

بررسی غلظت فلزات سنگین در آب و رسوبات رودخانه زاینده رود

حامد محمودی^۱، مهدی نادری خوراسگانی^{۲*} و جهانگرد محمدی^۳

چکیده

پایش کیفیت منابع آب برای توسعه کشاورزی و صنعتی ضروری است. هدف این پژوهش ارزیابی تغییرات مکانی و زمانی غلظت عناصر سنگین در آب و رسوبات بستر رودخانه زاینده رود است. برای رسیدن به این هدف ۱۰ ایستگاه نمونه برداری بین سد زاینده رود و زرین شهر انتخاب شده است. شش نمونه مرکب آب و رسوب از تیرماه ۱۳۹۰ تا اردیبهشت ۱۳۹۱ هر دو ماه یکبار برداشت شدند. نمونه های رسوب پس از تیمار با اسید عصاره گیری و غلظت عناصر سنگین در عصاره و غلظت عناصر محلول در آب رودخانه به کمک دستگاه جذب اتمی اندازه گیری شدند. نتایج نشان می دهند که حداکثر غلظت های مس، کادمیم، روی و سرب به ترتیب در رسوبات ایستگاه های روستای چلوان، زرین شهر، بند ذخیره ای و پل کله وجود دارند در حالی که حداکثر میزان کادمیم، مس و سرب رسوبات در اردیبهشت ماه و برای روی در آذرماه مشاهده شد. از نظر زمانی حداکثر غلظت مس محلول در آب در دی ماه و برای کادمیم، روی و مس در آذرماه مشاهده شدند. به نظر می رسد کارخانه ذوب آهن و مزارع کشاورزی منابع اصلی عناصر سنگین در حاشیه رودخانه هستند. این پژوهش نشان داد که غلظت عناصر سنگین بررسی شده محلول در آب رودخانه کمتر از آستانه مجاز برای آشامیدن بودند.

واژه های کلیدی: آلودگی، رودخانه زاینده رود، رسوب، عناصر سنگین، کیفیت آب.

ارجاع: محمودی ح. نادری خوراسگانی م. و محمدی ج. ۱۳۹۵. بررسی غلظت فلزات سنگین در آب و رسوبات رودخانه زاینده رود. مجله پژوهش آب ایران. ۱۰۶-۹۷: ۲۲.

۱- دانش آموخته گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

۲- دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

۳- استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

* نویسنده مسئول: khnaderi@yahoo.com

مقدمه

فعالیت‌های مختلف انسانی منوط به وجود آب است و به همین دلیل نیز تمدن‌ها به طور غالب در مجاورت منابع آبی رشد و گسترش یافتند. این مسئله از یکسو سبب پیشرفت جوامع و از سوی دیگر سبب بروز آلودگی منابع آبی می‌شود. برای دستیابی به توسعه پایدار در بخش‌های مختلف تمامی مؤلفه‌های تأثیرگذار بر توسعه، به ویژه منابع آبی که از شاخص‌های اصلی توسعه است؛ باید به طور دقیق بررسی شوند. پایش کیفی و کمی این منابع به استفاده بهینه و شناسایی منابع آلاینده آن‌ها کمک می‌کند (صمدی و همکاران، ۱۳۸۸).

از جمله عوامل مشکل‌ساز در اکوسیستم‌های آبی، فلزهای سنگین هستند که به دلیل غیر قابل جذب بودن و داشتن اثرات سوء فیزیولوژیکی در غلظت پایین بر فعالیت جانداران از جمله انسان، بسیار مهم هستند (وهاب‌زاده، ۱۳۷۲). فلزات سنگین پس از ورود به آب تشکیل کمپلکس‌های آلی و بسیار سمی می‌دهند. به عنوان مثال جیوه به شکل یونیزه در آب وارد شده و پس از احیاء تبدیل به متیل جیوه می‌شود که صدها برابر سمی‌تر از جیوه فلزی است و یا قلع به تنهایی خطری برای سلامتی انسان نیست اما ترکیبات آلی قلع، سمیتی برابر با سیانور دارند (اوستان، ۱۳۸۳).

