

ارزیابی خطر سلامتی عناصر بالقوه سمی در رسوبات رودخانه‌ای غرب و جنوب غرب دریاچه ارومیه

مژگان دهقانی^{۱*}، حسین پیرخرافی^۲، راضیه لک^۳ و فرخ اسدزاده^۴

۱- دانشجوی دکترا زمین‌شناسی زیست‌محیطی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۲- دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۳- دانشیار پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ایران

۴- دانشیار گروه علوم و خاک، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

نویسنده مسئول: Mo.dehghani2020@gmail.com*

نوع مقاله: کاربردی

پذیرش: ۱۴۰۱/۶/۲۲

دریافت: ۱۴۰۱/۳/۱۴

چکیده

دریاچه ارومیه با بیش از ۵۱ هزار کیلومتر مربع مساحت، یکی از ۶ حوضه آبریز اصلی ایران است. رودخانه‌های نازلوچای، شهرچای، بازاندوزچای، گذارچای، مهابادچای و سیمینه‌رود واقع در غرب و جنوب غرب دریاچه ارومیه از جمله مهم‌ترین رودخانه‌های تامین‌کننده آب دریاچه هستند. هدف از مطالعه حاضر ارزیابی ریسک سلامتی فلزات سنگین شامل کادمیوم، سرب، نیکل، کبالت، آرسنیک و کروم در رسوبات سطحی بستر رودخانه‌های غرب و جنوب غرب دریاچه ارومیه می‌باشد که بدین منظور ۲۲ نمونه رسوب از عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر به طور تصادفی برداشته شد و پس از تجزیه نمونه‌ها به روش ICP-OES، ریسک غیرسرطان‌زایی برای همه عناصر مورد مطالعه و ریسک سرطان‌زایی برای عناصر با سرطان‌زایی قطعی (کادمیوم، نیکل و کروم) محاسبه گردید. براساس نتایج، بیشترین غلظت نیکل، کبالت و کروم در رودخانه‌های باراندوزچای و گذارچای، بیشترین غلظت آرسنیک در دلتا و پایین‌دست رودخانه‌های نازلوچای و مهابادچای و بیشترین غلظت کادمیوم در دلتای نازلوچای و پایین‌دست سیمینه‌رود ثبت گردید که در موارد ذکر شده غلظت فلزات سنگین بسیار بیش از مقدار زمینه است. دوزهای میانگین روزانه فلزات سنگین مورد مطالعه برای کودکان و بزرگسالان بدین ترتیب اندازه‌گیری شد: کادمیوم > سرب > آرسنیک > کبالت > کروم > نیکل. همچنین نتایج نشان داد که بیشترین ریسک غیرسرطان‌زایی برای کودکان به ترتیب مربوط به کبالت، کروم و نیکل بوده که ریسک غیرسرطان‌زایی کبالت (۰/۵۱) و کروم (۰/۲۱۵) به آستانه نزدیک است. ریسک کلی (HI) همه فلزات سنگین مورد مطالعه برای کودکان نیز در نزدیکی حد آستانه قرار دارد. ریسک کلی کروم و کبالت به ترتیب در ۵ و ۴ نمونه نزدیک به حد آستانه است و تنها در یک نمونه واقع در پایین‌دست باراندوزچای، ریسک کلی کبالت از مقدار آستانه فراتر رفته است. ریسک سرطان‌زایی کادمیوم و نیکل در نمونه‌های مورد مطالعه سلامت انسان را تهدید نمی‌کند درحالی‌که ریسک سرطان‌زایی کروم به حد آستانه نزدیک شده و به تبع آن ریسک سرطان‌زایی کل نیز در نزدیکی حد آستانه قرار دارد.

واژه‌های کلیدی: فلزات سنگین، رسوبات سطحی رودخانه، ریسک سلامتی، ریسک سرطان‌زایی، دریاچه ارومیه

۱- پیشگفتار

گذشته توجه زیادی را به خود جلب نموده است؛ زیرا آلودگی فلزات سنگین با کیفیت غذا، مشکلات زیست‌محیطی و کیفیت آب و خاک مرتبط است (الکساکیس و همکاران، ۲۰۱۵؛ کاستاندی و همکاران، ۲۰۱۲؛ پایادوپولو و همکاران، ۲۰۱۳؛ شی و همکاران، ۲۰۱۳؛ عباسلو و همکاران، ۲۰۱۴؛ کاور و همکاران، ۲۰۱۴؛ چاترجی و همکاران، ۲۰۱۵؛ راجشکومار و همکاران، ۲۰۱۸؛ ال‌گادومی و همکاران، ۲۰۱۹). آلودگی رسوبات رودخانه‌ای به فلزات سنگین توسط برخی از محققین کشورمان نیز مورد ارزیابی قرار گرفته است (بهروش و

رودخانه‌ها به عنوان مجموعه‌ای از عملکردهای اکولوژی مانند انتقال آب، کشاورزی، اکوتوریسم و زیستگاه اکولوژی عمل می‌کنند (هاکاند و همکاران، ۲۰۲۰؛ اسلام، ۲۰۲۱؛ علی و همکاران، ۲۰۲۲). افزایش فلزات سنگین در آب‌ها و رسوبات به دلیل تجمع زیستی، عدم تجزیه زیستی، پایداری و خطرات زیست‌محیطی آن‌ها مشکلی جهانی است (گورتی و همکاران، ۲۰۱۶؛ زیا و همکاران، ۲۰۲۰؛ چوداری و همکاران، ۲۰۱۶؛ اوستاگلو و اسلام، ۲۰۲۰). به همین دلیل، ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در چند دهه

مطالعات مختلف انجام شده طی سال‌های گذشته غلظت بالای برخی فلزات سنگین در رسوبات رودخانه‌های اطراف دریاچه ارومیه و رسوبات این دریاچه را گزارش کرده‌اند (موسوی و همکاران، ۱۳۹۵؛ کاظمی و همکاران، ۱۳۹۸؛ لاهیجانی و همکاران، ۱۳۹۹؛ دهقانی و همکاران، ۱۴۰۱). از سوی دیگر، با توجه به خشک شدن فصلی و معلق شدن رسوبات به صورت گرد و غبار، امکان ورود فلزات سنگین موجود در رسوبات به سیستم تنفسی انسان‌ها وجود دارد، زیرا شدت آلودگی نه تنها به غلظت فلزات بلکه به تحرک و زیست‌دسترس‌پذیری آن‌ها نیز بستگی دارد (لو و همکاران، ۲۰۰۹). طوفان‌های گرد و غبار در نتیجه خشک شدن دریاچه‌ها اثرات منفی بر سلامت انسان و محیط زیست دارند (ایزدبسیکی و همکاران، ۲۰۱۶؛ فاربرادر و همکاران، ۲۰۱۷؛ استیج و همکاران، ۲۰۱۷). دریاچه ارومیه در دو دهه گذشته بیشتر حجم آبی خود را به دلیل سوءمدیریت و خشکسالی از دست داده است (حسن‌زاده و همکاران، ۲۰۱۲؛ چاداری و همکاران، ۲۰۱۸؛ خزائی و همکاران، ۲۰۱۹). رودخانه‌های اطراف دریاچه ارومیه، به‌خصوص رودخانه‌های جنوب و جنوب غربی آن منبع اصلی رسوبات ورودی به دریاچه هستند؛ به‌طوری‌که زرينه‌رود (جیغاتی)، سیمینه‌رود (تاتائو)، سویوق بولاتی‌چای و گدارچای که تامین‌کننده بیش از نیمی از آب‌های ورودی به دریاچه هستند، با عبور از سازندهای زمین‌شناسی و دشت‌های پست جنوب دریاچه ارومیه، بیش از ۲۱۳ میلیون تن (بیش از ۴۰ درصد کل رسوبات وارده به دریاچه) رسوب را از فرسایش این سازندها حمل و وارد دریاچه می‌کنند (گزارشات داخلی وزارت راه و ترابری) که فلزات سنگین نیز به همراه این رسوبات به دریاچه منتقل می‌شوند. بستر خشک دریاچه ارومیه و دلتاها و رودخانه‌های منتهی به آن منبع مهمی از گرد و غبار هستند (قلعه و همکاران، ۲۰۲۱) و فلزات سنگین موجود در رسوبات که همراه با گرد و غبار پراکنده می‌شوند، می‌توانند از طریق تنفس یا جذب پوستی تاثیرات سوء بر سلامت انسان‌ها داشته باشند. برای مثال استنشاق کروم در درازمدت منجر به ایجاد سرطان می‌شود (رابلز و آرمینتا، ۲۰۰۰). همچنین گاهی کودکان و بزرگسالان نیز برای شنا کردن در تماس مستقیم با رسوبات کف رودخانه قرار می‌گیرند. از این‌رو در این مطالعه ارزیابی ریسک سلامت انسان برای رسوبات

