

مقاله پژوهشی^۱

تغییرات غلظت فلزات سنگین و شاخص‌های آلودگی رسوبات بستر در جهت پایاب رودخانه در حوزه آبخیز معرف خامسان

محمد امجدی^۱ و عبدالواحد خالدی درویشان^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۲- دانشیار گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران، (نویسنده مسؤول: a.khaledi@modares.ac.ir)
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۸/۲۵
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۱۶
صفحه: ۱۵۹ تا ۱۶۹

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: بازرسوب آبراهه اغلب به عنوان یک منبع و شاخص مهم در تغییرات غلظت عناصر ژئوشیمیایی و به ویژه فلزات سنگین برای بررسی میزان تاثیرات انسانی عمل می‌کند. مطالعه روند تغییرات شاخص‌های آلودگی رسوبات در جهت پایاب رودخانه‌ها و عوامل موثر بر آن از مهم‌ترین نیازهای پژوهشی بین رشته‌ای است. در این پژوهش غلظت فلزات سنگین و شاخص‌های آلودگی رسوبات بستر در رودخانه اصلی حوزه آبخیز معرف خامسان مورد بررسی قرار گرفت و عوامل موثر بر تغییرات شاخص‌ها در جهت پایاب رودخانه تحلیل شد. این رودخانه یکی از روی‌رودخانه‌های مهم و روودی به دریاچه سد مخزنی گاوشنان است و از این جهت مطالعه آلودگی آب و رسوبات این رودخانه از اهمیت خاصی برخوردار است.

مواد و روش‌ها: برای دستیابی به اهداف پژوهش حاضر، در طول آبراهه اصلی از سراب تا پایاب ۱۰ نمونه از رسوب بستر برداشت شد و غلظت فلزات سنگین شامل برليم، کروم، نikel، مس، روی، آرسنیک، سلنیم، کادمیم، جیوه، تالیم و سرب با استفاده از ICP-MS اندازه‌گیری شد. سپس شاخص‌های عامل آلودگی، درجه آلودگی اصلاح شده، بار آلودگی و تجمع زمینی محاسبه و تغییرات این شاخص‌ها در جهت پایاب رودخانه اصلی تحلیل شد. هم‌چنین برای تعیین شدت تغییرات غلظت فلزات سنگین در جهت پایاب رودخانه از شاخص درصد تغییرات استفاده شد.

یافته‌ها: یافته‌ها نشان داد که کاهش شبیب آبراهه و افزایش تراکم پوشش گیاهی حاشیه ای ابراهه در کاهش غلظت فلزات سنگین به سمت پایاب و هم‌چنین خشی کردن اثر منطقه مسکونی موثر بوده است. در این رابطه عناصر سمی مانند سلنیم، کادمیم، جیوه و آرسنیک حدود ۴۰ درصد در جهت پایاب کاهش پیدا کرده است و تأثیر بنده‌ای اصلاحی نیز در کاهش انتقال عناصر سرب، روی، کادمیم، مس و سلنیم همراه با رسوب بستر مورد تأیید قرار گرفت. یافته‌ها هم‌چنین نشان داد که بعد از پیوستن آب قاتل به آبراهه اصلی، غلظت فلزات سنگین در رسوبات بستر افزایش یافت و بیشترین افزایش با مقادیر ۱/۱۶، ۳/۱۱۴ و ۵/۷۹ درصد به ترتیب در سلنیم، کادمیم، جیوه و برليم مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: جمع‌بندی یافته‌های پژوهش حاضر نشان می‌دهد که اگرچه بر اساس شاخص‌های بررسی شده هیچ‌یک از نمونه‌های رسوب بستر رودخانه مورد بررسی از سراب تا پایاب آلوده نیستند، اما روند تغییرات به ویژه در خصوص فلزات سنگین نikel، روی و کادمیم نگران کننده است و می‌تواند هشداری برای آب و رسوبات و روودی به دریاچه سد مخزنی گاوشنان باشد.

واژه‌های کلیدی: بند اصلاحی، بازرسور، شاخص پتانسیل خطر اکولوژیکی، شاخص تجمع زمینی، ICP-MS

آلوده شده است (۸). صنعت نفت، استخراج مواد معدنی و فعالیت‌های کشاورزی از منابع اصلی آلودگی محسوب می‌شوند و آلودگی‌های فلزات سنگین مانند کادمیم، مس، آرسنیک، روی، جیوه و سرب از این جمله می‌باشند (۱۳، ۱۷، ۳۷، ۴۳). وجود بیش از حد فلزات سنگین در خاک نه تنها تهدیدی جدی برای گیاهان زنده، حیوانات و میکروگانیسم‌های خاک هستند بلکه از طریق زنجیره غذایی خطر بالقوه‌ای را برای سلامتی انسان ایجاد می‌کنند (۱۲، ۱۷، ۳۲، ۲۶)، که می‌تواند با ایجاد بیماری‌های مزمن در نهایت منجر به خطرات مختلفی برای سلامتی انسان شوند (۴). توزیع، حرکت و دسترسی زیستی فلزات سنگین در خاک توسط عوامل مختلفی تعیین می‌شود که می‌تواند به دو مورد آن (عنی الف) ماهیت عنصر و (ب) شرایط محیطی مانند خواص فیزیکی و شیمیایی، دما و رطوبت خاک اشاره کرد. با توجه به این که بیش از ۹۰ درصد از بار کل فلزات رودخانه‌ها در فاز جامد منتقل می‌شود (۲۴) بنابراین در این پژوهش به مطالعه غلظت عناصر سنگین در رسوب بستر آبراهه پرداخته شده است.

یاری مقدم و همکاران (۴۰) به بررسی میزان فلزات سنگین مانند روی، مس، سرب و کادمیوم در رودخانه آبشینه همدان پرداختند که در نهایت دریافتند که این رودخانه منبع مطمئنی برای تأمین آب آشامیدنی در منطقه است. قشلاقی و رستمی

مقدمه
خاک پایه و اساس تمام بوم‌سازگان‌های خشکی است و تأمین بسیاری از خدمات مبتنی بر بوم‌سازگان را پشتیبانی می‌کند. فرسایش خاک یکی از مهم‌ترین مضلات محیط زیستی است و ارزیابی عوامل ایجاد و مهار آن از پیش‌نیازهای اصلی مدیریت صحیح منابع آب و خاک است (۹، ۱۷، ۱۲). منبع اصلی اکثر عناصر کمیاب فعال بیولوژیکی مانند روی، کادمیوم، کروم، نikel، نقره و سرب خاک است که از طریق گیاهان و حیوانات به انسان می‌رسند (۳۴). محظای فلزات سنگین در خاک به ماهیت سنگ‌های اصلی آن و هم‌چنین میزان لجن فاضلاب، مواد زائد صنعتی و ناخالصی‌های کودی که به خاک وارد می‌شوند (فعالیت‌های انسانی) بستگی دارد (۳۹). برای رشد و سلامت گیاهان و حیوانات به کمتر از ۲۰ عنصر کمیاب نیاز است بهطوری که عدم حضور فلزات سنگین تعادل میکروبیولوژیکی خاک را خارج می‌کند و می‌تواند حاصلخیزی آن‌ها را کاهش دهد، اما غلظت بیش از حد آن‌ها ممکن است اثرات نامطلوبی بر سلامت حیوانات و انسان داشته باشد (۳۶، ۲۴). خاک یک گیرنده‌ی مهم از انواع مختلف آلاینده‌هایی است که توسط فعالیت‌های انسانی تولید می‌شود و بزرگ‌ترین منبع فلزات سنگین بر روی زمین به حساب می‌آید (۲۹) و به طور کلی پذیرفته شده است که بیشتر خاک مناطق پیشرفت‌های از نظر فلزات سنگین کم و بیش

کردستان واقع شده است و در حد وسط "۴۷° ۴۵' ۴۷'" تا "۳۵° ۱۰' ۴۷'" طول شرقی و "۵۱° ۵۷' ۳۴'" تا "۱° ۲۹' ۳۴'" عرض شمالی قرار دارد (شکل ۱). متوسط بارندگی و دمای سالانه به ترتیب $۳۴۵/۲$ میلی‌متر و $۱۳/۲$ درجه سانتی‌گراد برآورد شده است (۲۰). طول آبراهه اصلی موردنطالعه ۹۷۲۴ متر است که طول کل حوزه آبخیز را تا پایاب پیموده است.

