فصلنامه علوم محیطی، دوره هفدهم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸

۱۵۵-۱۷۴

رویکرد تطبیقی آلودگی فلزهای سنگین در آب و رسوب‌های رودخانه‌ها (مطالعه موردی: رودخانه شاهرود)

مسعود معتمدی[۱]، آزیتا بهبهانی نیا[۲]* و فروغ فرساد[۱]

[۱] گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات، تهران، ایران

[۲] گروه محیط زیست، دانشکده کشاورزی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودهن، رودهن، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۲۸

معتمدی، م.، بهبهانی نیا، آ. و فرساد، ف. ۱۳۹۸. ف رویکرد تطبیقی آلودگی فلزهای سنگین در آب و رسوب‌های رودخانه‌ها (مطالعه موردی : رودخانه شاهرود). فصلنامه علوم محیطی. ۱۷ (۱): ۱۵۵-۱۷۴.

سابقه و هدف: یکی از آلودگی‌های مهم منبع‌های آب سطحی، آلودگی ناشی از حضور فلزهای سنگین می‌باشد. فلزهای سنگین اجزای طبیعی تشکیل دهنده پوسته زمین هستند ولی فعالیت‌های انسان، سیکل ژئوشیمی و بیوشیمیایی تعادل این فلزها را برهم زده و سبب انتشار آن‌ها در محیط زیست می‌شوند. در صورت ورود آلاینده‌ها به محیط آبی داخل رودخانه هر دو بخش آب و رسوب آن تحت تاثیر آلودگی قرار می‌گیرند، اما بخش رسوب‌ها بدلیل پویایی کمتر نسبت به محیط آب می‌تواند آلاینده‌های مختلف شیمیایی بویژه فلزهای سنگین را بیشتر در خود متمرکز سازند، بدین دلیل بررسی غلظت فلزهای سنگین در رسوب‌های بستر یک رودخانه، شدت آلودگی یا تاریخچه آن را بهتر از محیط آب آشکار می‌سازد. این پژوهش برای بررسی غلظت فلزهای سنگین در آب و رسوب‌های رودخانه شاهرود با هدف تعیین وضعیت و شناسایی منبع‌های آلودگی فلزهای سنگین در منطقه مورد تحقیق انجام گرفت.

مواد و روش‌ها: رودخانه شاهرود یکی از دو شاخهٔ اصلی و عمده سفید رود می‌باشد که از ارتفاع‌های البرز مرکزی سرچشمه می‌گیرد و تنها رودخانه دامنهٔ جنوبی البرز است که به دریای خزر می‌ریزد. در تحقیق حاضر به بررسی غلظت فلزهای سنگین سرب، کادمیوم و آرسنیک در آب و رسوب‌های رودخانه شاهرود در محدوده شهر لوشان پرداخته شده است، همچنین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب و رسوب‌ها در مرحله اول نمونه برداری مورد بررسی قرار گرفتند، که با انتخاب ۵ ایستگاه و انجام ۴ مرحله نمونه برداری (فصل‌های پائیز و زمستان ۹۵ – بهار و تابستان ۹۶) انجام گرفت، در مجموع ۴۰ نمونه آب و رسوب در طول رودخانه برداشت شد و پس از انتقال به آزمایشگاه غلظت پارامترهای مورد نظر اندازه گیری و مشخص شد.

نتایج و بحث: نتایج به‌دست آمده بالا بودن پارامترهای BOD[۱] و COD[۲] را در نمونه‌های آب، بر اساس استانداردهای تعیین شده در سازمان حفاظت از محیط زیست و EPA ۳ را نشان می‌دهد و بر اساس شاخص IRWQI(SC) در رده متوسط تا بد قرار گرفته‌اند. غلظت فلزهای سنگین در نمونه‌های آب، با رهنمودهای موسسه استاندارد ایران، سازمان حفاظت از محیط زیست ، WHO5 و EPA مقایسه شده و همچنین از نظر شاخص توصیفی۶IRWQI(ST) مورد رده بندی قرار گرفته‌اند که میانگین غلظت سرب و کادمیوم در آب بعضی ایستگاه‌های نمونه برداری بالاتر از میزان استاندارد تعیین شده بوده و از نظر شاخص توصیفی سرب در رده به‌نسبت خوب تا متوسط و کادمیوم در رده کمابیش

* Corresponding Author: *Email Address*. Behbahani@riau.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

خوب تا به‌نسبت بد قرار گرفته‌اند و غلظت آرسنیک در تمام ایستگاه‌ها پایین‌تر از میزان استاندارد بوده و در رده خوب قرار گرفته است. غلظت سرب در رسوب‌های همه ایستگاه-ها پایین‌تر از میزان TEL7، کادمیوم بالاتر از میزان PEL8 و آرسنیک پائین‌تر از میزان PEL در استانداردهای NOAA9 و CCME10 به‌دست آمد. برای ارزیابی کمی در رسوب‌ها، از شاخص‌های فاکتور آلودگی 11(Cf)، درجه آلودگی اصلاح شده 12(mCd)، شاخص زمین انباشت مولر13(Igeo) و ارزیابی ریسک اکولوژیکی ۱۴(Ri) استفاده شد که نتایج نشان دهنده آلودگی بالا و انسان زاد برای کادمیوم و ریسک اکولوژیکی زیاد و قابل توجه در رسوب‌های منطقه مورد بررسی می‌باشد. استفاده از کودهای شیمیایی فسفره در مزرعه‌ها و باغ‌ها و قرار گرفتن کارخانه سیمان در نزدیکی رودخانه را می‌توان از عامل‌های اصلی آلودگی کادمیوم در منطقه نام برد. همچنین بالا بودن BOD و COD در آب نشان از آلودگی بالای مواد آلی در منطقه بدلیل حضور مراکز صنعتی و سنتی فرآوری زیتون، کارخانه و کارگاه‌های روغن کشی زیتون و کشتارگاه ماکیان در منطقه می‌باشد.

نتیجه‌گیری: منطقه مورد مطالعه آلوده به فلزهای سنگین است و عامل اصلی در شکل گیری این آلودگی، غلظت بالای عنصر کادمیوم در رسوب‌های رودخانه شاهرود می‌باشد و دارای اثرهای منفی و نامطلوب برای انسان، موجودات زنده و محیط زیست در محدوده شهر لوشان و منطقه‌های پایین دست رودخانه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: سرب، کادمیوم، آرسنیک، BOD، COD. رودخانه شاهرود.

مقدمه

بدیهی است که یکی از منبع‌های بسیار مهم و حیاتی در هر کشور که نقش مهمی در توسعه آن ایفا می کند آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌باشند(Homami *et al.,* 2017). امروزه، مدیریت منبع‌های آب تا حدی مورد توجه قرارگرفته است که از آن بعنوان اصل بنیادین در مصرف صحیح منبع‌های آب یاد می‌شود (Afshari *et al.,* 2016). در این میان، رودخانه‌ها بعنوان اصلی‌ترین منبع-های آب سطحی، دارای ارزش اکولوژیک و اقتصادی شایان توجهی هستند و مدیریت آن‌ها از اهمیت فراوانی برخوردار است. یکی از آلودگی‌های مهم منبع‌های آب سطحی، آلودگی ناشی از حضور فلزهای سنگین می‌باشد (Gholizade and Alinezhad, 2018) . فلزهای سنگین ممکن است در اثر عامل‌های طبیعی مانند فرسایش خاک و سیلاب یا توسط عامل‌های مصنوعی از جمله ورود فاضلاب‌های صنعتی و انسانی، نشت نفت و گاز و دیگر عامل‌ها وارد اکوسیستم آبی شوند (Saghi *et al.,* 2014). توزیع فلزهای سنگین در آب بطور معمول به شکل محلول در آب، کلوئید و به حالت تعلیق می‌باشد. بر خلاف آلاینده‌های آلی، فلزهای سنگین توسط فرآیندهای طبیعی تجزیه نمی‌شوند (Heydarpor *et al.,* 2011). در صورت ورود آلاینده‌ها به محیط آبی داخل رودخانه، هر دو بخش آب و رسوب آن تحت تاثیر آلودگی قرار می-گیرند، اما بخش رسوب‌ها به دلیل پویایی کمتر نسبت به محیط آب می‌تواند آلاینده‌های مختلف شیمیایی بویژه فلزهای سنگین را بیشتر در خود متمرکز سازند Panahi (*et al.,* 2017) . بدین سبب بررسی غلظت فلزها در رسوب‌های بستر یک رودخانه، شدت آلودگی یا تاریخچه آن را بهتر از محیط آب آشکار می‌سازد. مهمترین واکنش-های این فلزها در محیط‌های آبی می‌باشد و رسوب‌ها می‌توانند با جذب این عنصرها، غلظت و سمی بودن فلزهای سنگین را در آب کاهش دهند (Monjezi *et al.,* 2016). فلزهای موجود در رسوب‌ها بدلیل تغییر ویژگی-های فیزیکی و شیمیایی آب می‌توانند دوباره وارد آب شده و در دسترس موجودات زنده قرار گیرند، فلزهای سنگین بطور معمول دارای سمیّت قابل توجهی برای موجودات آبزی می‌باشند و بطور مستقیم یا غیرمستقیم از طریق زنجیره غذایی بر سلامت انسان اثر می‌گذارند (Heydarpor *et al*., 2011). بر اساس بررسی‌های انجام شده بر روی رودخانه سفیدرود در محدوده شهرستان رودبار، فعالیت‌های صنعتی و تخلیه فاضلاب‌های شهری و روستایی دلیل اصلی آلودگی رسوب‌ها به سرب و کادمیوم بوده و ساختارهای زمین شناسی نقش مستقیم و بارزی