فلزات سنگین همواره بین فازهای مختلف تبادل می‌شوند که البته در محیط‌های مختلف چگونگی این تبادل و توزیع یکنواخت نیست. رسوبات به عنوان آلاینده یا شاخص آلودگی در اکوسیستم رودخانه هستند زیرا فلزات بیشتر با فاز جامد همراه هستند. رسوبات بستر رودخانه‌ها کمتر از ستون آب مستقر روی آن دستخوش تغییر می‌شوند و به عنوان ناقل و منبع بالقوه آلودگی محسوب عمل می‌کنند زیرا فلزات سنگین با تغییر شرایط محیطی مانند تغییر واکنش آب، پتانسیل اکسیداسیون و احیا، نوع و غلظت کلات‌کننده‌های آلی و یا غلظت ترکیبات در فاز محلول می‌توانند از حالت رسوب خارج شده و توزیع جدیدی را در سیستم به دست آورند (سبزیبایی، ۱۳۷۵). تحرک یا رسوب فلزات در سیستم آب و رسوب رودخانه‌ها با عواملی مانند واکنش محیط، شرایط اکسیداسیون و احیا، مقدار مواد آلی، فعالیت میکروارگانیسم‌ها، غلظت ترکیبات در فاز محلول، مقدار هیدروکسیدهای آهن و منگنز، خصوصیات سطحی و ظرفیت تبادل کاتیونی

کنترل می‌شود (یانگ و رز، ۲۰۰۵). در بخش اندازه ذرات کوچک‌تر از ۲ میکرون جذب فلزات با کانی‌های کوارتز و فلدسپار کمتر ولی با کانی‌های رسی کائولینایت، مونت‌موریلونایت، موسکویت و پاراگونايت بسیار بیشتر است. تمرکز عناصر سنگین در رسوبات از منابع مختلفی مانند منابع آلاینده با منشأ انسانی، هوازدگی سنگ‌ها و نهشته شدن موضعی فلزات تأمین می‌شود (خوش‌اقبال و همکاران، ۱۳۹۰).

هوبا و همکاران (۱۹۸۳) پس از بررسی آلودگی رودخانه وسدر گزارش کردند که به دلیل فرسایش شدید سنگ‌های حوضه‌آبخیز و غلظت زیاد یون آزاد کلسیم در آب، فرایند تشکیل و رسوب کربنات کلسیم و برخی فلزات یکی از عوامل اصلی تجمع فلزات در رسوبات است. همچنین عصاره‌گیری متوالی نیز نشان داد که هیدروکسیدهای آهن، منگنز و کربنات‌ها به عنوان مهم‌ترین منابع تجمع فلزات سنگین در رسوبات رودخانه‌اند. ژائو و همکاران (۲۰۱۲) فلزات سنگین در بافت ماهی‌ها، خرچنگ‌ها و محیط (آب سطحی، آب عمقی و رسوبات) رودخانه یانگتز را بررسی کردند و متوجه شدند که میزان فلزات در بافت‌های پای خرچنگ و پوست و سر ماهی به طور معنی‌داری با آلودگی محل زندگی آن موجودات همبستگی دارد. نتایج آن‌ها نشان داد که میزان تجمع بستگی به بافت و اندازه ماهی و خرچنگ دارد. این پژوهش‌گران میزان فلزات سنگین را به ترتیب زیاد به کم در رسوبات، جانوران زیست‌کننده در عمق آب، جانوران زیست‌کننده در قسمت میانی، آب عمقی و آب سطحی گزارش کردند. آخوندی و همکاران (۱۳۸۹) به بررسی میزان فلزات سنگین در رودخانه قمرود پرداختند. برای انجام این پژوهش از شش ایستگاه مختلف این رودخانه نمونه‌برداری انجام شد. فلزات کادمیوم، روی و سرب آب اندازه‌گیری شد. غلظت عناصر اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌ها بسیار کمتر از حد مجاز غلظت تعیین شده این آلاینده‌ها در آب آشامیدنی بودند. رودخانه قمرود منبع اصلی تأمین کننده آب سد ۱۵ خرداد است و کاربری اراضی در بیشتر مناطق حاشیه این رودخانه، به جز بخش‌های کوچکی در طول مسیر کشاورزی و دامداری است. منبع اصلی ورود فلزات ذکر شده به آب‌های سطحی، فعالیت‌های صنعتی شامل صنایع پالایش و ذوب فلزی، صنایع الکتریکی، نساجی و رنگ‌سازی بود. سرمای