طبق سرشماری سال ۱۳۹۵ این روستا محل اقامت ۴۷۲ خانوار بوده و جمعیتی بالغ بر ۱۴۰۵ نفر در این روستا اقامت دارند. یکی از معضلات این روستا دفع فاضلاب خانگی به آبراهه اصلی و سپس سد گاوشنان است که بر اهمیت نتایج این پژوهش می‌افزاید.

نمونه‌برداری از رسوب بستر

از آنجایی که اکتریت عناصری مانند مس، کربالت، مولیبدن، روی، منیزیم و آهن در دانه‌بندی سیار ریز رسوبات تجمع می‌یابند (۷). بر همین اساس در این پژوهش برای بررسی عناصر ژئوشیمیایی، نمونه‌برداری از رسوبات بستر با دانه‌بندی تقریبی کمتر از $۰/۲$ در حوزه آبخیز خامسان انجام شد. ۱۰ نمونه در بخش‌های مختلف رسوب آبراهه‌ی از سراب تا پایاب حوضه برداشت شد (شکل ۱). عمق نمونه‌برداری بر اساس هدف در مطالعات مختلف از صفرتا سه سانتی‌متر (۲) و حتی $۲/۶$ متر (۴۱) متغیر است و در این پژوهش نمونه‌برداری تا عمق پنج سانتی‌متری رسوب بستر توسط بیلچه پلاستیکی انجام شد. نمونه‌ها با وزن تقریبی یک کیلوگرم درون کیسه‌های پلاستیکی شماره‌گذاری شده و در دمای چهار درجه سانتی‌گراد برای انتقال به آزمایشگاه قرار گرفت. موقعیت نقاط نمونه‌برداری نیز توسط GPS همراه با نمونه‌برداری ثبت شد.

اندازه‌گیری ویژگی‌های ژئوشیمیایی
پس از دانه‌بندی نمونه‌های رسوبات بستر، ذرات کوچک‌تر از ۶۳ میکرون به آزمایشگاه ارسال شدند و مقدار غلظت ۵۳ عنصر در نمونه‌ها با روش ICP-MS^۱ اندازه‌گیری شد (۲۵).

(۹) نیز در بررسی آلدگی فلزات سنگین در رسوبات بستر رودخانه‌ی سیاهروود دریافتند که عناصر سرب و کادمیم عمدتاً برای فعالیت‌های انسانی می‌باشد. Pendey و همکاران (۳۰) نیز در بررسی تغییرات فلزات سنگین در رودخانه گانگا به این موضوع رسیدند که از سراب به پایاب رودخانه فلزات سنگین کاهش می‌یابد که در اثر تأثیر مناطق شهری است (۳۰). Da Silva و همکاران (۳۱) نیز در بررسی فلزات سنگین در رسوبات ایپوجوکا دریافتند که بالا دست رودخانه نسبتاً آلدود بوده و بهویژه منگنز و آرسنیک آلدگی قابل توجه را نشان دادند هم‌چنین رسوبات در بخش پایین دست بسیار آلدود هستند و سرب و آرسنیک در بخش‌های پایین دست رودخانه خطر اکولوژیکی قابل توجهی را نشان می‌دهد. برای به دست اوردن اطلاعات در مورد عناصر کمیاب در خاک از انواع محیط‌ها در سراسر جهان، از جمله شهرهای صنعتی، جاده و بزرگراه‌ها، مناطق روستایی، مناطق معدنی و زمین‌های کشاورزی نیز مطالعات گسترده‌ای انجام شده است. نتایج این دسته از مطالعات نیز نشان می‌دهند که رودخانه‌ها و محیط‌های شهری مرتبط با آن به دلیل فعالیت‌های معدنی، صنعتی، تاریخی و مدرن با فلزات سنگین (به عنوان مثال کادمیم، مس، سرب و روی) آلدود شده‌اند (۳۳، ۲۳، ۱۴).

اگرچه محققان زیادی به بررسی آلدگی و سنجش غلظت فلزات سنگین در داخل و خارج از کشور پرداخته‌اند، اما اطلاعات اندکی در رابطه با این عناصر وجود دارد و هر منطقه‌ای عکس العمل خاص خود را در رابطه با فلزات سنگین نمایش می‌دهد. علاوه بر آن روستای خامسان از روستاهای نزدیک به سد گاوشنان است که می‌تواند اهمیت این پژوهش را بیش از پیش نماید؛ بنابراین با توجه به مطالب بیان شده این پژوهش به ارزیابی غلظت فلزات سنگین و شاخص‌های آلدگی در جهت پایاب رودخانه حوزه آبخیز خامسان می‌پردازد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز معرف زوجی خامسان با مساحت $۴۳۳۶/۲۲$ هکتار در ۲۵ کیلومتری شمال شهرستان کامیاران در استان



شکل ۱- موقعیت مکانی نقاط نمونه‌برداری از رسوب بستر در حوزه آبخیز خامسان
Figure 1. Location of bed sediment sampling points in Khamsan watershed

شاخص عامل آلودگی (Cf)

سطح آلودگی رسوبات با فلزات سنگین توسط عامل آلودگی بهوسیله رابطه ۱ محاسبه می‌شود:

$$C_f^i = \frac{M_x^i}{M_b^i} \quad (1)$$

که در آن M_x^i غلظت فلز مورد نظر i در رسوب رودخانه و غلظت پایه یا مرجع فلز مورد نظر i (مقدار متوسط جهانی فلز در سطح زمین) است. در نهایت از روش طبقه‌بندی عامل آلودگی (۱۱) ارائه شده در جدول ۱ برای سطوح آلودگی رسوب استفاده خواهد شد.

شاخص‌های ارزیابی کیفیت رسوب

شاخص‌های آلودگی ابزارهای مفید برای ارزیابی آلودگی رسوبات هستند. در مطالعات از شاخص‌های مختلف (شاخص عامل آلودگی^۱، شاخص درجه آلودگی^۲، شاخص درجه آلودگی^۳ اصلاح شده^۴، شاخص بار آلودگی^۵، شاخص تجمع زمینی^۶ و شاخص پتانسیل خطر اکولوژیکی^۷) برای ارزیابی آلودگی رسوب استفاده شده است که در ادامه برخی از آن‌ها شرح داده می‌شود.

جدول ۱- طبقه‌بندی آلودگی فلزات سنگین طبق شاخص عامل آلودگی

Table 1. Classification of heavy metal pollution according to the contamination factor

ضریب آلودگی مقدار	وضعیت آلودگی
$1 >$	ضریب آلودگی پایین
$1 - 3$	ضریب آلودگی متوسط
$3 - 6$	ضریب آلودگی قابل توجه
$6 <$	ضریب آلودگی بسیار بالا

$$C_d = \sum_{i=1}^n C_f^i \quad (2)$$

که در آن عامل آلودگی برای تعداد n فلز محاسبه و باهم جمع شده است که طبقه‌بندی آن توسط جدول ۲ صورت می‌پذیرد.

شاخص درجه آلودگی (Cd)

در رابطه ۲ مجموع کل شاخص عامل آلودگی برای فلزات مختلف به عنوان شاخص درجه آلودگی در نظر گرفته می‌شود (۱۱).

جدول ۲- طبقه‌بندی آلودگی فلزات سنگین طبق شاخص درجه آلودگی

Table 2. Classification of heavy metal pollution according to the degree of contamination

شاخص درجه آلودگی	وضعیت آلودگی
$6 <$	آلودگی بسیار کم
$6 - 12$	آلودگی متوسط
$12 - 24$	آلودگی زیاد
$24 >$	آلودگی بسیار زیاد

$$mC_d = \frac{\sum_{i=1}^n C_f^i}{n} \quad (3)$$

این شاخص توسط جدول ۳ ارزیابی می‌شود.

