

منشایابی عناصر سنگین در رسوبات خور بندر گناوه خلیج فارس

چکیده

مطالعه حاضر باهدف منشایابی عناصر سنگین و تعیین شدت شاخص آلودگی در رسوبات خور گناوه در سال ۱۳۹۴ انجام شد. جهت نمونه‌برداری رسوبات چهار ایستگاه در خور جمع‌آوری شد. نمونه‌برداری با گراب انجام شد و پس از انتقال به آزمایشگاه تجزیه کامل و فرایند تفکیک شیمیایی ۵ مرحله‌ای انجام شد. شاخص شدت آلودگی تعیین و درصد غلظت عناصر در فازهای انسان‌ساخت و طبیعی مشخص شد. نتایج نشان داد که میانگین غلظت عناصر سنگین مس، نیکل، سرب، وانادیوم، روی، منگنز، آهن، کلسیم و آلومینیم به ترتیب ۱۹/۵۰، ۴۲/۲۵، ۱۸/۷۵، ۷۱/۲۵، ۱۴/۵۰، ۱۱/۷۵، ۳/۱۲، ۴/۳۷، ۳/۱۰ میلی‌گرم بر لیتر و میانگین غلظت مواد آلی ۴/۱۰ میلی‌گرم بر لیتر است. برای تشخیص آلودگی در خور گناوه از شاخص I_{poll} استفاده شد. نتایج بررسی عناصر سنگین در منطقه مورد مطالعه نشان‌دهنده عدم آلودگی در رسوبات خور گناوه است. در مقایسه با میانگین عناصر در پوسته زمین و رسوبات جهانی، غلظت به‌دست‌آمده در این مطالعه کمتر از میانگین پوسته کره زمین و رسوبات جهانی بود. منشأ آلودگی‌های انسان‌ساخت و طبیعی، بیشترین درصد در بخش طبیعی بود. در مورد منشایابی عناصر سنگین و تعیین میزان وابستگی آن به شاخص‌های نفتی و زمینی می‌توان گفت از آنجایی که عنصر نیکل که شاخص آلودگی نفتی است و آلومینیم که شاخص منشأ زمینی عنصر است با عنصر مس همبستگی ۰/۹۳ را نشان داد پس این عنصر هم دارای منشأ زمینی و نفتی است، نتایج آنالیز تفکیک شیمیایی ۵ مرحله‌ای عناصر که نشان‌دهنده بیشترین تفکیک در فاز مقاوم بود که نشان‌دهنده ارتباط قوی عناصر با اجزا خاک است و محیطی غیر احیا دارد که تحت هیچ شرایطی امکان شکستن این پیوند در محیط‌زیست وجود ندارد. مگر آنکه در اثر حوادث غیرطبیعی این پیوند شکسته شود.

واژگان کلیدی: شاخص‌های ژئوشیمیایی، تفکیک شیمیایی، خور گناوه، خلیج فارس.

علی قائمی^۱

محبوبه چراغی^{۲*}

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه محیط زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.
۲. استادیار گروه محیط زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

*مسئول مکاتبات:

mah_cheraghi@yahoo.com

کد مقاله: ۴۰۰۴۰۹۲۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۱۸

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد است.

مقدمه

رشد و توسعه فعالیت‌های شهری و صنعتی در طی چند دهه اخیر منجر به آلودگی محیط‌زیست به فلزات سنگین شده است؛ به طوری که یکی از تهدیدهای جدی زیست‌محیطی حال حاضر دنیا، آلودگی محیط‌های آبی به فلزات سنگین است که مطالعات و تحقیقات فراوان انجام شده در این مورد بیانگر اهمیت این موضوع است (Das Sharma, 2019; Tiana et al., 2020). به دلیل حساسیت زیاد بوم‌سازگان‌های آبی به آلاینده‌ها، این زیستگاه‌ها نسبت به دیگر زیستگاه‌ها استعداد بیشتری برای بروز اثرات آلودگی‌ها دارند (نوروزی و همکاران، ۱۴۰۰). غلظت فلزات سنگین در رسوبات به‌طور کلی چندین برابر بدنه‌های آبی است و فلزات سنگین در طی فرآیندهای طبیعی تخریب و تجزیه نمی‌شوند، بنابراین فلزات سنگین می‌توانند در رسوبات ذخیره شده و به مدت طولانی در آن باقی بمانند. به همین دلیل رسوبات سطحی، یکی از مخازن اصلی فلزات سنگین و سایر آلاینده‌ها محسوب می‌شوند (ملوندی و حسن‌زاده، ۱۳۹۸). بررسی توزیع میزان فلزات در رسوبات سطحی محیط‌های آبی آلوده، روش مناسبی در شناسایی و ارزیابی آلودگی است (هاتفی و همکاران، ۱۳۹۵). اندازه‌گیری آلودگی فلزات سنگین در نواحی آبی و بندری یک ابزار مدیریتی مهم برای ارزیابی و سنجش سلامتی این اکوسیستم‌ها است. بررسی توزیع میزان فلزات سنگین در رسوبات سطحی محیط‌های آبی آلوده، روش مناسبی

در شناسایی و ارزیابی آلودگی‌ها در محیط‌های آبی به شمار می‌رود (حق شناس و همکاران، ۱۳۹۶؛ ملوندی و حسن‌زاده، ۱۳۹۸). تجزیه و تحلیل و غلظت فلزات سنگین و توزیع آن در رسوبات ضروری است. توزیع و تجمع فلزات سنگین توسط عوامل پیچیده، مانند ترکیب و ساختار رسوب، اندازه ذرات و شرایط هیدرودینامیکی تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Christophoridis et al., 2009; Qiao et al., 2013). فلزات سنگین در رسوبات ساحلی از هوازگی فیزیکی و شیمیایی سنگ مادر، ترشحات فاضلاب و بارشات جوی سرچشمه می‌گیرد. تجمع فلزات سنگین در رسوبات ساحلی توسط عوامل مختلف مانند خصوصیت ذرات رسوب‌کننده، خواص ترکیبات جذاب‌ها، ویژگی‌های فلز و مواد آلی است (Darvish et al., 2014; Bastami et al., 2012; Najji and Ismail, 2012; Mason et al., 2006).

