

Dor: [20.1001.1.20089597.1400.12.24.12.4](https://doi.org/10.1001.1.20089597.1400.12.24.12.4)

ارزیابی آلودگی ژئوشیمیایی رسوبات رودخانه پلرود در شرق گیلان، از دیدگاه زمین‌شناسی محیط‌زیستی (شرق گیلان)

مژگان صلواتی*^۱، زهرا یوسفی مصدرثتی^۲

۱. استادیار، گروه زمین‌شناسی، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران
۲. کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۱۷؛ تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۰۷/۰۷)

چکیده

رسوبات رودخانه‌ای به عنوان اصلی‌ترین جاذب آلاینده‌های فلزی، دارای اهمیت بسیاری هستند. در سطح جهانی، اکوسیستم‌های آبی شدیداً با فلزات سنگین ناشی از منابع انسانی و زمین زاد آلوده می‌شوند. موضوع این مطالعه، تحقیق در مورد آلودگی ژئوشیمیایی فلزات در رسوبات رودخانه و منشاهای احتمالی آن‌ها در رودخانه پلرود در شرق استان گیلان است. رسوبات رودخانه‌ای جمع‌آوری شده، برای تعیین غلظت فلزات سنگین به روش ICP آنالیز شدند. درجه آلودگی در رسوبات رودخانه پلرود برای سرب، نیکل، روی، کبالت، کروم، تیتانیوم و وانادیم با استفاده از شاخص آلودگی زمین‌شناسی و شاخص (فاکتور) آلودگی ارزیابی شد. نتایج حاصل گویای این است که: ۱. محاسبه شاخص آلودگی زمین‌شناسی در رسوبات رودخانه پلرود دارای شاخص آلودگی به نسبت بالایی برای عنصر سرب و آلودگی متوسط برای عناصر کبالت و کروم می‌باشند؛ ۲. فاکتور آلودگی برای عناصر سرب و آلومینیوم بسیار بالا، برای عناصر کبالت، کروم، نیکل و تیتانیوم متوسط و برای عنصر روی پایین است؛ ۳. رسوبات رودخانه توسط سرب و آلومینیوم آلودگی انسان‌زاد دارند و ۴. عناصر کبالت و کروم آلودگی زمین زاد نشان می‌دهند.

کلید واژه‌ها: آلودگی رسوب، پلرود، شاخص آلودگی زمین انباشت، فاکتور آلودگی، منشا زمین زاد

سرآغاز

فرآیند رسوب زایی عمدتاً حاصل تأثیرات متقابل عناصر اتمسفری و عوامل اقلیمی از یک طرف و پوسته جامد زمین از طرف دیگر می‌باشد. خاک در مراحل تدوین به صورت طبیعی یا انسانی با توجه به شدت و ضعف عناصر در ترکیبات سنگ مادر و با توجه به اقلیم و نوع سنگ‌بستر، ترکیبات متفاوتی خواهند یافت. رسوبات، جزئی جدا نشدنی از اکوسیستم رودخانه‌ها می‌باشند و همانند یک آرشیو تاریخی رویداد ته‌نشست عناصر را در خود به نمایش می‌گذارند. آلودگی رسوبات به خصوص آلودگی به فلزات یکی از انواع آلودگی‌های نامطلوب بر شرایط محیط‌زیستی اکوسیستم‌های آبی است. از آن جایی که فلزات به شدت تمایل به تجمع در رسوبات دارند، تعیین غلظت فلزات در رسوبات اطلاعات زیادی درباره منشأ، توزیع و میزان آلودگی منطقه در اختیار قرار می‌دهد. علاوه بر آن رسوبات مانند مخزنی برای نگهداری کانی‌ها و فلزات منتقل شده از حوضه آبریز عمل می‌کنند. تمرکز عناصر سمی در رسوبات از منابع مختلفی مانند منابع آلاینده انسان‌زاد و فرسایش سنگ‌های با حد زمینه بالا تامین می‌شود. آلودگی‌های مختلف بالاخص آلودگی به فلزات به دلیل قابلیت انباشت و اثرات سمی که در پیکر موجودات زنده دارند، حتی در غلظت‌های به نسبت کم نیز حایز اهمیت می‌باشند. در آینده انتظار می‌رود میزان این آلاینده‌ها به طور چشمگیری افزایش یابد؛ بنابراین پایش آلودگی این رسوبات در محیط‌های رودخانه‌ای بسیار ضروری می‌باشد. به همین جهت مطالعات گسترده‌ای در سطح جهان بر روی آلودگی شیمیایی رسوبات بالاخص آلودگی فلزات (Bhuyan & Islam, 2017; Li et al., 2017; Mugoša et al., 2016) و تأثیر خطرپذیری آن‌ها بر روی سلامت موجودات و اکولوژی (Hassaan et al., 2016; Effendi et al., 2016) انجام شده است. در ایران طی چند سال اخیر مطالعات موردی بر روی آلودگی رسوبات رودخانه‌ها و سواحل به عناصر فلزی صورت گرفته است (Dokht Bandari & Rezaie, 2015; Bagheri et al., 2011) در همین راستا مطالعات چندی در حاشیه دریای خزر و رودخانه‌های منتهی به آن هم صورت گرفته است (Nematollahi et al., 2021; Vesali Naseh et al., 2017; Mohammadi Galangash et al., 2012) به همین لحاظ پایش آلودگی رسوبات در محیط‌های رودخانه‌ای از ضروریات محیط‌زیستی محسوب می‌شوند. هدف از انجام این

تحقیق تعیین وضعیت آلودگی رسوبات رودخانه پلرود و نقش آن‌ها در آلودگی محیط‌زیست می‌باشد.

