J. Mortazavi S. 2013. Environmental geochemistry of Cu, Zn and شورت sillago sihama در استان هرمزگان. نشریه پژوهشهای ماهی شناسی کاربردی. ۸ (۲) ۸۰-۹۵.
- [۳۰]. غلامدخت بندری م، رضائی پ. ۱۳۹۴. مطالعه آلودگی فلزات سنگین رسوبات ساحلی جزیره هرمز و منشا آن ها. نشریه علمی - پژوهشی اقیانوس شناسی؛ ۶ (۲۲) ۹۷-۱۰۶.
- [۳۱]. واعظی، ع، کرباسی، ع، فخرایی، م، ولی خانی سامانی، ع، حیدری، م. ۱۳۹۳. بررسی غلظت و منشأ آلاینده‌های فلزی در رسوبات خور موسی، خلیج فارس. محیط شناسی، ۴۰ (۲)، ۳۴۵-۳۶۰.
- [۳۲]. قاسمی، ص، زارعی، غ. ۱۴۰۰. ارزیابی ریسک اکولوژیکی فلزات سنگین در رسوبات ساحلی شهر بندرعباس. مطالعات علوم محیط زیست، ۶ (۳)، ۳۸۷۸-۳۸۸۹.
- [۳۳]. حق شناس آ. حاتمی منش م، میرزائی م، میرسنجری م.م، حسین خضری پ. ۱۳۹۶. سنجش و ارزیابی خطر اکولوژیکی فلزات سنگین در رسوبات سطحی منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس. طب جنوب؛ ۲۰ (۵): ۴۶۹-۴۴۸.
- [34]. Allami, H., Afzali, A., & Mirzaei, R. (2020). Determination and investigation of heavy metal concentrations in sediments of the Persian Gulf coasts and evaluation of their potential environmental risk. *Analytical Methods in Environmental Chemistry Journal*, 3(04), 60-71. <http://journal.amecj.com/index.php/AMECJ-01/article/view/122/265>.
- [35]. Karbassi A.R., Nabi-Bidhendi Gh. R., Bayati I., 2005. Environmental geochemistry of heavy metals in a sediment core off Bushehr, Persian Gulf *J. Environ. Health. Sci. Eng.*, 2(4):255-260.
- [36]. Seifi M., Mahvi A. H. Hashemi S. Y., Arfaeinia H., Pasalari H., Zarei A., Changani F. 2019. Spatial distribution, enrichment and geo-accumulation of heavy metals in surface sediments near urban and industrial areas in the Persian Gulf. *Desalination and Water Treatment*. www.deswater.com doi: 10.5004/dwt.2019.24238.
- [37]. Abdolapur Monikh F., Maryamabadi A., Savari A., Ghanemi K. 2013. Heavy metals' concentration in sediment, shrimp and two fish species from the northwest Persian Gulf. *Toxicol Ind Health published online* DOI: 10.1177/0748233713475498.