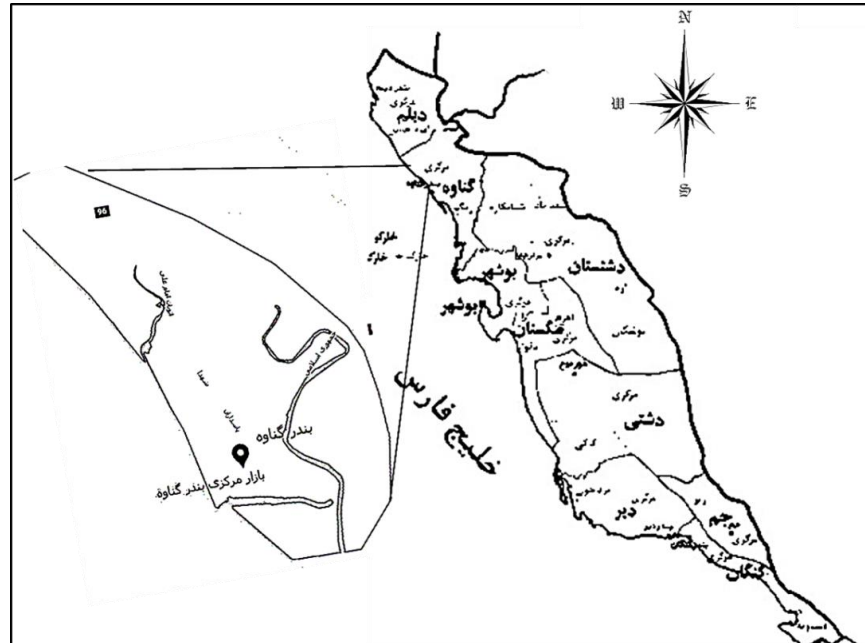
تبعات زیست‌محیطی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات و پیامدهای آن برای محیط‌های آبی و موجودات آبی سبب توجه ویژه به این مطالعات در ایران و جهان شده است (نوروزی و همکاران، ۱۴۰۰؛ چراغلی و چمنی، ۱۳۹۹؛ ولایت زاده و کوشاfer، ۱۳۹۸؛ کاظمی و همکاران، ۱۳۹۸؛ ملوندی و حسن‌زاده، ۱۳۹۸؛ پاینده و ولایت زاده، ۱۳۹۸؛ چمبری و همکاران، ۱۳۹۸؛ Hussein et al., 2020; El-Alfy et al., 2020; Tiana et al., 2020).

غلظت فلزات در رسوبات می‌تواند با غلظت‌های فلزی بالا ثبت‌شده در موجودات زنده پیوند داشته باشد و هم‌چنین فلزات در دسترس زیستی موجود در رسوبات ممکن است بر توزیع و موقعیت اجتماعات کف زی تأثیر داشته باشد پژوهش‌های اخیر تأثیرات این آلودگی‌ها را بر روی جانوران کف زی تأیید کرده است. مکان‌هایی با داشتن رسوبات آلوده همیشه یک خطر حقیقی را برای موجودات زنده در سایر زیستگاه‌ها فراهم می‌کند (نوروزی و همکاران، ۱۴۰۰).

هدف از مطالعه حاضر تعیین غلظت فلزات سنگین در رسوب و بررسی کیفیت محیط‌زیست در خور گناوه است. خور گناوه یکی از مهم‌ترین خورهای موجود در منطقه خلیج فارس است که از نظر اکولوژیک و اقتصادی حائز اهمیت است. خور گناوه از لحاظ تجاری، مسافربری و صیادی از اهمیت زیادی برخوردار است به همین دلیل تردد شناورهای تجاری و مسافربری و صیادی در خور بیش از ظرفیت آن است. مسئله مهم که اهمیت این تحقیق را دوچندان می‌کند سوخت‌گیری ناصحیح و ورود گازوییل به آب بوده علاوه بر آن بحث قاچاق سوخت که به صورت غیرقانونی در شناورها بارگیری و در بیشتر مواقع وارد آب می‌شوند. هم‌چنین ورود فاضلاب‌های خانگی به خور گناوه اهمیت انجام تحقیق را نشان می‌دهد. در مطالعه حاضر با نمونه‌برداری از رسوبات غلظت فلزات سمی اندازه‌گیری و سطح آلاینده‌های آن‌ها با شاخص ژئوشیمیایی تعیین شد و با بررسی همبستگی فلزات و تفکیک شیمیایی آن‌ها سهم منابع طبیعی و انسان‌ساخت تعیین شد.

مواد و روش‌ها

خور گناوه که در مختصات ۲۹ درجه و ۲۵ دقیقه عرض شمالی نسبت به خط استوا و ۵۰ درجه و ۳۱ دقیقه طول شرقی نسبت به نصف‌النهار گرینویچ قرار دارد. وسعت تقریبی این خور ۲۹ کیلومتر مربع می‌باشد و در بخش مرکزی شهرستان گناوه قرار دارد. در حالت جزر حداقل عمق به ۳ متر و در حالت مد حداکثر عمق تا ۱۵ متر می‌رسد. پهنای دهانه آن ۱۵۰ تا ۱۶۰ متر و طول آن از دهانه تا انتهای آن ۲ کیلومتر است این منطقه به دلیل پهلوگیری لنج‌ها و قایق‌های تجاری، ماهیگیری و مسافربری دارای اهمیت ویژه‌ای است. در شکل ۱ موقعیت جغرافیایی خور گناوه نشان داده شده است (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی خور گناوه در ایران.

پس از بازدید از منطقه و مشاهده منابع آلاینده، ایستگاه‌های نمونه‌برداری طوری انتخاب شد که کل منطقه خور گناوه را پوشش دهد. بدین منظور ۵ ایستگاه انتخاب شد. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌ها با دستگاه GPS و عوارض طبیعی و مصنوعی ثبت شد. محل ایستگاه‌ها بر اساس منابع ورودی آلودگی‌ها انتخاب گردید (جدول ۱). نمونه‌برداری در تاریخ ۹۴/۴/۲۰ در نقاط تعیین شده انجام شد. این بازه زمانی بهترین زمان برای انجام عملیات نمونه‌برداری است.

جدول ۱: اطلاعات ایستگاه‌های نمونه‌برداری.

ایستگاه	نام ایستگاه	مختصات جغرافیایی	توصیف محل
۱	پایان خور در خشکی	$30^{\circ} 30' 94.0'' (E)$ $29^{\circ} 33' 56.2'' (N)$	انتهای خور که دیگر آب در خشکی پیشروی ندارد و شناورها پهلوگیری می‌کنند.
۲	سکوی سوخت‌گیری	$30^{\circ} 29' 90.1'' (E)$ $29^{\circ} 33' 36.6'' (N)$	محل سوخت‌گیری شناورها که روزانه ۵ تا ۶ شناور
۳	ورودی خور از دریا	$30^{\circ} 28' 45.8'' (E)$ $29^{\circ} 32' 8.85'' (N)$	محل ورود و خروج شناورها به خور
۴	بویه آب‌های امن	$30^{\circ} 29' 8.21'' (E)$ $29^{\circ} 34' 8.04'' (N)$	منطقه مجاز برای خروج تفریحی و گشت زنی شناورها

سوخت‌گیری به‌صورت روزانه و بسته به نوع شناور روزی ۵ تا ۶ شناور سوخت‌گیری می‌کند.
آلودگی به حدی بالا بود که لکه‌های سوخت به‌راحتی روی سطح آب مشاهده می‌شد.