مواد و روش بررسی

برای انجام مطالعات صحرایی و برداشت نمونه‌ها با استفاده از نقشه‌های ۱/۱۰۰۰۰۰ لنگرود و جواهرده سازمان زمین‌شناسی، ۱/۳۰۰۰۰۰ البرز غربی سازمان جغرافیایی و داده‌های ماهواره‌ای محدوده مورد مطالعه با در نظر گرفتن تغییر ساختارهای لیتولوژی و تکتونیک منطقه و نیز با در نظر گرفتن عارضه‌های شهری و معدنی و تأثیر آن‌ها بر ایجاد آلودگی احتمالی منطقه، ۸ نمونه از عمق ۵۰ سانتی‌متری از کف رودخانه به منظور سنجش و ردیابی فلزات و عوامل کنترل‌کننده تحرک و حمل آن‌ها از بالادست به پایین‌دست در رودخانه پلرود، برداشت شد. در برداشت نمونه‌ها سعی شد که از بالادست یا منطقه‌ی کمتر دست‌خورده و در پایین‌دست در مصب رودخانه و خروجی آن به دریای خزر نمونه‌برداری شود. موقعیت جغرافیایی نمونه‌ها با GPS ثبت شد و بر روی نقشه منطقه نشان داده شده است شکل (۱) و جدول (۱).

جدول (۱): موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری

شماره ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱*	۵۱° ۱۳'	۳۶° ۵۱' ۱۰"
۲	۵۰° ۱۵' ۳۷"	۳۶° ۵۵' ۴۸"
۳	۵۰° ۱۶' ۰۴"	۳۶° ۵۵' ۲۳"
۴	۵۰° ۱۶' ۴۷"	۳۶° ۵۷' ۴۸"
۵	۵۰° ۱۸' ۱۳"	۳۷° ۰۰' ۰۹"
۶	۵۰° ۱۸' ۱۰"	۳۷° ۰۰' ۳۸"
۷	۵۰° ۲۲' ۲۸"	۳۷° ۰۴' ۵۴"
۸	۵۰° ۲۲' ۴۴"	۳۷° ۰۵' ۵۷"

(**): مصب رودخانه؛ (**): بالادست رودخانه)

نمونه‌برداری رسوب توسط دستگاه پیترسون گرب انجام شد. از هر ایستگاه یک نمونه رسوب (حدود ۵ کیلوگرم) برداشت شد که پس از قرار دادن در یک ظرف پلاستیکی و خشک شدن در دمای ۲۵-۳۰ درجه سانتی‌گراد و سپس الک شدن، طبقه‌بندی و غربال، ذرات به اندازه پودر ۲۰۰ مش جدا شد سپس به روش ICPOES با هضم ۴ اسید، آنالیز شدند. نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌ها در ایستگاه‌های مختلف در جدول (۲) ارائه شده است.

ادامه جدول (۲): نتایج آنالیز نمونه‌های رسوب مورد مطالعه به روش ICP

Sample No.	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
Na (%)	<۰/۱	۵/۵۲	۵/۴۳	۵/۴	۵/۳۹	۵/۴۲	۵/۴۴	۵/۴۶
Ni (ppm)	۴۰	۹۵	۱۰۵	۱۳۲	۱۳۴	۱۵۰	۹۶	۱۳۱
P (%)	۰/۰۲	۰/۰۹	۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۳	۰/۱۲	۰/۱۲
Pb (ppm)	<۱۰	<۱۰	<۱۰	<۱۰	<۱۰	<۱۰	<۱۰	<۱۰
S (%)	۰/۱۷	۰/۲۷	۰/۳	۰/۴۶	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۶
Sb (ppm)	<۵	<۵	<۵	<۵	<۵	<۵	<۵	<۵
Sc (ppm)	<۵	<۵	<۵	<۵	<۵	<۵	<۵	<۵
Se (ppm)	<۵	<۵	<۵	<۵	<۵	<۵	<۵	<۵
Sn (ppm)	<۵	<۵	<۵	<۵	<۵	<۵	<۵	<۵
Sr (ppm)	۱۰۰	۱۹۹	۳۵۱	۳۸۸	۳۶۲	۳۴۷	۳۲۲	۳۳۶
Ti (%)	۰/۰۴	۰/۴۱	۰/۴۴	۰/۴۲	۰/۶۶	۰/۶۴	۰/۶۶	۰/۶۶
V (ppm)	۲۶	۱۳۴	۱۱۳	۱۲۵	۲۳۵	۱۴۰	۱۵۱	۱۴۸
Y (ppm)	<۵	<۵	<۵	<۵	<۵	<۵	<۵	<۵
Zn (ppm)	۱۳۲	۱۲۶	۱۲۱	۴۰۵	۲۶۱	۱۹۳	۱۳۹	۱۲۱

آن‌ها پرداخته شده است.

شاخص فاکتور آلودگی

به منظور بررسی وضعیت آلودگی فلزات، برای تمام ایستگاه‌ها فاکتور آلودگی (CF) محاسبه شد تا مقدار آلودگی ایستگاه‌های مختلف به فلزات سمی مشخص شود.