شاخص درجه آلودگی اصلاح شده (mCd) در رابطه ۳ مجموع کل شاخص عامل آلودگی برای تعداد n فلز مختلف، تقسیم بر n به عنوان شاخص درجه آلودگی اصلاح شده در نظر گرفته می‌شود (۱).

جدول ۳- طبقه‌بندی آلودگی فلزات سنگین طبق شاخص درجه آلودگی اصلاح شده

Table 3. Classification of heavy metal pollution according to the modified degree of contamination

شاخص درجه آلودگی اصلاح شده	وضعیت آلودگی
$0 - 1/5$	درجہ بسیار پائین از آلودگی
$1/5 - 2$	درجہ پائین از آلودگی
$2 - 4$	درجہ متوسط از آلودگی
$4 - 8$	درجہ بالا از آلودگی
$8 - 16$	درجہ بسیار بالا از آلودگی
$16 - 32$	بهشدت آلودہ
$32 <$	آلودگی فوق العاده زیاد

که در این رابطه n تعداد فلزات و C_f عامل آلودگی است. اگر شاخص بار آلودگی بزرگتر از یک باشد نشان‌دهنده آلودگی و اگر کوچکتر از یک باشد نشان‌دهنده عدم آلودگی است (۱۱).

شاخص تجمع زمینی (Igeo)

شاخص تجمع زمینی شاخص پیشنهادشده توسط Muller (۲۳) است که برای ارزیابی آلودگی فلزات در رسوب

شاخص بار آلودگی (PLI) شاخص بار آلودگی سطح آلودگی فلزات سنگین را ارزیابی می‌کند که توسط رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$PLI = \sqrt[n]{C_{f1} \times C_{f2} \times C_{f3} \times \dots \times C_{fn}} \quad (4)$$

$$I_{geo} = \log_2 \left(\frac{C_n}{5/1 \times B_n} \right) \quad (5)$$

در نهایت از روش Muller (۲۶) برای طبقه‌بندی آلودگی رسویات یا خاک توسط شاخص تجمع زمینی (جدول ۴) استفاده می‌شود.

است. این شاخص با رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود که در این رابطه C_n غلظت اندازه‌گیری شده فلز در رسویات یا خاک موردنظر و B_n غلظت پایه یا مرجع فلز موردنظر است. عامل $1/5$ برای محاسبه تغییرات احتمالی در مقادیر مرجع برای یک فلز معین در محیط‌زیست و همچنین تأثیرات بسیار کم انسانی استفاده می‌شود:

جدول ۴- طبقه‌بندی آلودگی فلزات سنگین طبق شاخص تجمعی زمینی

Table 4. Classification of heavy metal pollution according to geo accumulation index

شاخص تجمع زمینی	وضعیت آلودگی رسویات
≤ 0	کاملاً غیر آلود
۰ - ۱	غیر آلود تا آلودگی متوسط
۱ - ۲	آلودگی متوسط
۲ - ۳	آلودگی متوسط تا شدید
۳ - ۴	آلودگی شدید
۴ - ۵	آلودگی شدید تا بسیار شدید
≥ 5	آلودگی بسیار شدید

$$RI = \sum_{i=1}^7 E_r^i \quad (7)$$

که E_r^i شاخص پتانسیل خطر اکولوژیکی، C^i غلظت عنصر در نمونه برداشت شده، C_0^i غلظت زمینه‌ای عنصر و T_r^i برابر با عامل پاسخ سمتی فلز است که در نهایت بر اساس جدول ۵ ارزیابی می‌شود. در رابطه ۷ مقدار RI نشان‌دهنده میزان خطر اکولوژیکی و محیطی عناصر مورد مطالعه بر اساس جدول ۵ است.

شاخص پتانسیل خطر اکولوژیکی (ER) و میزان خطر اکولوژیکی و محیطی (RI)

شاخص پتانسیل خطر اکولوژیکی اولین بار توسط هاکاسون در سال ۱۹۸۰ به منظور ارزیابی خطر آلودگی رسویات به وسیله فلزات سنگین استفاده گردید؛ که بر اساس میزان سمتی فلزات روش‌های اصلاحی به وسیله دیگر پژوهشگران به کار گرفته شده است (۳۸). بر این اساس عامل پاسخ سمتی برای فلزات کروم، آرسنیک، کادمیم و جیوه به ترتیب برابر با $1, 2, 10, 30$ و 40 بوده و برای مس، روی و سرب برابر با 5 هست (۴۰). در این تحقیق شاخص پتانسیل خطر اکولوژیکی بر اساس معادله زیر محاسبه گردید.

$$E_r^i = \frac{C^i}{C_0^i} \times T_r^i \quad (8)$$

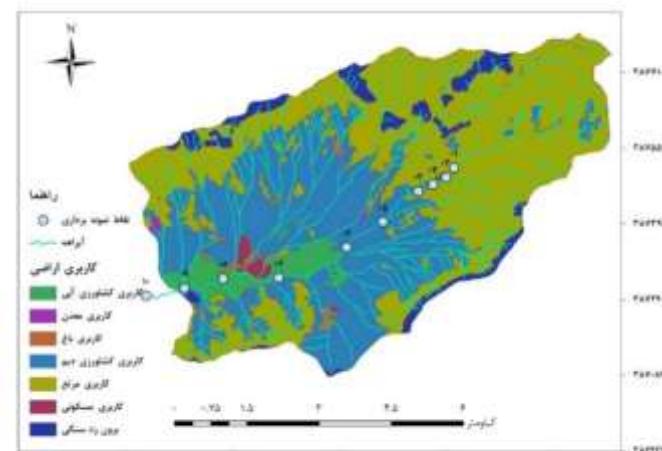
جدول ۵- طبقه‌بندی آلودگی فلزات سنگین طبق شاخص پتانسیل اکولوژیکی و خطر اکولوژیکی و محیطی

Table 5. Classification of heavy metal pollution according to potential ecological risk factor and ecological and environmental risk

شاخص	شاخص پتانسیل خطر اکولوژیکی	شاخص خطر RI	خطر اکولوژیکی و محیط زیستی
$40 \geq$	خطر پایین	$150 \geq$	خطر پایین
$40 - 80$	خطر متوسط	$150 - 300$	خطر متوسط
$80 - 160$	خطر قابل ملاحظه	$300 - 600$	خطر قابل ملاحظه
$160 - 320$	خطر زیاد	$600 \leq$	خطر خیلی زیاد
$320 \leq$	خطر خیلی زیاد	-	-

نمایش داده شده است. نقاط نمونه‌برداری رسویات بستر و نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز خامسان در شکل ۲ نشان داده شده‌اند.

نتایج و بحث
غلظت فلزات سنگین
نتایج غلظت فلزات سنگین در ۱۰ ایستگاه نمونه‌برداری از رسویات آبراهه حوزه معرف زوجی خامسان در جدول ۶



شکل ۲- نقاط نمونهبرداری رسوبات بستر و نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز خامسان
Figure 2. Bed sediment sampling points and land use map of Khamsan watershed

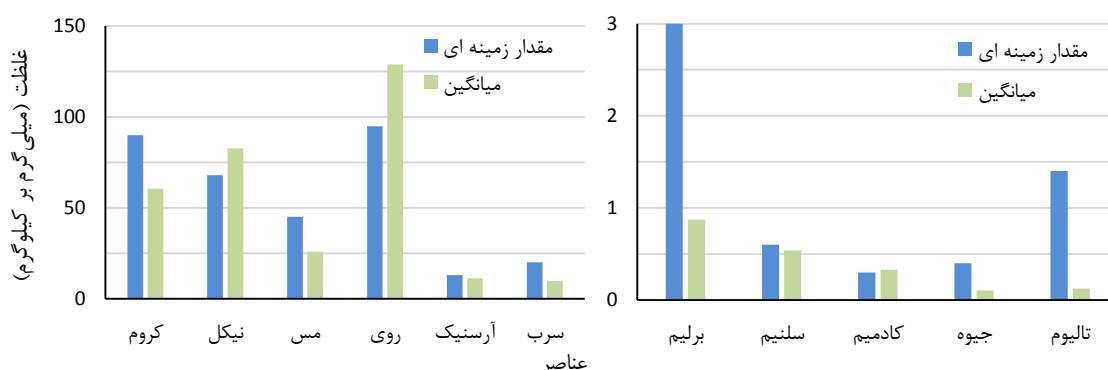
جدول ۶ و میانگین غلظت اندازه‌گیری شده و غلظت زمینه‌ای فلزات سنگین (میلی گرم بر کیلوگرم) در شکل ۳ ارائه شده‌اند. عناصر روى و نیکل بیشتر از مقدار زمینه‌ای جهانی (۳۴) بودند که ممکن است منشأ انسانی داشته باشند و در ادامه مورد بحث قرار گرفته‌اند. میانگین، بیشینه، کمینه و انحراف معیار غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های رسوب بستر نیز در جدول ۷ ارائه شده است.