برای تجزیه کامل نمونه رسوب پودر شد تا با اسید کمتری قابل تجزیه باشد. رسوبات از الک با روزنه ۳۰ (معادل ۶۳ میکرون) گذرانده شد (کریاسی و بیاتی، ۱۳۹۵). جهت توزین نمونه پودر شده از ترازوهای با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم استفاده می‌شود و توزین خاک یا رسوب بر روی کاغذ کالک انجام

شد. ابتدا ۰/۱ سی سی (معادل ۲ قطره خروجی از نوک پیپت) اسید کلریدریک یک نرمال به رسوب اضافه شد. اضافه کردن ۰/۱ سی سی اسید کلریدریک معمولاً برای ۵۰۰ میلی گرم (۰/۵ گرم) رسوب بکار می رود و به تناسب وزن رسوب می توان آن را کمتر یا بیشتر ریخت (کرباسی و بیاتی، ۱۳۹۵). در مرحله اول حدود ۵ سی سی اسید فلوریدریک به نمونه اضافه و تحت دمای ۱۲۵ درجه سانتی گراد بر روی حمام شن حرارت داده شد. بشر مورد استفاده برای اضافه کردن اسید فلوریدریک از نوع تفلون و با چگالی بالا بود. بشرهای تفلونی بر روی حمام شن با دمای ۱۲۵ درجه سانتی گراد قرار داده شد. پس از حصول اطمینان از تبخیر اسید فلوریدریک محلول تجزیه کننده بعدی را اضافه شد. اسید فلوریدریک سیلیکات ها را تجزیه می کند و عنصری که به آن چسبیده آزاد می شود. تجربه نشان داده است که ترکیب ۳ سی سی اسید نیتریک و یک سی سی اسید کلریدریک بسیار قوی است و موجب تولید تیزاب سلطانی می شود. حدود ۷ سی سی از تیزاب سلطانی به نمونه اضافه و مجدداً بر روی حمام شن و تحت دمای ۱۲۵ درجه سانتی گراد حرارت داده شد پس از آنکه حدود ۶/۵ سی سی از این ۷ سی سی اسید تبخیر شد، نمونه از روی حمام شن برداشته شد. برای درهم شکستن مواد آلی ۳ سی سی اسید پرکلریدریک اضافه و نمونه را تا مرز خشک شدن حرارت داده و از روی حمام شن برداشته شد و دمای آن با دمای اتاق آزمایشگاه متعادل شد. معمولاً رنگ نمونه تجزیه شده بی رنگ، زرد و یا سبز است اگر میزان مواد آلی حدوداً زیر ۳ درصد باشد معمولاً رنگ نمونه زردرنگ خواهد بود و رنگ سبز نمونه می تواند حاکی از درصد های بالاتر مواد آلی باشد (کرباسی و بیاتی، ۱۳۹۵). بدین ترتیب نمونه جهت تزریق به جذب اتمی آماده شد.

به منظور شناخت دقیق سهم انسان ساخت و طبیعی عناصر از روش تفکیک شیمیایی ۵ مرحله ای استفاده شد. عناصر سنگین با رسوبات ۵ پیوند تشکیل می دهند: پیوند سست، پیوند سولفیدی، پیوند آلی فلزی، پیوند مقاوم، پیوند میان بطنی برای تشخیص این پیوندها در آزمایشگاه از روش های ارائه شده توسط کرباسی و بیاتی، ۱۳۹۵ استفاده شد.

در پیوند سست ارتباط عناصر سنگین با رسوبات بسیار سست و ضعیف است و با کوچک ترین تغییر در خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب های فوقانی احتمال شکسته شدن این پیوند وجود دارد. آب فوقانی آبی است که بالای بستر است. لذا از لحاظ زیست محیطی مهم ترین پیوند محسوب می شود زیرا که در اثر آزاد شدن عناصر احتمال سمی شدن آب های فوقانی وجود دارد. پیوند سولفیدی به مراتب از پیوند سست قوی تر است و احتمال شکسته شدن آن در طبیعت کمتر خواهد بود، اما تشکیل این گونه پیوندها نشان دهنده خطرناک شدن شرایط محیط می باشد و نشان دهنده آغاز روند احیا شدن و در مواردی شرایط احیا در محیط می باشد. تنوع مواد آلی در خاک زیاد است پیوند آلی-فلزی بسیار محکم است و به سادگی شکسته نمی شود و در عمل برای محیط زیست خیلی خطرناک نیست، حتی در برخی مواقع به عنوان پالایشگر آلودگی نیز محسوب می شود. در پیوند مقاوم ارتباط عناصر با اجزا خاک و رسوب بسیار قوی است و تحت هیچ شرایطی امکان شکست این پیوند در محیط زیست وجود ندارد مگر آنکه در اثر حوادث غیرطبیعی نظیر تخلیه مستقیم اسیدهای قوی به محیط زیست این پیوند شکسته شود. پیوند میان بطنی نشان دهنده ارتباط عناصر با سیلیکات های موجود در خاک و رسوب می باشد؛ بنابراین قوی ترین پیوند محسوب می شود و به غیر از اسید فلوریدریک ماده دیگری نمی تواند موجب آزاد شدن عناصر شود. پس از آنکه نتایج تفکیک شیمیایی به دست آمد، نتایج سه مرحله اول را جمع کرده و از مجموع این جمع ۱۰ درصد غلظت کل را کم می کنیم. عدد نهایی به عنوان فاز انسان ساخت محسوب می شود ولی چون منطقه مشکوک به آلودگی است ۱۰ درصد غلظت کل کم نشد (کرباسی و بیاتی، ۱۳۹۵).

غلظت فلزات سنگین نیکل، وانادیوم، سرب و روی پس از هضم نمونه ها توسط دستگاه جذب اتمی پس از ۳ بار مکش مشخص و در هر بار غلظت فلزات سنگین نمونه ها مورد سنجش قرار گرفته و توسط دستگاه خوانده شده و ثبت شدند و نتایج آن بر حسب درصد گزارش شد. محاسبه غلظت نهایی فلزات با توجه به میزان غلظتی که دستگاه نشان می دهد و با توجه به وزنی که از نمونه برداشت شده است (در این پژوهش ۲ گرم) با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد و بر اساس این فرمول غلظت اولیه فلز مورد نظر به دست می آید (کاظمی و همکاران، ۱۳۹۸).

$$M = (C \cdot V) / W$$

رابطه ۱:

M = مقدار فلز در نمونه برحسب ppm

C = مقدار فلز موردنظر در نمونه برحسب میلی‌گرم در لیتر

V = حجم نهایی نمونه بر میلی‌لیتر (۳۰ سی‌سی)

W = وزن نمونه خشک برداشت‌شده جهت هضم برحسب گرم

اعداد به‌دست‌آمده از دستگاه جذب اتمی، غلظت عنصر را در نمونه برحسب میلی‌گرم در لیتر نشان می‌دهد که با قرار دادن در فرمول قبلی غلظت نهایی فلز موردنظر برحسب پی‌پی‌ام به دست می‌آید.

برای تعیین شدت آلودگی در محیط‌زیست می‌توان با استفاده از شاخص‌های مختلف نسبت به شناسایی و تعیین شدت آلودگی اقدام کرد. یکی از قدیمی‌ترین شاخص‌های شدت آلودگی، شاخص مولر است که در سال ۱۹۷۹ تدوین شد. فرمول به شرح زیر است

$$I_{geo} = \log_2 \left(\frac{C_n}{\sqrt{5} B_n} \right)$$

رابطه ۲:

 I_{geo} = شاخص شدت انباشت عناصر در خاک C_n = غلظت فلز سنگین در مطالعه حاضر B_n = غلظت فلز سنگین در سنگ شیل

۱/۵ = فاکتور تصحیح شیل

در این فرمول به لحاظ آنکه غلظت پیشین عنصر از طریق تجزیه کامل به دست نمی‌آید. باید از غلظت شیل که نوعی سنگ رسوبی است، استفاده کرد. چون متوسط غلظت عناصر در شیل نسبت به متوسط غلظت عناصر در رسوبات غیر آلوده کمتر است، بنابراین باید برای متعادل‌سازی آن را در عدد ۱/۵ ضرب کرد (Abraham and Parker, 2008).