به این منظور مقدار فاکتور آلودگی (CF) از تقسیم مقدار غلظت فلز در نمونه رسوب بر مقدار شیل میانگین محاسبه شد که بر اساس آن CF بالاتر از ۱ (CF > 1) نشان‌دهنده آلودگی و CF کمتر از ۱ (CF < 1) نشان‌دهنده عدم آلودگی ایستگاه به فلز مورد نظر می‌باشد سپس با استفاده از رابطه (۱) مقدار شاخص بار آلودگی محاسبه شد.

$$CF = \frac{C_{mSample}}{C_{mBackground}} \quad (1)$$

که در آن $C_{mSample}$ غلظت فلز مورد نظر در رسوبات رودخانه و $C_{mBackground}$ مقدار فلز معادل با متوسط سنگ‌های سطحی ارایه شده توسط (Martin & Meybeck, 1979) می‌باشد.

طبقه‌بندی فاکتور آلودگی (CF) و سطوح مختلف آلودگی (Turekian & Wedepohl, 1961) در جدول (۳) نشان داده شده است. مقدار فاکتور آلودگی (CF) برای عناصر فلزی در نمونه‌های رسوب مورد مطالعه محاسبه و در جدول (۴) و شکل

در شمال ایران و در ارتفاعات جنوبی مشرف به شهرستان رحیم آباد در شرق استان گیلان، رودخانه پلرود از ارتفاعات منشا گرفته و در مصب به دریای خزر می‌رسد. رخنمون گسترده سنگ‌های متنوع آذرین با سن کرتاسه و ژوراسیک در این منطقه احتمال وجود آلودگی به عناصر فلزی در این رودخانه را محتمل می‌سازد شکل (۲). قسمت اعظم رودخانه از سنگ‌های آذرین و آهک‌های کرتاسه فوقانی و تنها بخش‌های بالایی رود از سازندهای جواهرده ژوراسیک عبور می‌نماید. سنگ‌های آذرین منطقه شامل بازالت‌های بالشی و دایک‌های دیابازی مجموعه افیولیتی جنوب دریای خزر (Salavati et al., 2013) می‌باشد. رودخانه مورد مطالعه در ارتفاعات شمالی ایران و در بخش پرآب کشور قرار دارد. میزان نزولات سالانه در این منطقه بین ۶۰۰ تا ۲۰۰۰ میلی‌متر است و با توجه به میزان بارندگی رودخانه پلرود در تمام طول سال پرآب می‌باشد. رودخانه پلرود با میزان آبدهی ۲۰۰ لیتر در ثانیه از پرآب‌ترین رودخانه‌های منطقه است.

نتایج

بررسی روند تغییرات عناصر در رسوبات مورد مطالعه

به منظور بررسی روند تغییرات عناصر در رسوبات مورد مطالعه و تعیین فاکتورهای آلودگی در آن‌ها از شاخص‌های مختلف تعیین آلودگی استفاده شده است که در زیر به تفصیل به هر یک از

با توجه به مقادیر محاسبه شده برای فاکتور آلودگی در رسوبات رودخانه پلرود، فاکتور آلودگی عناصر آلومینیوم در تمامی ایستگاه‌ها و تیتانیوم (به جز ایستگاه ۱) فاقد آلودگی می‌باشند. عناصر آهن و کروم (بجز در ایستگاه ۱) در همه ایستگاه‌ها آلودگی متوسط را نشان می‌دهند. مس، کبالت، نیکل و روی در بیشتر ایستگاه‌ها دارای رده آلودگی متوسط می‌باشند. این در حالیست که نیکل در ایستگاه ۶ و روی در ایستگاه ۴ آلودگی رده بالا دارند جدول (۴).

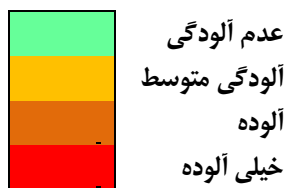
(۲) ارایه شده است. داده‌های حاصل از محاسبه، نشان می‌دهند که این فاکتور برای عنصر Zn در پایین‌دست در حد آلودگی پایین بوده و به سمت بالادست بر میزان آن افزوده می‌شود.

جدول (۳): فاکتور آلودگی (CF) و سطح آلودگی (Turekian & Wedepohl, 1961)

ضریب آلودگی	سطح آلودگی
$CF < 1$	آلودگی پایین
$1 \leq CF < 3$	آلودگی متوسط
$3 \leq CF < 6$	آلودگی قابل توجه
$CF > 6$	آلودگی خیلی زیاد