پورخباز، ۱۳۹۲؛ داوطلب نظام و همکاران، ۱۳۹۵؛ کاظمی و همکاران، ۱۳۹۸؛ بایگان و همکاران، ۲۰۲۰؛ دهقانی و همکاران، ۱۴۰۱). به‌علاوه، ارزیابی ریسک آلودگی فلزات نادر و ارزیابی آلودگی فلزات سمی به دلیل مسائل مربوط به سلامت انسان در کانون توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است (لار و همکاران، ۲۰۱۳؛ کریم و و قورشی، ۲۰۱۴؛ شی و همکاران، ۲۰۱۶). لاهیجانی و همکاران (۱۳۹۹) که به مطالعه فلزات سنگین در رسوبات بستر رودخانه و سد مهاباد پرداختند، به این نتیجه رسیدند که غلظت سرب، روی، مس، آرسنیک و منگنز در نمونه‌های پایین‌دست سد مهاباد به طور مشهودی بالاتر از بخش‌های دیگر این رودخانه است و همچنین شرایط فیزیکی‌شیمیایی برای تحرک عناصر در رودخانه و سد مهاباد فراهم می‌باشد. موسوی و همکاران (۱۳۹۵) نیز به بررسی آلودگی زیست‌محیطی فلزات سنگین در رسوبات آبراهه‌های منطقه زرشوران - آغدره در شمال تکاب پرداختند. مطالعه ایشان نشان داد که بیشترین غنی‌شدگی مربوط به آرسنیک، آنتیموان، بیسموت، کادمیوم و سرب است و همچنین غلظت فلزات روی، مس، سرب، آرسنیک، آنتیموان، کادمیوم و بیسموت در نمونه‌های رسوبات آبراهه‌ای بیشتر از میانگین جهانی است. در چرخه هیدرولوژی تنها کمتر از ۱ درصد از آلاینده‌ها در آب حل می‌شوند، درحالی‌که بیش از ۹۹ درصد از آن‌ها در رسوبات ذخیره می‌گردند. آلودگی رسوبات ناشی از آب‌شویی خاک، ته‌نشست جوی و فرسایش ساحلی یا بستری خاک، ماسه، مواد آلی یا مواد معدنی است که در کف آب تجمع می‌یابند و دارای اثرات سمی بر سلامت انسان و محیط می‌باشند (وانگ و یانگ، ۲۰۱۳). رسوبات رودخانه‌ای به عنوان یکی از اجزاء اصلی محیط‌های آبی، منبع و یا محل ذخیره فلزات سنگین می‌باشند. به این ترتیب که بخش قابل‌توجهی از فلزات سنگین پس از ورود به رودخانه‌ها توسط رسوبات محیط جذب و نگهداری می‌شوند (هانسون و همکاران، ۱۹۸۳)، اما با تغییر شرایط فیزیکی، شیمیایی و هیدرولوژیکی محیط، فلزات سنگین جذب شده توسط این رسوبات می‌توانند آزاد شده و آلودگی ثانویه را در محیط ایجاد نمایند. تجمع فلزات سنگین در رسوبات به فاکتورهای زیست‌محیطی بسیاری مانند اسیدیته، نوع و غلظت مواد آلی و غیرآلی در رسوبات، دانه‌بندی ذرات و میزان فلز در محیط بستگی دارد (دیویس و همکاران، ۱۹۹۱).

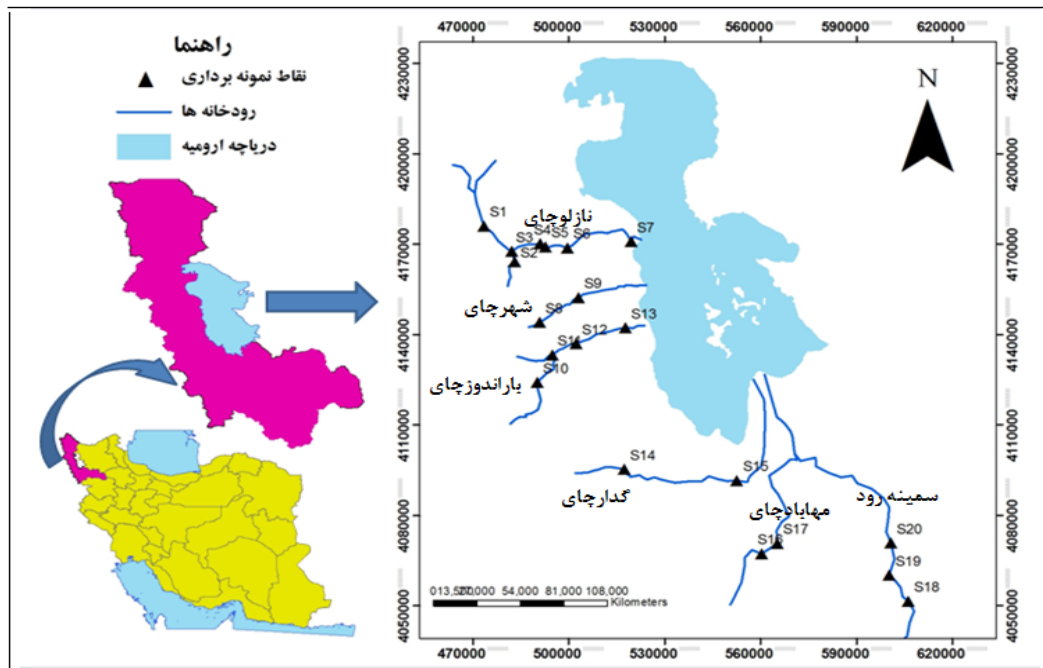
از بخش‌های مرکزی و سیلوانه ارومیه است. شاخه اولیه آن در حوالی ملباسک این رودخانه را تشکیل می‌دهد. پهنای رودخانه در شاخه‌های بالا حدود ۴ متر است که در حوالی روستای باراندوز به ۴۲ متر می‌رسد. گذارچای از دامنه‌های کوه‌های مرزی دالامپر داغ (ارتفاع ۱۲۳۳) واقع در ۲۳ کیلومتری جنوب غربی ارومیه سرچشمه می‌گیرد. حوضه آبریز گذارچای در جنوب غربی دریاچه ارومیه و در بخش‌های مرکزی و اشنویه شهرستان نقده و در قسمت‌های شمالی پیرانشهر قرار دارد. مهابادچای که در اصطلاح محلی چومی سابلانگی نیز نامیده می‌شود، یکی از رودخانه‌های مهم و پرآب حوضه آبریز دریاچه ارومیه می‌باشد که در شهرستان مهاباد و در جنوب غربی حوضه آبریز دریاچه ارومیه جریان دارد. سیمینه‌رود نیز از رودخانه‌های مهم حوضه آبریز دریاچه ارومیه است که در جنوب آذربایجان غربی جریان دارد. حوضه آبریز سیمینه رود در قسمت‌هایی از شهرستان‌های مهاباد، سقز، بوکان و میاندوآب قرار دارد.

سطحی رودخانه‌های غرب و جنوب غرب دریاچه ارومیه انجام می‌شود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه شامل بخش جنوبی و جنوب‌غربی دریاچه ارومیه واقع در استان آذربایجان غربی است که حوضه آبریز رودخانه‌های نازلوچای، شهرچای، باراندوز چای، گذارچای، مهابادچای و سیمینه‌رود را در بر می‌گیرد. موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری بر روی شکل ۱ مشخص گردیده است. نازلوچای در شمال ارومیه جریان داشته و یکی از مهم‌ترین و پرآب‌ترین رودخانه‌های غرب دریاچه ارومیه می‌باشد. از توده‌های کوهستانی ناحیه مرزی ایران و ترکیه، کوه‌های زیارت بایبون و برده‌رش در غرب ارومیه سرچشمه می‌گیرد. شهرچای که ارومیه و یا برده‌سور نیز نامیده می‌شود، از دامنه‌های کوه شهیدان با ارتفاع ۱۲۳۳ متر، کوه خلیل و ارتفاعات بریزده در جنوب غربی ارومیه سرچشمه می‌گیرد. حوضه آبریز باراندوزچای



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری

موجود در منطقه مورد مطالعه توضیح داده می‌شود. با توجه به این شکل می‌توان مشاهده کرد که در بخش‌های جنوب غرب دریاچه سازندهای آهکی تقریباً گسترش زیادی دارند و همان نهشته‌های سازند روته می‌باشند. همچنین در همین بخش از منطقه آهک‌های مارنی به

۲-۲- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

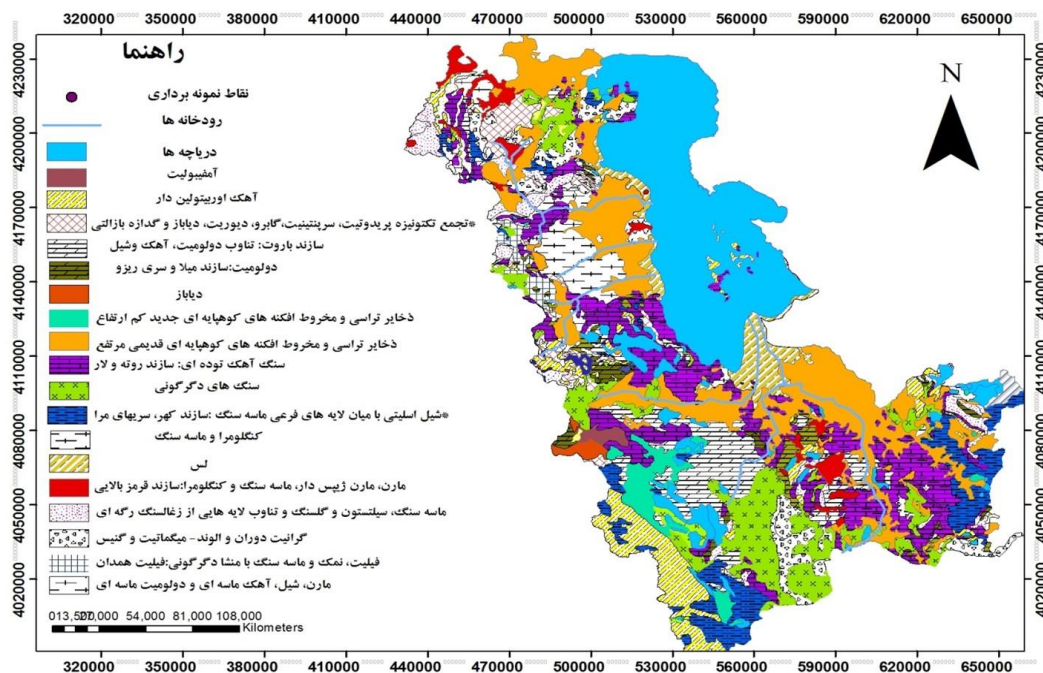
در شکل ۲ نقشه سنگ‌شناسی منطقه مورد مطالعه ارائه شده است. از آنجا که توزیع فلزات سنگین در پوسته زمین اصولاً توسط ژئوشیمی سنگ بستر کنترل می‌شود (باوی و تورنتون، ۱۹۸۴)، در این بخش واحدهای مختلف سنگی

همین بخش کنگلومرا و مارن ژئوپس دار، می‌توان، گستره‌ای از جنس کنگلومرا، ماسه‌سنگ، شیل و فیلیت را مشاهده کرد. در کوه‌های ساحل جنوبی دریاچه ارومیه تماس پرکامبرین بالایی با سنگ‌های پرکامبرین را گرانیت لوکوکرات دوران تشکیل می‌دهد. سازند مهاباد از سنگ‌های اسیدی و آواری- آتشفشانی و به طور متناوب از شیل و آهک نازک لایه تشکیل شده است. در برخی مطالعات کنگلومرا و سنگ‌های اسیدی به عنوان منبع لیتوژنیک فلزات سنگین در نظر گرفته شده‌اند (برای مثال، اطاری و همکاران، ۱۳۹۳).