چنانچه آمار تفکیک شیمیایی در دسترس باشد، می‌توان فرمول مولر را بهینه و اصلاح کرد. چون روش تفکیک شیمیایی بخش انسان‌ساخت را از طبیعی جدا می‌کند بنابراین میزان دقیق B_n به دست می‌آید. فرمول مولر از سوی کرباسی در سال ۲۰۰۸ به شرح زیر تغییر یافت:

$$I_{poll} = \log_2 [C_n / B_n]$$

رابطه ۳:

در مطالعه حاضر از شاخص کرباسی، ۲۰۰۸ برای تعیین شدت آلودگی استفاده شد. در جدول ۲ خط‌کش I_{poll} برای تعیین شدت آلودگی آورده شده است.

جدول ۲: رده‌بندی خاک بر اساس شاخص ژئوشیمیایی I_{poll} .

شدت آلودگی	غیر آلوده	آلودگی پایین	آلودگی متوسط	آلودگی زیاد	آلودگی خیلی زیاد
دامنه	< ۰/۴۲	۰/۴۲ - ۱/۴۲	۱/۴۲ - ۳/۴۲	۳/۴۲ - ۴/۴۲	۴/۴۲ <

همبستگی پیرسون بین فلزات بررسی شد و بر اساس نتایج تفکیک شیمیایی و سهم منابع طبیعی و انسان‌ساخت نیز تعیین شد.

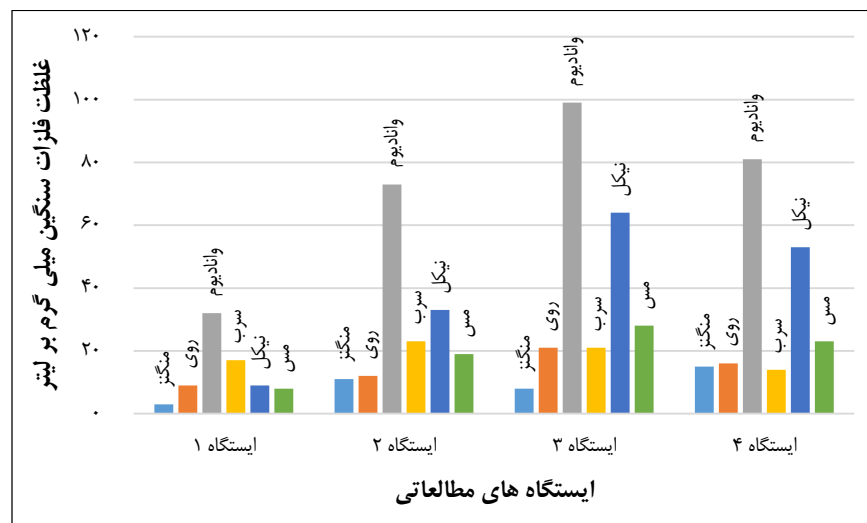
نتایج

میانگین غلظت عناصر فلزی مس، نیکل، سرب، وانادیوم، روی، منگنز، آهن، آلومینیوم و درصد کلسیم و درصد مواد آلی موجود در رسوبات ایستگاه‌های چهارگانه اندازه‌گیری شد (جدول ۳). میانگین غلظت فلزات به‌صورت وانادیوم < نیکل < سرب < روی < منگنز < آلومینیوم < آهن < مس بود (جدول ۳).

جدول ۳: توصیف آماری غلظت و درصد عناصر در رسوبات خور گناوه در سال ۱۳۹۴.

شماره ایستگاه	درصد						میلی گرم بر لیتر			
	مواد آلی	کلسیم	آلومینیوم	آهن	منگنز	روی	وانادیوم	سرب	نیکل	مس
۱	۴/۵	۴/۲	۴/۶	۲/۵	۱۵	۱۶	۸۱	۱۴	۵۳	۲۳
۲	۳/۶	۳/۱	۶/۲	۴/۵	۸	۲۱	۹۹	۲۱	۶۴	۲۸
۳	۳/۱	۲/۲	۳/۸	۳/۶	۱۱	۱۲	۷۳	۲۳	۳۳	۱۹
۴	۵/۲	۲/۹	۲/۹	۱/۹	۱۳	۹	۳۲	۱۷	۱۹	۸
حداقل	۳	۲	۲	۱	۸	۹	۳۲	۱۴	۱۹	۸
حداکثر	۵	۴	۶	۴	۱۵	۲۱	۹۹	۲۳	۶۴	۲۸
انحراف معیار	-۰/۹۳	۰/۸۲	۱/۴۰	۱/۱۵	۹/۹۸	۵/۱۹	۲۸/۳۳	۴/۰۳	۲۰/۱۲	۸/۵۰
میان	۴/۰۵	۳	۴/۲۰	۳/۰۵	۱۲	۱۴	۷۷	۱۹	۴۳	۲۱
میانگین پوسته زمین	۱/۴	۱/۴	۸/۲	۴/۱	۹۵۰	۷۵	۱۲۷	۱۴	۸۰	۵۰
میانگین شیل	۴/۰۵	۳	۴/۲۰	۳/۰۵	۱۲	۱۴	۷۷	۱۹	۴۳	۲۱
میانگین مطالعه حاضر	۴/۱۰	۳/۱۰	۴/۳۷	۳/۱۲	۱۱/۷۵	۱۴/۵۰	۷۱/۲۵	۱۸/۷۵	۴۲/۲۵	۱۹/۵۰
چولگی	-۲/۳۴	۱/۵۰	۰/۲۹	-۲/۲۳	-۰/۴۱	۰/۹۵	۱/۸۸	-۲/۵۱	-۲/۵۸	۱/۰۶
کشیدگی	-۰/۲۲	۰/۶۹	۰/۶۵	۰/۲۷	-۰/۴۲	۰/۴۵	-۱/۱۱	-۰/۲۴	۰/۱۵	۰/۹۳

در شکل ۲ غلظت هر یک از فلزات در ایستگاه‌های چهارگانه نشان داده شده است.



شکل ۲: غلظت فلزات (برحسب میلی گرم بر لیتر) در ایستگاه‌های مورد مطالعه در رسوبات خور گناوه در سال ۱۳۹۴.

همبستگی پیرسون بین عناصر مورد مطالعه بررسی و نتایج آن در جدول ۴ ارائه شده است. بر اساس نتایج مس با تمام متغیرهای دیگر دارای ارتباط معنی‌دار است. عنصر نیکل با وانادیوم، روی و آلومینیوم دارای رابطه مثبت است. عنصر سرب کم‌ترین رابطه را با متغیرهای دیگر داشت. عنصر وانادیوم باروی و آلومینیوم بالاترین رابطه مثبت را داشت. همچنین عنصر منگنز بیش‌ترین رابطه را با آلومینیوم داشت (سطح آلفا در این پژوهش ۰/۰۵ و ۰/۰۱ در نظر گرفته شد).

جدول ۴: همبستگی میان عناصر سنگین مورد مطالعه در ایستگاه‌های انتخابی خور گناوه در سال ۱۳۹۴.