جدول (۴): تغییرات فاکتور آلودگی (CF) برای فلزات در رسوبات رودخانه پلرود

فلزات سنگین	فاکتور آلودگی CF							
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
Cu	۰/۳۱	۱/۵۶	۱/۰۰	۱/۰۹	۲/۰۶	۰/۸۴	۱/۵۰	۰/۸۸
Co	۰/۱۷۲	۰/۸۲۸	۰/۹۳۱	۰/۹۶۶	۱/۳۱	۱/۰۶۹	۱/۱۰۳	۱/۰۳۴
Fe	۰/۲۶۱	۱/۲۴۷	۱/۳۹۲	۱/۴۱۷	۱/۷۱۸	۱/۵۵۷	۱/۵۸۴	۱/۴۸۱
Cr	۰/۴۲۰	۱/۷۹	۱/۲۸	۱/۵۰	۲/۳۹	۱/۶۶	۱/۴۹	۱/۶۳
Mn	۰/۱۳	۱/۰۰	۰/۴۸	۰/۸۷	۱/۰۹	۰/۹۴	۱/۰۷	۰/۹۷
Ni	۰/۸۱۶	۱/۹۳۸	۲/۱۴۲	۲/۶۹۳	۲/۷۳۴	۳/۰۶۱	۱/۹۵۹	۲/۶۷۳
Zn	۱/۰۴	۰/۹۹	۰/۹۵	۳/۱۹	۲/۰۶	۱/۵۲	۱/۰۹	۰/۹۵
Al	۰/۱۰۲	۰/۷۲۴	۰/۶۳۹	۰/۵۴۶	۰/۴۴	۰/۵۶۴	۰/۶۲۱	۰/۵۱۳
Ti	۱/۰۵	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰

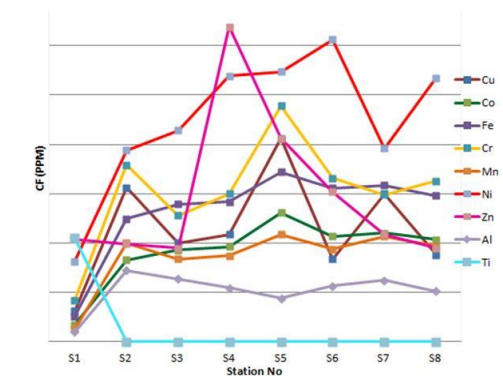


شاخص ضریب غنی‌شدگی

تمایز فلزات با منشأ انسان‌زاد از فلزاتی که از هوازدگی طبیعی سنگ‌ها حاصل شده‌اند، بخش ضروری هر مطالعه ژئوشیمی محیط‌زیستی است. ضریب غنی‌شدگی (EF: Enrichment Factor) نشان‌دهنده‌ی مقدار افزایش غلظت یک عنصر نسبت به غلظت طبیعی آن در پوسته، سنگ بستر یا خاک است. به عبارت دیگر این ضریب بیانگر شدت تاثیر عامل خارجی (انسان‌زاد) می‌باشد (Li et al., 2021).

ضریب غنی‌شدگی یک عنصر خاص در یک نمونه معین عبارت است از نسبت غلظت آن عنصر در آن نمونه به غلظت زمینه همان عنصر در جامعه‌ای که نمونه مربوطه متعلق به آن است. این ضریب در تحلیل‌های محیط‌زیستی یکی از عوامل مهم ارزیابی میزان تمرکز عناصر تحت تاثیر عوامل انسان‌زاد و طبیعی

با وجود آنومالی‌های متغیر در ایستگاه‌ها، به طور کلی فاکتور آلودگی تمامی عناصر از بالادست به سمت مصب با شیب ملایمی در حال افزایش است شکل (۲).



شکل (۲): رابطه بین تغییرات فاکتور آلودگی هر عنصر در هر ایستگاه

است که از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Lu et al., 2009):

$$EF = \frac{[C_x/C_{ref}]_{\text{sample}}}{[C_x/C_{ref}]_{\text{Background}}}$$

در این رابطه:

$EF =$ ضریب غلظت غنی‌شدگی، $C_x =$ غلظت اندازه‌گیری در نمونه‌های رسوب، $C_{ref} =$ غلظت عنصر مرجع (Fe) است. آهن به عنوان عنصر مرجع برای عادی‌سازی انتخاب شده است چون منابع طبیعی مقادیر بسیار زیادی از آن را دارا می‌باشند. اگر میزان ضریب غنی‌شدگی کم باشد آلودگی چندان اهمیتی ندارد. زیرا، معمولاً غنی‌شدگی‌های کوچک مقدار مربوط به اختلاف در ترکیب خاک‌های محلی و یا نوع عنصر مرجع مورد استفاده در محاسبه ضریب غنی‌شدگی می‌باشد (Kartal et al., 2006). ضریب غنی‌شدگی بین ۰/۵ تا ۱/۵ نشان‌دهنده‌ی منشا طبیعی و

مقادیر بالاتر از ۱/۵، نشان‌دهنده منشا انسان‌زاد است (Klerks & Levinton 1989, Zhang & Liu, 2002). گروه‌بندی ضریب غنی‌شدگی (Mmolawa et al., 2011) در جدول (۵) نشان داده شده است.

جدول (۵): گروه‌بندی ضریب غنی‌شدگی (Mmolawa et al., 2011)

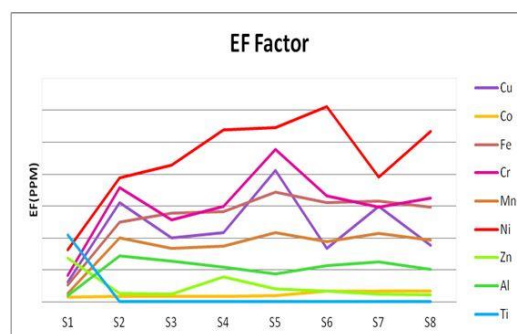
گروه ضریب غنی‌شدگی (EF)	ضریب غنی‌شدگی (EF)
حداقل غنی‌شدگی	$EF < 2$
غنی‌شدگی متوسط	$2 \leq EF < 5$
غنی‌شدگی مشخص	$5 \leq EF < 20$

این ضریب برای عناصر مورد مطالعه به تفکیک ایستگاه محاسبه و در جدول (۶) و شکل (۳) ارائه شده است.