۲-۳- نمونه‌برداری و آنالیز فیزیکی و شیمیایی

برای انجام این تحقیق، ابتدا نمونه‌برداری از عمق ۱۰-۰ سانتی متری رسوبات سطحی رودخانه نالوچای (۷ نمونه)، شهرچای (۲ نمونه)، باراندوز چای (۴ نمونه)، گذارچای (۲ نمونه)، مهابادچای (۲ نمونه) و سیمینه‌رود (۳ نمونه) انجام شد. موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری بر روی شکل ۱ مشخص گردیده است. نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه، در هوای آزاد خشک و سپس با استفاده از آسیاب سرامیکی پودر گردیده و از الک با قطر منافذ ۲ میلی‌متر عبور داده شدند. مقدار کل فلزات سنگین با استفاده از دستگاه ICP-OES در آزمایشگاه زرآما زنگان اندازه‌گیری شد.

همراه کنگلومرا نیز در اطراف مناطق آهکی (سازند روته) به چشم می‌خورد که در واقع نهشته‌های سازند قم هستند. در حوضه آبریز سیمینه‌رود در جنوب دریاچه، کنگلومرا، ماسه‌سنگ و شیل غلبه دارد و گسترش قابل توجهی از سنگ‌های دگرگونی به چشم می‌خورد. در بخش‌های غربی حوضه آبریز رودخانه‌های گذارچای و باراندوزچای، سازند کهر بیرون‌زدگی دارد که با ضخامت زیادی از شیل و اسلیت‌های سبز به همراه ماسه‌سنگ خاکستری تشکیل شده است که شیل و اسلیت به دلیل دانه‌ریز بودن و داشتن بارهای سطحی خنثی نشده فراوان می‌توانند در جذب سطحی فلزات سنگین نقش داشته باشند (ایبای، ۲۰۰۵) و مقادیر زیادی از این فلزات را در ترکیب خود داشته باشند (پلنت و رایزول، ۱۹۸۳). گستره قابل توجهی از سرشاخه‌های نالوچای، گذارچای و باراندوزچای با پریدوتیت‌ها، سرپنتینیت و سنگ‌های مافیک و اولترامافیک پوشیده شده است که مطالعات مختلف رابطه معنی‌داری بین این سنگ‌ها با مقادیر فلزات سنگین از جمله نیکل، کروم و کبالت را در بخش‌های مختلف ایران و جهان بیان کرده‌اند (مارتین و همکاران، ۲۰۱۰؛ نمقی و همکاران، ۲۰۱۱؛ یولا و محمد، ۲۰۲۰؛ شیردشت‌زاده و همکاران، ۱۳۹۸، حمزه و همکاران، ۱۳۹۰). در حوضه آبریز شهرچای، کنگلومرا همراه با مارن ژئوپس‌دار گسترش قابل توجهی دارد. در قسمت‌های مرزی ایران، در مجاورت



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

۲-۴- تعیین شاخص‌های سلامتی

بر اساس روش ارزیابی ریسک مواجهه انسان پیشنهاد شده توسط U.S. EPA (۲۰۰۲) و به کار رفته در مطالعه شائو و همکاران (۲۰۱۸)، تحقیق حاضر به ارزیابی ریسک مواجهه با فلزات سنگین موجود در رسوبات سطحی رودخانه‌های اطراف دریاچه ارومیه می‌پردازد. همه فلزات سنگین مورد بررسی دارای ریسک غیرسرطان‌زایی هستند، اما کادمیوم، کروم و نیکل ریسک سرطان‌زایی اثبات شده‌ای دارند (پورکاس، ۲۰۰۵). در این راستا فلزات به دو دسته سرطانزا و غیرسرطانزا تقسیم شده و ریسک مواجهه انسان با فلزات سنگین برای جذب پوستی، جذب از طریق خورده شدن و جذب از طریق استنشاق با استفاده از روابط برگرفته شده از شائو و همکاران (۲۰۱۸) محاسبه شد (شائو و همکاران، ۲۰۱۸). در مطالعه کنونی زمان واحد و وزن واحد بدن انسان برای آلاینده‌ها جهت بیان مواجهه با آلاینده مورد استفاده قرار می‌گیرند [mg/(kg/d)]. فرمول‌های ۱ تا ۳ به ترتیب نشان‌دهنده دوز میانگین روزانه جذب فلزات سنگین از طریق خوردن با دست و دهان، تماس پوستی و استنشاق می‌باشد. فرمول ۴ میانگین مواجهه روزانه از طریق استنشاق فلزات سنگین سرطانزا را نشان می‌دهد. مطالعات در دسترس برای پارامترهای ریسک سرطان‌زایی در استانداردهای ارزیابی کنونی تنها از دیدگاه استنشاق انجام می‌شوند و ریسک سرطان‌زایی از طریق دست و دهان و تماس پوستی را مورد توجه قرار نمی‌دهند. از سوی دیگر اغلب مردم منطقه مورد مطالعه در معرض ریسک فلزات سنگین از طریق استنشاق هستند و تعداد بسیار اندکی از افراد، در معرض جذب از طریق خوردن یا تماس پوستی قرار می‌گیرند. بنابراین تنها میانگین مواجهه روزانه برای زندگی از طریق استنشاق در این مطالعه مورد نظر است.

میانگین دوز مواجهه روزانه از طریق خوردن با دست-دهان (ADD_{ing}):

$$ADD_{ing} = C \times \frac{Inh R \times EF \times ED}{PEF \times BW \times AT} \times 10^{-6} \quad (۳)$$

میانگین دوز مواجهه روزانه در طول عمر از طریق استنشاق فلزات سنگین سرطانزا ($LADD_{inh}$):

$$LADD_{inh} = \frac{C \times EF}{PEF \times AD} \times \left(\frac{Inh R_{child} \times ED_{child}}{BW_{child}} + \frac{Inh R_{adult} \times ED_{adult}}{BW_{adult}} \right) \quad (۴)$$

در فرمول‌های بالا ADD_{ing} میانگین مواجهه با ذرات گرد و غبار توسط خوردن با دست و دهان است. ADD_{inh} میانگین مواجهه با ذرات گرد و غبار توسط استنشاق و ADD_{dermal} میانگین مواجهه با ذرات گرد و غبار توسط جذب پوستی را نشان می‌دهد. $LADD_{inh}$ بیانگر مواجهه میانگین روزانه برای زمان حیات از طریق استنشاق فلزات سرطانزا می‌باشد. مقادیر پارامترهای دیگر در فرمول بالا از روش ارزیابی ریسک سلامت خاک (U.S. EPA, ۲۰۰۲) و مطالعات داخلی و خارجی دیگر (داوطلب نظام و همکاران، ۱۳۹۵؛ فریرا و دمیگوول، ۲۰۰۵) برگرفته شده است. مقادیر پارامترهای محاسبه مواجهه میانگین روزانه با فلزات سنگین برای ارزیابی ریسک سلامت انسان در جدول ۱ ارائه شده است.

۲-۵- محاسبه مقدار ریسک فلزات سنگین در رسوبات

در این مطالعه فرض می‌شود که عبارات ویژه «ریسک سرطان‌زایی» و «غیرسرطان‌زایی» بر اساس دوز مرجع برای مسمومیت مزمن ارزیابی می‌شود. زمانی که دوز دریافتی توسط گیرنده در محدوده مقدار مرجع باشد، بی‌ضرر در نظر گرفته می‌شود و در غیر این صورت مضر خواهد بود. ارزیابی ریسک سرطان‌زایی قرارگیری در معرض گرد و غبار حاصل از رسوبات رودخانه‌ای را می‌توان با میانگین مواجهه روزانه در طول زندگی محاسبه نمود.

$$HQ = ADD/RfD \quad (۵)$$

$$HI = \sum HQ_i \quad (۶)$$

$$SF \times Risk = LADD \quad (۷)$$

$$Risk_T = \sum Risk_i \quad (۸)$$

در این فرمول‌ها، HQ فاکتور ریسک غیر سرطان‌زایی می‌باشد که ریسک غیر از سرطان‌زایی آلاینده جداگانه از یک مسیر مواجهه را بیان می‌کند؛ ADD ریسک

$$ADD_{ing} = C \times \frac{Ing R \times EF \times ED}{BW \times AT} \times 10^{-6} \quad (۱)$$

میانگین دوز مواجهه روزانه از طریق تماس پوستی (ADD_{dermal}):

$$ADD_{dermal} = C \times \frac{SA \times SL \times EF \times ED}{BW \times AT} \times 10^{-6} \quad (۲)$$

میانگین دوز مواجهه روزانه از طریق استنشاق (ADD_{inh}):

و زمانی که HQ یا HI بیشتر از ۱ باشد، ریسک غیرسرطان‌زایی وجود دارد. ضریب شیب (SF) نشان دهنده حداکثر احتمال تاثیر سرطان‌زایی بر بدن انسان در معرض دوز مشخصی از یک آلاینده (mg/kg/d) است (شائو و همکاران، ۲۰۱۸). اگر ریسک در بازه 10^{-6} تا 10^{-4} باشد (که به معنی یک بیمار در میان ده هزار نفر تا یک میلیون نفر است)، تصور می‌شود که آن ماده ریسک سرطان‌زایی ندارد. محاسبات و تحلیل تمام داده‌های این مطالعه به کمک نرم‌افزارهای SPSS و Excel انجام شده است.