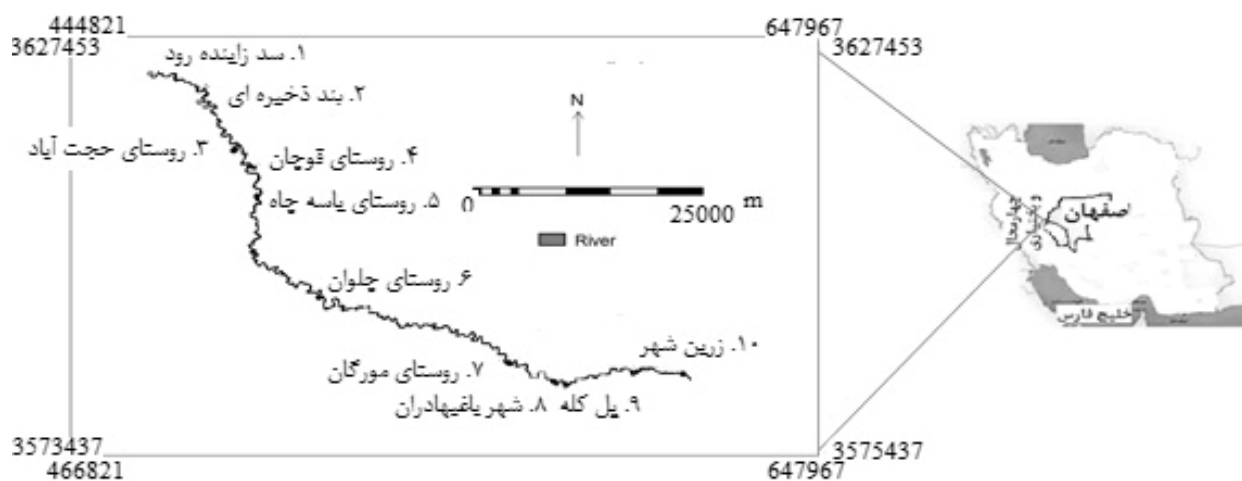
۴۰۵ کیلومتر و شیب متوسط بستر آن ۱۵ درصد است. این رودخانه سرانجام در حدود ۱۲۰ کیلومتری جنوب شرقی شهر اصفهان به باتلاق گاوخونی می‌ریزد. رژیم بارش در بخش مرطوب حوضه مدیترانه‌ای است و به طور عمده بارش‌ها در پاییز و زمستان متمرکز است. میانگین بارندگی سالانه حوضه آبخیز زاینده‌رود ۴۵۰ میلی‌متر و وسعت حوضه حدود ۲۷۱۰۰ کیلومتر مربع است (جوهری، ۱۳۸۸). منطقه مورد بررسی بخشی از طول رودخانه زاینده‌رود از محل سد زاینده‌رود با عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۴۴ دقیقه شمالی و طول ۵۰ درجه و ۴۴ دقیقه شرقی تا شهر زرین شهر با عرض ۳۲ درجه و ۲۳ دقیقه شمالی و طول ۵۱ درجه و ۲۱ دقیقه شرقی و اراضی مشرف بر آن است (شکل ۱).

