دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

"مقاله پژوهشی"

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، نور، ایران
۲- دانشیار گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران، (نویسنده مسوول: a.khaledi@modares.ac.ir)
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۸/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۱۹
صفحه: ۱۵۹ تا ۱۶۹

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: بار رسوب آبراهه اغلب به‌عنوان یک منبع و شاخص مهم در تغییرات غلظت عناصر ژئوشیمیایی و به ویژه فلزات سنگین برای بررسی میزان تأثیرات انسانی عمل می‌کند. مطالعه روند تغییرات شاخص‌های آلودگی رسوبات در جهت پایاب رودخانه‌ها و عوامل موثر بر آن از مهم‌ترین نیازهای پژوهشی بین‌رشته‌ای 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 دو رودخانه مهم ورودی به دریاچه سد مخزنی گاوشان 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 برلیم، کروم، نیکل، مس، روی، آرسنیک، سلنیم، کادمیم، جیوه، تالیم و سرب با استفاده از ICP-MS اندازه‌گیری شد. سپس شاخص‌های عامل آلودگی، درجه آلودگی، درجه آلودگی اصلاح‌شده، 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 شیب آبراهه و افزایش تراکم پوشش گیاهی حاشیه آبراهه در کاهش غلظت فلزات سنگین به سمت پایاب و هم‌چنین خنثی کردن اثر منطقه مسکونی مؤثر 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 قنات به آبراهه اصلی، غلظت فلزات سنگین در رسوبات بستر افزایش یافت و بیش‌ترین افزایش با مقادیر ۱۱۶/۱، ۱۱۴/۳، ۱۰۰/۰ و ۷۹/۵ درصد به ترتیب در سلنیم، کادمیم، جیوه و برلیم مشاهده شد.

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

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

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 معضلات محیط زیستی است و ارزیابی عوامل ایجاد و مهار آن از پیش‌نیازهای اصلی مدیریت صحیح منابع آب و خاک است (۱۲،۱۷،۱۹). منبع اصلی اکثر عناصر کمیاب فعال بیولوژیکی مانند روی، کادمیوم، کروم، نیکل، نقره و سرب خاک است که از طریق گیاهان و حیوانات به انسان می‌رسند (۳،۲۴). محتوای 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 به‌طوری‌که 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،۶). خاک یک گیرنده‌ی مهم از انواع مختلف آلاینده‌هایی است که توسط فعالیت‌های انسانی تولید می‌شود و بزرگ‌ترین منبع فلزات سنگین بر روی زمین به‌حساب می‌آید (۲۹) و به‌طورکلی پذیرفته شده است که بیشتر خاک مناطق پیشرفته از نظر فلزات سنگین کم و بیش 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 (۴۳،۳۷،۱۳). وجود بیش از حد فلزات سنگین در خاک نه تنها تهدیدی جدی برای گیاهان زنده، حیوانات و میکروارگانیسم‌های خاک هستند بلکه از طریق زنجیره غذایی خطر بالقوه‌ای را برای سلامتی انسان ایجاد می‌کنند (۳۲،۲۶،۱۳)، 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 یعنی الف) ماهیت عنصر و ب) شرایط محیطی مانند خواص فیزیکی و شیمیایی، دما و رطوبت خاک اشاره کرد. با توجه به این‌که بیش از ۹۰ درصد از بار کل فلزات رودخانه‌ها در فاز جامد منتقل می‌شود (۲۴) بنابراین در این پژوهش به مطالعه‌ی 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

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-05]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.24.19.6]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.24.159]

(۹) نیز در بررسی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات بستر رودخانه‌ی سیاهرود دریافتند که عناصر سرب و کادمیم عمدتاً براثر فعالیت‌های انسانی می‌باشند. 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 بالادست رودخانه نسبتاً آلوده بوده و به‌ویژه منگنز و آرسنیک آلودگی قابل توجه را نشان دادند هم‌چنین رسوبات در بخش پایین‌دست بسیار آلوده هستند و سرب و آرسنیک در بخش‌های پایین‌دست رودخانه خطر اکولوژیکی قابل توجهی را نشان می‌دهد. برای به دست آوردن اطلاعات در مورد عناصر کمیاب در خاک از انواع محیط‌ها در سراسر جهان، ازجمله 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 (به‌عنوان مثال کادمیم، مس، سرب و روی) آلوده شده‌اند (۳۳،۲۳،۱۴).