غیرسرطان‌زایی از یک مسیر مواجهه را نشان می‌دهد، RfD دوز مرجع برای همان مسیر مواجهه است (U.S. EPA, 2002) که نشان دهنده حداکثر مقدار آلاینده جذب شده در واحد وزن و در واحد زمان است که نمی‌تواند اثرات سوء در بدن ایجاد کند (mg/kg/d). HI ریسک غیرسرطان‌زایی کل برای آلاینده در محدوده وسیعی از روش‌های مواجهه و HI کل، مجموع همه ریسک‌های غیرسرطان‌زایی در اثر همه روش‌ها است. به طور کلی تصور می‌شود که وقتی HQ یا HI کمتر از ۱ باشد، ریسک کم یا قابل چشم‌پوشی است

جدول ۱. مقادیر پارامترهای محاسبه مواجهه میانگین روزانه با فلزات سنگین برای ارزیابی ریسک سلامت انسان

گزینه‌ها	پارامترها/واحدها	مفهوم	مقادیر	مرجع
پارامترهای پایه	mg/kg / C	غلظت فلز سنگین	۹۵ درصد UCL	Ferreira-Baptista and De Miguel, 2005; Shao et al, 2018
پارامترهای رفتار مواجهه	d/a/ EF	فراوانی مواجهه	۱۸۰	Ferreira and De Miguel, 2005; Shao et al, 2018
	a / ED	زمان مواجهه	۶ (کودک)، ۲۴ (بزرگسال)	U.S. EPA, 2002; Ferreira and De Miguel, 2005; Shao et al, 2018
	kg / BW	وزن هر نفر	۱۵ (کودک)، ۷۰ (بزرگسال)	Ferreira and De Miguel, 2005; Shao et al, 2018
	روز / AT	میانگین زمان مواجهه	ED × ۳۶۵ (غیرسرطانزا) / ۷۰ (سرطانزا)	Ferreira and De Miguel, 2005; Shao et al, 2018
خوردن یا دهان و دهان	mg/d/IngR	فراوانی خوردن با دست و دهان	۲۰۰ (کودک)، ۱۰۰ (بزرگسال)	Ferreira and De Miguel, 2005; Shao et al, 2018
تماس پوستی	ABS / بدون واحد	فاکتور جذب پوستی	1×10^{-3}	U.S. EPA, 2002; Ferreira and De Miguel, 2005; Shao et al, 2018
	cm ² /SA	مساحت سطح مواجهه پوستی	۱۱۵۰ (کودک)، ۲۱۴۵ (بزرگسال)	Shao et al, 2018
	mg/cm ² /d/SL	ظرفیت چسبیدن به پوست	۰/۲ (کودک)، ۰/۰۷ (بزرگسال)	Ferreira and De Miguel, 2005; Shao et al, 2018
	InhR/m ³ /d	فراوانی تنفس	۵/۷۱ (کودک)، ۱۹/۰۲ (بزرگسال)	Ferreira and De Miguel, 2005; Shao et al, 2018
	m ³ /kg/PEF	فاکتور نشر ذره‌ای	۱/۳۶ × ۱۰	U.S. EPA, 2002; Ferreira and De Miguel, 2005; Shao et al, 2018

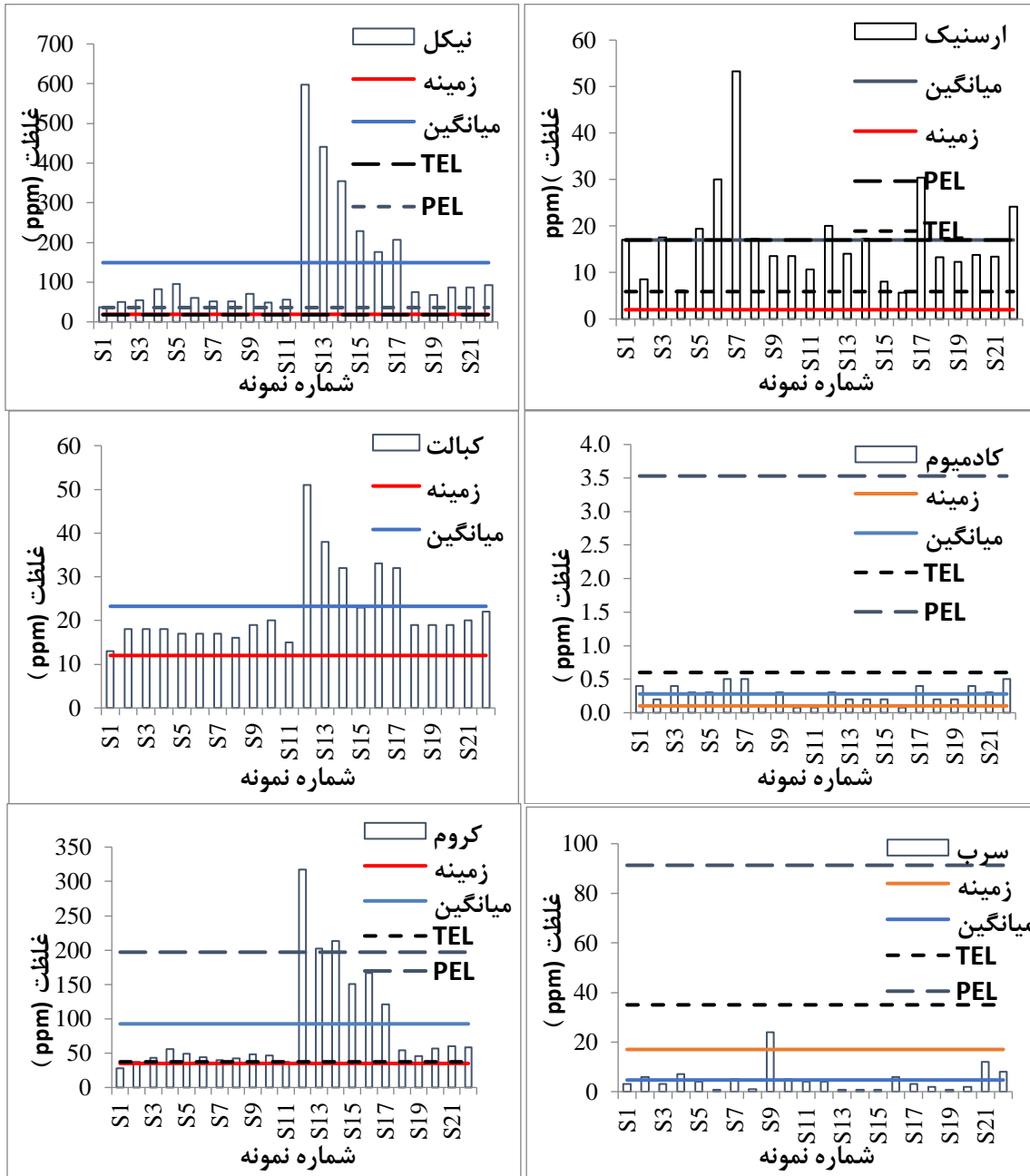
۳- نتایج و بحث

۳-۱- میزان فلزات سنگین و مقایسه با مقدار زمینه آماره‌های توصیفی میزان فلزات سنگین و میزان فلزات مازاد بر زمینه در رسوبات سطحی رودخانه‌های غرب و جنوب غرب دریاچه ارومیه در جدول ۲ ارائه شده‌اند. شکل ۳ نیز غلظت فلزات سنگین در رسوبات سطحی رودخانه‌های غرب و جنوب غرب دریاچه ارومیه و مقایسه آن‌ها با مقدار زمینه و مقدار میانگین را نشان می‌دهد. بر اساس جدول ۲، غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های رسوب به ترتیب در بازه ۵/۷ تا ۵۳/۳ (آرسنیک)، ۴۸ تا ۵۹۷ (نیکل)، ۰/۰۸ تا ۰/۰۵ (کادمیوم)، ۰/۷۵ تا ۲۴ (سرب)، ۱۵ تا ۵۱ (کیالت) و ۳۷ تا ۳۱۷ ppm (کروم) متغیر

می‌باشند و میانگین آن‌ها به ترتیب ۱۷، ۱۴۹/۱، ۰/۲۸، ۴/۶۹، ۲۳/۲۵ و ۹۲/۶ ppm است. در این مطالعه مقادیر فلزات ارائه شده برای پوسته زمین (شیل) به عنوان مقدار زمینه در نظر گرفته شد (رودنیک و همکاران، ۲۰۰۳). همچنین مقادیر ارائه شده فلزات سنگین مورد مطالعه در استانداردهای کیفیت رسوب (TEL و PEL) در جدول ۳ جهت مقایسه آورده شده است. با توجه به شکل ۳ میزان آرسنیک، نیکل، کیالت در تمام نمونه‌ها بیش از مقدار زمینه است؛ در مورد کادمیوم و کروم به ترتیب ۸۲ و ۸۶ درصد از نمونه‌ها بیش از مقدار زمینه می‌باشند و تنها سرب در تمام نمونه‌ها (به جز یک نمونه) کمتر از مقدار زمینه بوده و هیچ نوع آلودگی نشان نمی‌دهد. همچنین میزان نیکل

معیار کیفیت رسوب می‌باشد. معیارهای کیفیت رسوب برای کبالت مقدار مشخصی را بیان کرده‌اند و در نتیجه در این مطالعه نیز معیاری جهت مقایسه آن‌ها وجود نداشت. غلظت کروم تقریباً در همه نمونه‌ها از TEL بیشتر و از PEL تا حد قابل توجهی کمتر است.

در نمونه‌های شماره ۱۲ تا ۱۸ از هر دو معیار TEL و PEL بسیار بیشتر و در سایر نمونه‌ها نیز از هر دو معیار بالاتر می‌باشد. غلظت آرسنیک تقریباً در تمام نمونه‌ها از TEL بالاتر و در چند نمونه از PEL نیز بالاتر است. غلظت کادمیوم و سرب در تمام نمونه‌ها بسیار پایین‌تر از هر دو



شکل ۳. غلظت فلزات سنگین در رسوبات سطحی مورد مطالعه و مقایسه با مقدار زمینه و میانگین

رودخانه نازلوچای و اواسط مسیر رودخانه مهابادچای غلظت این عنصر ۱۵ برابر بیش از مقدار زمینه است. بازه تغییرات غلظت آرسنیک وسیع و از حدود ۵ تا ۵۵ ppm متغیر می‌باشد. غلظت نیکل در ۹۷ درصد از نمونه‌ها حداقل دو برابر بیش از مقدار زمینه (۱۹ ppm) است. در

بر اساس نمودارهای ارائه شده در شکل ۳، مقدار آرسنیک در تمام نمونه‌ها حداقل ۴ برابر بیش از مقدار زمینه (۲ ppm) می‌باشد. در نمونه شماره ۷ واقع در نزدیکی دلتای رودخانه نازلوچای، غلظت آرسنیک ۲۸ برابر مقدار زمینه، در نمونه‌های شماره ۶ و ۱۷ به ترتیب واقع در پایین‌دست

باراندوزچای، بالادست و پایین‌دست گذارچای، حدود ۲۳، ۱۷ و برابر از مقدار زمینه بیشتر است.