فلزات سنگین مورد مطالعه به ترتیب زیاد به کم شامل روی، نیکل، کروم، مس، آرسنیک، سرب، برلیم، سلنیم، کادمیم، تالیم و جیوه هستند؛ اما این ترتیب مقیاس مناسبی برای ارزیابی آلودگی فلزات سنگین نیست. همچنین میانگین، کمینه، بیشینه و انحراف معیار غلظت عناصر نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای در جدول ۷ آورده شده است. غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های رسوب بستر آبراهه (میلی گرم بر کیلوگرم) در

جدول ۶- غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های رسوب بستر آبراهه (میلی گرم بر کیلوگرم)

Table 6. Concentration of heavy metals in bed sediment samples (mg/kg)

شماره نمونه	برلیم	کرم	نیکل	مس	سلنیم	آرسنیک	روی	کادمیم	جیوه	تالیوم	نیکل	جیوه	تالیوم
۱	۰/۴۴	۷۱/۴۰	۱۰۲/۹۱	۳۴/۸۱	۱۰/۷۹	۰/۶۳	۰/۴۴	۰/۱۶	۰/۱۲	۱۱/۸۰	۰/۱۹	۰/۱۲	۰/۱۶
۲	۱/۱۶	۸۱/۰۳	۱۱۲/۸۰	۲۸/۲۷	۸۸/۲۳	۱۵/۴۱	۰/۳۳	۰/۱۹	۰/۱۲	۱۰/۷۱	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۷
۳	۰/۸۷	۳۶/۸۰	۶۵/۴۶	۹۲/۱۰	۷۲/۲۶	۱۱/۸۴	۰/۳۳	۰/۱۷	۰/۱۲	۱۲/۱۹	۰/۱۷	۰/۰۹	۰/۱۷
۵	۰/۴۴	۴۰/۰۸	۵۴/۹۵	۱۴/۹۴	۶/۶۸	۴۵۴/۳۲	۰/۳۸	۰/۰۶	۰/۱۱	۷/۱۰	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۶
۶	۰/۷۳	۴۰/۰۸	۶۱/۶۶	۱۷/۱۰	۶/۶۳	۶۵/۲۹	۰/۳۱	۰/۰۷	۰/۰۷	۶/۹۰	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷
۷	۱/۳۱	۵۷/۸۷	۹۱/۱۰	۲۶/۷۶	۷۷/۸۱	۹/۴۶	۰/۴۵	۰/۱۰	۰/۱۴	۸/۷۶	۰/۱۰	۰/۱۴	۰/۱۰
۸	۰/۸۷	۴۷/۲۱	۵۷/۸۰	۲۲/۴۷	۵/۷۴	۷۳/۲۹	۰/۴	۰/۰۹	۰/۰۸	۶/۹۱	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۰۹
۹	۰/۸۷	۴۸/۳۳	۵۳/۶۱	۲۲/۵۳	۷/۱۰	۹۴/۲۴	۰/۳۱	۰/۰۹	۰/۱۱	۸/۵۱	۰/۰۹	۰/۲۵	۰/۰۹
۱۰	۰/۸۷	۷۲/۸۲	۹۲/۷۲	۳۳/۴	۱۲۳/۷۱	۲۰/۳۵	۰/۴۳	۰/۱۶	۰/۱۲	۱۲/۷۸	۰/۱۶	۰/۱۲	۰/۱۶



شکل ۳- میانگین غلظت اندازه‌گیری شده و غلظت زمینه‌ای فلزات سنگین (میلی گرم بر کیلوگرم)
Figure 3. Average measured concentration and background concentration of heavy metals (mg/kg)

جدول ۷- میانگین، بیشینه، کمینه و انحراف معیار غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های رسوب‌بستر

نمونه	برلیم	کروم	نیکل	مس	روی	آرسنیک	سلنیم	کادمیم	جیوه	تالیوم	سرب
میانگین	۰/۰۷	۶۰/۵۷	۸۲/۷۱	۲۵/۸۱	۱۲۸/۸۸	۱۱/۲۳	۰/۵۴	۰/۳۳	۰/۱۰	۰/۱۳	۹/۸
بیشینه	۱/۳۱	۸۱/۰۳	۱۱۲/۸۰	۳۴/۸۱	۴۵۴/۳۲	۲۰/۳۵	۰/۷۴	۰/۴۵	۰/۱۴	۰/۱۹	۱۳/۱۷
کمینه	۰/۴۴	۳۶/۸۰	۵۳/۶۱	۱۴/۹۴	۶۵/۲۹	۰/۳۱	۰/۱۷	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۰۶	۶/۹۰
انحراف میار	۰/۲۹	۱۵/۹۰	۲۳/۲۵	۶/۵۵	۴/۹۱	۱۱۵/۶۷	۰/۱۸	۰/۱۱	۰/۰۲	۰/۰۵	۲/۵۳
مقدار زمینه‌ای	۳	۹۰	۶۸	۴۵	۹۵	۱۳	۰/۶	۰/۳	۰/۴	۱/۴	۲۰

غیرآلوده قرار دارند. بر این اساس، می‌توان تیجه گرفت در هیچ یک از عناصر آلودگی وجود ندارد. همچنین در جدول ۸ قابل استباط است که عنصر روی تنها در نمونه شماره ۵ در وضعیت آلودگی متوسط قرار دارد.

شاخص تجمع زمینی مولر

جدول ۸ نتایج شاخص تجمع زمینی مولر در عناصر مختلف نمایش می‌دهد. این جدول نشان‌دهنده‌ی آن است که (جدول ۴) بیشتر عناصر مورد مطالعه در آلودگی متوسط و