- [55] Heiri O., Lotter A., Lemcke G. (2001). Loss on Ignition as a Method for Estimating Organic and Carbonate Content in Sediments: Reproducibility and Comparability of Results. *Journal of Paleolimnology* 25(1). DOI:10.1023/A: 1008119611481
- [56] Tung JWT, Tanner PA. (2003). Instrumental determination of organic carbon in marine sediments. *Mar Chem* 80:161–170. Shumiline E, Grajeda-Munoz M, Silverberg N, Sapozhnikov D. 2002. Observations on trace element hypersaline geochemistry in surficial deposits of evaporation ponds of Exportadora de Sal, Guerrero Negro, Baja California Sur, México. *Mar Chem* 79: 133-153.
- [57]. Shumiline E, Grajeda-Munoz M, Silverberg N, Sapozhnikov D. 2002. Observations on trace element hypersaline geochemistry in surficial deposits of evaporation ponds of Exportadora de Sal, Guerrero Negro, Baja California Sur, México. *Mar Chem* 79: 133-153.
- [58]. Sutherland RA (2000) Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu. Hawaii. *Environ Geol* 39(6):611–627.
- [59]. Zhang, L.P., Ye, X., Feng, H., Jing, Y.H., Tong, O.Y., Yu, X.T., Liang, R.Y., Gao, C.T., Chen, W.Q., (2007). Heavy metal contamination in western Xiamen Bay sediments and its vicinity, China. *Marine Pollution Bulletin* 54, 974–982.
- [60]. Pekey H., Karakas D., Ayberk S., Tolun L., Bakoglu M. (2004). Ecological risk assessment using trace element from surface sediments of Izmit Bay (Northeastern Marmara Sea) Turkey. *Marine Pollution Bulletin* 48, 946 - 953.
- [61]. Abu-Kukati, Y. (2001) Heavy Metal Distribution and Speciation in Sediments from Ziqlab Dam-Jordan. *Geological Engineering*, 25, 33-40.
- [62]. Gu, Y.-G., 2018. Heavy metal fractionation and ecological risk implications in the intertidal surface sediments of Zhelin Bay, South China. *Marine Pollution Bulletin*, 129(2): 905-912.
- Pb in sediment from Qeshm Island-Persian Gulf, Iran: a comparison between the northern and southern coast and ecological risk. *Geochemistry International* volume 51, pages670–676.
- [۴۸]. سلیمانی راد آ.، طاهری زاده م.، ر.، صفایی م.، امراللهی بیوکی ن. ۱۳۹۷. بررسی توزیع ترکیبات، دسترسی زیستی و ارزیابی ریسک اکولوژیکی فلزات سنگین در رسوبات ساحلی جزیره قشم (هرمزگان). نشریه علمی بوم‌شناسی آبزبان، دوره ۱۱، شماره ۴ - (بهار ۱۴۰۱).
- [49]. Rajendran, K.; Sampathkumar, P.; Govindasamy C., Ganesan, M. Kannan, R. Kannan L. 1993. Level of trace metals (Mn, Fe, Cu and Zn) in some Indian seaweeds. *Mar. Pollut. Bull.*, 5 (1993), pp. 283-285.
- [50]. Ganesan M. , Kannan R. , Rajendran K. , Govindasamy C. , Sampathkumar P. , Kannan L. 1991. Trace metal distribution in seaweeds of the Gulf of Mannar, Bay of Bengal. *Mar. Pollut. Bull.*, 22 (1991), pp. 205-207
- [51]. Sun F., Xie M., Wu C. 2015. Quick sequential procedure for speciation analysis of heavy metals in soils by supersonic extraction. *Chemical Speciation & Bioavailability*. 17(4) 136-146. ISSN: 0954-2299 (Print) 2047-6523 (Online) Journal homepage: <https://www.tandfonline.com/loi/tcsb20>
- [52]. Wang S., Jia Y., Wang S., Wang X., Wang H., Zhao Z., Liu B. 2010. Fraction of heavy metals in shallow marine sediments from Jinzhou Bay, China. *Journal of Environmental sciences* 22(1) 23-31.
- [53]. Krupadam R.J., Smita P., Wate S. R. 2006. Geochemical fractionation of heavy metals in sediments of the Tapi estuary. *Geochemical Journal* 40(5):513-522. DOI:10.2343/geochemj.40.513
- [54]. Yap, C.K. Ismail A. Tan, S.G. Omar H. 2002. Correlations between speciation of Cd, Cu, Pb and Zn in sediment and their concentrations in total soft tissue of green-lipped mussel *Perna viridis* from the west coast of Peninsular Malaysia. *Environment International* Volume 28, Issues 1–2, Pages 117-126.

## AUTHOR(S) BIOSKETCHES

**Aali, A** PhD student Islamic Azad University, Damavand

✉ afshinaali@yahoo.com

 0009-0000-2464-2321

**Ghiasi, S.**, Associate Prof. Islamic Azad University, Damavand Branch

✉ s.ghiasi@iauctb.ac.ir

 0000-0002-3515-0813

**Agah, H.**, - Assistant Prof. Iranian National Institute for Oceanography

✉ aaagah\_hom@yahoo.com

 0000-0002-2369-2383

**Khoramnejadian, SH.**, Assistant Prof. Islamic Azad University, Damavand Branch Iran

✉ khoramnejad@damavanddiau.ac.ir

 0000-0002-9637-9988

**Saleh, A.**, Associate Prof. Iranian National Institute for Oceanography

✉ saleh@inio.ac.ir

 0000-0003-4795-8737

این قسمت توسط نشریه تکمیل می‌گردد:



## HOW TO CITE THIS ARTICLE

 <http://doi.org/10.52547/joc.14.55.5>

 <http://joc.inio.ac.ir/article-1-1772-fa.html>

 <https://orcid.org/0000-0002-2369-2383>

## 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.