هوا در فصل پاییز و زمستان و کاهش حلالیت یون‌ها در آب می‌تواند یکی از دلایل‌های کاهش غلظت یون‌ها در آب در فصل‌های سرد باشد. رودخانه زاینده‌رود یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های فلات مرکزی ایران است که منبع تأمین آب کشاورزی، شرب و صنعت بخش‌هایی از استان‌های اصفهان و چهارمحال و بختیاری است. عبور این رودخانه از میان اراضی کشاورزی و باغات، مجاورت مزارع پرورش ماهی و کارخانه‌جات ذوب و یا تغلیظ فلزات پتانسیل آلودگی این رودخانه را افزایش داده است. لذا این مطالعه به منظور پایش زمانی آلودگی آب و رسوبات این رودخانه به برخی عناصر سنگین و بررسی تغییرات مکانی این عناصر انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

زاینده‌رود رودخانه اصلی حوضه آبخیز گاوخونی است که از دامنه‌های زردکوه بختیاری منشاء می‌گیرد. طول رودخانه



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد بررسی در کشور، شماره و نام محلی ۱۰ ایستگاه نمونه‌برداری

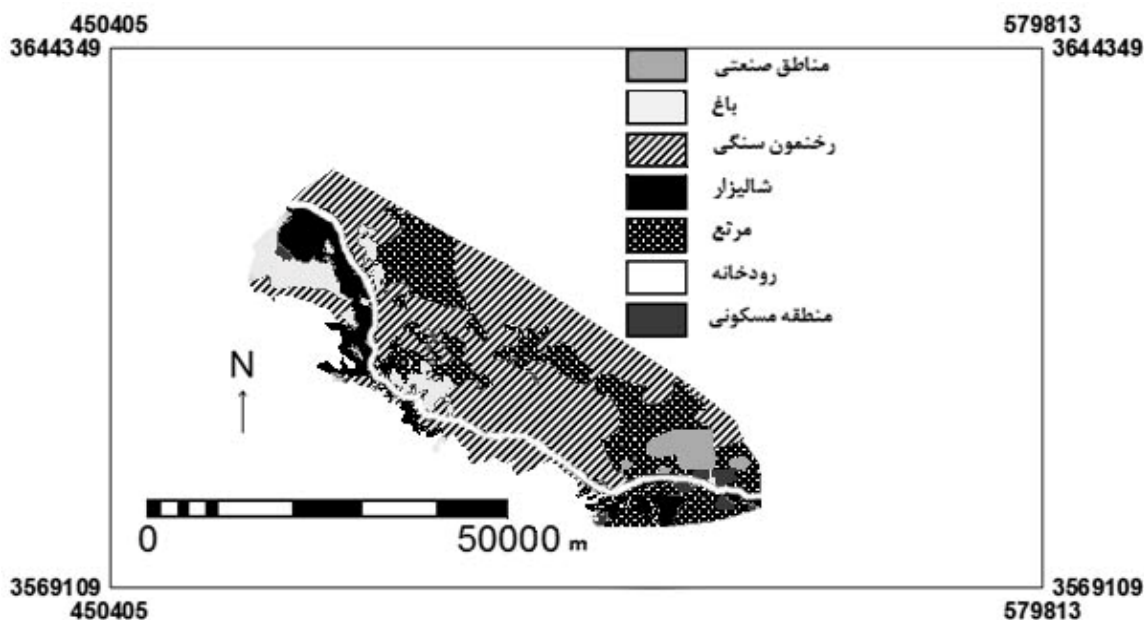
بستر رودخانه جمع‌آوری شدند. نمونه برداری بر اساس توصیه سازمان زمین‌شناسی آمریکا (۱۹۷۸) انجام شد. رسوبات برداشت شده هوا خشک و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. برای استخراج فلزات سنگین رسوبات از روش عصاره‌گیری با اسید (اسپوزیتو، ۱۹۸۲) استفاده شد و غلظت فلزات سرب، روی، مس و کادمیوم در عصاره رسوبات و نمونه‌های آب به کمک دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شدند. بررسی‌های آماری با نرم‌افزار SAS 9

نمونه‌برداری و تجزیه‌های آزمایشگاهی

برای انجام این پژوهش با توجه به نوع کاربری اراضی مشرف بر رودخانه و قابلیت دسترسی به رودخانه از محل سد زاینده‌رود تا زرین‌شهر ده ایستگاه نمونه‌برداری مشخص شد (شکل ۱). نمونه‌برداری از آب و رسوب در یک بازه زمانی یک ساله از تیرماه ۱۳۹۰ تا اردیبهشت ۱۳۹۱ هر دو ماه یکبار برداشت شدند. بدین ترتیب شصت نمونه آب و شصت نمونه رسوب از ۱۰-۰ سانتی‌متری

زیرین شهر با استفاده از تفسیر چشمی تصویرهای ماهواره لندست ETM+ گرفته شده در سال ۲۰۱۲ تهیه شد (شکل ۲).