اگرچه محققان زیادی به بررسی آلودگی 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 عکس‌العمل خاص خود را در رابطه با فلزات سنگین نمایش می‌دهد. علاوه بر آن روستای خامسان از روستاهای نزدیک به سد گاوشان است که می‌تواند اهمیت این پژوهش را بیش از پیش نماید؛ بنابراین با توجه به مطالب بیان‌شده این پژوهش به ارزیابی غلظت فلزات سنگین و شاخص‌های آلودگی در جهت پایاب رودخانه حوزه آبخیز خامسان می‌پردازد.

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه

حوزه آبخیز معرف زوجی خامسان با مساحت ۴۳۳۶/۲۲ هکتار در ۲۵ کیلومتری شمال شهرستان کامیاران در استان کردستان واقع شده است و در حد واسط "۴۷ '۴۵ °۴۷ تا "۴۴ '۱۰ °۴۷ طول شرقی و "۵۱ '۵۷ °۳۴ تا "۲۹ '۱ °۳۵ 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 مورد مطالعه ۹۷۲۴ متر است که طول کل حوزه آبخیز را تا پایاب پیموده است.

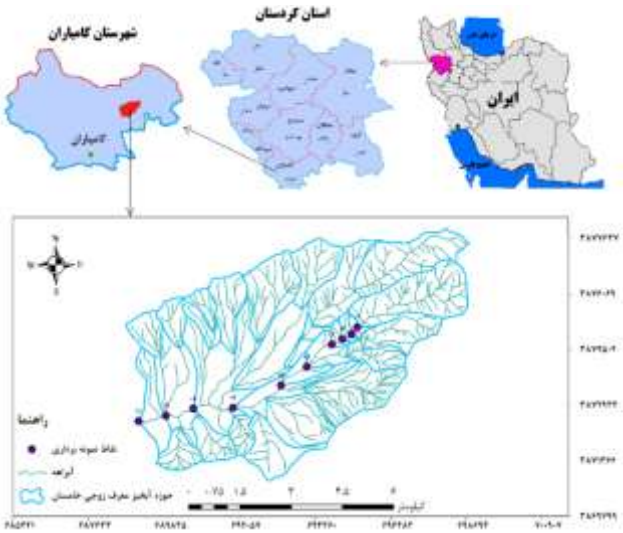
طبق سرشماری سال ۱۳۹۵ این روستا محل اقامت ۴۷۲ خانوار بوده و جمعیتی بالغ بر ۱۴۰۵ نفر در این روستا اقامت دارند. یکی از معضلات این روستا دفع فاضلاب خانگی به آبراهه اصلی و سپس سد گاوشان است که بر اهمیت نتایج این پژوهش می‌افزاید.

نمونه‌برداری از رسوب بستر

از آنجایی‌که اکثریت عناصری مانند مس، کبالت، مولیبدن، روی، منیزیم و آهن در دانه‌بندی بسیار 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 رسوب‌بستر 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[1] اندازه‌گیری شد (۲۵).



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

1- Inductively coupled plasma mass spectrometry

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-05]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.24.19.6]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.24.159]

شاخص‌های ارزیابی کیفیت رسوب

شاخص‌های آلودگی ابزارهای مفید برای ارزیابی آلودگی رسوبات هستند. در مطالعات از شاخص‌های مختلف (شاخص عامل آلودگی[1]، شاخص درجه آلودگی[2]، شاخص درجه آلودگی اصلاح‌شده[3]، شاخص بار آلودگی[4]، شاخص تجمع زمینی[5] و شاخص پتانسیل خطر اکولوژیکی[6]) برای ارزیابی آلودگی رسوب استفاده‌شده است که در ادامه برخی از آن‌ها شرح داده می‌شود.

شاخص عامل آلودگی (Cf)

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

$$C_f^i = \frac{M_x^i}{M_b^i} \quad (۱)$$

که در آن M_x^i غلظت فلز مورد نظر i در رسوب رودخانه و M_b^i 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.