نمونه شماره ۱۲ واقع در پایین‌دست رودخانه باراندوزچای، غلظت نیکل در رسوبات ۳۱ برابر بیش از مقدار زمینه و در نمونه‌های ۱۳، ۱۴ و ۱۵ به ترتیب واقع در پایین دست

جدول ۲. آماره‌های توصیفی پارامترهای شیمیایی مورد مطالعه، مقادیر زمینه و آستانه تاثیر میزان فلزات سنگین مورد مطالعه

عنصر	واحد	میانگین	حداکثر	حداقل	انحراف معیار	ضریب تغییرات	مقدار زمینه پوسته زمین (ppm)	TEL (ppm)	PEL (ppm)
As		۱۷/۰۰	۵۳/۳۰	۵/۷	۱۰/۷۲	۶۰/۵۴	۲/۰۰	۵/۹۰	۱۷/۰۰
Ni		۱۴۹/۱۵	۵۹۷/۰۰	۴۸/۰۰	۱۵۰/۳۷	۱۰۰/۸۲	۱۹/۰۰	۱۸/۰۰	۳۶/۰۰
Cd		۰/۲۸	۰/۵	۰/۰۸	۰/۱۴	۵۰/۶۹	۰/۱۰۲	۰/۶۰	۳/۵۳
Pb	ppm	۴/۶۹	۲۴	۰/۷۵	۵/۴۲	۱۱۵/۵۴	۱۷/۰۰	۳۵/۰۰	۹۱/۳
Co		۲۳/۲۵	۵۱	۱۵/۰۰	۹/۲۴	۳۹/۷۶	۱۲/۰۰	-	-
Cr		۹۲/۶۰	۳۱۷	۳۷/۰۰	۷۷/۵۷	۸۳/۷۶	۳۵/۰۰	۳۷/۳۰	۱۹۷/۰۰

TEL: حد آستانه‌ای که در پایین‌تر از آن اثرات سوء به ندرت رخ می‌دهند.
PEL: حد آستانه‌ای که در غلظت‌های بیش از آن تاثیرات سوء اغلب رخ می‌دهند.

مشابه با نیکل و کبالت تبعیت کرده و در نمونه شماره ۱۲ بیشترین مقدار را دارا بوده که ۹ برابر بیش از مقدار زمینه (۳۵ ppm) است. در نمونه‌های شماره ۱۴، ۱۳ و ۱۶ غلظت کروم حدود ۵ تا ۶ برابر بیش از مقدار زمینه می‌باشد درحالی‌که این فلز سنگین نیز در طول سال‌های گذشته به دلیل اثرات بر سلامتی انسان توجه زیادی را به خود جلب کرده است (استاماتیس و همکاران، ۲۰۱۱). همان‌طور که گفته شد، از میان عناصر مورد مطالعه تنها غلظت سرب در تمام نمونه‌های مورد مطالعه (به جز نمونه شماره ۹) کمتر از میزان زمینه (۱۷ ppm) بوده اما بازه تغییرات آن از حدود ۲ تا ۲۵ ppm متغیر است.

۳-۲- تحلیل ریسک مواجهه

بر اساس داده‌های ارائه شده در جدول ۳، دوزهای میانگین مواجهه روزانه و کل دوزهای مواجهه در واحد وزنی که به سه روش تماس از طریق دهان و دست، تماس پوستی و استنشاق با فرمول‌های ۱ تا ۳ و به کمک پارامترهای جدول ۲ محاسبه شدند، نتایج بیانگر این امر هستند که دوزهای میانگین روزانه تمام فلزات سنگین مورد مطالعه در واحد وزنی برای کودکان تقریباً ۱۰ برابر بیش از بزرگسالان است. به جز تماس از طریق استنشاق که میزان تفاوت آن کمتر می‌باشد. ترتیب فلزات سنگین بر اساس میزان دوز مواجهه روزانه برای کودکان و بزرگسالان بدین صورت می‌باشد: کادمیوم > سرب > آرسنیک > کبالت > کروم > نیکل.

بازه تغییرات غلظت نیکل نیز وسیع بوده و از حدود ۳۰ تا ۶۰۰ ppm متغیر است. نیکل از عناصر سمی برای اکوسیستم و سلامت انسان است. افزایش میزان نیکل اغلب در خاک‌های غنی از ماده آلی و یا آهن و در خاک‌های حاصل از سنگ‌های اولترامافیک ثبت می‌شود (استک و همکاران، ۲۰۰۴؛ کاباتا و موخرجی، ۲۰۰۷؛ الکساکیس و گامورولا، ۲۰۱۴؛ ایوبی و همکاران، ۲۰۱۴). غلظت کبالت نیز تقریباً روندی مشابه با نیکل نشان داده و در نمونه شماره ۱۲ حدود ۴/۲ برابر بیش از مقدار زمینه (۱۲ ppm) و در نمونه‌های شماره ۱۳، ۱۶ و ۱۴ حدود ۴ برابر بیش از مقدار زمینه می‌باشد که این روند مشابه، جالب توجه و حاکی از منشأ یکسان این دو فلز سنگین است. مقادیر زیاد کبالت اساساً در خاک‌های اطراف نهشته‌های معدنی (۱۳ تا ۸۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و در خاک‌های روی سنگ‌های اولترامافیک (۱۰ تا ۵۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مشاهده می‌شود (کاباتا و موخرجی، ۲۰۰۷). با توجه به شکل ۲ سرشاخه‌های رودخانه‌های گذارچای و باراندوزچای که بیشترین مقدار نیکل، کبالت و کروم را داشته‌اند از منطقه یکسانی سرچشمه گرفته‌اند که شرایط سنگ‌شناسی مشابهی دارند و در آن منطقه سنگ‌های دگرگونی، سرپنتینیت و پریدوتیت گسترش زیادی دارند. غلظت کادمیوم در نمونه‌های شماره ۶ و ۷ واقع در پایین دست و نزدیک به دلتای نالوچای و نمونه شماره ۲۲ واقع در پایین دست سیمینه‌رود و نزدیک به دلتای آن حدود ۲/۵ برابر بیش از مقدار زمینه است. کروم نیز از روندی کم و بیش

جدول ۳. دوزهای مواجهه با فلزات سنگین در رسوبات سطحی رودخانه‌های غرب و جنوب غرب دریاچه ارومیه به سه روش استنشاق، جذب پوستی و خوراکی

عنصر	ADDing		ADDinh		ADDderm	
	کودک	بزرگسال	کودک	بزرگسال	کودک	بزرگسال
کادمیوم	$1/84 \times 10^{-6}$	$1/97 \times 10^{-7}$	$3/86 \times 10^{-11}$	$2/76 \times 10^{-11}$	$2/12 \times 10^{-9}$	$2/96 \times 10^{-11}$
ارسنیک	$1/12 \times 10^{-6}$	$1/2 \times 10^{-5}$	$2/35 \times 10^{-11}$	$1/67 \times 10^{-9}$	$1/28 \times 10^{-7}$	$1/8 \times 10^{-8}$
سرب	$3/08 \times 10^{-5}$	$3/3 \times 10^{-6}$	$6/47 \times 10^{-11}$	$4/62 \times 10^{-11}$	$3/54 \times 10^{-8}$	$4/96 \times 10^{-9}$
نیکل	$9/8 \times 10^{-6}$	$1/05 \times 10^{-6}$	$2/06 \times 10^{-11}$	$1/47 \times 10^{-11}$	$1/13 \times 10^{-6}$	$1/58 \times 10^{-7}$
کبالت	$1/5 \times 10^{-6}$	$1/64 \times 10^{-5}$	$3/21 \times 10^{-11}$	$2/29 \times 10^{-9}$	$1/76 \times 10^{-7}$	$2/46 \times 10^{-8}$
کروم	$6/09 \times 10^{-6}$	$6/52 \times 10^{-5}$	$1/28 \times 10^{-9}$	$9/1 \times 10^{-9}$	7×10^{-7}	$9/79 \times 10^{-8}$

۳-۳- ارزیابی ریسک مواجهه غیرسرطانزا

بر اساس RfD ارائه شده در جدول ۴، دوزهای مرجع غیرسرطان‌زایی فلزات سنگین مورد مطالعه و مقادیر ریسک مواجهه HQ به سه روش خوردن با دست و دهان، استنشاق و تماس پوستی برای کودکان و بزرگسالان به ترتیب در جدول‌های ۵ و ۶ ارائه گردیده‌اند. بر اساس داده‌های موجود در این جدول‌ها، بیشترین ریسک غیرسرطان‌زایی فلزات سنگین مورد مطالعه برای کودکان به ترتیب مربوط به کبالت، کروم و نیکل می‌باشد که ریسک غیرسرطان‌زایی کبالت ($0/51$) و کروم ($0/215$) به آستانه در نظر گرفته شده نزدیک است. ریسک کلی (HI) مربوط به همه فلزات سنگین مورد مطالعه نیز در مورد کودکان ($0/824$) به حد آستانه بسیار نزدیک است. ریسک غیرسرطان‌زایی کادمیوم ($2/05 \times 10^{-3}$)، سرب (10^{-3}) و ارسنیک ($3/34 \times 10^{-3}$) به ترتیب کمترین میزان را دارا می‌باشد. همانطور که قبلاً بیان گردید، در صورتی که این ریسک کمتر از ۱ باشد بی‌خطر در نظر گرفته می‌شود و در غیر این صورت ریسک غیرسرطان‌زایی وجود دارد. شایان ذکر است که ریسک غیرسرطان‌زایی کلی فلزات سنگین مورد مطالعه از طریق خوردن با دست و دهان برای کودکان ($8/09 \times 10^{-1}$) به مقدار آستانه بسیار نزدیک است و می‌تواند تهدیدی برای کودکانی باشد که در این رودخانه‌ها شنا یا در حاشیه رودخانه‌ها بازی می‌کنند. بر اساس داده‌های ارائه شده در جدول ۶، از میان فلزات سنگین مورد مطالعه، بیشترین ریسک غیرسرطان‌زایی به ترتیب مربوط به کبالت ($5/5 \times 10^{-2}$)، کروم ($2/37 \times 10^{-2}$) و نیکل ($5/28 \times 10^{-3}$) و کمترین میزان به ترتیب مربوط به کادمیوم ($2/27 \times 10^{-4}$)، سرب ($9/54 \times 10^{-4}$) و ارسنیک ($4/14 \times 10^{-3}$) می‌باشد. خوشبختانه ریسک غیرسرطان‌زایی همه فلزات سنگین مورد مطالعه برای بزرگسالان در