جدول (۶): ضریب غنی‌شدگی EF برای فلزات سنگین رسوبات رودخانه پلرود

فلزات سنگین	شاخص EF							
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
Cu	۰/۳۱	۱/۵۶	۱/۰۰	۱/۰۹	۲/۰۶	۰/۸۴	۱/۵۰	۰/۸۸
Co	۰/۰۶۵	۰/۰۸۶	۰/۰۸۷	۰/۰۸۸	۰/۰۹۹	۰/۱۷۳	۰/۱۶۷	۰/۱۶۳
Fe	۰/۲۶۱	۱/۲۴۷	۱/۳۹۲	۱/۴۱۷	۱/۷۱۸	۱/۵۵۷	۱/۵۸۴	۱/۴۸۱
Cr	۰/۴۲	۱/۷۹	۱/۲۸	۱/۵۰	۱/۳۹	۱/۶۶	۱/۴۹	۱/۶۳
Mn	۰/۱۳	۱/۰۰	۰/۸۴	۰/۸۷	۱/۰۹	۰/۹۴	۱/۰۷	۰/۹۷
Ni	۰/۸۱۶	۱/۹۳۸	۲/۱۴۲	۲/۶۹۳	۲/۷۳۴	۳/۰۶	۱/۹۵۹	۲/۶۷۳
Zn	۰/۶۹	۰/۱۳۸	۰/۱۱۹	۰/۳۹۱	۰/۲۰۷	۰/۱۶۹	۰/۱۲۰	۰/۱۱۲
Al	۰/۱۰۲	۰/۷۳۴	۰/۶۳۹	۰/۵۴۶	۰/۴۴	۰/۵۶۴	۰/۶۲۱	۰/۵۱۳
Ti	۱/۰۵	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۲

با توجه به شاخص EF و مقادیر محاسبه شده در جدول ذیل با مشاهده تغییرات بسیار ناچیز در نتایج غنی‌شدگی کلیه عناصر مورد مطالعه (به جز سه عنصر مس، کروم و نیکل) در هر ۸ ایستگاه دارای حداقل آلودگی یا فاقد آلودگی می‌باشند. بدین ترتیب عناصر مس و کروم در ایستگاه پنجم و عنصر نیکل در ایستگاه ۶، ۵، ۴، ۳ و ۸ دارای غنی‌شدگی بیش از ۲ در رده غنی‌شدگی با آلودگی متوسط قرار می‌گیرد.



شکل (۳): نمودار خطی رابطه تغییرات فاکتور غنی‌شدگی EF در ایستگاه‌های هشت گانه رسوبات رودخانه پلرود

شاخص زمین انباشتگی

به منظور تعیین شدت آلودگی و برای تفکیک سهم عوامل طبیعی از عوامل انسانی در تمرکز فلزات سمی در رسوبات رودخانه پلرود در منطقه مورد مطالعه از شاخص زمین شیمیایی مولر (Muller, 1969) یا اندیس غنی‌شدگی زمین شیمیایی (Igeo) استفاده شده است.

این اندیس بیانگر آلودگی محیط در مقادیر بالا (۵ و ۶) و محیط فاقد آلودگی در مقادیر پایین (نزدیک به ۱) است که اساس آن بر فرمول رابطه (۳) استوار است:

$$Igeo = \log_2(Cn/1.5 \times Bn) \quad (3)$$

که در آن پارامترها عبارتند از:

Igeo: شاخص تجمع شیمیایی و یا شاخص شدت آلودگی در رسوبات

Cn: غلظت فلزات سنگین و سمی در رسوبات سطحی ریز با قطر کمتر از ۶۳ میکرون

Bn: غلظت فلزات سمی در شیل یا غلظت پیشین و اولیه عناصر در زمانی که آلودگی وجود نداشته است.

در فرمول (۳) به لحاظ آن که 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 غیرآلوده کمتر است، بنابراین باید برای متعادل سازی آن را در عدد ۱/۵ ضرب کرد.

در این پژوهش Bn مقدار زمینه عنصر موردنظر در نمونه برداشت شده از بالادست رودخانه به عنوان نمونه شاهد است. مقدار غلظت زمینه، مقدار مشخصی از یک عنصر در خاک بوده که به عنوان آلودگی در منطقه در نظر گرفته نمی‌شود (Siegel, 2002). بر اساس طبقه‌بندی مولر (Muller, 1969) هفت رده آلودگی تعریف شده است جدول (۷). در جدول (۸) شاخص زمین انباشت برای عناصر به تفکیک نمونه‌ها آورده شده است.

جدول (۷): راهنمای استفاده از شاخص ژئوشیمیایی (زمین انباشت) بر اساس طبقه‌بندی مولر (Muller, 1969)

کمتر از ۰	غیر آلوده
۰-۱	آلوده تا کمی آلوده
۱-۲	کمی آلوده
۲-۳	کمی آلوده تا خیلی آلوده
۳-۴	خیلی آلوده
۴-۵	خیلی آلوده تا شدیداً آلوده
بزرگتر از ۵	شدیداً آلوده

با توجه به نمودار و جدول (۸) غلظت عناصر در رسوبات و میزان آلودگی کمی در ایستگاه‌های هشتم تا دوازدهم مشاهده می‌شود.