جدول ۱- طبقه‌بندی آلودگی فلزات سنگین طبق شاخص عامل آلودگی

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

وضعیت آلودگی	ضریب آلودگی مقدار
ضریب آلودگی پایین	۱ >
ضریب آلودگی متوسط	۳-۱
ضریب آلودگی قابل‌توجه	۶-۳
ضریب آلودگی بسیار بالا	۶ <

شاخص درجه آلودگی (Cd)

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

$$C_d = \sum_{i=1}^{n} C_f^i \quad (۲)$$

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

جدول ۲- طبقه‌بندی آلودگی فلزات سنگین طبق شاخص درجه آلودگی

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

وضعیت آلودگی	شاخص درجه آلودگی
آلودگی بسیار کم	۶ <
آلودگی متوسط	۱۲-۶
آلودگی زیاد	۲۴-۱۲
آلودگی بسیار زیاد	۲۴ >

شاخص درجه آلودگی اصلاح‌شده (mCd)

در رابطه ۳ مجموع کل شاخص عامل آلودگی برای تعداد n فلز مختلف، تقسیم بر n به‌عنوان شاخص درجه آلودگی اصلاح‌شده در نظر گرفته می‌شود (۱).

$$mC_d = \frac{\sum_{i=1}^{n} C_f^i}{n} \quad (۳)$$

این شاخص توسط جدول ۳ ارزیابی می‌شود.

جدول ۳- طبقه‌بندی آلودگی فلزات سنگین طبق شاخص درجه آلودگی اصلاح‌شده

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

وضعیت آلودگی	شاخص درجه آلودگی اصلاح‌شده
درجه بسیار پایین از آلودگی	۱/۵- ۰
درجه پایین از آلودگی	۲- ۱/۵
درجه متوسط از آلودگی	۴- ۲
درجه بالا از آلودگی	۸- ۴
درجه بسیار بالا از آلودگی	۱۶- ۸
به‌شدت آلوده	۳۲- ۱۶
آلودگی فوق‌العاده زیاد	۳۲ <

شاخص بار آلودگی (PLI)

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

$$PLI = \sqrt[n]{C_{f1} \times C_{f2} \times C_{f3} \times \ldots \times C_{fn}} \quad (۴)$$

که در این رابطه n تعداد فلزات و Cf 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

1- Contamination factor (Cf) 2- Degree of contamination (Cd) 3- Modified degree of contamination (mCd)
4- Pollution Load Index (PLI) 5- Geo accumulation index (Igeo) 6- Potential ecological risk factor (ER)

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-05]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.24.19.6]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.24.159]

است. این شاخص با رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود که در این رابطه C_n غلظت اندازه‌گیری شده فلز در رسوب یا خاک موردبررسی و B_n غلظت پایه یا مرجع فلز موردنظر است. عامل ۱/۵ برای محاسبه تغییرات احتمالی در مقادیر مرجع برای یک فلز معین در محیط‌زیست و هم‌چنین تأثیرات بسیار کم انسانی استفاده می‌شود:

$$I_{geo} = log_2(\frac{C_n}{5/1 \times B_n}) \quad (۵)$$

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

جدول ۴- طبقه‌بندی آلودگی فلزات سنگین طبق شاخص تجمعی زمینی
Table 4. Classification of heavy metal pollution according to geo accumulation index

وضعیت آلودگی رسوب	شاخص تجمع زمینی
کاملاً غیر آلوده	≤ ۰
غیر آلوده تا آلودگی متوسط	۰ -۱
آلودگی متوسط	۱ -۲
آلودگی متوسط تا شدید	۲ -۳
آلودگی شدید	۳ -۴
آلودگی شدید تا بسیار شدید	۴ -۵
آلودگی بسیار شدید	≥ ۵

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

شاخص پتانسیل خطر اکولوژیکی اولین بار توسط هاکانسون در سال ۱۹۸۰ به‌منظور ارزیابی خطر آلودگی رسوبات به وسیله فلزات سنگین استفاده گردید؛ که بر اساس میزان سمیت فلزات روش‌های اصلاحی به وسیله دیگر پژوهشگران به‌کار گرفته شده است (۳۸). بر این اساس عامل پاسخ سمیت برای فلزات کروم، آرسنیک، کادمیم و جیوه به ترتیب برابر با ۲، ۱، ۱۰، ۳۰ و ۴۰ بوده و برای مس، روی و سرب برابر با ۵ هست (۱۰). در این تحقیق شاخص پتانسیل خطر اکولوژیکی بر اساس معادله زیر محاسبه گردید.

$$E_r^i = \frac{C^i}{C_0^i} \times T_r^i \quad (۶)$$

$$RI = \sum_{i=1}^{7} E_r^i \quad (۷)$$

که E_r^i شاخص پتانسیل خطر اکولوژیکی، C^i غلظت عنصر در نمونه برداشت‌شده، C_0^i غلظت زمینه‌ای عنصر و T_r^i برابر با عامل پاسخ سمیت 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.