محدوده بی‌خطر قرار می‌گیرد. از بین سه مسیر مواجهه، بیشترین ریسک غیرسرطان‌زایی مربوط به خوردن با دست - دهان ($8/67 \times 10^{-2}$) و ریسک مواجهه با کل فلزات سنگین مورد مطالعه در مجموع برابر با $8/93 \times 10^{-2}$ می‌باشد. با مقایسه جدول‌های ۵ و ۶، ریسک غیرسرطان‌زایی فلزات سنگین مورد مطالعه برای کودکان بیش از بزرگسالان است. مقادیر ریسک غیرسرطان‌زایی برای همه فلزات سنگین مورد مطالعه در کودکان ۱۰ برابر بیشتر از بزرگسالان است. با مقایسه میزان ریسک کل در سه مسیر مواجهه خوردن با دست - دهان، استنشاق و تماس پوستی، گرچه ریسک کلی در همه موارد (جدول ۵ و ۶) کمتر از ۱ می‌باشد، اما در برخی از نقاط نمونه‌برداری این مقدار بیش از ۱ و در محدوده دارای ریسک قرار می‌گیرد. این امر به‌خصوص برای کودکان دارای اهمیت است، زیرا آن‌ها به آلودگی فلزات سنگین حساس‌تر هستند. به همین دلیل در این مطالعه ریسک غیرسرطان‌زایی برای ۲۲ نقطه نمونه‌برداری از رسوبات سطحی رودخانه‌ای در غرب و جنوب غرب دریاچه ارومیه مورد بررسی قرار می‌گیرد تا مناطق پرریسک از این نظر مشخص گردند. نتایج حاصل در شکل ۴ نشان داده شده است. شایان ذکر است که در شکل ۴، در نمودارهای مربوط به سرب و کادمیوم مقدار زمینه نشان داده نشده زیرا غلظت‌ها بسیار پایین‌تر از مقدار زمینه است و در صورت رسم مقدار زمینه، قابلیت نشان دادن غلظت‌های عناصر مزبور در نمونه‌های مورد مطالعه وجود ندارد.

بر اساس نمودارهای ارائه شده در شکل ۴، ریسک کادمیوم و سرب در تمام نمونه‌ها کاملاً کمتر از مقدار آستانه (۱) بوده است. در مورد ارسنیک ریسک کلی مواجهه از هر سه روش (مجموع ریسک مواجهه از طریق خوردن با دست - دهان، استنشاق و تماس پوستی) در نمونه شماره ۷

بالاترین میزان را داراست؛ گرچه هنوز با مقدار آستانه تفاوت قابل توجهی دارد. ریسک کلی نیکل نیز با مقدار آستانه فاصله زیادی دارد. اما در مورد کروم، ریسک کلی به ترتیب در نمونه‌های شماره ۱۲، ۱۴، ۱۳، ۱۶ و ۱۵ به حد آستانه بسیار نزدیک شده است. مقادیر ریسک کلی کبالت در نمونه‌های ۱۳، ۱۴، ۱۶ و ۱۷ به مقدار آستانه نزدیک شده و تنها در نمونه شماره ۱۲ واقع در پایین دست

باراندوزچای، میزان ریسک کلی کبالت از مقدار آستانه فراتر رفته است. از میان روش‌های مواجهه، جذب از طریق خوردن با دست و دهان بیشترین خطر را در پی خواهد داشت. ریسک جذب از این روش در نمونه شماره ۱۲ برابر با ۱/۱۲ می‌باشد. بنابراین، لازم است والدین در مورد شنا و بازی کودکان در این بخش از رودخانه توجه ویژه‌ای داشته باشند.

جدول ۴. دوزهای مرجع غیر سرطان‌زایی مواجهه فلزات سنگین در مسیرهای مواجهه مختلف (میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز) (وی و همکاران، ۲۰۱۵؛ کان و همکاران، ۲۰۱۶)

جمعیت	عنصر	RfDing	RfDinh	RfDderm
کودک و بزرگسال	کادمیوم	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-5}
	ارسنیک	3×10^{-3}	3×10^{-3}	$1/23 \times 10^{-3}$
	سرب	$3/5 \times 10^{-3}$	$3/25 \times 10^{-3}$	$5/25 \times 10^{-3}$
	نیکل	2×10^{-3}	2×10^{-3}	$5/4 \times 10^{-3}$
	کبالت	3×10^{-3}	6×10^{-3}	
	کروم	3×10^{-3}	$2/86 \times 10^{-5}$	6×10^{-5}

جدول ۵. مقادیر ریسک مواجهه غیرسرطان‌زایی (کودکان) با فلزات سنگین به سه روش مواجهه مختلف در رسوبات رودخانه‌های غرب و جنوب غرب دریاچه ارومیه

عنصر	HQing	HQinh	HQderm	HI
کادمیوم	$1/84 \times 10^{-3}$	$3/86 \times 10^{-8}$	$2/12 \times 10^{-4}$	$2/05 \times 10^{-3}$
ارسنیک	$3/72 \times 10^{-3}$	$7/82 \times 10^{-7}$	$1/04 \times 10^{-3}$	$3/34 \times 10^{-3}$
سرب	$8/81 \times 10^{-3}$	$1/99 \times 10^{-7}$	$6/75 \times 10^{-5}$	$8/88 \times 10^{-3}$
نیکل	$4/9 \times 10^{-3}$	$1/03 \times 10^{-6}$	$2/09 \times 10^{-4}$	$4/92 \times 10^{-3}$
کبالت	$5/09 \times 10^{-1}$	$5/35 \times 10^{-4}$		$5/1 \times 10^{-1}$
کروم	$2/03 \times 10^{-1}$	$4/47 \times 10^{-4}$	$1/17 \times 10^{-2}$	$2/15 \times 10^{-1}$
کل	$8/09 \times 10^{-1}$	$9/84 \times 10^{-4}$	$1/32 \times 10^{-2}$	$8/24 \times 10^{-1}$

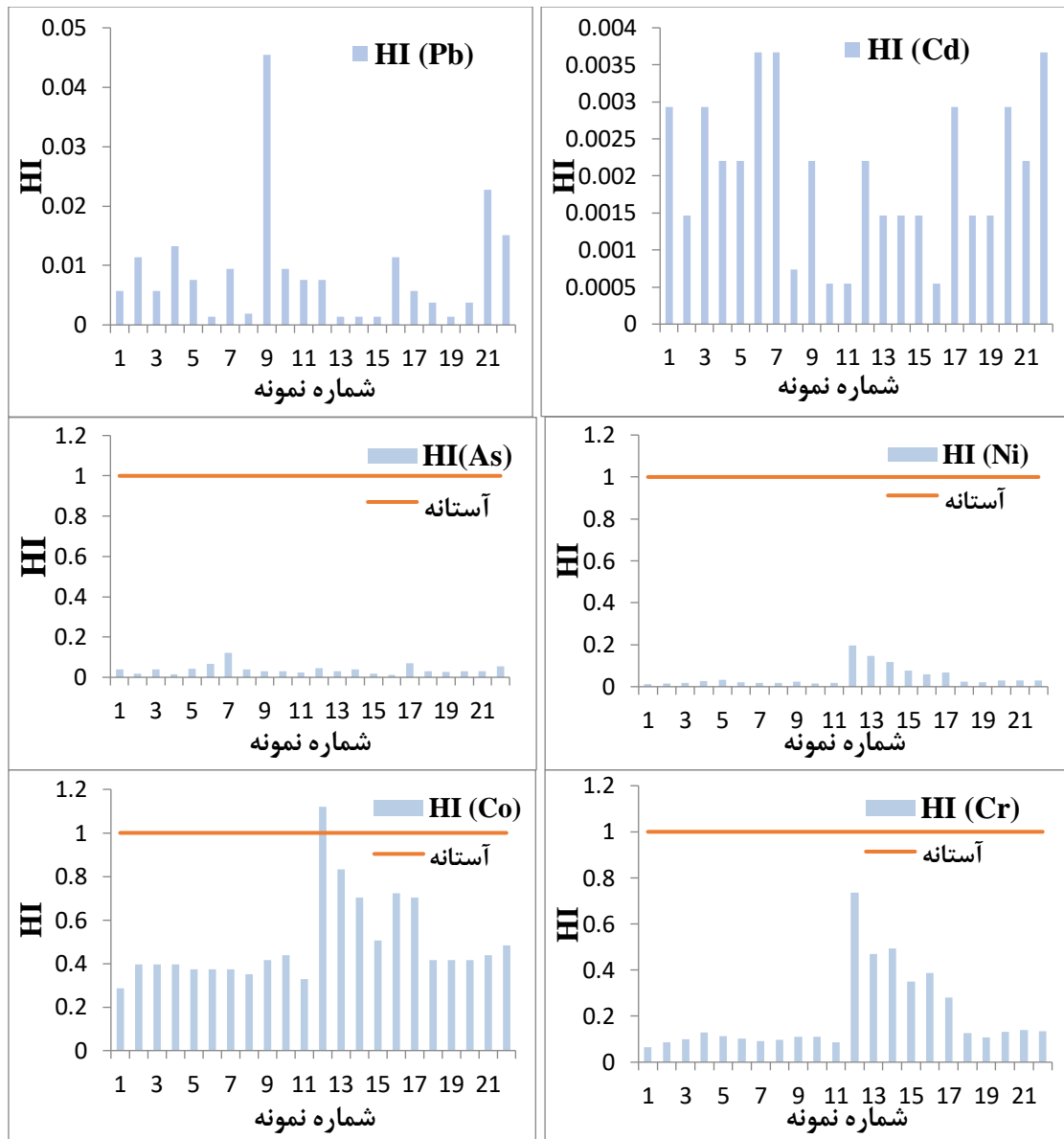
جدول ۶. مقادیر ریسک مواجهه غیرسرطان‌زایی (بزرگسالان) با فلزات سنگین به سه روش مواجهه مختلف در رسوبات رودخانه‌های غرب و جنوب غرب دریاچه ارومیه

عنصر	HQing	HQinh	HQderm	HI
کادمیوم	$1/97 \times 10^{-4}$	$2/76 \times 10^{-8}$	$2/96 \times 10^{-5}$	$2/27 \times 10^{-4}$
ارسنیک	$3/99 \times 10^{-3}$	$5/58 \times 10^{-7}$	$1/46 \times 10^{-3}$	$4/14 \times 10^{-3}$
سرب	$9/44 \times 10^{-3}$	$1/42 \times 10^{-7}$	$9/45 \times 10^{-3}$	$9/54 \times 10^{-3}$
نیکل	$5/25 \times 10^{-3}$	$7/35 \times 10^{-7}$	$2/92 \times 10^{-5}$	$5/28 \times 10^{-3}$
کبالت	$5/45 \times 10^{-3}$	$3/81 \times 10^{-4}$		$5/5 \times 10^{-3}$
کروم	$2/17 \times 10^{-2}$	$3/19 \times 10^{-4}$	$1/63 \times 10^{-3}$	$2/37 \times 10^{-3}$
کل	$8/67 \times 10^{-2}$	$7/02 \times 10^{-4}$	$1/84 \times 10^{-3}$	$8/93 \times 10^{-3}$

آن‌ها را به ترتیب اندازه دوزهای مواجهه چنین نوشت: کروم < نیکل < کادمیوم. بر اساس این داده‌ها، ریسک سرطان‌زایی کادمیوم و نیکل هنوز بسیار کوچک‌تر از آن است که سلامت انسان را تهدید کند، اما در مورد کروم ریسک سرطان‌زایی به حد آستانه نزدیک است و به تبع آن ریسک سرطان‌زایی کل نیز به حد آستانه نزدیک می‌باشد.