عنصر	مس	نیکل	سرب	وانادیوم	روی	منگنز	آهن	آلومینیوم	کلسیم	مواد آلی
مس	۱									
نیکل	۰/۹۳	۱								
سرب	۰/۱۹	-۰/۰۳	۱							
وانادیوم	۰/۹۹	۰/۹۳	۰/۲۶	۱						
روی	۰/۹۴	۰/۹۸	۰/۱۰	۰/۹۲	۱					
منگنز	-۰/۴۵	-۰/۳۸	-۰/۸۱	-۰/۴۸	-۰/۵۲	۱				
آهن	۰/۷۹	۰/۶۷	۰/۷۳	۰/۸۲	۰/۷۵	-۰/۸۷	۱			
آلومینیوم	۰/۹۳	۰/۹۶	۰/۱۸	۰/۹۲	۰/۹۹	۰/۶۰	۰/۸۰	۱		
کلسیم	۰/۳۱	۰/۴۹	-۰/۸۶	۰/۲۴	۰/۳۸	۰/۵۳	-۰/۳۰	۰/۳۰	۱	
مواد آلی	-۰/۶۲	-۰/۴۰	-۰/۸۱	-۰/۶۹	-۰/۴۲	۰/۶۳	-۰/۸۵	-۰/۴۷	۰/۴۸	۱

میزان غلظت انسان‌ساخت و طبیعی عناصر مورد مطالعه در رسوبات خور گناوه در هر ایستگاه بررسی شد (جدول ۵). بیشترین غلظت عناصر در بخش طبیعی است. برای محاسبه درصد طبیعی و انسان‌ساخت در رسوب نتایج تفکیک شیمیایی ۵ مرحله‌ای انجام شد (جدول ۶).

جدول ۵: میزان غلظت انسان‌ساخت و طبیعی عناصر در رسوبات خور گناوه در سال ۱۳۹۴.

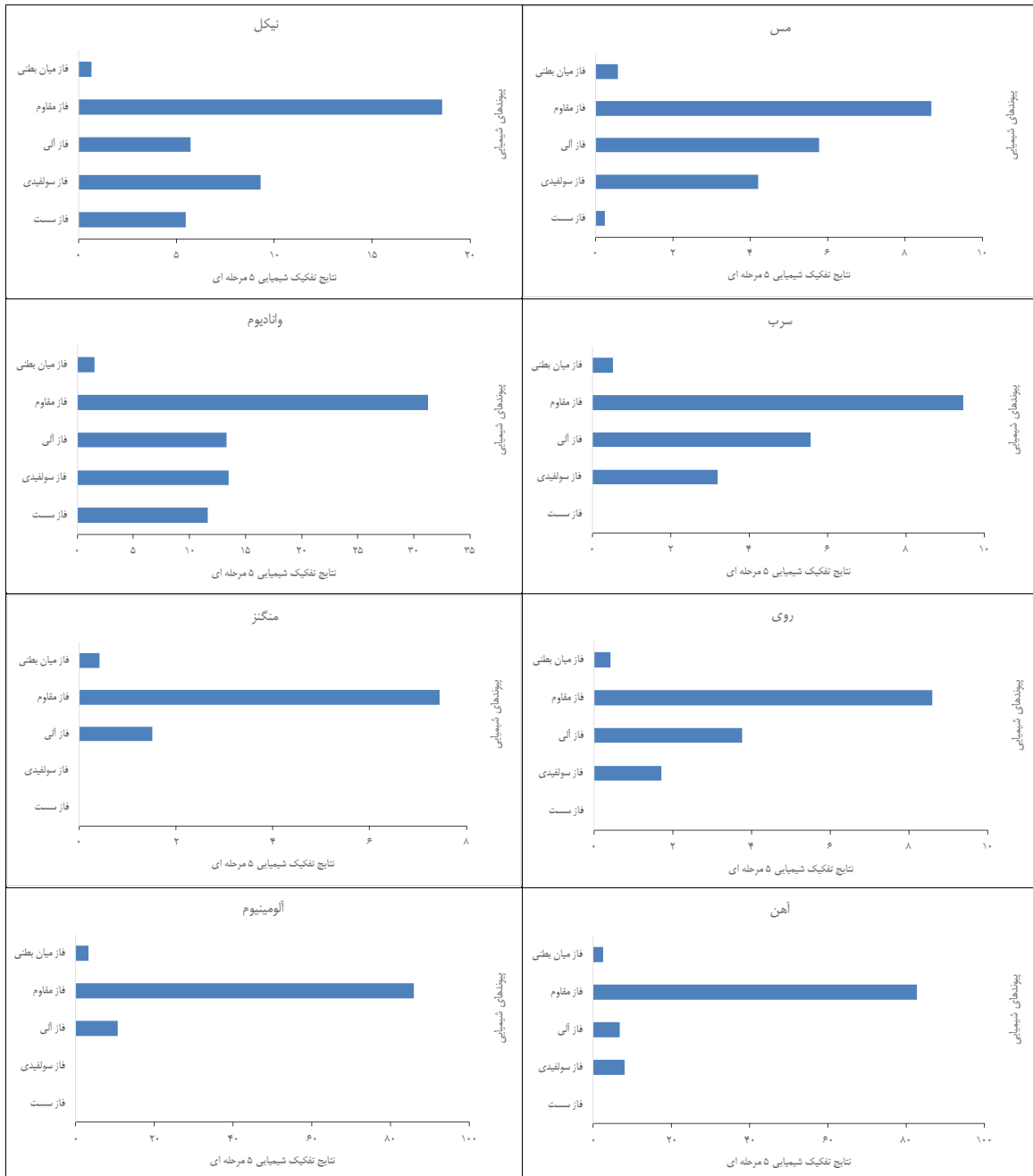
عنصر	انسان‌ساخت	طبیعی
مس	۲۲/۱۰	۹/۲۷
نیکل	۲۰/۴۹	۱۹/۲۵
سرب	۸/۷۶	۹/۹۸
وانادیوم	۳۸/۴۳	۳۲/۸۱
روی	۵/۴۸	۹/۰۲
منگنز	۱/۵۱	۷/۷۳
آهن	۴۵۰/۵	۲۶۷۴/۵
آلومینیوم	۴۳۴	۳۴۹۱
کلسیم	۴۹۷/۲۵	۲۶۰۲/۷۵
مواد آلی	۹۶۳	۳۱۳۷

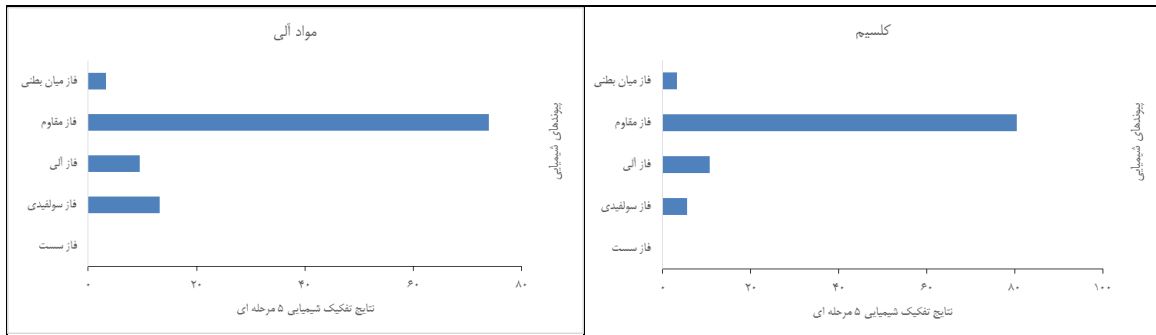
در شکل ۳ نتایج تفکیک شیمیایی ۵ مرحله‌ای تمامی عناصر نشان داده شده است. با استناد به نتایج آنالیز تفکیک شیمیایی ۵ مرحله‌ای عناصر که نشان‌دهنده بیش‌ترین تفکیک در فاز مقاوم هستند که نشان‌دهنده ارتباط قوی عناصر با اجزا خاک می‌باشد است که تحت هیچ شرایطی امکان شکستن این پیوند در محیط‌زیست وجود ندارد. مگر آنکه در اثر حوادث غیرطبیعی این پیوند شکسته شود.