جدول ۸- شاخص تجمع زمینی مولر در نمونه‌های رسوبات بستر

نمونه	برلیم	کرم	نیکل	مس	روی	آرسنیک	سلنیم	کادمیم	جیوه	تالیوم	سرب
۱	-۳/۲۵	-۰/۹۲	۰/۱	-۰/۹۶	-۰/۴۱	-۰/۵۰	-۰/۵۱	-۰/۰۳	-۲/۳۲	-۳/۷۱	-۱/۳۵
۲	-۱/۹۶	-۰/۷۴	۰/۱۵	-۱/۲۶	-۰/۶۸	-۰/۳۴	-۰/۷۹	-۰/۴۵	-۲/۳۲	-۳/۴۷	-۱/۴۹
۳	-۲/۳۷	-۰/۰۴	-۰/۱۵	-۰/۱۳۱	-۰/۷۲	-۰/۵۱	-۰/۴۰	-۰/۴۵	-۲/۷۴	-۳/۶۳	-۱/۳
۴	-۱/۹۶	-۰/۸۵	-۰/۰۸	-۱/۱۴	-۰/۴۶	-۰/۳۵	-۰/۲۸	-۰/۰۷	-۳/۱۰	-۳/۵۴	-۱/۱۹
۵	-۳/۳۵	-۱/۸۸	-۰/۸۹	-۲/۱۸	۱/۶۷	-۱/۵۵	-۱/۵۵	-۱/۴۰	-۲/۴۵	-۵/۱۳	-۲/۰۸
۶	-۲/۶۲	-۱/۷۵	-۰/۷۳	-۱/۹۸	-۱/۱۳	-۱/۵۶	-۱/۵۶	-۱/۱۰	-۳/۱۰	-۴/۹۱	-۲/۱۲
۷	-۱/۷۸	-۰/۹۹	-۰/۱۶	-۱/۳۳	-۰/۸۷	-۱/۰۴	-۰/۴۳	-۰/۰۰	-۲/۱۰	-۴/۳۹	-۱/۷۸
۸	-۲/۳۷	-۱/۵۲	-۰/۰۲	-۱/۵۹	-۰/۹۶	-۱/۷۶	-۱/۱۷	-۰/۸۵	-۲/۹۱	-۴/۵۴	-۲/۱۲
۹	-۲/۳۷	-۱/۴۸	-۰/۹۳	-۱/۵۸	-۰/۶۰	-۱/۴۶	-۱/۵۴	-۰/۸۵	-۲/۴۵	-۴/۵۴	-۱/۸۲
۱۰	-۲/۳۷	-۰/۸۹	-۰/۱۴	-۰/۱۰۲	-۰/۲۰	-۰/۰۶	-۰/۲۸	-۰/۰۷	-۲/۳۲	-۳/۷۱	-۱/۲۳

با توجه به جدول ۲، نشان‌دهنده آلودگی متوسط در این نقاط است. همچنین شاخص درجه آلودگی اصلاح شده در تمامی نقاط کمتر از ۱/۵ بوده که نشان‌دهنده وضعیت آلودگی بسیار پایین است. هیچ یک از نقاط نمونه‌برداری از نظر شاخص بار آلودگی در طبقه آلوده قرار ندارند و در همه نمونه‌ها مقدار این شاخص کمتر از یک است.

شاخص‌های درجه آلودگی، درجه آلودگی اصلاح شده و بار آلودگی

جدول ۹ نشان‌های درجه آلودگی، درجه آلودگی اصلاح شده و بار آلودگی را برای نمونه‌های رسوب بستر در نقاط مطالعه نشان می‌دهد. شاخص درجه آلودگی در نمونه‌های شماره ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۰ بین شش تا ۱۲ قرار دارند که

جدول ۹- عامل آلودگی، شاخص درجه آلودگی اصلاح شده و شاخص بار آلودگی در نمونه‌های رسوب آبراهه

شماره نمونه	برلیم	کروم	نیکل	مس	روی	آرسنیک	سلنیم	کادمیم	جیوه	تالیوم	سرب
۱	۰/۱	۰/۸	۱/۵	۱/۱	۱/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۵	۰/۳	۰/۱	۰/۶
۲	۰/۴	۰/۹	۰/۹	۰/۶	۱/۷	۰/۹	۰/۹	۰/۵	۰/۶	۰/۸	۰/۷
۳	۰/۳	۰/۷	۰/۹	۱/۱	۱/۱	۰/۹	۰/۶	۰/۴	۰/۲	۰/۷	۰/۶
۴	۰/۴	۰/۸	۱/۲	۱/۱	۱/۱	۰/۴	۰/۷	۰/۴	۰/۲	۰/۹	۰/۷
۵	۰/۱	۰/۴	۰/۵	۰/۸	۰/۸	۰/۴	۰/۶	۰/۶	۰/۳	۰/۹	۰/۴
۶	۰/۲	۰/۴	۰/۵	۰/۷	۰/۷	۰/۵	۰/۷	۰/۷	۰/۴	۰/۹	۰/۴
۷	۰/۴	۰/۸	۰/۷	۰/۸	۰/۸	۰/۷	۰/۷	۰/۷	۰/۴	۰/۹	۰/۶
۸	۰/۳	۰/۵	۰/۷	۰/۸	۰/۸	۰/۴	۰/۸	۰/۸	۰/۴	۰/۹	۰/۵
۹	۰/۳	۰/۵	۰/۵	۰/۸	۰/۸	۰/۵	۰/۸	۰/۸	۰/۴	۰/۹	۰/۴
۱۰	۰/۳	۰/۸	۰/۱۶	۱/۳	۱/۳	۰/۷	۰/۷	۰/۷	۰/۴	۰/۸	۰/۷

نبوت T_r^i در معادله شاخص اکولوژیکی است. از داده‌های جدول ۱۰ در مقایسه با جدول ۵ قابل ارزیابی است که هیچ یک از نمونه‌های رسوب بستر از نظر شاخص خطر اکولوژیکی و محیطی آلوده نیستند.

شاخص خطر اکولوژیکی و محیطی

در جدول ۱۰ شاخص پتانسیل اکولوژیکی و میزان خطر اکولوژیکی و محیطی تمام عناصر به‌جز برلیم، تالیم و سلنیم نشان داده شده است. دلیل عدم محاسبه این عناصر به‌علت

جدول ۱۰- شاخص پتانسیل اکولوژیکی و خطر اکولوژیکی و محیطی نمونه‌های رسوب‌بستر

Table 10. Potential ecological risk factor and ecological and environmental risk of the bed sediment samples

شاخص خطر اکولوژیکی و محیطی	شاخص پتانسیل خطر اکولوژیکی	شاخص خطر اکولوژیکی	کادمیم	ارسینیک	روی	مس	نیکل	کروم	شاره نمونه
۸۳/۷	۳/۰	۱۲	۴۴	۱۰/۶	۱/۱	۳/۹	۷/۶	۱/۶	۱
۷۳/۷	۲/۷	۱۲	۳۳	۱۱/۹	۰/۹	۳/۱	۸/۳	۱/۸	۲
۶۶/۵	۳/۰	۹	۳۳	۹/۱	۱/۱	۳/۰	۶/۸	۱/۵	۳
۷۹/۱	۳/۳	۷	۴۳	۱۱/۸	۱/۱	۳/۴	۷/۹	۱/۷	۴
۴۶/۲	۱/۸	۱۱	۱۷	۵/۱	۴/۸	۱/۷	۴/۰	۰/۸	۵
۴۲/۸	۱/۷	۷	۲۱	۵/۱	۰/۷	۱/۹	۴/۵	۰/۹	۶
۸۰/۵	۲/۲	۱۴	۴۵	۷/۳	۰/۸	۳/۰	۶/۷	۱/۵	۷
۷۷/۷	۱/۷	۸	۲۵	۴/۴	۰/۸	۲/۵	۴/۳	۱/۰	۸
۵۲/۱	۲/۱	۱۱	۲۵	۵/۵	۱/۰	۲/۵	۳/۹	۱/۱	۹
۸۷/۳	۳/۲	۱۲	۴۳	۱۵/۷	۱/۳	۳/۷	۶/۸	۱/۶	۱۰

حذف شد. اما برای ارزیابی اثر کیفیت آب خروجی قنات بر غلظت فلزات سنگین همراه رسوبات بستر نقاط نمونه‌برداری ۶ و ۷ مقایسه شدند. همان‌طور که در جدول ۱۲ قابل مشاهده است از نقطه شماره ۶ به ۷ همه عناصر افزایشی است که با توجه به کیفیت آب قابل شرب خروجی قنات و تأثیر کم فعالیت‌های انسانی بر آن، کاملاً منطقی و قابل قبول است. ناصری و همکاران (۲۸) دریافتند که پساب صنایع تأثیری بر کیفیت آب زیرزمینی نداشته است و همچنین اثرگذاری کشاورزی بر کیفیت آب زیرزمینی در اثر استفاده از کودهای نیترات است. اما در بالادست نقطه ۶ تراکم و شدت فعالیت‌های کشاورزی به ویژه کشاورزی آبی و همچنین فعالیت صنعتی به حد تأثیر بر کیفیت آب قنات نبوده است.