۳-۴- ارزیابی ریسک مواجهه سرطانزا

دوزهای میانگین مواجهه در طول عمر با فلزات سنگین کادمیوم، نیکل و کروم که سرطان‌زایی آن‌ها اثبات شده است، در مسیر مواجهه استنشاق بر اساس فرمول ۴ محاسبه شدند و در جدول ۷ ارائه گردیده‌اند که می‌توان



شکل ۴. مقدار ریسک غیرسرطان‌زایی فلزات سنگین مورد مطالعه برای کودکان در رسوبات سطحی رودخانه‌های غرب و جنوب غرب دریاچه ارومیه

جدول ۷. مقادیر ریسک سرطان‌زایی فلزات سنگین در مسیر مواجهه استنشاق در رسوبات سطحی رودخانه‌های غرب و جنوب غرب دریاچه ارومیه

ریسک	SF (mg/kg/d)	LADDinh	عنصر
$3/65 \times 10^{-6}$	6/30	$5/8 \times 10^{-7}$	کادمیوم
$2/6 \times 10^{-6}$	0/84	$3/09 \times 10^{-6}$	نیکل
$2/5 \times 10^{-6}$	42/00	$5/95 \times 10^{-6}$	کروم
$2/52 \times 10^{-6}$		کل	

حالی که بیشترین غلظت آرسنیک در پایین دست و دلتای رودخانه نازلوچای و پایین دست رودخانه مهابادچای و بیشترین غلظت کادمیوم در دلتای نازلوچای و پایین دست سیمینه‌رود ثبت گردید که در موارد یاد شده غلظت فلزات

۴- نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش، بیشترین غلظت نیکل، کبالت و کروم در نمونه‌های برداشته شده از رودخانه‌های باراندوزچای و گدارچای مشاهده گردید در

منابع

اطاری، م.، دبیری، ر.، ولی‌پور، م. ف (۱۳۹۳) توزیع ژئوشیمیایی فلزات سنگین در سنگ‌های افیولیتی فرومد، شمال غرب سبزوار، هجدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، تهران.

بهروش، س.، پورخیا، ع (۱۳۹۲) تاثیر دانه‌بندی بر تجمع فلزات سنگین (Cr, Pb, Zn, Cu, Cd) در رسوبات سطحی جنوب غرب تالاب انزلی، فصلنامه علمی پژوهشی تالاب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، سال پنجم، شماره ۱۶، ص ۸-۱.

داوطلب نظام، س.، شاکری، ع.، رضایی، م (۱۳۹۵) آلودگی، منشا و ارزیابی ریسک سلامت عناصر بالقوه سمناک در خاک پارک شهر و پارک لاله، شهر تهران، نشریه علوم زمین خوارزمی، جلد ۲، شماره ۲، ص ۲۰۹-۲۲۶.

دهقانی، م.، پیرخراطی، ح.، لک، ر.، اسدزاده، ف (۱۴۰۱) ارزیابی خطر آلودگی فلزات سنگین در رسوبات سطحی رودخانه‌های غرب و جنوب غرب دریاچه ارومیه، نشریه یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی، دوره ۱۶، شماره ۳۲، ص ۱۰۹-۱۲۴.

شیردشت‌زاده، ن.، ترابی، ق.، صمدی، ر (۱۳۹۸) کاربرد یافته‌های سنگ‌شناسی و داده‌های ژئوشیمیایی در بررسی زمین‌شناسی زیست‌محیطی مناطق افیولیتی: بررسی موردی در شمال نایین و عشین (استان اصفهان)، نشریه یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی، دوره ۱۳، شماره ۲۶، ص ۶۷-۷۸.

کاظمی، م.، چمنی، ع.، آق، ن (۱۳۹۸) بررسی میزان آلودگی آرسنیک در رسوبات دریاچه ارومیه و احتمال تاثیر آن بر سلامت جامعه انسانی، نشریه محیط‌شناسی، دوره ۴۵، شماره ۳، ص ۴۹۷-۴۸۵.

لاهیجانی، ا.، رستگاری مهر، م.، شاکری، ع.، یگانه‌فر، م (۱۳۹۹) مطالعه فلزات سنگین در رسوبات بستر رودخانه و سد مهاباد و ارزیابی خطر مصرف ماهی‌های خوراکی منطقه، مجله سلامت و محیط زیست، دوره ۱۳، شماره ۱، ص ۴۹-۶۴.

موسوی، س. پ.، مختاری، م. ا.، خسروی، س.، حسین‌زاده، ر (۱۳۹۵) بررسی آلودگی زیست‌محیطی رسوبات آبراه‌های به عناصر سنگین در منطقه زرشوران- آغدره (شمال تکاب)، نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، سال بیست و دو، شماره ۲، ص ۱۲۷-۱۴۱.

Abbaslou, H. Martin, F. Abtahi, A. Moore, F (2014) Trace element concentrations and background values in the arid soils of Hormozgan province of southern Iran. Arch Agron Soil Sci, 60: 1125-1143.

سنگین تا حد بسیار زیادی بیش از مقدار زمینه است. از میان فلزات سنگین مورد مطالعه تنها غلظت سرب کمتر از مقدار زمینه است. همچنین دوزهای میانگین روزانه تمام فلزات سنگین مورد مطالعه در واحد وزنی برای کودکان تقریباً ۱۰ برابر بیش از بزرگسالان است (به جز روش مواجهه از طریق استنشاق که میزان تفاوت آن کمتر می‌باشد). ترتیب فلزات سنگین بر اساس میزان دوز مواجهه روزانه برای کودکان و بزرگسالان بدین صورت مشاهده گردید: کادمیوم > سرب > آرسنیک > کبالت > کروم > نیکل.

در مورد ریسک غیر سرطان‌زایی فلزات سنگین مورد مطالعه برای کودکان، بیشترین ریسک به ترتیب مربوط به کبالت، کروم و نیکل می‌باشد که ریسک غیر سرطان‌زایی کبالت (۰/۵۱) و کروم (۰/۲۱۵) به آستانه در نظر گرفته شده نزدیک است. ریسک کلی (HI) مربوط به همه فلزات سنگین مورد مطالعه برای کودکان نیز در نزدیکی حد آستانه (۰/۸۲۴) قرار دارد. ریسک کلی مواجهه با آرسنیک از هر سه روش (مجموع ریسک مواجهه از طریق خوردن با دست- دهان، استنشاق و تماس پوستی) در نمونه شماره ۷ بالاترین میزان را داراست؛ گرچه هنوز با مقدار آستانه تفاوت قابل توجهی دارد. ریسک کلی نیکل نیز با مقدار آستانه فاصله زیادی دارد. ریسک کلی کروم به ترتیب در نمونه‌های شماره ۱۲، ۱۴، ۱۳، ۱۶ و ۱۵ به حد آستانه بسیار نزدیک شده است. در مورد کبالت مقادیر ریسک کلی در نمونه‌های ۱۳، ۱۴، ۱۶ و ۱۷ به مقدار آستانه نزدیک شده و تنها در نمونه شماره ۱۲ واقع در پایین دست باراندوزچای، میزان ریسک کلی کبالت از مقدار آستانه فراتر رفته است. از میان روش‌های مواجهه، جذب از طریق خوردن با دست و دهان بیشترین خطر را در پی خواهد داشت. ریسک جذب از این روش در نمونه شماره ۱۲ برابر با ۱/۱۲ می‌باشد. بنابراین، لازم است والدین در مورد شنا و بازی کودکان در این بخش از رودخانه توجه ویژه‌ای داشته باشند. در نهایت نتایج مطالعه نشان داد که ریسک سرطان‌زایی کادمیوم و نیکل هنوز بسیار کوچک‌تر از آن است که سلامت انسان را تهدید کند اما در مورد کروم ریسک سرطان‌زایی به حد آستانه نزدیک است و به تبع آن، ریسک سرطان‌زایی کل نیز به حد آستانه نزدیک می‌باشد.