جدول (۸): تغییرات شاخص زمین انباشتگی عناصر در رسوبات رودخانه پلرود

Igeo شاخص بار آلودگی								
فلزات سنگین	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
Cu	-۲/۲۶۰	۰/۶۰	۰/۵۸	۰/۴۶	۰/۴۶	-۰/۸۳	۰/۰۰	-۰/۷۸
Co	۱/۹۸	۲/۶۷	۲/۷۲	۲/۷۳	۲/۸۷	۲/۷۸	۲/۷۹	۲/۷۶
Fe	-۲/۵۲	-۰/۲۶	-۰/۱۰۷	-۰/۰۸	۰/۱۹۶	۰/۰۵۳	۰/۰۷۹	-۰/۰۷
Cr	-۱/۸۳	۰/۲۵	-۰/۲۳	۰/۰	۰/۶۷	۰/۱۴	-۰/۰۱	۰/۱۲
Mn	-۳/۵۵	-۰/۵۸	-۰/۸۳	-۰/۷۹	-۰/۴۷	-۰/۶۷	-۰/۴۸	-۰/۶۳
Ni	-۰/۸۷۷	۰/۳۷	۰/۵۱۴	۰/۸۴۴	۰/۸۶۶	۱/۰۲۹	۰/۳۸۵	۰/۸۳۳
Zn	-۰/۵۳	-۰/۶۰	-۰/۶۵۰	۱/۰۹	۰/۴۵۰	۲/۰۲	۱/۴۵۰	۰/۶۵۰
Al	-۳/۸۷۱	-۰/۱۰۵	-۱/۲۳۰	-۱/۴۵۵	-۱/۷۶۹	-۱/۴۱۰	-۱/۲۷۰	-۱/۵۴۵
Ti	-۱۷/۱۲۰	-۱۳/۷۶۳	-۱۳/۶۶۱	-۱۳/۷۲۸	-۱۳/۰۷۶	-۱۳/۱۲۱	-۱۳/۰۷۶	-۱۳/۰۷۶

رودخانه شده است. مقادیر بیشتر از ۲ عنصر کبالت در ۷ ایستگاه نشانگر خطر آلودگی کم تا خیلی آلوده است. فلز نیکل و روی به

از بررسی تغییرات شاخص Igeo می‌توان چنین نتیجه گرفت که بیشترین عناصر سرب، کبالت، نیکل و روی سبب ایجاد آلودگی در

مطالعه نشان می‌دهد که در تمامی نمونه‌ها مقدار این شاخص بالاتر از یک بوده و نشان‌دهنده آلودگی رسوب به عناصر فلزی سمی است (جدول ۹).

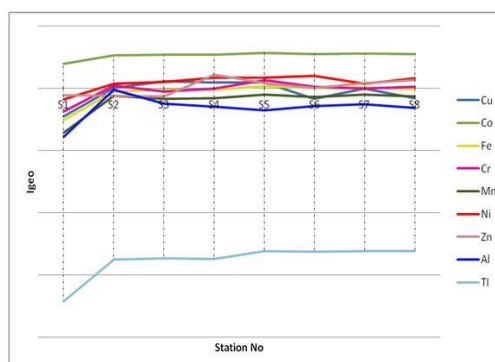
جدول (۹): مقادیر محاسبه‌شده شاخص بار آلودگی در رسوبات مورد مطالعه

PLI	STATION NO.
۰/۰۸۹	S1
۰/۳۸۹	S2
۰/۳۵۰	S3
۰/۴۲۴	S4
۰/۵۰۰	S5
۰/۴۱۶	S6
۰/۴۱۵	S7
۰/۳۸۳	S8

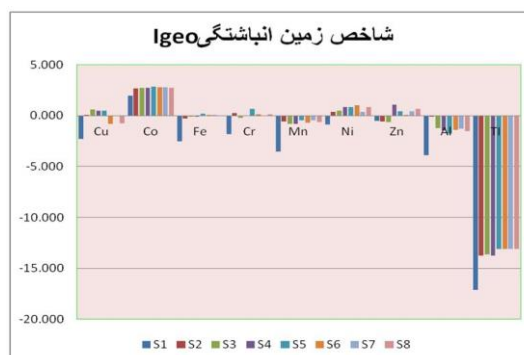
بحث و نتیجه‌گیری

رودخانه‌ها یکی از آسیب‌پذیرترین محیط‌ها نسبت به آلودگی هستند. رسوبات بستر رودخانه به علت توانایی بالا در جذب آلاینده‌ها می‌توانند نماینده مناسبی برای بررسی شدت آلودگی در رودخانه‌ها باشند (Palit, 2019). فلزات سمی در میان آلاینده‌های محیط‌زیست جایگاه ویژه‌ای دارند. این فلزات دارای وزن مخصوص بیش از ۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشند که اکثراً دارای اثر سمی برای موجودات زنده هستند فلزات سنگین نیز دلیل محلول بودن در آب سبب تخریب اکوسیستم‌های آبی شده و با ورود به زنجیره غذایی سبب تهدید انسان و سایر جانداران می‌شوند. رسوبات در اثر هوازگی سنگ‌های بستر واریزه‌های غیرآلوده و شستشوی حوضه رودخانه‌های غیرآلوده روی هم انباشته و اجزای اصلی رسوبات را تشکیل می‌دهند (Yang & Rose, 2005). در برخی رودخانه‌ها میزان فلزات سنگین ممکن است به دلیل فعالیت‌های انسانی نسبت به مقدار استاندارد بالاتر رود (Liu et al., 2006). غلظت طبیعی این فلزات در رسوبات رودخانه‌ای به کانی‌شناسی، اندازه دانه‌ها و مقدار مواد آلی بستگی دارد (Emam & Saad-Eldin, 2013). مطالعات زمین‌شیمیایی نشان می‌دهد که رسوبات با اندازه ریزتر دارای آلودگی جدی‌تری نسبت به رسوبات بزرگ‌تر می‌باشند. زیرا، تمرکز فلزات سنگین در بخش‌های ریزدانه بیشتر است (Liu et al., 2006). یکی از بزرگترین مشکلات همراه با تداوم