محاسبه درصد تغییرات هر عنصر

برای بررسی تفاوت از شاخص درصد تغییرات غلظت عناصر در هر نقطه نمونه‌برداری نسبت به نمونه قبل از آن استفاده شد. رابطه ۸ نحوه محاسبه شاخص درصد تغییرات را نشان می‌دهد که در آن B مقدار غلظت عنصر در نقطه مورد بررسی و A مقدار عنصر در نقطه قبلی است.

درصد تغییرات = [(B-A)/A]×100 (۸)

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

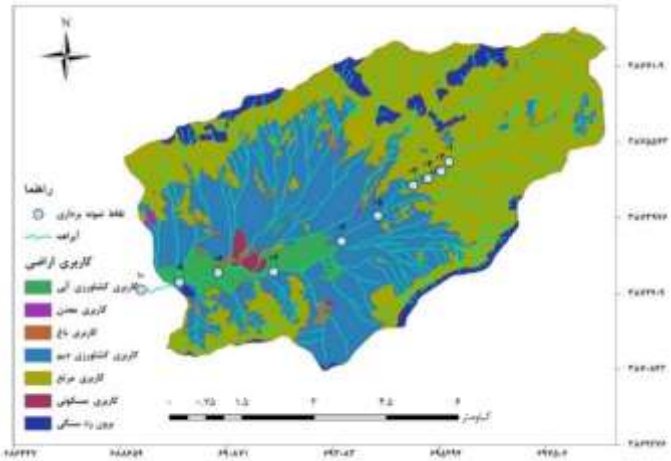
خطر اکولوژیکی و محیط زیستی	شاخص خطر RI	شاخص پتانسیل خطر اکولوژیکی	شاخص ER
خطر پایین	۱۵۰ ≥	خطر پایین	۴۰≥
خطر متوسط	۱۵۰ -۳۰۰	خطر متوسط	۴۰ -۸۰
خطر قابل‌ملاحظه	۳۰۰ -۶۰۰	خطر قابل‌ملاحظه	۸۰ -۱۶۰
خطر خیلی زیاد	۶۰۰ ≤	خطر زیاد	۱۶۰ -۳۲۰
—	—	خطر خیلی زیاد	۳۲۰≤

نتایج و بحث

غلظت فلزات سنگین

نتایج غلظت فلزات سنگین در ۱۰ ایستگاه نمونه‌برداری از رسوب آبراهه حوزه معرف زوجی خامسان در جدول ۶ نمایش داده شده است. نقاط نمونه‌برداری رسوبات بستر و نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز خامسان در شکل ۲ نشان داده شده‌اند.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-05]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.24.19.6]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.24.159]



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

فلزات سنگین مورد مطالعه به‌ترتیب 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 رسوب‌بستر آبراهه (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در جدول ۶ و میانگین غلظت اندازه‌گیری شده و غلظت زمینه‌ای فلزات سنگین (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در شکل ۳ ارائه شده‌اند. عناصر روی 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.

جدول ۶- غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های رسوب‌بستر آبراهه (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
Table 6. Concentration of heavy metals in bed sediment samples (mg/kg)