از نقطه شماره ۵ به ۷ تمام عناصر به غیر از روی افزایشی بوده است که در این بین کشاورزی دیم نسبت به نقطه شماره ۵ بیش از سه برابری افزایش یافته است (جدول ۱۳) که این کاهش روی مربوط به افزایش غیرمتعارف این عنصر در نمونه رسوب‌بستر نقطه شماره ۵ است. روند تغییرات غلظت عناصر در نقطه نمونه‌برداری شماره ۷ به ۸ کاملاً متفاوت بوده و تمام عناصر روند کاهشی به خود گرفته‌اند. همان‌طور که در شکل ۲ دیده می‌شود اگرچه در فاصله نقاط نمونه‌برداری شماره ۷ و ۸ روند کاهشی از جمله قرار دارد و فاضلاب روند افزایشی خامسان نیز بر آبراهه ریخته می‌شود، ولی با این حال نه تنها افزایش غلظت عناصر مشاهده نمی‌شود بلکه غلظت عناصر کاهش یافته است. از جمله دلایل این موضوع می‌توان به کم بودن جمعیت روستا و به ویژه کاهش شبیب آبراهه و افزایش تراکم پوشش گیاهی کناره‌های آبراهه بر کاهش غلظت فلزات سنگین در رسوبات اشاره نمود که با نتایج Zhao همکاران (۴۴) مطابقت دارد. از نقطه شماره ۸ به ۹ غلظت عناصر کروم، روی، مس، جیوه و سرب افزایش داشته و عناصر کادمیم و تالیوم هیچ تغییری را نشان نمی‌دهند و عنصر سلنیم و نیکل نیز کاهشی یافته‌اند. در نهایت همه عناصر در نقطه خروجی نسبت به نقطه قبلی خود افزایش چشم‌گیری داشته‌اند که می‌تواند در اثر افزایش کاربری کشاورزی به ویژه آبی با مصرف زیاد سوموم و کودها و البته کاهش مجدد تراکم پوشش گیاهی در کناره‌های آبراهه باشد.

درصد تغییرات

جدول ۱۱ درصد تغییرات هر عنصر نسبت به عنصر قبلی را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه در بین نقاط نمونه‌برداری ۱ و ۲ بندهای رسوب‌گیر از نوع سنگی ملاتی وجود دارد، می‌توان نتیجه گرفت که وجود این بندها می‌تواند روی انتقال رسوبات بستر و عناصری مانند مس، روی، سلنیم، کادمیم و سرب همراه با رسوبات تأثیر کاهشی داشته باشد. این نتیجه با Liu و همکاران (۲۱) مشابه بوده اما در عناصر کروم، نیکل و آرسنیک نیز کاهش عناصر مشاهده کرده است (۲۱) که نوع سد و همچنین ابعاد سد نسبت به مطالعه این پژوهش بسیار متفاوت است. همچنین بعد از نقطه نمونه‌برداری شماره ۲ روند افزایشی کوچکی واقع شده است که با توجه به این موضوع درصد تغییرات عناصر سلنیم، کادمیم و سرب افزایش داشته است. استفاده عنصر سلنیم در حشره‌کش‌ها و کودها به عنوان سلنیت سدیم است (۱۶).

همچنین عناصر کادمیم و سرب به طور مشترک در باطنی‌ها کاربرد داشته و نیز عنصر سرب در بنزین نیز وجود دارد (۸،۱۶،۵). درصد تغییرات از نقطه شماره ۳ به ۴ در تمامی عناصر به غیر از جیوه حالت افزایشی داشته است. با این حال که درصد کاربری اراضی تغییر قابل توجهی نداشته است اما شکل ۱ نشان می‌دهد که کاربری کشاورزی دیم به نقطه نمونه‌برداری بسیار نزدیک شده است که از این طریق ممکن است تغییراتی بر عناصر پایین دست خود ایجاد کرده باشد. همچنین درصد تغییرات از چهاره به پنج در تمام عناصر به غیر از روی و جیوه کاهشی بوده است؛ که این کاهش می‌تواند در اثر افزایش فاصله نقاط نمونه‌برداری حاصل شده باشد (شکل ۱). از جمله کاربردهای عنصر جیوه در صنعت می‌توان به استفاده در لامپ‌های فلورسنت، باطنی، باکتری کش، قارچ کش و حشره‌کش اشاره کرد (۱۸). از دیگر عناصر افزایشی در این نقاط عنصر روی است که بیش از ۳۰۰ درصد افزایش داشته است. مهم‌ترین استفاده این عنصر در بخش‌های مختلف از جمله باطنی، تجهیزات خودرو، لوله‌ها و وسایل خانگی ثبت شده است (۱۶). لذا مقدار افزایش این عنصر در این نقطه نمونه‌برداری بسیار غیرمعمول است. نمونه شماره ۶ از رسوبات بستر در دهانه خروجی قنات برداشت شده و هیچ ارتباطی با نمونه‌های قبل از خود ندارد و بر این اساس از جدول ۱۱

جدول ۱۱- درصد تغییرات غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های رسوب بستر

Table 11. Percentage changes of heavy metal concentration in bed sediment sample

شماره نمونه	برلیم	کروم	نیکل	مس	روی	آرسنیک	سلنیم	کادمیم	جبهه	تالیوم	سرب
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-۱۲/۱۴	۱۱/۷۶	-۰	-۲۵	-۱۷/۴۶	۱۱/۷۵	-۱۷/۴۶	-۱۸/۷۹	۹/۶۱	۱۳/۴۹	۱۶۳/۶۴	۲
۱۰/۱۸	-۱۵/۷۹	-۲۵	-۰	۳۰/۷۷	-۲۳/۱۷	۱۲/۶۷	-۳/۵۷	-۱۸/۳۵	-۱۹/۲۲	-۲۵	۳
۱۱/۶۱	۱۲/۵	-۲۲/۲۲	۳۰/۳۰	۸/۸۲	۲۹/۴۸	۳/۹۸	۱۲/۰۷	۱۶/۶۸	۱۴/۱۲	۳۳/۳۳	۴
-۴۶/۰۹	-۶۶/۶۷	۵۷/۱۴	-۶۰/۴۷	-۴۸/۶۵	-۵۶/۴۳	۳۳۷/۰۶	-۵۱/۱۰	-۴۸/۸۶	-۵۰/۷۴	-۶۲/۰۷	۵
۲۳/۳۸	۶۶/۶۷	۲۷/۲۷	۱۶۴/۷۱	۷۶/۳۲	۴۱/۶۲	-۸۲/۸۷	۷۹/۱۲	۶۵/۷۹	۸۴/۴۳	۱۹۷/۷۳	۷
-۲۱/۱۲	-۱۰	-۴۲/۸۶	-۴۴/۴۴	-۴۰/۳۰	-۳۹/۳۲	-۵/۸۱	-۱۶/۰۳	-۳۶/۵۵	-۳۰/۴۴	-۳۳/۵۹	۸
۲۳/۱۵	-۰	۳۷/۵	-۰	-۲۲/۵	۲۳/۶۹	۲۸/۵۹	-۰/۲۷	-۷/۲۵	۲/۳۷	-۰	۹
۵۰/۱۸	۷۷/۷۸	۹/۰۹	۷۲	۱۳۸/۷۱	۱۸۶/۶۲	۳۱/۲۷	۴۸/۲۵	۷۲/۹۵	۵۰/۶۷	-۰	۱۰

جدول ۱۲- درصد تغییرات غلظت فلزات سنگین در نمونه رسوب بستر بعد از چشمۀ طبیعی

Table 12. Percentage changes of heavy metal concentration in the bed sediment sample after natural spring

عنصر از مقطع ۶ به ۷	درصد تغییرات غلظت	برلیم	کروم	نیکل	مس	روی	آرسنیک	سلنیم	کادمیم	جبهه	تالیوم	سرب
۲۶/۹۶	۴۲/۸۶	۱۰۰	۱۱۶/۱۳	۱۱۴/۲۹	۴۲/۶۸	۱۹/۱۸	۵۶/۴۹	۴۷/۷۵	۶۹/۳۴	۷۹/۴۵	-	-