www.SID.ir

Archive of SID

در ورود آلودگی به رودخانه سفیدرود را نداشته‌اند (Eghbali *et al.*, 2010). در فصل زمستان و ابتدای بهار بدلیل طغیان رودخانه‌ها و حمل رسوب‌ها با توجه به پر آبی رودخانه و دبی بالا، انتقال و حمل و نقل فلزها همراه با رسوب‌ها بیشتر می‌باشد(Eghbali *et al.,* 2010) . فلزهای سنگین منبع‌های مشترک، وابستگی متقابل و رفتار مشابه در طول حمل و نقل را می‌توانند از خود نشان دهند. با این حال بین برخی از فلزهای سنگین همبستگی معنی داری وجود ندارد، که نشان دهنده منبع‌های مختلف انسان ساختی و طبیعی می‌باشد (Ren *et al*., 2015). در کشور چین منبع‌های صنعتی را می‌توان اولین مولفه در ایجاد آلودگی فلزهای سنگین در رودخانه‌ها دانست، و از میان فلزهای سنگین، Hg و Cd بیشترین اهمیت را برای آلودگی داشته‌اند (Wang *et al.,* 2017). در تعدادی از پژوهش‌های انجام شده در کشور که مورد بررسی قرار گرفته‌اند. نتایج نشان می‌دهد در بیشتر موارد آلودگی به فلزهای سنگین سرب و کادمیوم دارای منشاء غیر طبیعی بوده و آرسنیک دارای منشاء دوگانه طبیعی و انسان‌زاد می‌باشد. (Khanpor *et al.*, 2013) (Arfania *et al.*, 2012) (Rostami *et al.,* 2015) (Minab *et al*., 2013) (Amanollahi *et al.*, 2015) (Hayatalgheib *et al*. 2015), (Vosogh *et al.*, 2014)

با توجه به بررسی‌های انجام شده مشخص شد که تا کنون هیچ گونه تلاشی برای بررسی وضعیت آلودگی آب و رسوب در رودخانه شاهرود در محدوده مورد مطالعه انجام نشده و یا در صورت انجام پژوهش نتایج در دسترس عموم قرار نگرفته و به اشتراک گذاشته نشده است. با توجه به اهمیت رودخانه شاهرود و سهم یک چهارمی در تشکیل رودخانه سفید رود پس از یکی شدن با رودخانه قزل اوزن، که سهم بسیار بزرگی در تامین آب برای مصرف‌های شرب ،کشاورزی،صنعتی و.... را در استان گیلان دارا می‌باشد و با توجه وجود منبع‌های مختلف آلودگی صنعتی، کشاورزی و شهری در محدوده مورد تحقیق، بررسی غلظت فلزهای سنگین در آب و رسوب و بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب رودخانه شاهرود در محدوده شهر لوشان ضروری به‌نظر می‌رسد.هدف از این تحقیق بررسی میزان غلظت فلزهای سنگین (سرب، کادمیوم، آرسنیک) در چهار فصل سال و تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی در نمونه‌های آب و رسوب در رودخانه شاهرود و مقایسه با استانداردهای موجود در ایران و جهان و همچنین شناسایی موقعیت قرارگیری و نوع منبع‌های آلاینده در محدوده شهر لوشان می‌باشد. در این تحقیق با استفاده از داده‌های کسب شده و تجزیه و تحلیل و جمع‌بندی داده‌ها،ارزیابی سمیت و خطرهای آلودگی به فلزهای سنگین در آب و رسوب‌های محدوده مورد پژوهش انجام شد.

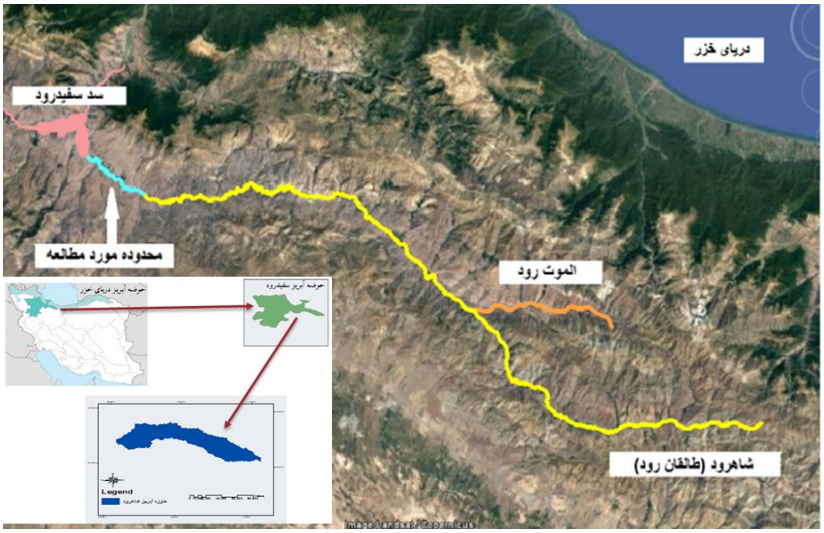
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز شاهرود زیر مجموعه حوضه آبریز سفید رود بزرگ می‌باشد که در تقسیم بندی حوضه‌های آبریز ایران، حوضه آبریز سفید رود یک حوضه فرعی به شمار می‌رود و زیر مجموعه حوضه آبریز دریای مازندران است(شکل ۱). مساحت حوضهٔ آبریز رودخانهٔ شاهرود بیش از ۵۰۰۰ کیلومتر مربع می باشد که بیشتر کوهستانی و با ارتفاع بلند می‌باشد. رودخانه شاهرود حدود یک چهارم آب رودخانه سفید رود را تأمین می‌کند، آبدهی آن بطور متوسط ۱۱۶۳ میلیون متر مکعب در سال بوده و دبی این رودخانه حدود ۳۶ مترمکعب در ثانیه می‌باشد. بستر رودخانه شاهرود پر شیب و دارای رسوب‌ها و مواد معلق فراوانی است که بدلیل مرتفع بودن و اختلاف ارتفاع بین سرچشمه و مصب آن، رسوب‌های بستر به سرعت شسته شده و وارد دریاچهٔ سد سفید رود می-شوند.(شیب متوسط بستر آن حدود ۱ درصد است).

www.SID.ir

Archive of SID

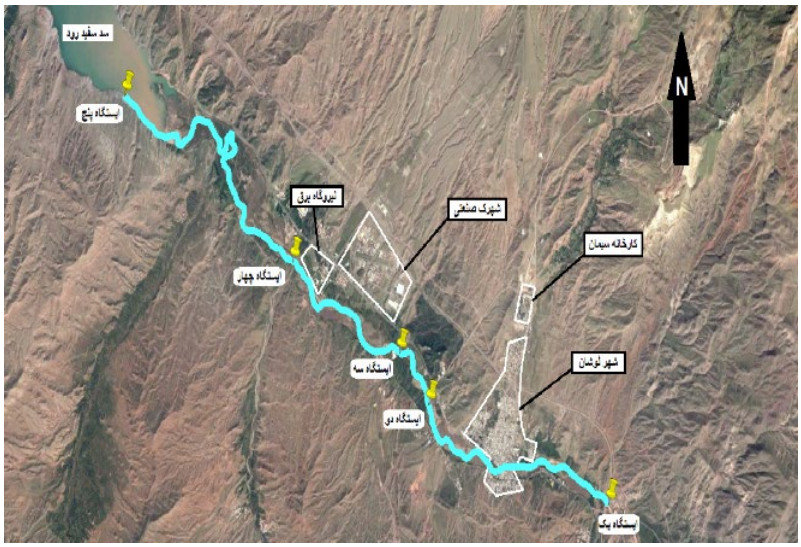


شکل ۱ - موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز شاهرود

Fig. 1 – Geographic location of Shahrud watershed

موقعیت ایستگاه‌های نمونه برداری

با توجه به منبع‌های گوناگون تولید آلودگی در این ناحیه از جمله ورود فاضلاب شهر لوشان (بطور مستقیم به رودخانه)، وجود کارخانه سیمان در شمال شهر، شهرک صنعتی لوشان (صنعت‌های کوچک آبکاری ،شیمیایی،پلاستیک و....)، نیروگاه برق لوشان و همچنین با توجه به وجود باغ‌های زیتون و شالیزارهای برنج در طول این مسیر ۲۰ کیلومتری احتمال ورود فلزهای سنگین به رودخانه در این ناحیه بسیار زیاد است (شکل ۲). ایستگاه-های نمونه برداری با توجه به موقعیت قرار گیری منبع-های احتمالی آلودگی انتخاب شدند که ایستگاه ابتدایی بعنوان ایستگاه شاهد قبل از محدوده شهر لوشان، ایستگاه دوم پس از عبور رودخانه از محدوده شهر لوشان، ایستگاه سوم قبل از محدوده شهرک صنعتی، ایستگاه چهارم پس از محدوده شهرک صنعتی و نیروگاه برق و ایستگاه پنجم در ورودی رودخانه به مخزن سد سفید رود انتخاب شدند.



شکل ۲ – موقعیت ایستگاه‌های نمونه برداری

Fig. 2- Location of sampling stations

www.SID.ir

Archive of SID

نمونه برداری و انتقال به آزمایشگاه

نمونه برداری از ایستگاه‌های مشخص شده در ۴ مرحله (پاییز ۹۵ - زمستان ۹۵ - بهار۹۶ - تابستان ۹۶) انجام شد. از ظروف پلی اتیلن ۱ لیتری استفاده شد و۲ میلی لیتر اسید نیتریک غلیظ به ازای هر لیتر برای کنترل pH (pH < ۲) به آب نمونه برداری اضافه گردید. نمونه برداری از رسوب با استفاده از یک بیلچه پلاستیکی انجام و در ۲ پاکت پلاستیکی زیپ دار قرار داده شد. سپس ظرف‌های شامل نمونه‌های آب و رسوب را در یخدانی که دارای دمای پایین‌تر از ۴ درجه سانتیگراد بوده و نور به داخل آن نفوذ نمی‌کرد در مدت کمتر از ۶ ساعت بوسیله خودرو به آزمایشگاه منتقل شدند. سنجش پارامترها با استفاده از روش‌های استاندارد مندرج در کتاب (Standard Method.2005)، در آزمایشگاه پایانه محیط پاک که معتمد سازمان حفاظت از محیط زیست می‌باشد، انجام گرفت و هرآزمایش ۳ بار تکرار شد.

اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی

pH با روش الکترومتری توسط دستگاه pH متر (PHS-3BW Model BANTE) بر اساس (Standard Method.2005.4500 H)، DO16 با روش الکترود غشائی توسط دستگاه (Bante Model 821) بر اساس (S. M. 2005.4500.O.G) ، EC17 با روش هدایت سنجی با دستگاه (Bante Model 950) بر اساس (S. M. 2005.2510 B)، فسفات بر اساس (S. M. 2005.4500-P D) و نیترات بر اساس (Diazo metod) با روش اسپکتروفتومتری توسط دستگاه (AL800 Aqualytic Model)، BOD با روش فشار سنجی توسط دستگاه (Velp Model system 6) بر اساس (S. M. 2005.5210 D) ، COD با استفاده از روش هضم برگشتی و بر اساس (S. M. 2005.5220 B) و TOC18 با استفاده از روش احتراق کامل بر اساس (S. M. 2005.5310 C) مورد سنجش و اندازه گیری قرار گرفتند.

اندازه‌گیری فلزهای سنگین

برای تعیین غلظت فلزهای سنگین (سرب، کادمیوم و آرسنیک)، پس از هضم نمونه‌های آب و رسوب، از هر نمونه داخل ویال کوره (کاپ) دستگاه طیف سنج جذب اتمی (Warian Spectra AA 220) قرار گرفت و با جداسازی یون‌های فلزی توسط گاز آرگون و با تابش نور توسط لامپ (از هر لامپ برای تعیین یک فلز خاص استفاده می‌شود) میزان یون‌های فلزی مشخص شد.

شاخص کیفی IRWQI (شاخص‌های IRWQI(St) پارامترهای سمی کیفیت منبع‌های آب سطحی ایران و IRWQI(Sc) پارامتر های متداول کیفیت منبع‌های آب سطحی ایران)

این شاخص ابزاری ساده و مناسب می‌باشد که توسط هاشمی و همکاران برای تعیین وضعیت و شرایط کیفیت آب با توجه به شرایط طبیعی و مسئله-ها و مشکل‌های منبع‌های آب ایران تهیه شد، که در آن داده‌های کیفیت آب برای آب‌های سطحی در یک فرمول ریاضی که با یک عدد میزان سلامتی آب را نشان می‌دهد، شرکت داده می‌شود. این عدد با یک مقیاس نسبی که گویای کیفیت آب از بسیار بد (کمتر از ۱۵) تا عالی (بیشتر از ۸۵) می‌باشد بیان می‌شود. (رابطه ۱)

$$IRWQI = \left[\prod_{i=1}^{n} I_i^{W_i}\right]^{\frac{1}{\gamma}} \qquad \gamma = \sum_{n=1}^{n} W_i \qquad (۱)$$

W_i: وزن پارامتر (جدول ۱) iام، n: تعداد پارامترها،

I_i: میزان شاخص برای پارامتر از منحنی رتبه بندی

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱ – پارامترهای شاخص IRWQI و وزن‌های آن‌ها (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۰)

Table 1. IRWQI indicator parameters and their weights (Hashemi *et al.,* 1390)

پارامتر Parameter	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	DO (mg/l)	pH	نیترات (mg/l)	فسفات (mg/l)	Ec (µmhos/cm)	Pb (ppb)	Cd (ppb)	As (ppb)
وزن Weight	0.117	0.093	0.097	0.051	0.108	0.087	0.096	0.092	0.092	0.128

برای هم مقیاس سازی، رتبه شاخص هر پارامتر بر اساس میزان کیفی آن بین ۱ تا ۱۰۰ طبق منحنی‌های مربوط به مدل شاخص، رتبه بندی می‌شوند (رتبه ۱۰۰ بالاترین کیفیت و رتبه ۱ پائین ترین کیفیت را دارا می باشد). سپس از میانگین هندسی رتبه پارامترها بر اساس وزنی که به هر یک از آن‌ها تعلق می‌گیرد شاخص کیفیت آب محاسبه می‌شود(Samadi *et al.,* 2016).

شاخص‌های کیفیت رسوب

معادله سطح اثر احتمالی در رسوب‌ها (PELQ(probable effect level quotient

برای ارزیابی سطح اثر احتمالی بوم شناختی فلزها در رسوب‌ها برای موجودات زنده از رابطه (۲) استفاده می‌شود.

$$PELQ=\frac{\sum_{i=1}^{n} M_i/PEL_i}{n} \quad (۲)$$

در این رابطه تعریف‌ها به شرح زیر است:

کم (۰,۱ < PELQ < ۱,۵)

نسبتا زیاد (۱,۵ < PELQ < ۲,۳)

زیاد (PELQ < 2.3)

که در این روابط M_i غلظت آلاینده i در رسوب، PEL_iحد احتمالی غلظت مؤثر برای آلاینده i در رسوب و *n* تعداد نمونه مورد بررسی برای هر آلاینده است (Saleh *et al.,* 2012).

فاکتور آلودگیCf

برای ارزیابی آلودگی فلزهای سنگین در منطقه مورد مطالعه استفاده می‌شود رابطه (۳) (Hakanson 1980). این فاکتور نشان می‌دهد که رسوب‌ها افزون بر تاثیرهای زمین شناسی منطقه، تحت تاثیر فعالیت‌های بشر زاد اعم از کشاورزی و حمل و نقل و .... قرار دارند.

$$Cf = {Co}/{Cn} \quad (۳)$$

Cn غلظت هر عنصر در رسوب و Co متوسط غلظت هر عنصر در زمینه (شیل) می‌باشد. که برای سرب، کادمیوم و آرسنیک بترتیب ۲۰ و ۰/۳ و ۱۳ می‌باشد.

درجه آلودگی اصلاح شده mCd

بدلیل وجود محدودیت‌هایی که در شاخص درجه آلودگی که توسط هاکانسون بیان شده بود این رابطه اصلاح گردید (رابطه ۴) و بر اساس شاخص آلودگی نشان داده شد(Ren *et al*., 2015).

$$mCd = \frac{\sum_{i-1}^{n} C_f^i}{n} \quad (۴)$$

که در آن Cf فاکتور آلودگی و n تعداد پارامترهای مورد بررسی می‌باشند. بر طبق رابطه عمومی، این شاخص بدلیل فرآیند میانگین‌گیری بالا، تاثیرهای منفرد میزان انباشتگی آلاینده‌ها در نتیجه نهایی از الگوی عمومی آلودگی در منطقه، مستهلک و مخفی شده و از بین خواهد رفت. (Maghzi *et al.,* 2011)

شاخص زمین انباشت مولر (1981.,159 (Muller

از این شاخص بمنظور مشخص کردن درجه آلودگی و میزان تاثیر عامل‌های انسانی از عامل‌های طبیعی در محیط خاک و رسوب استفاده می‌شود. محاسبه این شاخص اولین بار در سال ۱۹۷۹ توسط مولر بیان شد.

www.SID.ir

Archive of SID

$$Igeo = \log2\ [(Cn/(1.5 \times Bn)] \qquad (۵)$$

Igeo شاخص تجمع ژئوشیمیایی، Cn غلظت ماده آلاینده (mg/kg) ، Bn غلظت ماده آلاینده در سنگ شیل (mg/kg) و ضریب ۱,۵ نیز بمنظور تصحیح غلظت اولیه رسوب‌ها بدلیل تاثیرات عامل های طبیعی اعمال شده است. (Ravankhah *et al.,* 2013)

ارزیابی خطر اکولوژیکی فلزهای سنگین(Ri[۱۹] و Er[۲۰]) در منطقه مورد مطالعه

شاخص ارزیابی خطر اکولوژیکی اولین بار توسط هاکانسون بمنظور ارزیابی خطر آلودگی رسوب‌ها بوسیله فلزهای سنگین مورد استفاده قرار گرفت که براساس میزان سمی بودن فلزها، روش‌های اصلاحی بوسیله محققان مختلفی همچون (Wang *et al.,*) و (Yi *et al.,*) بکار گرفته شده است(Haghshenas *et al.,* 2015) براساس رویکرد هاکانسون فاکتور پاسخ سمیت (ضریب سمیت) برای فلزهای سرب،کادمیوم و آرسنیک به ترتیب برابر ۵ و ۳۰ و ۱۰ می‌باشد. که در این تحقیق پتانسیل خطر اکولوژیکی براساس معادله زیر محاسبه شد.

$$RI = \sum_{i-1}^{m} Er \quad , \quad Er = Tr \times Cf \qquad (۶)$$

که در آن Er پتانسیل ریسک اکولوژیک هر یک از عنصرها و Ri پتانسیل ریسک اکولوژیک کل فلزهای (تجمعی) است. بر اساس نظر هانکسون Tr۲۱ *بصورت ضریب سمیت* و CF فاکتور آلودگی می‌باشد. (Mortezavi *et al.,* 2017)

نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی

بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه-های آب و رسوب در مرحله اول نمونه برداری (پاییز ۹۵) انجام گرفت و داده‌های بدست آمده از ۳ بار تکرار میانگیری شده و نتایج بدست آمده از نمونه-های آب با رهنمودهای استاندارد کیفیت منبع‌های آب برای کاربری شرب (سازمان حفاظت از محیط زیست)، استاندارد ۱۰۵۳ (موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران) و سازمان بهداشت جهانی (WHO)[۲۲] مورد مقایسه و بررسی قرار گرفتند و همچنین از نظر شاخص توصیفی کیفیت منبع‌های آب سطحی ایران برای آلاینده‌های متداول IRWQI(Sc) (سازمان حفاظت از محیط زیست) طبقه بندی شدند (جدول ۲و۳). نتایج بدست آمده بالا بودن BOD و COD را نشان می‌دهد، آلودگی مواد آلی در سطح محدوده مورد بررسی را می‌توان ناشی از کشت و زرع در طول سالیان متوالی و افزودن کودهای دامی، فعالیت کشتارگاه طیور سپید ماکیان قبل از شهر لوشان، وجود چندین کارخانه روغن کشی و کارگاه-های بسیار فرآوری زیتون دانست که بصورت بومی و یا صنعتی در طول مسیر مورد مطالعه پراکنده‌اند، که موجب بالا رفتن بار آلودگی مواد آلی در آب رودخانه و افزایش BOD و COD می‌شوند. در پژوهشی که روی رودخانه سفید رود در محدوده شهرستان رودبار بر اساس شاخص کیفیت (IRWQI) انجام شده است محدوده مورد مطالعه در طبقه متوسط قرار گرفته و در ایستگاه‌های پایین دست، بالا بودن BOD و COD گزارش شده است(Anarkoli *et al.*, 2014) . همچنین بالا بودن نیترات و قرار گرفتن در شاخص توصیفی سازمان حفاظت از محیط زیست در رده بد، می‌تواند بدلیل استفاده از کودهای ازته در کشاورزی باشد، که سبب افزایش غلظت نیترات در آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌شود. البته غلظت نیترات پایین‌تر از استاندارد مورد نیاز برای موجودات آبزی می‌باشد. در تحقیقی که روی رودخانه چناران بجنورد بر اساس استانداردهای EPA ، ۱۰۵۳ و کاربری آب برای شرب انجام گرفته نتایج مشابهی بدست آمده و رودخانه چناران از نظر غلظت نیترات، آلودگی برای آبزیان نداشته است. (Atamalaki *et al.*, 2015)

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲ – ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی در آب در ایستگاه‌های نمونه برداری

Table 2. Physical and chemical properties of water at sampling stations

IRWQIsc	EPA	استاندارد ۱۰۵۳ (موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران) 1053 Standard, Standards and Industrial Research of Iran	استاندارد کیفیت آب برای کاربری شرب (سازمان حفاظت از محیط زیست) Domestic water quality standard (Department of Environment)	شماره ایستگاه Station Number 5	4	3	2	1	ارامتر Parameter
نسبتاً خوب Semi-good	6.5 – 9.5	6.5 - 9	6.5 – 8.5	7.61	7.58	7.49	7.42	7.47	pH
کمابیش خوب Semi- good	–	–	1000	790	761	693	691	681	EC µmhos/cm
کمابیش خوب Semi- good	1	–	–	0.1	0.03	0.17	0.02	0.11	فسفات mg/l
بد Bad	50	50	50	5.36	7.11	5.72	6.84	5.16	نیترات mg/l
متوسط – بد Semi bad-average	آب‌های سطحی : ۴۰ Surface water	–	–	54	24.32	26.42	37.8	35.1	COD mg/l
نسبتاً بد - بد Semi bad- bad	آب‌های سطحی : ۷ Surface water	–	در اکوسیستم‌های آبی : ۶ Aquatic ecosystems	36.39	16.02	18.6	27.2	27.6	BOD 5 mg/l
متوسط Average	آب‌های سطحی : ۶ Surface water	–	در اکوسیستم‌های آبی : ۵ Aquatic ecosystems	5.18	5.25	5.41	5.61	5.59	DO mg/l
–	–	–	در اکوسیستم‌های آبی :باید از تغییر ناگهانی درجه حرارت جلوگیری شود.	12	11.9	11.7	11.4	11	دما سانتیگراد Temperature, Centigrade

* اعداد تیره شده بالاتر از استانداردهای تعیین شده می اشند.

1. Domestic Water Quality Standard (Department Of Environment) / 2. Standard 1053(Institute of Standards and Industrial Research of Iran)

جدول ۳ – ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی در رسوب در ایستگاه‌های نمونه برداری

Table 3. Physical and chemical properties of sediment at sampling stations

شماره ایستگاه Station number 5	4	3	2	1	پارامتر Parameter
7.11	6.79	7.09	7.39	7.13	pH
0.135	0.13	0.061	0.085	0.315	TOC ppm

تعیین غلظت فلزهای سنگین در نمونه‌های آب

برای بررسی غلظت فلزهای سنگین سرب،کادمیوم و آرسنیک در نمونه‌های آب، داده‌های به‌دست آمده از ۳ بار تکرار هر آزمایش میانگیری شده و نتایج به‌دست آمده به تفکیک فصل‌ها و میانگین سالیانه در ایستگاه‌های نمونه برداری با رهنمودهای موسسه استاندارد ایران، سازمان حفاظت از محیط زیست، WHO (Cd،As،Pb) بترتیب ۱۰ و ۱۰ و ۳ میکرو گرم بر لیتر) و EPA (Cd،As،Pb بترتیب ۱۵ و ۱۰ و ۵ میکرو گرم بر لیتر) مقایسه شد.

غلظت فلزهای سنگین در آب در فصل‌های مختلف

بالاترین غلظت سرب در فصل‌های پائیز و تابستان

www.SID.ir

Archive of SID

مشاهده شد (جدول ۴) که می‌تواند بدلیل کاهش دبی و حجم آب رودخانه در این فصل‌ها و افزایش غلظت آلاینده‌ها در آب رودخانه باشد (Hasani *et al*., 2013) در منطقه مورد مطالعه ورود سرب به آب رودخانه می‌تواند توسط عامل‌هایی مانند ورود فاضلاب شهر لوشان، سرب موجود در سوخت خودروهای عبوری از اتوبان قزوین رشت و جاده قدیم و همچنین در اثر استفاده از سم‌ها و کودهای شیمیایی در بخش کشاورزی و باغداری صورت پذیرد. در تحقیقی که روی رودخانه گرگان رود انجام گرفته، نتایج نشان از غلظت بالای عنصرهای سرب،کادمیوم و آرسنیک در همه ایستگاه‌های نمونه برداری بر اساس استانداردهای رودخانه‌های جهان (Salomons and Forstner 1984) دارد که این امر احتمالا نشانگر تاثیر ورود فاضلاب‌های شهری در این رودخانه می‌باشد. (Forgani *et al*., 2014) بالاترین غلظت کادمیوم در فصل تابستان مشاهده شد (جدول ۴) که در بعضی از ایستگاه‌ها بالاتر از استانداردهای بیان شده می-باشد . در منطقه مورد مطالعه ورود کادمیوم به آب رودخانه می‌تواند توسط عامل‌هایی مانند استفاده از سم‌ها و کودهای شیمیایی در بخش کشاورزی و باغداری و همچنین گازهای خروجی و گرد وغبار ناشی از فعالیت کارخانه سیمان لوشان منتشر گردد. در تحقیقی که برای بررسی غلظت فلزهای سنگین در رودخانه تمبی مسجد سلیمان انجام گرفته، میانگین غلظت کادمیوم در محدوده مجاز برای آب کشاورزی قرار گرفته و برای مصرف‌های آشامیدن و حیات آبزیان مناسب نمی‌باشد. (Shanbehzadeh *et al*., 2013)بالاترین غلظت آرسنیک در فصل تابستان مشاهده شد (جدول ۴) که در بعضی از ایستگاه‌ها بالاتر از استانداردهای گفته شده می‌باشد. با توجه به پایین بودن غلظت عنصر آرسنیک در منطقه می-توان نتیجه گرفت که غلظت این عنصر بیشتر با ساختار زمین شناسی منطقه مرتبط می‌باشد، البته سم‌های کشاورزی نیز یکی از منبع‌های اصلی آلودگی آرسنیک می‌باشند. در تحقیقی که روی رودخانه قشلاق سنندج انجام شده است، میانگین غلظت آرسنیک بطور قابل ملاحظه‌ای کمتر از میزان پس‌زمینه بوده و براساس نتایج به‌دست آمده از عامل غنی‌شدگی، آنالیزهای همبستگی و مؤلفه‌های اصلی، میزان غلظت آرسنیک بیشتر تحت تاثیر ساختار زمین‌شناسی منطقه می‌باشد (Amanollahi *et al*., 2015)

جدول ۴- غلظت فلزهای سنگین در آب در فصل‌های مختلف

Table 4. Heavy metals concentration in water in different seasons

(As) µg/l				(Cd) µg/l				(Pb) µg/l				ایستگاه
تابستان Summer	بهار Spring	زمستان Winter	پاییز Fall	تابستان Summer	بهار Spring	زمستان Winter	پاییز Fall	تابستان Summer	بهار Spring	زمستان Winter	پاییز Fall	Station
10.43	1.85	2.13	1.92	1.43	8.45	0.85	1.79	23.20	2.30	3.18	8.94	1
11.33	0.26	0.51	2.33	3.71	0.67	2.13	1.41	19.71	2.09	2.34	7.30	2
10.62	1.12	1.72	1.69	4.92	2.35	5.90	3.92	24.56	4.40	1.31	16.9	3
11.33	4.47	0.2	0.15	4.52	1.52	0.19	0.72	25.13	2.82	3.34	10.7	4
9.72	0.87	0.43	2.47	5.97	1.74	1.32	1.12	9.01	2.53	6.20	10.5	5

* اعداد تیره شده بالاتر از استانداردهای تعیین شده می باشند.

www.SID.ir

Archive of SID

محاسبه شاخص IRWQI(St) (سازمان حفاظت از محیط زیست ایران)

با محاسبه شاخص IRWQI(St) برای میانگین غلظت سالیانه عنصرهای سرب، کادمیوم و آرسنیک، وضعیت کیفی آب در ایستگاه‌های نمونه برداری مشخص گردید(جدول ۵).