شماره نمونه	برلیم	کرم	نیکل	مس	روی	آرسنیک	سلنیم	کادمیم	جیوه	تالیوم	سرب
۱	۰/۴۴	۷۱/۴۰	۱۰۲/۹۱	۳۴/۸۱	۱۰۷/۵۰	۱۳/۷۹	۰/۶۳	۰/۴۴	۰/۱۲	۰/۱۶	۱۱/۸۰
۲	۱/۱۶	۸۱/۰۳	۱۱۲/۸۰	۲۸/۲۷	۸۸/۷۳	۱۵/۴۱	۰/۵۲	۰/۳۳	۰/۱۲	۰/۱۹	۱۰/۷۱
۳	۰/۸۷	۶۵/۴۶	۹۲/۱۰	۲۷/۲۶	۹۹/۹۷	۱۱/۸۴	۰/۶۸	۰/۳۳	۰/۰۹	۰/۱۷	۱۲/۱۹
۵	۰/۴۴	۳۶/۸۰	۵۴/۹۵	۱۴/۹۴	۴۵۴/۳۲	۶/۶۸	۰/۳۸	۰/۱۷	۰/۱۱	۰/۰۶	۷/۱۰
۶	۰/۷۳	۴۰/۰۸	۶۱/۶۶	۱۷/۱۰	۶۵/۲۹	۶/۶۳	۰/۳۱	۰/۲۱	۰/۰۷	۰/۰۷	۶/۹۰
۷	۱/۳۱	۶۷/۸۷	۹۱/۱۰	۲۶/۷۶	۷۷/۸۱	۹/۴۶	۰/۶۷	۰/۴۵	۰/۱۴	۰/۱۰	۸/۷۶
۸	۰/۸۷	۴۷/۲۱	۵۷/۸۰	۲۲/۴۷	۷۳/۲۹	۵/۷۴	۰/۴	۰/۲۵	۰/۰۸	۰/۰۹	۶/۹۱
۹	۰/۸۷	۴۸/۳۳	۵۳/۶۱	۲۲/۵۳	۹۴/۲۴	۷/۱۰	۰/۳۱	۰/۲۵	۰/۱۱	۰/۰۹	۸/۵۱
۱۰	۰/۸۷	۷۲/۸۲	۹۲/۷۲	۳۳/۴	۱۲۳/۷۱	۲۰/۳۵	۰/۷۴	۰/۴۳	۰/۱۲	۰/۱۶	۱۲/۷۸

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

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-05]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.24.19.6]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.24.159]

جدول ۷- میانگین، بیشینه، کمینه و انحراف معیار غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های رسوب‌بستر
Table 7. Mean, maximum, minimum and standard deviation of heavy metal concentration in bed sediment samples

نمونه	برلیم	کروم	نیکل	مس	روی	آرسنیک	سلنیم	کادمیم	جیوه	تالیوم	سرب
میانگین	۰/۸۷	۶۰/۵۷	۸۲/۷۱	۲۵/۸۱	۱۲۸/۸۸	۱۱/۲۳	۰/۵۴	۰/۳۳	۰/۱۰	۰/۱۳	۹/۸۸
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	۵/۷۴	۰/۳۱	۰/۱۷	۰/۰۷	۰/۰۶	۶/۹۰
انحراف معیار	۰/۲۹	۱۵/۹۰	۲۳/۲۵	۶/۵۵	۱۱۵/۶۷	۴/۹۱	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

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

جدول ۸- شاخص تجمع زمینی مولر در نمونه‌های رسوبات بستر
Table 8. Muller geo accumulation index in bed sediment samples

شماره نمونه	شاخص تجمع زمینی مولر										
	برلیم	کرم	نیکل	مس	روی	آرسنیک	سلنیم	کادمیم	جیوه	تالیوم	سرب
۱	−۳/۳۵	−۰/۹۲	۰/۰۱	−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	−۱/۰۴	−۰/۱۵	−۱/۳۱	−۰/۵۱	−۰/۷۲	−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	−۱/۲۴	−۱/۴۰	−۲/۴۵	−۵/۱۳	−۲/۰۸
۶	−۲/۶۲	−۱/۷۵	−۰/۷۳	−۱/۹۸	−۱/۱۳	−۱/۵۶	−۱/۵۴	−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	−۰/۸۲	−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	−۱/۰۲	−۰/۲۰	۰/۰۶	−۰/۲۸	−۰/۰۷	−۲/۳۲	−۳/۷۱	−۱/۲۳

شاخص‌های درجه آلودگی، درجه آلودگی اصلاح شده و بار آلودگی

جدول ۹ شاخص‌های درجه آلودگی، درجه آلودگی اصلاح شده و بار آلودگی را برای نمونه‌های رسوب بستر در نقاط مورد مطالعه نشان می‌دهد. شاخص درجه آلودگی در نمونه‌های شماره ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۷ و ۱۰ بین شش تا ۱۲ قرار دارند که با توجه به جدول ۲، نشان‌دهنده آلودگی متوسط در این نقاط است. هم‌چنین شاخص درجه آلودگی اصلاح‌شده 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.