جدول ۱۳- مساحت کاربری‌های اراضی (هکتار و درصد) در بالادست نقاط نمونه‌برداری رسوب بستر

Table 12. Area (Hectares and %) of land use at each sampling points

شماره نمونه	مساحت	مرتع	کشاورزی دیم	دیم	باغ	کشاورزی آبی	رخمنوں	معدن	مسکونی
۱	۳۷۳/۹۰	۸۹/۳۹	۸/۶۹	۱/۴۲	-۰/۴۹	-۰	-	-	-
۲	۳۹۳/۴۰	۸۹/۹۲	۸/۲۶	۱/۲۵	-۰/۴۶	-۰	-	-	-
۳	۴۱۷/۹۷	۸۹/۶۲	۷/۹۴	۱/۷۷	-۰/۴۴	-۰	-	-	-
۴	۴۴۱/۳۹	۸۹/۲۰	۸/۴۹	۱/۲۱	-۰/۴۲	-۰	-	-	-
۵	۷۸۵/۱۶	۸۶/۶۶	۱۱/۳۱	۰/۶۸	-۰/۹۷	-۰/۹۷	-	-	-
۶	۸۳۹/۹۵	۸۱/۶۲	۱۶/۴۷	۰/۶۳	-۰/۹۱	-۰/۹۱	-	-	-
۷	۱۶۵۹/۸۹	۵۳/۲۸	۳۸/۷۵	۰/۹۸	-۳/۳۴	-۳/۳۸	-	-	-
۸	۳۶۴۴/۹۴	۵۰/۹۴	۳۷/۶۹	۱/۱۴	-۳/۴۲	-۵/۷۶	-۰/۰۹	-۰/۰۹	-
۹	۴۲۵۴/۹۵	۴۹/۹۰	۳۷/۸۱	۱/۲۷	-۴/۵۸	-۵/۵۶	-۰/۰۸	-۰/۰۸	-
۱۰	۴۴۰۳/۴۲	۴۹/۵۴	۳۷/۹۵	۱/۲۴	-۴/۷۸	-۵/۴۷	-۰/۲۲	-۰/۲۲	-

آبراهه می‌تواند نتیجه را معکوس کند. همچنین فاصله با زمین‌های کشاورزی که به طور معمول به دلیل مصرف کود و سم تأثیر بسیاری در افزایش غلظت فلزات سنگین همراه رسوبات دارد، نیز در شدت اثر تأثیرگذار است، به گونه‌ای که در بعضی از نقاط نمونه‌برداری به علت فاصله زیاد نسبت به زمین‌های کشاورزی (دیم و آبی)، غلظت فلزات سنگین کمترین تأثیر را از کودها و سومون کشاورزی گرفته است.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از کمک‌های بی دریغ مهندس مهرداد گاوشنایان در امر نمونه‌برداری صمیمانه قدردانی می‌شود.

نتیجه‌گیری کلی

بررسی انجام شده نشان داد که عناصر مورد مطالعه با توجه به شاخص‌های ارزیابی آلودگی در هیچ‌یک از نقاط آلوده است. با این حال برای نتیجه‌گیری کلی در رابطه با آلودگی فلزات سنگین باستی از نمونه‌های آب و رسوب معلق نیز بررسی به عمل آید. همچنین به بررسی نقطه‌به‌نقطه نمونه‌ها پرداخته شد که نشان‌دهنده تأثیر کاهنده بنده‌ای رسوب‌گیر بر رسوبات بستر و فلزات سنگین همراه با آنها است. اگرچه وجود منطقه مسکونی در کنار رودخانه در بیش‌تر اوقات باعث افزایش فلزات سنگین همراه رسوبات می‌شود، اما گاهی تأثیر دیگر عوامل از جمله جمعیت منطقه مسکونی، تغییرات شبیه آبراهه یا رودخانه و همچنین تراکم پوشش گیاهی داخل

منابع

- Abrahim, G.M.S. and R.J. Parker. 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): 227-238.
- Bábek, O., T.M. Grygar, M. Faměra, K. Hron, T. Nováková and J. Sedláček. 2015. Geochemical background in polluted river sediments: how to separate the effects of sediment provenance and grain size with statistical rigour. *Catena*, 135: 240-253.
- Barbieri, M. 2016. The Importance of enrichment factor (EF) and geoaccumulation index (Igeo) to evaluate the soil contamination. *J Geol Geophys*, 5(1): 1-4.
- Buruiana, D.L., D. Lefter, G.L. Tiron, S. Balta and M. Bordei. 2015. Toxicity of heavy metals on the environment and human health. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management*, SGEM, 2: 5 p.
- Brännvall, M.L., R. Bindler, I. Renberg, O. Emteryd, J. Bartnicki and K. Billström. 1999. The Medieval metal industry was the cradle of modern large-scale atmospheric lead pollution in northern Europe. *Environmental Science & Technology*, 33(24): 4391-4395.
- Dijkshoorn, W., W. van Broekhoven and J.E.M. Lampe. 1979. Phytotoxicity of zinc, nickel, cadmium, lead, copper and chromium in three pasture plant species supplied with graduated amounts from the soil. *NJAS Wageningen Journal of Life Sciences*, 27(3): 241-253.
- Duodu, G.O., A. Goonetilleke and G.A. Ayoko. 2016. Comparison of pollution indices for the assessment of heavy metal in Brisbane River sediment. *Environmental Pollution*, 219: 1077-1091.
- FAO, I. 2015. Status of the world's soil resources (SWSR)—main report. Food and agriculture organization of the United Nations and intergovernmental technical panel on soils, Rome, Italy, 650 p.
- Gheshlaghi, A. and Sh. Rostami. 2016. Pollution and species formation of heavy metals in the sediments of Siahrood riverbed (Ghaemshahr region-Mazandaran province). *Journal of Stratigraphy and Sedimentologi Researches*, 32(2): 73-90 (In Persian)
- Gurumoorthi, K. and R. Venkatachalamathy. 2016. Spatial and seasonal trend of trace metals and ecological risk assessment along Kanyakumari coastal sediments, southern India.
- Hakanson, L. 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Research*, 14(8): 975-1001.
- Homayounfar, V., A. Khaledi Darvishan and S.J. Alavi. 2017. Effects of Soil Preparation for Laboratorial Erosion Studies on Surface Runoff. *Journal of Watershed Management Research*, 7(14): 60-68 (In Persian).
- Huang, B., Z. Yuan, D. Li, M. Zheng, X. Nie and Y. Liao. 2020. Effects of soil particle size on the adsorption, distribution, and migration behaviors of heavy metal (loid)s in soil: a review. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 22(8): 1596-1615.
- Hudson-Edwards, K.A., M.G. Macklin, J.R. Miller and P.J. Lechler. 2001. Sources, distribution and storage of heavy metals in the Rio Pilcomayo, Bolivia. *Journal of Geochemical Exploration*, 72(3): 229-250.
- Jafarabadi, A.R., A.R. Bakhtiyari, A.S. Toosi and C. Jadot. 2017. Spatial distribution, ecological and health risk assessment of heavy metals in marine surface sediments and coastal seawaters of fringing coral reefs of the Persian Gulf, Iran. *Chemosphere*, 185: 1090-1111.
- Kabata-Pendias, A. 2010. Trace elements in soils and plants. CRC press.
- Katebikord, A., A. Khaledi Darvishan and S.J. Alavi. 2018. Effects of Rainfall Duration on Hydrological Response of Field Plots under Rainfall Simulation. *Journal of Watershed Management Research*, 9(17): 49-56 (In Persian).
- Keating, M.H. 1997. Mercury study report to Congress. Volume 2. An inventory of anthropogenic mercury emissions in the United States (No. PB-98-124746/XAB; EPA-452/R-97/004). Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC (United States). Office of Air Quality Planning and Standards.
- Khaledi Darvishan, A., S.H.R. Sadeghi, L. Gholami and A.R. Telvari. 2010. Comparison of USLE Different Versions in Chehelgazi Watershed in Kordistan Province, Iran, *Journal of Watershed Management Research*, 1(1): 30-43 (In Persian).
- Khorsand, M., A. Khaledidarvishan and M. Gholamalifard. 2016. Comparison of the results of annual loss estimation of RUSLE model with the data obtained from erosion nails and plots in Khamsan introducing watershed. *Iranian journal of Ecohydrology*, 3(4): 669-680 (In Persian).
- Liu, S., C. Wang, J. Yang and Q. Zhao. 2014. Assessing the heavy metal contamination of soils in the water-level fluctuation zone upstream and downstream of the Manwan Dam, Lancang River. *Journal of Soils and Sediments*, 14(6): 1147-1157.
- Miller, J.R., K.A. Hudson-Edwards, P.J. Lechler, D. Preston and M.G. Macklin. 2004. Heavy metal contamination of water, soil and produce within riverine communities of the Rio Pilcomayo basin, Bolivia. *Science of the total environment*, 320(2-3): 189-209.
- Miller, J.R. 1997. The role of fluvial geomorphic processes in the dispersal of heavy metals from mine sites. *Journal of geochemical exploration*, 58(2-3): 101-118.