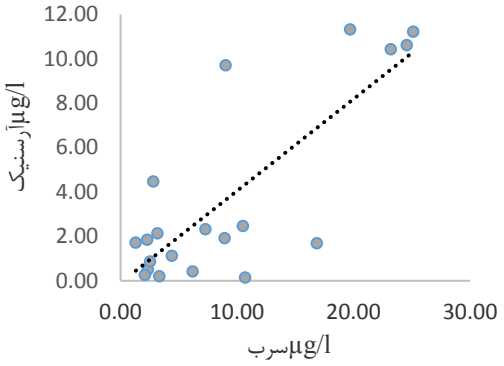
جدول ۵ - محاسبه شاخص کیفی برای میانگین غلظت فلزهای سنگین در آب

Table 5. Calculation of qualitative index for the average concentration of heavy metals in water

توصیفی Qualitative	As µg/l	توصیفی Qualitative	Cd µg/l	توصیفی Qualitative	Pb µg/l	ایستگاه Station
خوب Good	4.08	متوسط Average	3.13	متوسط Average	9.41	1
خوب Good	3.61	نسبتا خوب Semi-good	1.98	نسبتا خوب Semi-good	7.86	2
خوب Good	3.79	نسبتا بد Semi-bad	4. 27	متوسط Average	11.78	3
خوب Good	4.01	نسبتا خوب Semi-good	1.74	متوسط Average	10.5	4
خوب Good	3.37	متوسط Average	2.54	نسبتا خوب Semi-good	7.06	5

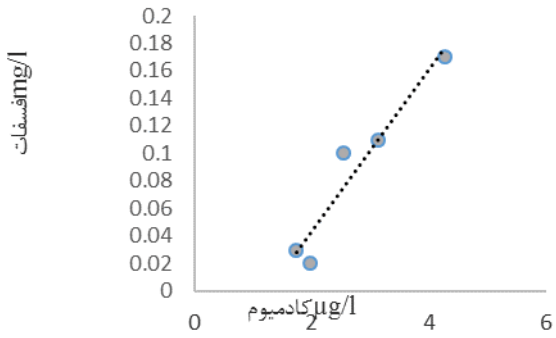
با انجام آزمون آماری پیرسون بین آرسنیک و سرب در نمونه‌های آب (۲۰ نمونه) همبستگی مثبت ۰/۸ و سطح معنی داری صفر مشاهده شد (شکل ۳). که می‌تواند بدلیل منشاء مشترک و عنصرهای موجود در سم‌های آفت کش و کودهای شیمیایی باشد (Khalilzadeh *et al.*, 2011).در تحقیق‌هایی که روی رودخانه کاکارضا انجام شد، تحلیل آماری به روش واریمکس انجام گرفت و بین غلظت آرسنیک و کادمیوم در آب رابطه معنی داری مشاهده شد که نشان دهنده منشا مشترک این دو عنصر می‌باشد.(Hayat al-Ghab *et al.*, 2015)

با انجام آزمون آماری پیرسون بین فسفات و غلظت میانگین کادمیوم در نمونه‌های آب (۵ نمونه) همبستگی مثبت ۰/۹۶۱و سطح معنی دار ۰/۰۰۹ مشاهده شد که می‌تواند بدلیل منشاء مشترک و کادمیوم موجود در کودهای شیمیایی فسفره استفاده شده در بخش کشاورزی بویژه باغهای زیتون در منطقه لوشان باشد(شکل ۴).در بررسی که روی خاک مزرعه‌های اطراف شهر اصفهان صورت گرفته نتایج مشابهی بدست آمد و با استفاده از آزمون‌های آماری، رابطه معنی داری بین افزایش غلظت کادمیوم در خاک مزرعه‌ها و استفاده از کودهای شیمیایی فسفاته آن‌ها مشاهده شده است. (Pourmoghadas *et al.*, 2017)



شکل ۳- همبستگی بین سرب و آرسنیک در آب

Fig. 3- Correlation between lead and arsenic in water



شکل ۴- همبستگی بین کادمیوم و فسفات در آب

Fig. 4- Correlation between cadmium and phosphate in water

www.SID.ir

Archive of SID

تعیین غلظت فلزهای سنگین در نمونه‌های رسوب

داده‌های به‌دست آمده برای غلظت فلزهای سنگین سرب،کادمیوم و آرسنیک بعد از ۳ بار تکرار هر آزمایش میانگیری شده و نتایج به‌دست آمده به جداسازی فصل‌ها و میانگین سالیانه در ایستگاه‌های نمونه برداری با معیارهای کیفیت رسوب کانادا CCME و کیفیت رسوب آمریکا NOAA مقایسه گردید(جدول ۶).استانداردهای CCME و NOAA برای ارزیابی درجه آلودگی و بررسی میزان تاثیر آلاینده‌ها روی موجودات زنده مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این مطالعه، از معیار TELو ISOG23 که نشان دهنده سطح اثرهای آستانه و غلظت پایین می‌باشند و در آن اثرهای سوء بر موجودات ساکن رسوب به ندرت انتظار می‌رود و PEL که نشان دهنده سطح اثرات احتمالی و غلظت شیمیایی بالا بوده و احتمال ایجاد اثرهای نامطلوب زیاد می‌باشد، برای ارزیابی کیفیت رسوب‌ها استفاده شد(Sakan *et al.,* 2015)

جدول ۶- معیارهای کیفیت رسوب آمریکا و کانادا

Table 6. American and Canadian sediment quality criteria

As ppm	ppm Pb	ppm Cd		معیارهای کیفیت رسوب‌ها Sediment quality criteria
5.9	35	0.596	TEL	استاندارد کیفیت رسوب آمریکا
17	91.3	3.53	PEL	National Oceanic and Atmospheric Administration
5.9	35	0.6	ISQG	استاندارد کیفیت رسوب کانادا
17	91.3	3.5	PEL	Canadian interim marine sediment quality

غلظت فلزهای سنگین در رسوب در فصل‌های مختلف

بالاترین غلظت سرب و آرسنیک در تابستان و کادمیوم در پاییز و بهار مشاهده شد (جدول ۷). در فصل تابستان با توجه به کاهش حجم و دبی آب رودخانه شاهرود و تحرک و پویایی کمتر سرب و آرسنیک نسبت به کادمیوم که موجب افزایش جذب سطحی این دو عنصر روی رسوب-ها می‌گردد، در نتیجه غلظت سرب و آرسنیک در رسوب‌ها در فصل‌های خشک بالاتر می‌رود. ولی در فصل‌های پر آب بر اثر بارندگی، کادمیوم موجود در خاک منطقه‌های اطراف کارخانه سیمان، خاک مزرعه‌ها و باغ‌ها توسط آب باران و آبیاری شسته شده و با توجه به پویایی و تحرک بیشتر، کادمیوم به سرعت وارد آب رودخانه می‌شود. در پژوهشی که روی رودخانه کارون انجام شد نیز نتایج مشابهی به‌دست آمد. (Monjezi et al., 2016)

جدول ۷- غلظت فلزهای سنگین در رسوب در فصل‌های مختلف

different seasons Table 7. Heavy metals concentration in sediment in

(As) µg/l				(Cd) µg/l				(Pb) µg/l				
تابستان Summer	بهار Spring	زمستان Winter	پاییز Fall	تابستان Summer	بهار Spring	زمستان Winter	پاییز Fall	تابستان Summer	بهار Spring	زمستان Winter	پاییز Fall	ایستگاه Station
4.12	10.31	0.91	4.13	5.16	14.83	1.14	9.74	28.37	26.60	1.52	6.42	1
4.11	15.55	2.46	4.3	0.24	11.13	1.15	5.11	25.74	23.55	2.25	5.80	2
0.17	6.31	2.16	4.14	1.13	13.42	1.14	11.28	25.37	21.76	11.80	7.36	3
1.16	3.83	1.74	4.87	0.13	12.49	2.37	8.81	18.3	18.67	8.28	7.05	4
10.50	10.41	0.61	3.74	0.37	14.16	1.40	6.23	21.78	19.39	0.87	6.9	5

* اعداد تیره شده بالاتر از استانداردهای تعیین شده می باشند.