جدول ۹- عامل آلودگی، شاخص درجه آلودگی، شاخص درجه آلودگی اصلاح شده و شاخص بار آلودگی در نمونه‌های رسوب آبراهه
Table 9. Pollution factor, Pollution index, Pollution degree index, Modified pollution degree index and Pollution load index in bed sediment samples

شماره نمونه	شاخص عامل آلودگی														شاخص درجه آلودگی	شاخص درجه آلودگی اصلاح شده	شاخص بار آلودگی
	برلیم	کروم	نیکل	مس	روی	آرسنیک	سلنیم	کادمیم	جیوه	تالیوم	سرب						
۱	۰/۱	۰/۸	۱/۵	۰/۸	۱/۱	۱/۱	۱/۱	۱/۵	۰/۳	۰/۱	۰/۶				۸/۹	۰/۸	۰/۶
۲	۰/۴	۰/۹	۱/۷	۰/۶	۰/۹	۱/۲	۰/۹	۱/۱	۰/۳	۰/۱	۰/۵				۸/۶	۰/۸	۰/۷
۳	۰/۳	۰/۷	۱/۴	۰/۶	۱/۱	۰/۹	۱/۱	۱/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۶				۸/۱	۰/۷	۰/۶
۴	۰/۴	۰/۸	۱/۶	۰/۷	۱/۱	۱/۲	۱/۲	۱/۴	۰/۲	۰/۱	۰/۷				۹/۴	۰/۹	۰/۷
۵	۰/۱	۰/۴	۰/۸	۰/۳	۴/۸	۰/۵	۰/۶	۰/۶	۰/۳	۰/۰	۰/۴				۸/۹	۰/۸	۰/۴
۶	۰/۲	۰/۴	۰/۹	۰/۴	۰/۷	۰/۵	۰/۵	۰/۷	۰/۲	۰/۱	۰/۳				۵/۰	۰/۵	۰/۴
۷	۰/۴	۰/۸	۱/۳	۰/۶	۰/۸	۰/۷	۱/۱	۱/۵	۰/۴	۰/۱	۰/۴				۸/۱	۰/۷	۰/۶
۸	۰/۳	۰/۵	۰/۹	۰/۵	۰/۸	۰/۴	۰/۷	۰/۸	۰/۲	۰/۱	۰/۳				۵/۵	۰/۵	۰/۴
۹	۰/۳	۰/۵	۰/۸	۰/۵	۱/۰	۰/۵	۰/۵	۰/۸	۰/۳	۰/۱	۰/۴				۵/۸	۰/۵	۰/۴
۱۰	۰/۳	۰/۸	۱/۴	۰/۷	۱/۳	۱/۶	۱/۲	۱/۴	۰/۳	۰/۱	۰/۶				۹/۸	۰/۹	۰/۷

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 نبود 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.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-05]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.24.19.6]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.24.159]

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

شماره نمونه	شاخص پتانسیل خطر اکولوژیکی								شاخص خطر اکولوژیکی و محیطی
	کروم	نیکل	مس	روی	آرسنیک	کادمیم	جیوه	سرب	
۱	۱/۶	۷/۶	۳/۹	۱/۱	۱۰/۶	۴۴	۱۲	۳/۰	۸۳/۷
۲	۱/۸	۸/۳	۳/۱	۰/۹	۱۱/۹	۳۳	۱۲	۲/۷	۷۳/۷
۳	۱/۵	۶/۸	۳/۰	۱/۱	۹/۱	۳۳	۹	۳/۰	۶۶/۵
۴	۱/۷	۷/۹	۳/۴	۱/۱	۱۱/۸	۴۳	۷	۳/۳	۷۹/۱
۵	۰/۸	۴/۰	۱/۷	۴/۸	۵/۱	۱۷	۱۱	۱/۸	۴۶/۲
۶	۰/۹	۴/۵	۱/۹	۰/۷	۵/۱	۲۱	۷	۱/۷	۴۲/۸
۷	۱/۵	۶/۷	۳/۰	۰/۸	۷/۳	۴۵	۱۴	۲/۲	۸۰/۵
۸	۱/۰	۴/۳	۲/۵	۰/۸	۴/۴	۲۵	۸	۱/۷	۴۷/۷
۹	۱/۱	۳/۹	۲/۵	۱/۰	۵/۵	۲۵	۱۱	۲/۱	۵۲/۱
۱۰	۱/۶	۶/۸	۳/۷	۱/۳	۱۵/۷	۴۳	۱۲	۳/۲	۸۷/۳

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 روستای کوچکی واقع‌شده است که با توجه به این موضوع درصد تغییرات عناصر سلنیم، کادمیم و سرب افزایش داشته است. استفاده عنصر سلنیم در حشره‌کش‌ها و کودها به‌عنوان سلنیت سدیم است (۱۶).