(Statistical Analysis System) انجام شدند و برای بررسی اختلاف میانگین‌ها از آزمون t (Student's t Test) در سطوح احتمال ۰/۰۱ و ۰/۰۵ استفاده شد. نقشه کاربری اراضی محدوده حوزه رودخانه از سد زاینده‌رود تا محل



شکل ۲- مسیر رودخانه زاینده‌رود در منطقه مطالعاتی و کاربری اراضی مشرف بر رودخانه

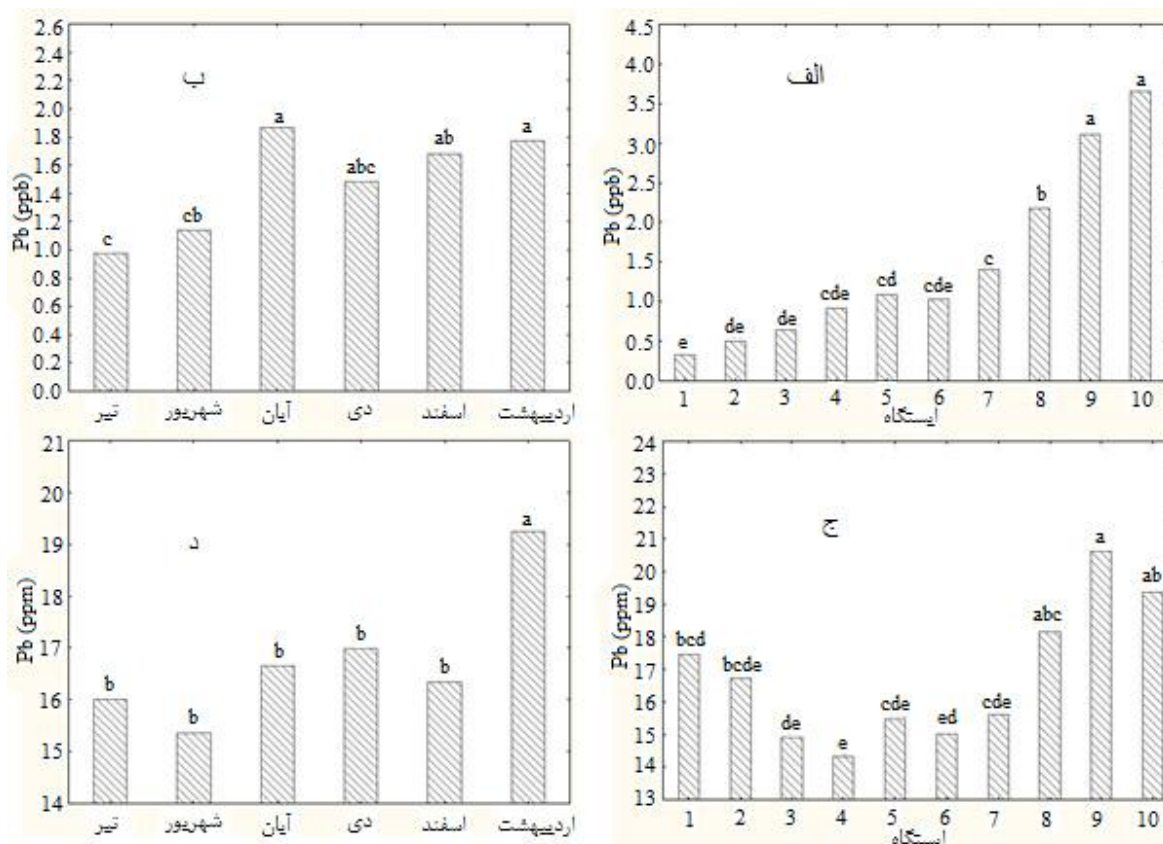
سرب است. شکل ۳- الف نشان می‌دهد که بیشترین میانگین غلظت سرب محلول در آب رودخانه در آبان‌ماه و به میزان ۱/۸۷ پی‌پی‌ام رخ داده است. همچنین کمترین میانگین غلظت سرب محلول در آب از نظر مکانی مربوط به ایستگاه شماره ۱ در سد زاینده رود و از نظر زمانی مربوط به تیرماه است.