www.SID.ir

Archive of SID

میانگین غلظت فلزهای سنگین در رسوب

نتایج غلظت بسیار بالای عنصر کادمیوم در رسوب-های ایستگاه‌های نمونه برداری را نشان می‌دهد (جدول۸). با توجه به بکارگیری زمین‌های وسیعی در منطقه برای کشاورزی و باغداری احتمال ورود کادمیوم در اثر استفاده از سم‌ها و کودهای شیمیایی وجود دارد، منبع اصلی کادمیوم در زمین‌های کشاورزی، کودهای شیمیایی فسفاته می‌باشند. در پژوهشی که روی رودخانه زاینده رود انجام شد مشخص گردید افزون بر استفاده از کودهای شیمیایی فسفاته، فعالیت صنعت‌های آبکاری در حاشیه رودخانه نیز از عامل‌های اصلی آلودگی کادمیوم می‌باشند. (Mirzaee *et al*., 2015) همچنین وجود کارخانه سیمان لوشان در نزدیکی منطقه تحقیق می‌تواند یکی دیگر از دلیل‌های افزایش غلظت کادمیوم در منطقه مورد بررسی باشد. سوخت‌های استفاده شده برای کوره پخت مواد و همچنین مواد اولیه خام در کارخانه‌های سیمان بطور معمول دارای میزانی از فلزهای سنگین هستند که مهمترین آن‌ها جیوه و کادمیوم است. طی فرآیند پخت مواد اولیه و احتراق سوخت، این فلزهای سمی آزاد و وارد محیط اطراف شده و اکوسیستم منطقه را تحت تاثیر قرار می‌دهند. در پژوهشی دیگر که برای بررسی غلظت فلزهای سنگین در خاک اطراف کارخانه سیمان شهرستان نکا انجام دادند غلظت کادمیوم اندازه گیری شده بالاتر از استانداردهای جهانی بوده و عنصر کادمیوم در نزدیکی کارخانه بیشترین غلظت را نشان داده است (Darivasi *et al.,* 2015). فلزهای سنگین از جمله کادمیوم موجود در گازهای خروجی از دودکش کارخانه بطور مستقیم یا با ته نشین شدن در خاک منطقه‌های اطراف کارخانه بصورت اتصال با ذرات خاک و همچنین کادمیوم استفاده شده در تولید سم‌های کشاورزی و کودهای فسفره، توسط باد و یا شسته شدن ذرات خاک توسط باران و آبیاری مزرعه‌ها، این عنصر را بصورت منبع-های غیر نقطه‌ای وارد رودخانه شاهرود کرده و در رسوب-ها تجمع داده و موجب افزایش آلودگی کادمیوم در منطقه مورد پژوهش شده اند. در تحقیقی که روی رودخانه بابلرود انجام گرفت بر اساس شاخص زمین انباشت شیمیایی آلودگی بسیار شدید کادمیوم در رسوب‌های رودخانه مشاهده شد(Maghzi *et al.,* 2011) . هچنین نتایج مشابهی توسط دیگر محققان در بررسی روی رودخانه جینان در چین و رسوب‌های آب شیرین در صربستان، گزارش شده است (Wang *et al.,* 2017; Sakan *et al.,* 2015

جدول ۸- میانگین غلظت فلزهای سنگین در رسوب
Table 8. The average concentration of heavy metals in sediment

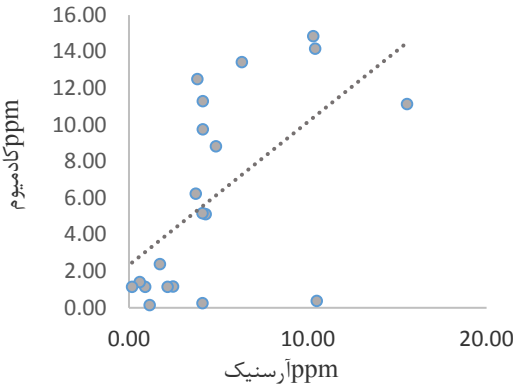
عناصر (ppm) Elements	ایستگاه Station				
	1	2	3	4	5
Pb	15.73	14.33	16.57	13.08	12.23
Cd	7.72	4.41	6.74	5.95	5.54
As	4.87	6.61	3.2	2.9	6.32

با انجام آزمون آماری پیرسون بین آرسنیک و کادمیوم همچنین آرسنیک وسرب در رسوب (۲۰ نمونه) بترتیب همبستگی مثبت ۰/۵۸۴ و ۰/۴۷۸ و سطح معنی داری ۰/۰۰۷ و ۰/۰۳۳ مشاهده شد. که

www.SID.ir

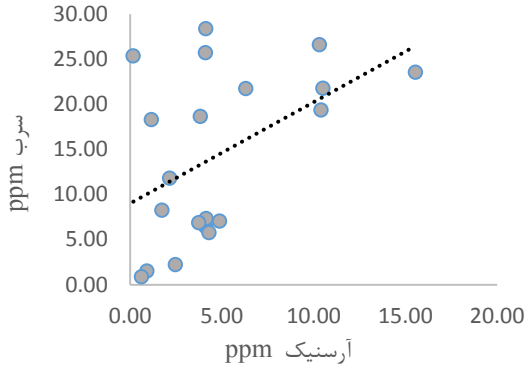
Archive of SID

می‌تواند بدلیل منشاء مشترک و فلزهای سنگین استفاده شده در تولید سم‌های آفت کش و کودهای شیمیایی باشد (شکل ۵ و ۶). در پژوهشی دیگر که روی رودخانه کارون انجام شده، بر اساس ضریب همبستگی پیرسون و نتایج تحلیل عاملی فلزهای سرب، روی و مس دارای منشا مشترک و بطور عمده ناشی از فاضلاب‌های شهری و صنعتی هستند و آرسنیک،کروم و نیکل نیز با یکدیگر همبستگی داشته و احتمالا ناشی از روانابهای کشاورزی یا عامل‌های طبیعی می‌باشند. (Rastmanesh *et al.*, 2015)



شکل ۵- همبستگی بین آرسنیک و کادمیوم در رسوب

Fig. 5- Correlation between arsenic and cadmium in sediment



شکل ۶- همبستگی بین آرسنیک و سرب در رسوب

Fig. 6- Correlation between arsenic and lead in sediment

نتایج شاخص‌های کیفیت رسوب

با محاسبه معادله سطح اثر احتمالی در رسوب-های PELQ مشخص شد که محدوده مورد بررسی از نظر غلظت سرب و آرسنیک دارای سمیت کم (PELQ به ترتیب ۰/۱۵۷ و ۰/۲۸۱) و برای کادمیوم دارای سمیت به‌نسبت زیاد (PELQ ۱/۷۲) می‌باشد. در بررسی دیگر که روی رودخانه گاماسیاب انجام گرفته است با محاسبه معادله PELQ رسوب‌های منطقه از نظر غلظت سرب و کادمیوم دارای سمیت کم و برای آرسنیک در محدوده بشدت سمی قرار گرفته است. (Saleh *et al.*, 2015)

محاسبه فاکتور آلودگی Cf نشان می‌دهد که رسوب-های منطقه برای سرب و آرسنیک در رده آلودگی پایین $Cf \leq 1$ و برای کادمیوم در رده آلودگی بسیار بالا $Cf \geq 6$ می‌باشد که مشخص می‌کند تاثیر فعالیت‌های بشر زاد اعم از کشاورزی و حمل و نقل و .... در افزایش شدید غلظت کادمیوم و آلودگی رسوب‌ها در این منطقه نقش بسزایی داشته است. همچنین در تحقیقی که روی رودخانه چشمه علی انجام شد بر اساس محاسبه فاکتور آلودگی، غلظت سرب در رده متوسط قرار گرفت .(Bordbar *et al.*, 2012) محاسبه درجه آلودگی اصلاح شده mCd با استفاده از میزان محاسبه شده فاکتور آلودگی Cf برای سرب،کادمیوم و آرسنیک نشان می‌دهد که رسوب‌های منطقه در درجه آلودگی بسیار بالا قرار دارند. که این امر ناشی از اثر کادمیوم در میزان میانگین می‌باشد(جدول ۹). نتایج مشابهی بر اساس محاسبه درجه آلودگی اصلاح شده در پژوهشی که روی رودخانه بابلرود انجام گرفته بدست آمده است . (Maghzi *et al.*, 2011)

شاخص زمین انباشت (Muller 1959.,1981) مشخص کرد که رسوب‌های منطقه برای عنصر کادمیوم در ایستگاه‌های نمونه برداری در درجه آلودگی بسیار شدید قرارداشته که میزان تاثیر عامل‌های انسانی در

www.SID.ir

Archive of SID

منطقه را نشان می‌دهد. ولی بر اساس شاخص مولر عنصر-های سرب و آرسنیک در رسوب فاقد آلودگی می-باشند(جدول ۱۰). در تحقیقی که روی دریاچه میقان انجام گرفت شاخص مولر مشخص کرد که رسوب‌های دریاچه آلودگی سرب و کادمیوم را ندارند (Ardakani *et al*., 2013)

جدول ۹- درجه بندی سطح آلودگی رسوب‌ها (شاخص mCd)

Table 9. Rating of sediment contamination level

وضعیت آلودگی رسوب Sediment contamination level	مقدار فاکتور آلودگی Contamination factor	mCd	ایستگاه Station
درجه بسیار بالا از آلودگی Very high degree of contamination	8 - 16	8.94	1
درجه بالا از آلودگی High degree of contamination	4 - 8	5.35	2
درجه بالا از آلودگی High degree of contamination	4 - 8	7.84	3
درجه بالا از آلودگی High degree of contamination	4 - 8	6.9	4
درجه بالا از آلودگی High degree of contamination	4 –8	6.55	5

جدول ۱۰- شاخص زمین انباشت فلزهای سنگین

Table 10. Land accumulation index of heavy metals

شدت آلودگی Contamination intensity	رده آلودگی	Igeo (Cd)	شدت آلودگی Contamination intensity	رده آلودگی	Igeo (As)	Igeo (Pb)	ایستگاه Station
آلودگی بسیار شدید و بحرانی Extremely contamination and	6	4.09	نبود آلودگی No Contamination	1	-2.00	-0.93	1
آلودگی بسیار شدید Extremely contaminated	5	3.28	نبود آلودگی No Contamination	1	-1.09	-1.06	2
آلودگی بسیار شدید Extremely contaminated	5	3.90	نبود آلودگی No Contamination	1	-2.62	-0.85	3
آلودگی بسیار شدید Extremely contaminated	5	3.72	نبود آلودگی No Contamination	1	-2.74	-1.20	4
آلودگی بسیار شدید Extremely contaminated	5	3.61	نبود آلودگی No Contamination	1	-1.14	-1.29	5