هم‌چنین عناصر کادمیم و سرب به‌طور مشترک در باتری‌ها 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 به‌غیر 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 پایین‌دست خود ایجاد کرده باشد. هم‌چنین درصد تغییرات از چهار به پنج در تمام عناصر به‌غیر از روی و جیوه کاهشی بوده است؛ که این کاهش می‌تواند در اثر افزایش فاصله نقطه نمونه‌برداری حاصل‌شده باشد (شکل ۱). ازجمله کاربردهای عنصر جیوه در صنعت می‌توان به استفاده در لامپ‌های فلورسنت، باتری، باکتری‌کش، قارچ‌کش 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 ازجمله باتری، تجهیزات خودرو، لوله‌ها و وسایل خانگی ثبت‌شده است (۱۶). لذا مقدار افزایش این عنصر در این نقطه نمونه‌برداری بسیار غیرمعمول است. نمونه شماره ۶ از رسوبات بستر در دهانه خروجی قنات برداشت‌شده و هیچ ارتباطی با نمونه‌های قبل از خود ندارد و بر این اساس از جدول ۱۱ 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 قابل‌مشاهده 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 قابل‌قبول 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 تاثیر بر کیفیت آب قنات نبوده است.

از نقطه شماره ۵ به ۷ تمام عناصر به‌غیر از روی افزایشی بوده است که دراین‌بین کشاورزی دیم نسبت به نقطه شماره ۵ بیش از سه برابری افزایش‌یافته 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 روستای خامسان قرار دارد و فاضلاب روستای خامسان نیز بر آبراهه ریخته می‌شود، ولی با این‌حال نه تنها افزایش غلظت عناصر مشاهده نمی‌شود بلکه غلظت عناصر کاهش یافته است. ازجمله دلایل این موضوع می‌توان به کم بودن جمعیت روستا و به ویژه کاهش شیب 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 یافتند. 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 سموم و کودها و البته کاهش مجدد تراکم پوشش گیاهی در کناره‌های آبراهه باشد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-05]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.24.19.6]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.24.159]

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	جیوه	تالیوم	سرب
۱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
۲	۱۶۳/۶۴	۱۳/۴۹	۹/۶۱	-۱۸/۷۹	-۱۷/۴۶	۱۱/۷۵	-۱۷/۴۶	-۲۵	۰	۱۱/۷۶	-۱۲/۱۴
۳	-۲۵	-۱۹/۲۲	-۱۸/۳۵	-۳/۵۷	۱۲/۶۷	-۲۳/۱۷	۳۰/۷۷	۰	-۲۵	-۱۵/۷۹	۱۰/۱۸
۴	۳۳/۳۳	۱۴/۱۲	۱۶/۶۸	۱۲/۰۷	۳/۹۸	۲۹/۴۸	۸/۸۲	۳۰/۳۰	-۲۲/۲۲	۱۲/۵	۱۱/۶۱
۵	-۶۲/۰۷	-۵۰/۷۴	-۴۸/۸۶	-۵۱/۱۰	۳۳۷/۰۶	-۵۶/۴۳	-۴۸/۶۵	-۶۰/۴۷	۵۷/۱۴	-۶۶/۶۷	-۴۶/۰۹
۷	۱۹۷/۷۳	۸۴/۴۳	۶۵/۷۹	۷۹/۱۲	-۸۲/۸۷	۴۱/۶۲	۷۶/۳۲	۱۶۴/۷۱	۲۷/۲۷	۶۶/۶۷	۲۳/۳۸
۸	-۳۳/۵۹	-۳۰/۴۴	-۳۶/۵۵	-۱۶/۰۳	-۵/۸۱	-۳۹/۳۲	-۴۰/۳۰	-۴۴/۴۴	-۴۲/۸۶	-۱۰	-۲۱/۱۲
۹	۰	۲/۳۷	-۷/۲۵	۰/۲۷	۲۸/۵۹	۲۳/۶۹	-۲۲/۵	۰	۳۷/۵	۰	۲۳/۱۵
۱۰	۰	۵۰/۶۷	۷۲/۹۵	۴۸/۲۵	۳۱/۲۷	۱۸۶/۶۲	۱۳۸/۷۱	۷۲	۹/۰۹	۷۷/۷۸	۵۰/۱۸