جدول ۶: درصد طبیعی و انسان‌ساخت در رسوب نتایج تفکیک شیمیایی ۵ مرحله‌ای برای هر عنصر در ایستگاه‌های مختلف در خور گناوه در سال ۱۳۹۴.

فاز	فاز میان بطنی	فاز مقاوم	فاز آلی	فاز سولفیدی	فاز سست	ایستگاه	فلز
مس	۰/۴۶	۰/۴۶	۸/۷	۴/۶	۰	۱	۱
	۰/۸۴	۰/۸۴	۱۱/۲	۷	۰	۲	۲
	۰/۷۶	۰/۷۶	۱۰/۴۵	۳/۸	۰/۹۵	۳	۳
	۰/۲۴	۰/۲۴	۴/۴	۱/۴۴	۰	۴	۴
نیکل	۱/۵۹	۳۷/۵۶	۶/۳۶	۹/۵	۷/۹۵	۱	۱
	۰/۶۴	۲۹/۴۴	۱۰/۲۴	۱۶	۷/۶۸	۲	۲
	۰/۳۳	۱۲/۸۷	۴/۶۲	۹/۵۷	۵/۶۱	۳	۳
	۰/۰۹	۴/۵	۱/۶۲	۲/۱۶	۰/۶۳	۴	۴
سرب	۰/۴۲	۷/۴۲	۴/۲	۱/۹۶	۰	۱	۱
	۰/۶۳	۱۰/۵	۶/۷۲	۳/۱۵	۰	۲	۲
	۰/۶۹	۱۱/۲۷	۶/۴۴	۴/۶	۰	۳	۳
	۰/۳۴	۸/۶۷	۴/۹۳	۳/۰۶	۰	۴	۴
وانادیوم	۲/۴۳	۳۸/۸۸	۱۴/۵۸	۱۲/۹۶	۱۲/۱۵	۱	۱
	۱/۹۸	۴۳/۵۶	۱۲/۸۷	۲۱/۷۸	۱۸/۸۱	۲	۲
	۱/۴۶	۲۹/۲	۱۸/۹۸	۱۳/۸۷	۹/۴۹	۳	۳
	۰/۲۳	۱۳/۴۴	۶/۷۲	۵/۴۴	۶/۰۸	۴	۴
روی	۰/۴۸	۱۰/۸۸	۴/۶۴	۰	۰	۱	۱
	۰/۴۲	۱۰/۷۱	۶/۷۲	۳/۱۵	۰	۲	۲
	۰/۴۸	۷/۴۴	۱/۹۲	۲/۱۶	۰	۳	۳
	۰/۲۷	۵/۴	۱/۸	۱/۵۳	۰	۴	۴
منگنز	۰/۴۵	۱۲/۷۵	۱/۸	۰	۰	۱	۱
	۰/۳۲	۶/۴	۱/۲۸	۰	۰	۲	۲
	۰/۳۲	۸/۱۴	۲/۵۳	۰	۰	۳	۳
	۰/۶	۲/۴۹	۰/۴۵	۰	۰	۴	۴
آهن	۳	۸۵	۶	۶	۰	۱	۱
	۲	۸۷	۴	۷	۰	۲	۲
	۱	۸۰	۸	۱۱	۰	۳	۳
	۴	۷۹	۹	۸	۰	۴	۴
کلسیم	۳	۸۴	۱۰	۳	۰	۱	۱
	۲	۷۸	۱۰	۱۰	۰	۲	۲
	۴	۸۱	۱۲	۳	۰	۳	۳
	۴	۷۹	۱۱	۶	۰	۴	۴
آلومینیوم	۳	۸۲	۱۵	۰	۰	۱	۱
	۳	۸۷	۹	۰	۰	۲	۲

فاز	فاز سست	ایستگاه	فاز سولفیدی	فاز آلی	فاز مقاوم	فاز میان بطنی
	۰	۳	۰	۱۱	۸۵	۳
	۰	۴	۰	۸	۹۰	۲
	۰	۱	۱۰	۱۳	۷۳	۴
مواد آلی	۰	۲	۱۱	۹	۷۶	۴
	۰	۳	۱۵	۴	۷۸	۴
	۰	۴	۱۷	۱۲	۶۹	۴





شکل ۳: نتایج تفکیک شیمیایی ۵ مرحله‌ای عناصر در خور گناوه در سال ۱۳۹۴.

سطح آلودگی خاک به عناصر فلزی بر اساس شاخص ژئوشیمیایی I_{poll} بررسی شد (جدول ۷).

جدول ۷: رده‌بندی آلودگی خاک بر اساس شاخص ژئوشیمیایی I_{poll} .

ایستگاه عنصر	۱	۲	۳	۴
مس	غیر آلوده	غیر آلوده	غیر آلوده	غیر آلوده
نیکل	غیر آلوده	غیر آلوده	غیر آلوده	غیر آلوده
سرب	غیر آلوده	غیر آلوده	غیر آلوده	غیر آلوده
وانادیوم	غیر آلوده	غیر آلوده	غیر آلوده	غیر آلوده
روی	غیر آلوده تا کمی آلوده	غیر آلوده	غیر آلوده	غیر آلوده
منگنز	کمی آلوده تا خیلی آلوده	کمی آلوده تا خیلی آلوده	کمی آلوده تا خیلی آلوده	کمی آلوده تا خیلی آلوده
آهن	کمی آلوده تا خیلی آلوده	خیلی آلوده	کمی آلوده تا خیلی آلوده	کمی آلوده تا خیلی آلوده
کلسیم	کمی آلوده تا خیلی آلوده	کمی آلوده	کمی آلوده تا خیلی آلوده	کمی آلوده تا خیلی آلوده
آلومینیوم	کمی آلوده تا خیلی آلوده	کمی آلوده تا خیلی آلوده	خیلی آلوده	خیلی آلوده
مواد آلی	کمی آلوده	کمی آلوده	کمی آلوده تا خیلی آلوده	کمی آلوده

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج بررسی عناصر سنگین در منطقه مورد مطالعه نشان‌دهنده عدم آلودگی در رسوبات خور گناوه است. به جز عنصر روی در ایستگاه یک که غیر آلوده تا کمی آلوده و عناصر منگنز و آهن در ایستگاه‌های اول، دوم و سوم، کلسیم در ایستگاه‌های اول، سوم و چهارم آلومینیوم در ایستگاه‌های اول و دوم و هم‌چنین مواد آلی که در ایستگاه سوم که در بخش کمی آلوده تا خیلی آلوده قرار گرفته است. هم‌چنین در مقایسه با میانگین عناصر در پوسته زمین و رسوبات جهانی، غلظت به‌دست‌آمده در این مطالعه کمتر از میانگین پوسته کره زمین و رسوبات جهانی است. پس‌از این نظر فاقد آلودگی هستند. در بخش منشأ آلودگی‌های انسان‌ساخت و طبیعی، بیشترین درصد را بخش طبیعی به خود اختصاص داده بود و این فرضیه هم رد می‌شود به جز در مورد عناصر منگنز در ایستگاه اول و چهارم، نیکل در ایستگاه سوم، سرب در ایستگاه دوم، وانادیوم و روی در ایستگاه اول که بیشترین درصد و غلظت در بخش انسان‌ساخت به‌دست‌آمده آمدند. ضرایب همبستگی عناصر سنگین در رسوبات خور گناوه به‌منظور تفسیر آماری رابطه عناصر سنگین با یکدیگر و منشایابی آن‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. ضریب همبستگی وانادیوم با نیکل $0/93$ و با آلومینیوم $0/92$ هم‌چنین با کلسیم $0/24$ است. ضریب همبستگی فلز روی با نیکل $0/98$ ، با آلومینیوم $0/99$ و با کلسیم $0/38$ است. عنصر آهن با ضریب همبستگی