ارزیابی خطر اکولوژیکی فلزهای سنگین(Er) در منطقه مورد مطالعه، سرب و آرسنیک را دارای پتانسیل ریسک اکولوژیک (Er) کم و کادمیوم را در ایستگاه‌های نمونه برداری دارای پتانسیل ریسک اکولوژیک (Er) قابل ملاحظه تا زیاد رده بندی نمود. که با توجه به وزن بالای آلودگی کادمیوم، وضعیت ریسک اکولوژیکی تجمعی (Ri) فلزهای سنگین در رسوب‌های منطقه نیز در سطح قابل ملاحظه تا زیاد قرار گرفت (جدول ۱۱). در پژوهشی که در منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس در بوشهر انجام گرفت با محاسبه پتانسیل ریسک اکولوژیکی نتایج، گویای خطر اکولوژیکی متوسط برای کادمیوم و ریسک اکولوژیکی کم برای دیگر عنصرها می‌باشد (Haghshenas et al., 2015)

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱۱- ریسک اکولوژیک تجمعی در رسوب‌ها

Table 11. Ecological Risk (RI) in sediments

وضعیت ریسک اکولوژیک Ecological risk level	RI ∑ Er	Er (As)	Er (Cd)	Er (Pb)	ایستگاه Station
زیاد High	777.48	3.74	769.8	3.94	1
قابل ملاحظه Considerable	449.49	7.01	438.9	3.58	2
زیاد High	680.37	2.43	673.8	4/.14	3
زیاد High	600.39	2.23	594.9	3.26	4
قابل ملاحظه Considerable	560.62	6.76	550.8	3.06	5

نتیجه‌گیری

در این پژوهش مشخص شد که آب و رسوب‌های رودخانه شاهرود در منطقه مورد مطالعه به فلزسنگین کادمیوم آلوده بوده و منشا آلودگی به کادمیوم انسان ساخت و دارای ریسک زیاد اکولوژیک برای انسان، موجودات آبزی و محیط زیست می‌باشد. بکارگیری زمین-های وسیعی در منطقه برای کشاورزی و باغداری و استفاده از کودهای شیمیایی فسفاته، منبع اصلی تجمع کادمیوم در زمین‌های کشاورزی می‌باشند بنابراین باید استفاده از این کودها متناسب با نیاز گیاه بوده و نسبت به کاهش مصرف کودهای فسفره اقدام نمود و اعمال مدیریت بر تولید این کودها، لازم است. همچنین وجود کارخانه سیمان لوشان یکی دیگر از دلیل‌های افزایش غلظت کادمیوم در منطقه مورد بررسی می‌باشد. فرآیند پخت مواد اولیه و احتراق سوخت موجب آزاد شدن کادمیوم و ورود آن به محیط شده و اکوسیستم اطراف را تحت تاثیر قرار می‌دهد و باید تحقیق‌هایی برای ارزیابی و شناسایی سهم این کارخانه در تولید و پخش آلاینده‌ها از جمله عنصر کادمیوم در منطقه انجام شود. با توجه به بالا بودن بار آلودگی مواد آلی BOD و COD پیشنهاد می‌گردد ارزیابی و بررسی روی منبع‌های آلودگی مواد آلی که شامل: کارگاه‌های صنعتی و خانگی فرآوری زیتون، کارخانه‌های روغن کشی و بررسی امکان یکپارچه سازی واحدهای کوچک برای تسهیل در کنترل آلاینده‌های خروجی از این واحدها است، انجام گردد و همچنین بررسی نحوه دفع پساب‌ها و ضایعات کشتارگاه سپید ماکیان در شهر لوشان مورد بررسی قرارگیرد.

پی‌نوشت‌ها

[1].Biological Oxygen Demand
[2].Chemical Oxygen Demand
[3] Environmental Protection Agency
[4] IRAN Surface Water Resources Quality Index for con ventional

[5] World Health Organization
[6] IRRN Water Quality Index for Surface Water Resources-Toxic Parameters
[7] Threshold effect level
[8] Probable Effect Level
[9] National Oceanic and Atmospheric Administration
[10] Canadian Council of Ministers of the Environment
[11] Contamination factor
[12] Modified degree of contamination
[13] Geoaccumulation Index
[14] Ecological risk index
[15] Potential of Hydrogen
[16] Dissolved Oxygen
[17] Electrical Conductivity
[18] Total Organic Carbon
[19] Ecological risk index
[20] Ecological risk factor
[21] Toxic response factor
[22] World Health Organization
[23] Interim Marine Sediment Quality Guidelines

منابع

Afshari, S., Gholizadeh, H., Rezaei, R. and Shabanali Fami, H., 2016. Factors affecting the implementation of actions related to sustainable management of water resources among farmers in

www.SID.ir

Archive of SID

the Komijan county, Markazi province. Environmental Sciences . 14 (3), 73-88. (In Persian with English abstract).

Abdullah, M.Z., Louis, V.C. and Abas, M.T., 2015. .Metal Pollution and Ecological Risk Assessment of Balok River Sediment, Pahang Malaysia. American Journal of Environmental Engineering. 5 (3A), 1-7.

Ardakani, S., Jamshidi, K. and Niazi, A., 2013. Evaluation of Iron, lead, cadmium and copper concentrations in sediments using molar geochemistry index (Case study: Meyghan wetland). Journal of Wetland Ecobiology. 6 (20), 67-78. (In Persian with English abstract)

ArfaNia, H. and Asadzade, F., 2014. Studying of the bioavailability of Heavy Metals (Zinc, Cadmium, Nickel, Copper and Lead) in the Abshineh River Sediments. Journal of Soil Management and Sustainable Production.5 (4), 133-146. (In Persian with English abstract)

Amanollahi, J., Kaboodvandpour, S. and Majidi, H., 2017. Evaluating the accuracy of ANN and LR models to estimate the water quality in Zarivar International Wetland, Iran Natural Hazards. 85 (3), 1511-1527.

Anarakoli, M.M.D. Haeripour, S. and Amirnezhad, R., 2014. Studying of the Sefid-rud River quality in the area of Rudbar. Journal of Wetland Ecobiology. 7 (25), 33-42. (In Persian with English abstract)

Atamalaki, A., Sadeghi, S.H., Dolati, M.,Gholami, M., Ghorbanpour, R. and Abouee Mehrizi, E., 2015. Measuring and monitoring of organic matter and nutrients along Chenaran River of Bojnurd. Journal of Safety Promotion and Injury Prevention. 3 (1), 67-74. (In Persian with English abstract)

Bordbar, R. Dahrazma, B. and Taheri, A., 2012. Determination of heavy metals (lead and copper) contamination in water and surface sediments of Cheshmeh Ali Damghan River. In Proceedings National Conference on the Environment and Agricultural Researches, 9th October, Hamedan, Iran. P.1. (In Persian with English abstract)

Darivasi, S. Sayeb, K. and Mollashahi, M., 2015.Considering the effect of distance from pollution source on the concentration of heavy metals in the soil around the cement plant of Neka city. Journal of Environmental Science and Technology.17 (4), 33-44. (In Persian with English abstract)

Eghbali, P.Memaryani, M. and Moatar, F., 2010. Review of heavy elements of chromium, cadmium, lead and organic matter in the Sefi-drud River according to their structural geological origin. Wetland. 2 (3), 39-55. (In Persian with English abstract)

Forgani, G., Jafari, H., Gheshlaghi, A. and Teimori, A. 2014. Environmental pollution of Gorganrud River water and sediment in Gonbad-e Kavus. The Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches. 56 (3), 81-94. (In Persian with English abstract)

Gholizadeh, M. and Alinejad, M., 2018. Assessment of spatial variability of some parameters affecting three water quality of Zarin Gol River in Golestan Province. Environmental Sciences. 16(1), 111-126. (In Persian with English abstract)

Haghshenas, A., Hatami manesh, M., Mirzaie, M., Mirsanjari, M.M. and Khezri, P.H., 2015. Evaluation and assessment of heavy metal ecological risk in surface sediments of the Pars Special Economic Zone. Southern Medicine. 20 (5), 448-469. (In Persian with English abstract).

Hasani, M., Rahmani, H., Jani, Kh. and Moghadas,

www.SID.ir

Archive of SID

D., 2013. Investigation on concentration of heavy metals of lead and cadmium in the Tajan River using ICP-S system. In Proceedings first new findings in Environment and agricultural ecosystems Congress. 21st November, Tehran, Iran. p.55. (In Persian with English abstract).

Hayat al-Ghab, M., Gheshlagh, A., Jafari, H. and Forghani, G., 2015. Hydrochemistry and heavy metal concentration in water of the Kakarza River, (Lorestan province). Journal of Natural Environment. 68 (4), 619-628. (In Persian with English abstract).

Heydarpur, Farideh, 2012. Evaluation of the concentration of heavy metals in the water and surface sediments of the Hablehrood River (from the Nemrood to Dilichai Branch) in Semnan province. Master. Thesis. Shahroud University of Technology, Semnan, Iran. (In Persian with English abstract).

Homami, M., Mirbagheri, S.A., Borghei, S.M. and Abasspour, M., 2017. Evaluation and estimation of changes in water quality using a zoning map researche-developed software (case study: Pir-Bazar River). Environmental Sciences. 15(3), 153-172. (In Persian with English abstract).

Khalilzadeh, M., Nikoo, S., Mirbagheri, S.A. and Nori, M., 2016. Determination of heavy metals contamination and suspended sediments in the river. The 8th national conference and exhibition on Environmental Engineering, 11th November, Tehran, Iran. p. 84. (In Persian with English abstract).