24. Mitchell, R.L. and J.C. Burridge. 1979. Trace elements in soils and crops. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences*, 288(1026): 15-24.
25. Mohammadi, M., A.K. Darvishan and N. Bahramifar. 2019. Spatial distribution and source identification of heavy metals (As, Cr, Cu and Ni) at sub-watershed scale using geographically weighted regression. *International Soil and Water Conservation Research*, 7(3): 308-315.
26. Muller, G. 1969. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Geojournal*, 2: 108-118.
27. Nagajyoti, P.C., K.D. Lee and T.V.M. Sreekanth. 2010. Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. *Environmental chemistry letters*, 8(3): 199-216.
28. Naseri, H., Z. Key Homayoun and M. Nakhaei. 2011. Effect of natural and anthropogenic factors on water resources quality in lenjanat plain, esfahan, iran. *Iranian Journal of Geosciences*.
29. Nriagu, J. 1994. Industrial activity and metals emissions Cambridge, UK: Cambridge Univ Press, 277-85 pp.
30. Pandey, J. and R. Singh. 2017. Heavy metals in sediments of Ganga River: up-and downstream urban influences. *Applied Water Science*, 7(4): 1669-1678.
31. Silva, Y.J.A.B.D., J.R.B. Cantalice, V.P. Singh, C.W.A.D. Nascimento and B.P. Wilcox. 2019. Heavy metal concentrations and ecological risk assessment of the suspended sediments of a multi-contaminated Brazilian watershed. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 41.
32. Sun, L.N., Y.F. Zhang, L.Y. He, Z.J. Chen, Q.Y. Wang, M. Qian and X.F. Sheng. 2010. Genetic diversity and characterization of heavy metal-resistant-endophytic bacteria from two copper-tolerant plant species on copper mine wasteland. *Bioresource Technology*, 101(2): 501-509.
33. Taylor, M.P., A.K. Mackay, K.A. Hudson-Edwards and E. Holz. 2010. Soil Cd, Cu, Pb and Zn contaminants around Mount Isa city, Queensland, Australia: Potential sources and risks to human health. *Applied Geochemistry*, 25(6): 841-855.
34. Turekian, K.K. and K.H. Wedepohl. 1961. Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. *Geological Society of America Bulletin*, 72(2): 175-192.
35. UN-Habitat, I.I. 1996. Report of the UN conference on human settlements (Habitat II). Istanbul: United Nations Development Programme.
36. Underwood, E. 2012. Trace elements in human and animal nutrition. Elsevier.
37. Van Liedekerke, M., G. Prokop, S. Rabl-Berger, M. Kibblewhite and G. Louwagie. 2017. Progress in the management of contaminated sites in Europe.
38. Wang, N., A. Wang, L. Kong and M. He. 2018. Calculation and application of Sb toxicity coefficient for potential ecological risk assessment. *Science of the Total Environment*, 610: 167-174.
39. Williams, C.H. and D.J. David. 1976. The accumulation in soil of cadmium residues from phosphate fertilizers and their effect on the cadmium content of plants. *Soil Science*, 121(2): 86-93 pp.
40. Yarimoghadam, N., M. Cheraghi, A.H. Hasani and A.H. Javid. 2013. Investigation of heavy metals (Zn, Cr, Pb and Cd) in Abshineh river of Hamedan. *Health and Development Journal*, 2(4): 0-296 (In Persian).
41. Ye, G., Y. Lin, D. Liu, Z. Chen, J. Luo, N. Bolan, J. Fan and W. Ding. 2019. Long-term application of manure over plant residues mitigates acidification, builds soil organic carbon and shifts prokaryotic diversity in acidic Ultisols. *Applied Soil Ecology*, 133: 24-33.
42. Yi, Y., Z. Yang and S. Zhang. 2011. Ecological risk assessment of heavy metals in sediment and human health risk assessment of heavy metals in fishes in the middle and lower reaches of the Yangtze River basin. *Environmental pollution*, 159(10): 2575-2585.
43. Zhao, F.J., Y. Ma, Y.G. Zhu, Z. Tang and S.P. McGrath. 2015. Soil contamination in China: current status and mitigation strategies. *Environmental science & technology*, 49(2): 750-759.
44. Zhao, H., B. Cui and K. Zhang. 2010. The distribution of heavy metal in surface soils and their uptake by plants along roadside slopes in longitudinal range gorge region, China. *Environmental earth sciences*, 61(5): 1013-1023.

Downstream Changes in Heavy Metal Concentrations and Pollution Indices of Bed Sediments in Khamsan Representative Watershed

Mohammad Amjadi¹ and Abdolvahed Khaledi Darvishan²

1- M.Sc. Student, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

2- Associate Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Iran, (Corresponding Author: a.khaledi@modares.ac.ir)

Received: 15 November, 2020 Accepted: 7 February, 2021

Extended Abstract

Introduction and Objective: Stream sediment load usually acts as an important source and indicator in geochemical elements concentration changes especially heavy metals and the extent of human impact. Studying the trend of downstream changes in sediment pollution indices and the factors affecting it is one of the most important interdisciplinary research needs. In present research, the concentration of heavy metals and pollution indices of bed sediments were investigated in the main river of Khamsan representative watershed and the factors affecting the downstream changes of indices were analyzed. This river is one of the two important rivers entering the lake of Gawshan dam and for this reason; the study of water and sediment pollution of this river is of special importance.

Material and Methods: To achieve the research purposes, along the main stream, 10 bed sediment samples were taken from upstream to downstream and the concentrations of heavy metals including beryllium, chromium, nickel, copper, zinc, arsenic, selenium, cadmium, mercury, thallium and lead were measured using ICP-MS. Then the indices of contamination factor (Cf), degree of contamination (Cd), modified degree of contamination (mCd), pollution load index (PLI) and geo accumulation index (Igeo) and the downstream changes of these indices were calculated and analyzed. In addition, the percentage change index was used to determine the downstream change of the heavy metals concentrations.

Results: The results showed that reducing the steam slope and increasing the density of vegetation along the stream was effective in downstream reduction of the heavy metals concentrations and neutralizing the effect of residential area. Toxic elements such as selenium, cadmium, mercury and arsenic have been reduced by about 40% in the downstream direction and the effect of check dams in reducing the transfer of lead, zinc, cadmium, copper and selenium along with bed sediment was also confirmed. The results also showed that after the qanat water joined the main stream, the concentration of heavy metals in the bed sediments increased and the highest increase with 1/116, 3/114, 0/100 and 5/79% was observed in selenium, cadmium, mercury and beryllium, respectively.

Conclusion: Conclusion of the present study shows that although according to the studied indices, none of the bed sediment samples of the studied river from the upstream to the downstream is contaminated, but the trend of changes is especially worrying for heavy metals nickel, zinc and cadmium and can be an alarm for water and sediments entering the Gawshan dam reservoir.

Keywords: Bed load, Check dam, Geo accumulation index, ICP-MS, Potential ecological risk factor