ترتیب با مقادیر ۱/۰۲۹ و ۱/۰۹۰ در ایستگاه ۶ و ۴ در رده آلودگی کم قرار می‌گیرد. عنصر مس در ایستگاه ۱، ۶ و ۸ غیرآلوده و در ایستگاه‌های ۲، ۳، ۴، ۵ و ۷ آلودگی خفیفی دارا می‌باشد. همچنین مقادیر عنصر کروم در ایستگاه ۱، ۲ و ۷ نشان‌دهنده عدم آلودگی و آلودگی کم در ایستگاه‌های ۳، ۴، ۵، ۶ و ۸ است (شکل‌های ۴ و ۵).



شکل (۴): تغییرات خطی شاخص زمین انباشتگی عناصر رودخانه پلرود در هر ایستگاه



شکل (۵): تغییرات شاخص زمین انباشتگی در رسوبات رودخانه پلرود

شاخص بار آلودگی

PLI شاخص بار آلودگی از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$PLI = (CF_1 \times CF_2 \times CF_3 \times \dots \times CF_n)^{1/n}$$

n: در اینجا تعداد فلزات و CF ضریب آلودگی می‌باشد. شاخص بار آلودگی بیشتر از یک ($PLI > 1$) نشان‌دهنده آلودگی و کمتر از یک ($PLI < 1$) نشان‌دهنده عدم آلودگی است. شاخص بار آلودگی نزدیک به ۱ نشان‌دهنده غلظت نزدیک به زمینه است، در حالی که مقادیر بیش از ۱ آلودگی رسوبات را نشان می‌دهد. مقادیر محاسبه شده برای شاخص بار آلودگی نمونه رسوبات مورد

ژوراسیک منطقه رخنمون‌هایی از دایک‌های بازالتی دیده می‌شود. با توجه به این که ایستگاه‌های ۵ و ۷ بعد از رخنمون این سنگ‌ها در منطقه انتخاب شده‌اند و عمده‌ی آنومالی‌های عناصر سرب و روی و نیکل در این ایستگاه‌ها قابل مشاهده است و با توجه به این که عامل انسان‌زادی برای این آلودگی‌ها در منطقه قابل مشاهده نیست، به نظر می‌رسد که علت وجود این آنومالی‌ها مرتبط با ساختار زمین‌شناسی منطقه و وجود سنگ‌های بازالتی مجموعه افیولیتی باشد.

تشکر و قدردانی

تحقیق حاضر با مساعدت معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان انجام شده است که مولفین بدین‌وسیله مراتب سپاسگزاری خود را اعلام می‌دارند.

فلزات سنگین پتانسیل انباشتگی و بیولوژیکی و زیست مغناطیسی آن‌ها است که نتیجه آن پیامدهای طولانی مدت بر سلامت انسان و اکوسیستم می‌باشد (Qiu et al., 2011; Wang & Rain Bow, 2008).

به نظر می‌رسد روند تغییرات غلظت عناصر در رودخانه پلرود در درجه اول تحت تاثیر شرایط زمین‌شناسی منطقه است. نتایج حاصل از تجزیه نمونه‌های برداشت شده و محاسبه شاخص‌های Igeo, EF و CF آلودگی برای عناصر مس، کبالت، کروم و نیکل را در ایستگاه‌های هفت و پنج نمونه‌برداری شده نشان می‌دهند که این آلودگی می‌تواند نتیجه تاثیر و تجزیه سنگ‌های مافیک و الترامافیک مجموعه افیولیتی موجود در غرب رودخانه مورد مطالعه باشد. بر اساس نقشه زمین‌شناسی در مناطق غرب منطقه مورد مطالعه رخنمون گسترده‌ای از سنگ‌های گدازه‌های بالشی مرتبط با مجموعه افیولیتی جنوب دریای خزر قابل مشاهده است (Salavat et al., 2013). علاوه بر آن در بین سنگ‌های