Khanpour, R., Salimi, L. and Ghane, M., 2014. Assessment and Determination of heavy metals concentration of Lead, Nickle, Cadmium and physical and chemical parameters of the Shatare River located in Southern East of Tehran. Journal of Marine Science and Technology Research.4, 55-63. (In Persian with English abstract)

Ali, M.M., Ali, M.L., Islam, M.S.,and Rahman, M.Z., 2015. Preliminary assessment of heavy metals in water and sediment of Karnaphuli River, Bangladesh. Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management. 5, 27-35. (In Persian with English abstract).

Maghzi, S., Saeedi, M. and Jamshidi, A., 2011. Determination of Heavy Metals Contamination in the Babolrood River Sediments Using Sediment Contamination Indices. 6th National Congress of Civil Engineering, 26th and 27th April, Semnan, Iran. p. 32. (In Persian with English abstract).

Minab, S. and Rezaie, M.R., 2014. Detection of lead in water and sediments of the River using contamination indexes (case study: the Bashar River, Yasouj). 1rst international conference on new findings of Agriculture, 16th March, Tehran, Iran. p.73. (In Persian with English abstract).

Mirzaei, M. and Solgi, E., 2015. Evaluation of heavy metals concentration (cadmium, copper, manganese, nickel, lead and zinc) in sediments of Zayandehrood River. Journal of Research in Environmental Health. 1 (4), 251-265. (In Persian with English abstract).

Monjezi, R., Jahedmanesh, P. and Babadi, N., 2016. Studies of Heavy metal adsorption by sediments of the Karun River bed in different regions, The 8th National Conference and Environmental Engineering Specialty Exhibition. (In Persian with English abstract).

Mortezavi, S. and Saberi Nasab, F., 2017. Zoning and Ecological risk assessment of Heavy Metals of Copper and Nickel in Surface Sediments of Meighan Wetland by Using Contaminated Indices and Sediment. Ecohydrology. 4 (2), 533-545. (In Persian with English abstract).

Panahi, M., Misaqi, F. and Ghanbari, f., 2017. Determining of trend variation in quality

www.SID.ir

Archive of SID

parameters of Shabestar Plain underground water. Environmental Sciences. 15 (3), 19-38. (In Persian with English abstract).

Pourmoghadas, H. and Zafarzadeh, A., 2017. Effect of Applying Chemical Fertilizers on Concentration of Cd, Pb and Zn in Agricultural Soils. Journal of Environmental Health Engineering. 4 (2) DOI. (In Persian with English abstract).

Rastmnesh, F., Zerasvandi, A. and Moslem, F., 2015. Evaluation of Heavy Metals Contamination of Surface Sediments of the Karoon River. Advanced Applied Geology Magazine. 5, 11-22. (In Persian with English abstract).

Ravankhah, N. Mirzaie, R. and Masoum, S., 2013.Assessment of land accumulation and pollution factors and analysis of main components in soil pollution estimation. Journal of Health and Environment.8 (3), 345-356. (In Persian with English abstract).

Ren. J., Shang, Zh., Tao, L. and Wang, X. 2015.Multivariate Analysis and Heavy Metals Pollution Evaluation in Yellow River Surface Sediments. Polish Journal of Environmental Studies. 24 (3), 1041- 1048.

Rostami, S.H., 2015. Evaluation of the quality and pollution of water and sediments of the Sangrood River in the Qaemshah area of Mazandaran province. Master. Thesis. Shahrood Industrial Complex. Iran. (In Persian with English abstract).

Saghi, M.H., Samadi, M.T., Yazdanbakhsh, A.R., Yahyapour, Z. and Abolghazi, F., 2013. Measurement and monitoring of heavy metals along the Morad Beik River in Hamedan. In Proceedings, 2nd National Conference on the Environmental Researches, 7th August, Hamedan, Iran. P.60. (In Persian with English abstract).

Sakan, S.M., Dević, G.J., Relić, D.J., Anđelković, I.B., Sakan, N.M. and Đorđević, S.D., 2015. Environmental Assessment of Heavy Metal Pollution in Freshwater Sediment, Serbia. Clean Soil Air Water. 43 (6), 787-966. (In Persian with English abstract).

Saleh, M., Rezaie, M., Shakeri, A. and Jahandari, A., 2015. Evaluation of Heavy Metals Pollution in Surface Sediments of Gamasiab Nahavand River. Journal of Environmental Geology. 11, 71-84. (In Persian with English abstract).

Saleh, E.A.M., Zaidan, T.A. and Al-Rawi, A.S., 2012. Assessment of Heavy Metals Pollution in the Sediments of Euphrates River, Iraq. Journal of Water Resource and Protection. 4, 1009-1023.

Samadi, J., 2016. Survey of Spatial-Temporal Impact of Quantitative and Qualitative of Land Use Wastewaters on Choghakhor Wetland Pollution Using IRWQI Index and Statistical Methods. Iran-Water Resources Research. 11 (3), 159-171. (In Persian with English abstract).

Shanbehzadeh, S., Vahid Dastjerdi, M., Hassanzadeh, A. and Kiyanizadeh, T., 2013. Investigation of Heavy Metals in water and sediment on Massjed soleymanTembi river before and after of wastewater entrance. Journal of Health System. 9 (10), 1108- 1116. (In Persian with English abstract).

Vosough, A., Saeedi, M. and Lak, R., 2014. Determination of heavy metals contamination of river grained sediments (Sefidrud River). Natures. 41(4) , 887- 908. (In Persian with English abstract).

Wang, X., Ren, L., Jiao, F. and Liu, W., 2017. The ecological risk assessment and suggestions on heavy metals in river sediments of Jinan. Water Science and Technology. 76 (7-8), 2177-2187. (In Persian with English abstract).

www.SID.ir

Environmental Sciences Vol.17 / No.1 / Spring 2019

155-174

A comparative approach to investigate heavy metals pollution in water and sediment of rivers (Case study: Shahrud River)

Masoud Motamedi [1], Azita Behbahaninia[2*] and Forugh Farsad[1]

[1] Department of Environment, Faculty of Natural Resources and Environment Islamic Azad University Scienc and Research Branch, Tehran, Iran
[2] Department of Environment, Faculty of Agriculture and Environment Islamic Azad University, Roudehen Branch, Roudehen, Iran

Received: 2018.12.04 Accepted: 2019.02.17

Motamedi, M., Behbahaninia, A. and Farsad, F., 2019. A comparative approach to investigate heavy metals pollution in water and sediment of rivers (case study: Shahrud River). Environmental Sciences 17(1): 155-174.

Introduction: One of the major contaminants of surface water resources are heavy metals. Heavy metals are natural components of the earth's crust, but human activities, and geochemistry and biochemical cycles may disturb their balance and release them into the environment. Release of pollutants into the aquatic environment will affect both water body and sediments, mostly sediments because they are less dynamic. Therefore, the concentration of heavy metals in river bed sediments reveals the pollution more intensity or its history far better than the water body. This research was carried out to determine the concentration of heavy metals in water and sediments of Shahrud River with the aim of determining the condition of heavy metal contamination and their sources in the study area.

Material and methods: The Shahrud River is one of the main branches of the Sefid-Rud River which originates from the central Alborz Mountains, and is the only river in the southern part of the Alborz, which flows into the Caspian Sea. In this study, the concentration of heavy metals namely lead, cadmium, and arsenic in the Shahrud River and sediments in Lowshan city has been studied. Accordingly, the physiochemical properties of water and sediments were investigated in the first stage of sampling. Moreover, five sampling stations were determined and four sampling stages (autumn and winter 1395- spring and summer 1396) were carried out. Totally, 40 samples of water and sediments were taken along the river and the concentration of the considered parameters was measured.

Results and discussion: The results demonstrated that COD was lower that the EPA standard in all sampling stations except station 5. Furthermore, regarding the IRWQI (SC) water quality index, all stations were ranked from average to bad classes of quality. The BOD in all sampling stations was higher than the EPA standard

[*] Corresponding Author: *Email Address*. azitabehbahani@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

and according to the IRWQI (SC) index, all stations were ranked "semi-bad" to "bad" class of quality. The concentrations of lead, cadmium, and arsenic in water samples were compared with the guidelines of the Iranian National Standards Organization, Department of Environment, WHO and EPA. Moreover, it was ranked based on IRWQI (ST). Our results proved that the mean concentration of lead at all stations was lower than the standard except stations 3 and 4. The concentration of these heavy metals was relatively ranked into moderate to good classes. The average concentration of cadmium was lower than the standard at all stations except stations 1 and 3, and in regard to the descriptive index, it is categorized into good to fairly bad, respectively. In addition, the average concentration of arsenic was lower than the standard values at all stations. Also, it was classified as good, regarding the descriptive index. The concentration of heavy metals in sediment samples at sampling stations showed that the concentration of lead at all stations was lower than TEL values in NOAA and SQGs standards, and the concentration of cadmium at all stations was higher than the PEL values. The concentration of arsenic at all sampling stations was lower than the PEL values and at stations 2 and 5 was higher than TEL values. To quantitatively assess the sediments, contamination factors (Cf), degree of contamination (mCd), molar accumulation index (Igeo) and ecological risk assessment (Ri) were considered. Results showed high manmade contamination of cadmium and significant ecological risk in sediments of the study area. The use of phosphorus fertilizers in fields and gardens as well as the location of the cement factory, which is near the river, are the main causes of cadmium pollution in the study area. Additionally, the high levels of BOD and COD in water indicated high levels of organic contaminants, due to industrial and traditional olive processing centers, olive oil mills and poultry slaughterhouses in the study area.

Conclusion: The study area was contaminated with heavy metals, which is mainly caused by the high concentration of cadmium in sediments of Shahrud River. It is essential to mention that its negative impact on humans, organisms and urban environment in Lowshan city and downstream of the Shahrud River is undeniable.

Keywords: Lead, Cadmium, Arsenic, BOD, COD, Shahrud River.

www.SID.ir