میانگین کل سرب رسوبات بستر رودخانه ۱/۴۸ پی‌پی‌ام است. ایستگاه شماره ۹ در محل پل کله با میانگین ۲۰/۶۳ پی‌پی‌ام سرب و ایستگاه شماره ۱۰ (زیرین شهر) با ۱۹/۳۶ پی‌پی‌ام سرب بیشترین غلظت سرب را داشتند (شکل ۳-ج). شکل ۳ تغییرات غلظت سرب را در آب و رسوب در زمان و مکان نشان می‌دهد. آزمایش کانی‌شناسی سنگ‌های مناطق اطراف رودخانه وجود ندارد تا تأثیر ساختار زمین‌شناسی اراضی حاشیه رودخانه بر آلودگی آب و رسوب مشخص کند. وانگ و همکاران (۲۰۱۲) در بررسی رودخانه لانسینگ در چین منبع سرب موجود در رسوبات رودخانه‌ای را دود اتومبیل‌ها گزارش کردند.

نتایج و بحث

همان‌طور که شکل ۲ نشان می‌دهد عمده کاربری‌های منطقه مشرف بر رودخانه عبارتند از مراتع و رخنمون‌های سنگی. در حاشیه رودخانه شالیزارها و مناطق مسکونی هستند. بخش وسیعی از مناطق مشرف بر رودخانه در غرب باغات هستند و در شرق مناطق مسکونی و صنعتی تأثیرگذارترین بخش بر کیفیت آب رودخانه هستند.

شکل ۳ تغییرات زمانی و مکانی میزان سرب محلول در آب رودخانه را نشان می‌دهند. تفاوت غلظت‌های سرب محلول در آب در مکان‌ها و زمان‌های مختلف معنی‌داری است (جدول ۲). ایستگاه شماره ۱۰ با میانگین ۳/۶۵ پی‌پی‌ام بیشترین غلظت سرب محلول در آب را دارد در حالی که این مقدار تفاوت معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ با ایستگاه ۹ نشان نمی‌دهند ولی تفاوت غلظت با دیگر ایستگاه‌ها معنی‌دار است. مقایسه غلظت سرب محلول در آب رودخانه در ایستگاه‌های پایانی با میانگین کل غلظت سرب نشان‌دهنده پتانسیل بالای این نقاط به آلودگی



شکل ۳- تغییرات زمانی و مکانی غلظت سرب محلول در آب (الف و ب) و رسوبات رودخانه (ج و د) از تیرماه ۱۳۹۰ تا اردیبهشت ۱۳۹۱ حروف انگلیسی هم‌نام عدم تفاوت معنی‌دار و غیرهم‌نام روی ستون‌ها تفاوت معنی‌دار غلظت‌ها را نشان می‌دهند.

رودخانه با آب آلوده سبب افزایش غلظت سرب در رسوبات شده است. همبستگی معنی‌دار ($P < 0.01$) بین غلظت سرب محلول در آب و موجود در رسوب، وجود تعادل بین سرب در این دو محیط را نشان می‌دهد (جدول ۱). شکل ۳ نشان می‌دهد که در ماه‌های پرباران مانند اردیبهشت نیز غلظت سرب محلول در آب و در رسوب افزایش یافته است این موضوع امکان ورود رسوبات حامل سرب به رودخانه را همراه با رواناب نشان می‌دهد.