- Haakonde, T., Yabe, J., Choongo, K., Chongwe, G., & Islam, M. S (2020) Preliminary assessment of uranium contamination in drinking water sources near a uranium mine in the Siavonga district, Zambia, and associated health risks. *Journal of Mine Water and the Environment*, 39: 735-745.
- Hanson, P. J., Evans, D. W., Colby, DR. and Zdanowicz, V. S (1983) Assessment of elemental contamination in estuarine and coastal environments based on geochemical and statistical modeling of sediments. *Marine Environmental Research*, 36: 237-266.
- Hassanzadeh, E., Zarghami, M., Hassanzadeh, Y (2012) Determining the main factors in declining the Urmia Lake level by using system dynamics modeling. *Water Resour. Manag*, 26 (1): 129-145.
- Islam, M. S (2021) Preliminary assessment of trace elements in surface and deep waters of an urban river (Korotoa) in Bangladesh and associated health risk. *Environmental Science and Pollution Research*, 28: 29287-29303.
- Izdebski, A., Pickett, J., Roberts, N., Waliszewski, T (2016) The environmental, archaeological and historical evidence for regional climatic changes and their societal impacts in the Eastern Mediterranean in Late Antiquity. *Quat. Sci. Rev*, 136: 189-208.
- Karim, Z. Qureshi, B. A (2014) Health risk assessment of heavy metals in urban soil of Karachi, Pakistan. *Human Ecol Risk Assess*, 20: 658-667.
- Kaur, N. Sharma, S. Kaur, S. Nayyar, H (2014) Selenium in agriculture: a nutrient or contaminant for crops? *Arch Agron Soil Sci*, 60: 1593-1624.
- Khzaei, B., Khatami, S., Alemohammad, S. H., Rashidi, L., Wu, S., Madani, K., Kalantari, Z., Destouni, G., Aghakouchak, A (2019) Climatic or regionally induced by humans? Tracing hydro-climatic and land- use changes to better understand the Lake Urmia tragedy. *J. Hydrol. (Amst.)*, 569: 203-217.
- Kostandi, S. Soliman, M. F., Beschow, H., Merbach, W (2012) Rhizosphere effects of maize hybrids and N forms on Cd bioavailability in a limed soil. *Arch Agron Soil Sci*, 58: 903-913.
- Lar, U. A., Ngozi-Chika, C. S., Ashano, E. C (2013) Human exposure to lead and other potentially harmful elements associated with galena mining at New Zurak, central Nigeria. *J Afr Earth Sci*, 84: 13-19.
- Lu, S. G., Chen, Y. Y., Shan, H. D. and Bai, S. Q (2009) Mineralogy and heavy metal leachability of magnetic fractions separated from some Chinese coal fly ashes. *Journal of Hazardous Materials*, 169(1-3): 246-255.
- Alexakis, D. Gotsis, D. Giakoumakis, S (2015) Evaluation of soil salinization in a Mediterranean site (Agoulinitza district-west Greece). *Arab J Geosci*, 8: 1373-1383.
- Ali, M. M., Rahman, S., Islam, M. S., Rakib, M. R. J., Hossen, S., Rahman, M. Z., Kormoker, T., Idris, A. M. and Phoungthong, K (2022) Distribution of heavy metals in water and sediment of an urban river in a developing country: a probabilistic risk assessment. *International journal of sediment research*, 37(2): 173-187.
- Baygan, A., Mogaddam, M. R. A., Lotfipour, F. and Nemati, M (2020) Evaluation of heavy metals (Cd, Cr, Hg, Ni, As, and Pb) concentration in salt samples of Lake Urmia, Iran. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 1-11.
- Bowie, S. H. U., and Thornton, I (1984) *Environmental Geochemistry and Health*. D. Reidel, Dordrecht.
- Chatterjee, D. Datta, S. C., Manjaiah, K. M (2015) Effect of citric acid treatment on release of phosphorus, aluminium and iron from three dissimilar soils of India. *Arch Agron Soil Sci*, 61: 105-117.
- Chaudhari, S., Felfelani, F., Shin, S., Pokhrel, Y (2018) Climate and anthropogenic contributions to the desiccation of the second largest saline lake in the twentieth century. *J. Hydrol. (Amst.)*, 560: 42-353.
- Davies, C. A., Tomlinson, K. and Stephenson, T (1991) Heavy metals in River tees estuary sediments. *Environmental Technology*, 12: 961 - 972.
- Eby, G. N (2005) *Principles of environmental geochemistry*, Thomson, Ellis, S. and Mellor, A., New York.
- El Gaidoumi, A., Tanji, K., Chaouni Benabdallah, A., Taleb, A. and Kherbeche, A (2019) Characterization and Quantification of Heavy Metals in Oued Sebou Sediments. *The Scientific World Journal*, jun 26: 2019.
- Farebrother, W., Hesse, P. P., Chang, H. C., Jones, C (2017) Dry lake beds as sources of dust in Australia during the Late Quaternary: a volumetric approach based on lake bed and deflated dune volumes. *Quat. Sci. Rev*, 161: 81-98.
- Ferreira-Baptista, L. and De Miguel, E (2005) Geochemistry and risk assessment of street dust in Luanda, Angola: a tropical urban environment. *Atmospheric environment*, 39(25): 4501-4512.
- Ghale, Y. A. G., Tayanc, M. and Unal, A (2021) Dried bottom of Urmia Lake as a new source of dust in the northwestern Iran: Understanding the impacts on local and regional air quality. *Atmospheric Environment*, 262, p.118635.

- ecotoxicological status and health risk. *Ecological Indicators*, 113: 106237.
- Wang, L., Yang, I (2013) Discussion on the Sediment Internal Pollution and Its Countermeasures of Nansi Lake, *Advanced Materials Research*, 664: 288-292.
- Wei, X., Gao, B., Wang, P., Zhou, H., Lu, J (2015) Pollution characteristics and health risk assessment of heavy metals in street dusts from different functional areas in Beijing, China, 190. 191.
- Martín, F., Escoto, M., Fernández, J., Fernández, E., Arco, E., Sierra, M. and Dorransoro, C (2010) Toxicity assessment of sediments with natural anomalous concentrations in heavy metals by the use of bioassay. *International Journal of Chemical Engineering*.
- Papadopoulou-Vrynioti, K., Alexakis, D., Bathrellos, G., Skilodimou, H., Vryniotis, D., Vassiliades, E., Gamvroula, D (2013) Distribution of trace elements in stream sediments of Arta plain (western Hellas): the influence of geomorphological parameters. *J Geochem Explor*, 134: 17–26.
- Porkas, M (2005) *Essentials of Medical Geology, Impact of natural environment on public health*, Burlington, MA: Elsevier Academic Press, 812 p.
- Rajeshkumar, S., Liu, Y., Zhang, X., Ravikumar, B., Bai, G., Li, X (2018) Studies on seasonal pollution of heavy metals in water, sediment, fish and oyster from the Meiliang Bay of Lake Tai in China. *Chemosphere*, 191: 626–638.
- Robles Camacho, J. & Armineta, A. M (2000) Natural chromium contamination of groundwater at Leo'n Valley Mexico *Journal of Geochemical Exploration*, 68: 167–181.
- Rudnick, R. L., Gao, S., Holland, H. D. and Turekian, K. K (2003) Composition of the continental crust. *The crust*, 3: 1-64.
- Satg'e, F., Espinoza, R., Zol'a, R. P., Roig, H., Timouk, F., Molina, J., Garnier, J., Calmant, S., Seyler, F., Bonnet, M. P (2017) Role of climate variability and human activity on Poop'o lake droughts between 1990 and 2015 assessed using remote sensing data. *Rem. Sens*, 9: 218.
- Shao, T., Pan, L., Chen, Z., Wang, R., Li, W., Qin, Q. and He, Y (2018) Content of heavy metal in the dust of leisure squares and its health risk assessment—A case study of Yanta District in Xi'an. *International journal of environmental research and public health*, 15(3): 394 p.
- Shi, G. L., Lou, L. Q., Zhang, S., Xia, X. W., Cai, Q. S (2013) Arsenic, copper, and zinc contamination in soil and wheat during coal mining, with assessment of health risks for the inhabitants of Huaibei, China. *Environ Sci Pollut Res*, 20: 8435–8445.
- Shi, P. Xiao, J. Wang, Y. Chen, L (2014) Assessment of ecological and human health risks of heavy metal contamination in agriculture soils disturbed by pipeline construction. *Int J Environ Res Public Health*, 11: 2504–2520.
- U. S. EPA (2002) *Supplemental Guidance for Developing Soil Screening Levels for Superfund Sites*; Office of Emergency and Remedial Response: Washington, DC, USA.
- Ustaoglu, F., & Islam, S (2020) Potential toxic elements in sediment of some rivers at giresun, northeast Turkey: A preliminary assessment for

Heavy Metal Health Risk Assessment in Sediments of Western and southwestern rivers of Urmia Lake

M. Dehghani^{1*}, H. Pirkharrati², R. Lak³ and F. Asadzadeh⁴

1- Ph. D. student, of in environmental geology, Urmia University, Urmia, Iran

2- Assoc. Prof., Dept., of Geology, Urmia University, Urmia, Iran

3- Assoc. Prof., of Earth Sciences Research Institute, Organization of Geology and Mineral Exploration, Iran

4- Assoc. Prof., Dept., of Soil Science, Urmia University, Urmia, Iran

* Mo.dehghani2020@gmail.com

Received: 2022.6.4 Accepted: 2022.9.13

Abstract

Urmia Lake, with more than 51,000 Km² area, is one of 6 main Iran's catchments. Nazluchai, Shaharchai, Bazandozchai, Gadarchi, Mahabadchai and Siminehroud located in west and southwest of Urmia Lake are among the most important rivers supplying the lake. This study aims to evaluate heavy metals health risk including cadmium, lead, nickel, cobalt, arsenic and chromium in surface sediments of western and southwestern rivers of Urmia Lake, for which 22 sediment samples from depth of 0-10 cm was randomly taken and after analyzing by ICP-OES method, non-carcinogenic risk for all studied elements and carcinogenic risk for elements with definite carcinogenicity (cadmium, nickel and chromium) were calculated. According to results, the highest concentrations of nickel, cobalt and chromium were recorded in Baranduzchai and Gadarchai, the highest arsenic concentration was recorded in delta and downstream of Nazluchai and Mahabadchai and the highest cadmium concentration was recorded in Nazluchai delta and downstream of Siminehroud. In mentioned cases, heavy metals concentration is much more than the other parts. Average daily doses of studied heavy metals for children and adults were measured as follows: cadmium <lead <arsenic <cobalt <chromium <nickel. Results also showed that the highest non-carcinogenic risk for children was related to cobalt, chromium and nickel, respectively, while non-carcinogenic risk of cobalt (0.51) and chromium (0.215) is close to the threshold. The overall risk (HI) of all studied heavy metals for children is also close to threshold. Total risk of chromium and cobalt is close to the threshold in 5 and 4 samples, respectively, and in only one sample located in downstream of Baranduzchai, total risk of cobalt has exceeded threshold value. Carcinogenic risk of cadmium and nickel in studied samples does not threaten human health, while carcinogenic risk of chromium is close to threshold and consequently total carcinogenicity risk is close to threshold.

Keywords: Heavy metals, River surface sediments, Health risk, Carcinogenic risk, Urmia lake