جدول ۱۲- درصد تغییرات غلظت فلزات سنگین در نمونه رسوب بستر بعد از چشمه طبیعی
Table 12. Percentage changes of heavy metal concentration in the bed sediment sample after natural spring

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

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	باغ	کشاورزی آبی	رخنمون	معدن	مسکونی
۱	۳۷۳/۹۰	۸۹/۳۹	۸/۶۹	۱/۴۲	۰	۰/۴۹	۰	۰
۲	۳۹۳/۴۰	۸۹/۹۲	۸/۲۶	۱/۳۵	۰	۰/۴۶	۰	۰
۳	۴۱۷/۹۷	۸۹/۶۲	۷/۹۴	۱/۲۷	۰	۰/۴۴	۰	۰/۷۳
۴	۴۴۱/۳۹	۸۹/۲۰	۸/۴۹	۱/۲۱	۰	۰/۴۲	۰	۰/۶۹
۵	۷۸۵/۱۶	۸۶/۶۶	۱۱/۳۱	۰/۶۸	۰	۰/۹۷	۰	۰/۳۹
۶	۸۳۹/۹۵	۸۱/۶۲	۱۶/۴۷	۰/۶۳	۰/۰۱	۰/۹۱	۰	۰/۳۶
۷	۱۶۵۹/۸۹	۵۳/۲۸	۳۸/۷۵	۰/۹۸	۳/۳۴	۳/۳۸	۰	۰/۲۸
۸	۳۶۴۴/۲۴	۵۰/۹۴	۳۷/۶۹	۱/۱۴	۳/۴۲	۵/۷۶	۰/۰۹	۰/۹۵
۹	۴۲۶۴/۹۵	۴۹/۹۰	۳۷/۸۱	۱/۲۷	۴/۵۸	۵/۵۶	۰/۰۸	۰/۸۱
۱۰	۴۴۰۳/۴۲	۴۹/۵۴	۳۷/۹۵	۱/۲۴	۴/۷۸	۵/۴۷	۰/۲۲	۰/۸۰

نتیجه‌گیری کلی

بررسی انجام شده نشان داد که عناصر مورد مطالعه با توجه به شاخص‌های ارزیابی آلودگی در هیچ‌یک از نقاط آلوده نبوده است. با این حال برای نتیجه‌گیری کلی در رابطه با آلودگی فلزات سنگین بایستی 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 شیب آبراهه یا رودخانه و هم‌چنین تراکم پوشش گیاهی داخل آبراهه می‌تواند نتیجه را معکوس کند. هم‌چنین فاصله با زمین‌های کشاورزی که به طور معمول به دلیل مصرف کود و سم تأثیر بسزایی در افزایش غلظت فلزات سنگین همراه رسوبات دارند، نیز در شدت اثر تأثیرگذار است، به‌گونه‌ای 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 سموم کشاورزی گرفته است.

تشکر و قدردانی

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

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-05]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.24.19.6]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.24.159]

منابع

1. 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.
2. 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.
3. 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.
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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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)
10. Gurumoorthi, K. and R. Venkatachalapathy. 2016. Spatial and seasonal trend of trace metals and ecological risk assessment along Kanyakumari coastal sediments, southern India.
11. Hakanson, L. 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. Water Research, 14(8): 975-1001.
12. 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).
13. 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.
14. Hudson-Edwards, K.A., M.G. Macklin, J.R. Miller and P.J. Lechler. 2001. Sources, distribution and storage of heavy metals in the Rıo Pilcomayo, Bolivia. Journal of Geochemical Exploration, 72(3): 229-250.
15. 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.
16. Kabata-Pendias, A. 2010. Trace elements in soils and plants. CRC press.
17. 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).
18. 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.
19. 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).
20. 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).
21. 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.
22. 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 Rıo Pilcomayo basin, Bolivia. Science of the total environment, 320(2-3): 189-209.
23. 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.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-05]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.24.19.6]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.24.159]

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.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-05]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.24.19.6]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.24.159]

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

Mohammad Amjadi[1] and Abdulvahed Khaledi Darvishan[2]

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 Februry, 2021

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-05]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.24.19.6]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.24.159]

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