۰/۶۷ به نیکل و ۰/۸ به آلومینیوم ارتباط دارد که نشان می‌دهد منشأ این عنصر ابتدا زمینی و بعد نفتی است. عنصر منگنز هم با ضریب همبستگی ۰/۶۳ به مواد آلی ارتباط دارد که نشان می‌دهد این عنصر بیشترین منشأ آن از مواد آلی است هم‌چنین ۰/۶ به آلومینیوم و ۰/۵۳ به کلسیم ارتباط دارد که بیانگر منشأ زمینی و بیولوژیکی این عنصر علاوه بر منشأ مواد آلی آن است. هم‌چنین با استناد به نتایج آنالیز تفکیک شیمیایی ۵ مرحله‌ای عناصر که نشان‌دهنده بیشترین تفکیک در فاز مقاوم است که نشان‌دهنده ارتباط قوی عناصر با اجزا خاک است و محیطی غیر احیا دارد که تحت هیچ شرایطی امکان شکستن این پیوند در محیط‌زیست وجود ندارد. مگر آنکه در اثر حوادث غیرطبیعی این پیوند شکسته شود.

نتایج مطالعه Khosravi و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد که مس، نیکل، سرب و روی از فاضلاب‌های صنعتی و فعالیت‌های ذوب معدن ناشی می‌شوند، درحالی‌که کبالت، کروم و نیکل از منابع طبیعی به دست می‌آیند. سرب و کروم و کادمیوم ناشی از تخلیه فاضلاب‌های صنعتی هستند و کبالت و نیکل هم از پوسته زمین منتشر می‌شوند و نیز ورود کودهای شیمیایی کشاورزی به آب‌های سطحی سبب افزایش کبالت و نیکل شده و در نهایت این عناصر در رسوبات ته‌نشین می‌شوند (El-Alfy *et al.*, 2020).

Sojka و همکاران (۲۰۱۸) با مطالعه فلزات در رسوبات و آب بیان داشت که کادمیوم، کروم، مس، نیکل و سرب منشأ طبیعی دارند و نیز مناطق شهری و نیمه‌صنعتی مجاور مناطق ساحلی سبب افزایش این فلزات در رسوبات می‌شود و از ورود رودخانه‌ها به محیط‌های ساحلی سبب افزایش نیکل می‌شود. در مطالعه‌ای که توسط Huang و همکاران (۲۰۲۰) تحت عنوان ارزیابی خطر فلزات سنگین در رسوبات سطحی در منبع آب آشامیدنی رودخانه Xiangjiang در جنوب چین انجام شد، استفاده از روش تحلیل فزونگی (RDA) نشان داد که مقدار مواد آلی و اندازه ذرات رسوب تأثیر مشخصی در غنی‌سازی فلزات سنگین دارد. تحلیل فزونگی نشان داد که محتوی ماده آلی و اندازه ذرات رسوب تأثیر زیادی در انباشتگی فلزات سنگین دارد (نوروزی و همکاران، ۱۴۰۰). بهادر و همکاران (۱۳۹۴) عناصر سنگین را در رسوبات سطحی مصب رودخانه شور، بندرعباس بررسی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که منطقه مورد مطالعه از نظر کیفیت زیست‌محیطی، در زمره مناطق غیر آلوده تا آلودگی بسیار اندک است. غلظت فلزات سنگین (جیوه، کادمیوم، سرب، کروم، مس، نیکل، روی و آهن) و ارزیابی خطر اکولوژیکی آن‌ها در رسوبات ساحلی منطقه ویژه اقتصادی پارس جنوبی در مطالعه حق‌شناس و همکاران (۱۳۹۶) بررسی شد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده وضعیت آلودگی در منطقه برای فلزات (جیوه، روی، کروم، سرب و نیکل) پایین و برای فلز کادمیوم و مس متوسط بود. بالا بودن غلظت فلزات کادمیوم در مقایسه با مقدار متناظر آن‌ها در پوسته زمین، به همراه مقادیر بالای فاکتور آلودگی، آلودگی اصلاح‌شده برای فلزات کادمیوم و مس از تأثیر فعالیت‌های انسانی در آلودگی و انباشت این فلزات در رسوبات منطقه حکایت دارد. هم‌چنین بر اساس محاسبه شاخص خطر اکولوژیکی فلزات می‌توان بیان کرد در بین عناصر اندازه‌گیری شده، رسوبات از نظر فلز کادمیوم در معرض خطر متوسط اکولوژیکی قرار داشت. در مطالعه یوسفی و همکاران (۱۳۹۹) غلظت فلزات سنگین در رسوبات منطقه چابهار حدفاصل پزم تا رمین بررسی شد. نتایج نشان داد که منشأ عمده فلزات سنگین مورد مطالعه منشأ طبیعی بود به‌جز کروم و کادمیم که منشأ انسان‌ساخت داشتند. در برخی ایستگاه‌ها فعالیت‌های انسانی بر میزان غلظت فلزاتی مانند سرب، آرسنیک و نیکل تأثیرگذار بود. آلودگی فلزات سنگین در آب و رسوبات سطحی تالاب ناصری (خرمشهر) در مطالعه ولایت زاده و کوشافر (۱۳۹۸) بررسی شد. نتایج حاصل از محاسبه فاکتور آلودگی نشان داد فلزات سنگین روی، آهن، منگنز، نیکل، وانادیوم و مس در سطوح آلودگی کم طبقه‌بندی شدند. درجه آلودگی فلزات مورد مطالعه نیز نشان داد که آلودگی رسوبات تالاب ناصری در رده آلودگی کم بوده است. مقادیر درجه آلودگی اصلاح‌شده فلزات سنگین نشان‌دهنده آلودگی بسیار پایین رسوبات تالاب ناصری می‌باشد. خطر اکولوژیک فلزات روی، آهن، منگنز، نیکل، وانادیوم و مس در رده کم‌خطر بودند. مجموع ریسک اکولوژیک فلزات سنگین در ایستگاه‌های مورد مطالعه نیز در رده کم‌خطر طبقه‌بندی شدند. نتایج به‌دست‌آمده از مطالعه حاضر با یافته‌های نوروزی و همکاران (۱۴۰۰)، بهادر و همکاران (۱۳۹۴)، حق‌شناس و همکاران (۱۳۹۶)، یوسفی و همکاران (۱۳۹۹) و ولایت زاده و کوشافر (۱۳۹۸) همخوانی دارد.