فهرست منابع

- Bagheri, H.; Sharmad, T.; KhairAbadi, V.; Darvish Bastami, K. & Bagheri, Z. 2011. Tracing and Assessment of Heavy Metals in Gorganrud Sediments. *Oceanography*, 2(5): 35-39 (In Persian).
- Bhuyan, S. & Islam, S. 2017. A Critical Review of Heavy Metal Pollution and Its Effects in Bangladesh. *Environmental and Energy Economics*, 2(1): 12-25.
- Dokht Bandari, M.G. & Rezaie, P. 2015. Study of Some Heavy Metal Pollutions in the Hormuz Islands Coastal Sediments and Their Origin. *Oceanography*, 6(22): 97-106 (In Persian).
- Effendi, H.; Kawarob, M.; Mursalina & Lestari, D.F. 2016. Ecological risk assessment of heavy metal pollution in surface sediment of Mahakam Delta, East Kalimantan. *Procedia Environmental Sciences*, 33: 574 – 582
- Emam, A. & Saad-Eldin, M. 2013. Distribution and environmental geochemistry of some heavy metals in stream sediments of Wadi Allaqi, South Eastern Desert of Egypt *Arabian Journal of Geosciences*, 6(5): 1325–1332.
- Hassaan, M.A.; El Nemr & A. Madkour, F.F. 2016. Environmental Assessment of Heavy Metal Pollution and Human Health Risk. *American Journal of Water Science and Engineering*, 2(3): 14-19
- Kartal, Ş.; Aydin, Z. & Tokalıoğlu, Ş. 2006. Fractionation of metals in street sediment samples by using the BCR sequential extraction procedure and multivariate statistical elucidation of the data. *Journal of Hazardous Materials*, 132(1): 80-89.
- Klerks, P.L. & Levinton, J.S. 1989. Rapid evolution of metal resistance in a benthic oligochaete inhabiting a metal-polluted site. *Biological Bulletin*, 176(2): 135-141.
- Li, Y.; Zhou, H.; Gao, B. & Xu, D. 2021. Improved enrichment factor model for correcting and predicting the evaluation of heavy metals in sediments. *Science of The Total Environment*, 755(1): 142437.
- Li, C.; Sun, M.; Song, C., Tao, P.; Yin, Y. & Shao, M. 2017. Assessment of Heavy Metal Contamination in the Sediments of the Shuangtaizi Estuary Using Multivariate Statistical Techniques. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 26(1): 45-58.

- Liu, L.; Li, F.; Xiong, D. & Song, C. 2006. Heavy metal contamination and their distribution in different size fractions of the surficial sediment of Haihe River, China. *Environmental Geology*, 50(3): 431 -438.
- Lu, X., Wang, L., Lei, K.; Huang, J. & Zhai, Y. 2009. Contamination assessment of copper, lead, zinc, manganese and nickel in street dust of Baoji, NW China. *Journal of Hazardous Material*, 161(2-3): 1058-1562.
- Martin, J. & Meybeck, M. 1979. Elemental Mass-Balance of Material Carried by Major World Rivers. *Marine Chemistry*, 7(3): 178-206.
- Mmolawa, K.; Likuku A. & Gaboutloeloe, G. 2011. Assessment of Heavy Metal Pollution in Soils along Roadside Areas in Botswana. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 5(3): 186- 196.
- Mohammedi Galangash, M.; Solgi, E. & Bozorgpanah, Z. 2017. An Assessment of Heavy Metals in Coastal Sediments of the Caspian Sea, Guilan Province. *Oceanography*, 8(31): 27-34 (In Persian).
- Mugoša, B.; Đurović, D.; Nedović-Vuković, M.; Barjaktarović-Labović, S. & Vrvic, M. 2016. Assessment of Ecological Risk of Heavy Metal Contamination in Coastal Municipalities of Montenegro. *International journal of Environmental Research and Public Health*, 13(4): 1-15.
- Muller, G. 1969. Index of Geoaccumulation in Sediments of the Rhine River. *Geo Journal*, 2(3): 108-118.
- Nematollahi, M.J.; Keshavarzi, B.; Moore, F.; Vogt, R.D. & Saravi, H.N. 2021. Trace elements in the shoreline and seabed sediments of the southern Caspian Sea: investigation of contamination level, distribution, ecological and human health risks, and elemental partition coefficient. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(43): 1-24.
- Palit, S. 2019. Arsenic and Heavy Metal Contamination in Groundwater in South Asia, Groundwater Remediation, and the Vision for the Future. In *Handbook of Research on Food Science and Technology*, Apple Academic Press, 22 pp.
- Qiu, Y.W.; Lin, D.; Liu, J.Q.; Zeng & E.Y. 2011. Bioaccumulation of trace metals in farmed fish from South China and potential risk assessment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 74(3): 284–293.
- Salavati, M.; Kananian, A. & Noghreian, M. 2013. Geochemical characteristics of mafic and ultramafic plutonic rocks in southern Caspian Sea Ophiolite (Eastern Guilan), *Arabian Journal of Geosciences*, 6(12): 4851–4858.
- Siegel, F. R. 2002. *Environmental Geochemistry of Potentially toxic metals*. Springer, New York, 218 pp.
- Turekian, K.K. & Wedelpohl, KH. 1961. Distribution of the elements in some major units of the Earth Crust. *Bulletin of the Geological Society of America*, 72(2): 175 -192.
- Vesali Naseh, M.R.; Karbassi, A.; Ghazaban, F. & Baghvand, A. 2012. Evaluation of Heavy Metal Pollution in Anzali Wetland, Guilan, Iran. *Iranian Journal of Toxicology*, 5(15): 565-576 (In Persian).
- Wang, W.X. & Rainbow, P.S. 2008. Comparative approaches to understand metal bioaccumulation in aquatic animals. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 148(4): 315-323.
- Yang, H. & Rose, N. 2005. Trace Element Pollution Records in Some U.K Lake Sediments, Their History, Influence Factors and Regional Differences. *Environment International*, 31(1): 63-75.
- Zhang, J. & Liu, C.L. 2002. Riverine composition and estuarine geochemistry of particulate metals in China Weathering features, anthropogenic impact and chemical fluxes. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 54(2): 1051–1070.