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از شاخص‌های ژئوشیمیایی برای بررسی کیفیت فلزات در رسوبات ابزار مؤثری است (Ahmed *et al.*, 2020) و میزان عناصر مورد مطالعه در منطقه در حد خطرناک و بحرانی نیستند اما جهت پیشگیری از آلودگی فلزات سمی و پایدار محیط زیست بایستی با مدیریت کارآمد و پایش‌های محیط زیستی از اکوسیستم ارزشمند منطقه حفاظت شود. پیشنهاد می‌شود که با بررسی‌های پیوسته و متعدد علمی در منطقه مقادیر زمینه برای عناصر برآورد شود تا بتوان با دقت بیشتری آلودگی فلزات در منطقه را بررسی نمود.

منابع

- بهادر، م.، مرادی، ع. و ناجی، ا.، ۱۳۹۶. ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات سطحی مصب رودخانه شور، شرق بندرعباس با استفاده از شاخص‌های مختلف، مجله علوم و فنون دریایی، جلد ۱۶ (۳): صفحات ۷۱-۵۶.
- پاینده، خ. ولایت زاده، م.، ۱۳۹۸. تعیین فلزات سنگین کبالت، کروم، منگنز، سلیوم و مولیبدن در رسوبات تالاب هورالعظیم استان خوزستان با استفاده از شاخص‌های آلودگی، مجله اکو بیولوژی تالاب، جلد ۱۱ (۲): صفحات ۹۶-۸۳.
- حق شناس، آ.، حاتمی منش، م.، صادقی، م.، میرزایی، م. و محمدی بردکشی، ب.، ۱۳۹۷. سنجش و ارزیابی ریسک اکولوژیکی فلزات سنگین (سرب، کادمیوم، مس و روی) در رسوبات مناطق ساحلی استان بوشهر، مجله مهندسی بهداشت محیط، جلد ۵ (۴): صفحات ۳۷۴-۳۵۹.
- چراغعلی، ک. و چمنی، ع.، ۱۳۹۹. بررسی غلظت سرب، کادمیوم، روی و مس در رسوبات بستر تالاب گندمان با استفاده از شاخص‌های ژئوشیمیایی، مجله اکو بیولوژی تالاب، جلد ۱۲ (۴): صفحات ۷۰-۵۷.
- چمبری، ش.، کرباسی، ع.، منوری، م.، سبزیلیور، س. و معطر، ف.، ۱۳۹۸. بررسی رفتار فلزات سنگین طی اختلاط مصبی رودخانه جراحی با خور موسی، مجله اکو بیولوژی تالاب، جلد ۱۱ (۲): صفحات ۶۶-۵۱.
- کاظمی، م.، چمنی، ع. و آق، ن.، ۱۳۹۸. بررسی میزان آلودگی به آرسنیک در رسوبات دریاچه ارومیه و احتمال تأثیر آن بر سلامت جامعه انسانی، مجله محیط‌شناسی، جلد ۴۵ (۳): صفحات ۴۹۷-۴۸۵.
- کرباسی، ع. و بیاتی، آ.، ۱۳۹۵. راهنمای نمونه برداری و آنالیز سم شناختی رسوبات، انتشارات دانشگاه تهران، ۲۷۲ ص.
- ملوندی، ح. و حسن زاده، ن.، ۱۳۹۸. سنجش ریسک بالقوه بوم‌شناسی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات سطحی رودخانه سیاه رود، استان مازندران، مجله پژوهش در بهداشت محیط، جلد ۵ (۳): صفحات ۲۲۹-۲۱۷.
- نوروزی، م.، محمدی، ع.، بهبهانی‌نیا، آ. و بابایی، ف.، ۱۴۰۰. بررسی وضعیت آلودگی فلزات سنگین در رسوبات تالاب صالحیه کرج، مجله محیط‌زیست و مهندسی آب، جلد ۷ (۱): صفحات ۵۸-۵۰.
- ولایت زاده، م. و کوشافر، آ.، ۱۳۹۸. ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در آب و رسوبات سطحی تالاب ناصری (خرمشهر)، مجله دانشکده بهداشت و انستیتو تحقیقات بهداشتی، جلد ۱۷ (۲): صفحات ۱۶۸-۱۵۷.
- یوسفی، م.، آگاه ه. و تقوی، ل.، ۱۳۹۹. بررسی غلظت فلزات سنگین در رسوبات، منطقه چابهار حدفاصل پزم تا رمین، مجله دریا فنون، جلد ۷ (۲): صفحات ۹۸-۸۷.

Abraham, G. and Parker, R. J., 2008. Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. *Environmental Monitoring and Assessment*, 136 (1-3): 227-38.

Ahmed, M., Hussein, J. and Arkan R., 2020. Spatial distribution and evaluation of heavy metals in surface sediments of the Al-Najaf sea depression reservoir, Iraq. *Alexandria Engineering Journal*, 59: 5197-5206.

Christophoridis, C., Dedepsidis, D. and Fytianos, K., 2009. Occurrence and distribution of selected heavy metals in the surface sediments of Thermaikos Gulf, N. Greece. Assessment using pollution indicators. *Journal of Hazardous Materials*, 168 (2-3):1082-1091.

Darvish Bastami, K., Bagheri, H. and Kheirabadi, V., 2014. Distribution and ecological risk assessment of heavy metals in surface sediments along southeast coast of the Caspian Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 81(1): 262-267.

- Das Sharma, S., 2019.** Risk Assessment and Mitigation Measures on the Heavy Metal Polluted Water and Sediment of the Kolleru Lake in Andhra Pradesh, India. *Pollution*, 5(1): 161-178.
- El-Alfy, M. A., El-Amier, Y. A., El-Eraky, T. E., 2020.** Land use/cover and eco-toxicity indices for identifying metal contamination in sediments of drains, Manzala Lake, Egypt. *Heliyon*, 6(1): e03177.
- Huang, Z., Liu, C., Zhao, X., Dong, J. and Zheng, B., 2020.** Risk assessment of heavy metals in the surface sediment at the drinking water source of the Xiangjiang River in South China. *Environmental Sciences Europe*, 32(23): 2-9.
- Mason, R. P., Kim, E. H., Cornwell, J. and Heyes, D., 2006.** An examination of the factors influencing the flux of mercury, methylmercury and other constituents from estuarine sediment. *Marine Chemistry*, 102: 96-110.
- Naji, A. and Ismail, A., 2012.** Sediment quality assessment of Klang Estuary, Malaysia. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 15 (3): 287–293.
- Qiao, Y. M., Pan, H., Yang, Y., Gu, J. G. and Zhao, J. G., 2013.** Distribution and accumulation of heavy metals in surface sediments from a subtropical bay affected by the Special Economic Zone, China. *Water Science Technology*, 67: 2009–2016.
- Sojka, M., Jaskuła, J. and Siepak, M., 2018.** Heavy metals in bottom sediments of reservoirs in the lowland area of western Poland: concentrations, distribution, sources and ecological risk. *Water*, 11 (56): 1–20.
- Tiana, K., Wua, Q., Liua, P., Hua, W., Huang, B., Shid, B., Zhou B. Y., Kwone, B. O., Choie, K. K., Ryuf, J., Seong, K. and Wang, T., 2020.** Ecological risk assessment of heavy metals in sediments and water from the coastal areas of the Bohai Sea and the Yellow Sea. *Environment International*, 136: 1-15.