با توجه به عدم وجود شهر و ترافیک در محل ایستگاه شماره ۹ امکان آلودگی را نمی‌توان به طور کامل به ترافیک نسبت داد. قرار گرفتن این دو ایستگاه نمونه‌برداری در کنار شهر زین‌شهر و در جنوب کارخانه ذوب‌آهن اصفهان احتمال منشأ گرفتن سرب از این دو منبع آلاینده را افزایش می‌دهد. از سوی دیگر مشخص نیست ورود رسوبات از این دو منبع همراه با رواناب سبب آلودگی آب رودخانه شده است و یا تعادل رسوب در بستر

جدول ۱- همبستگی بین عناصر سنگین در رسوب و محلول در آب

Cu _s	Cd _s	Pb _s	Zn _s	Cu _w	Cd _w	Pb _w	Zn _w	
							۱	Zn _w
						۱	۰/۱۸ ^{ns}	Pb _w
					۱	۰/۶۶ ^{**}	۰/۳۳ [*]	Cd _w
				۱	۰/۶۹ ^{**}	۰/۸۰ ^{**}	۰/۱۷ ^{ns}	Cu _w
			۱	-۰/۱۳ ^{ns}	-۰/۳۲ ^{ns}	-۰/۱۱ ^{ns}	-۰/۱۵ ^{ns}	Zn _s
		۱	۰/۲۹ [*]	۰/۴۱ ^{**}	۰/۲۴ ^{ns}	۰/۳۷ ^{**}	-۰/۲۲ ^{ns}	Pb _s
	۱	۰/۲۱ ^{ns}	-۰/۱۶ ^{ns}	۰/۳۶ ^{**}	۰/۱۹ ^{ns}	۰/۳۲ [*]	-۰/۴۵ ^{**}	Cd _s
۱	-۰/۰۹ ^{ns}	۰/۳۳ ^{**}	۰/۴۸ ^{**}	۰/۲۷ [*]	۰/۲۲ ^{ns}	۰/۲۳ [*]	-۰/۱۰ ^{ns}	Cu _s

** معنی‌داری در سطح ۰/۰۱، * معنی‌داری در سطح ۰/۰۵، ^{ns} غیرمعنی‌دار.
W عناصر موجود در آب، S عناصر موجود در رسوب.

معنی‌داری بین غلظت روی در آب ایستگاه‌های ۱ تا ۳، ۴ تا ۸ و ۹ تا ۱۰ وجود نداشت. میانگین کل روی در رسوبات ۳۴/۳۶ پی‌پی‌ام بود. تفاوت معنی‌داری در میزان روی در زمان‌های مختلف مشاهده نشد ولی بیشترین غلظت این عنصر مربوط به آبان‌ماه و برابر ۳۵/۸۴ پی‌پی‌ام و کمترین آن مربوط به تیرماه با ۳۳/۱۴ پی‌پی‌ام بود (شکل ۴). با توجه به کاربری اراضی اطراف رودخانه که غالباً شامل باغات و مزارع کشاورزی است احتمال نفوذ روی از این‌گونه اراضی به رودخانه وجود دارد. از آنجا که عنصر روی به عنوان یک ریزمغذی در کودهای شیمیایی مصرفی باغات و مزارع وجود دارد و همچنین جزء ساختمانی آفت‌کش‌هایی مانند زینب (Zineb) و زیرام (Ziram) است (وانگ و همکاران، ۲۰۱۲) ممکن است از طریق آب‌شویی و یا رواناب وارد رودخانه شده باشد.

بنابراین باید در جستجوی منبع این آلاینده در نواحی مشرف به ایستگاه‌های ۹ و ۱۰ باشیم. همبستگی معنی‌دار سرب، مس و روی موجود در رسوبات احتمال وجود منبع مشترک این سه آلاینده را مشخص می‌کند و کادمیم باید منبع دیگری داشته باشد (جدول ۱). روی با میانگین کل ۴/۲۴ پی‌پی‌ام یکی از عناصر موجود در آب رودخانه بود که ارزیابی شد. نتایج تجزیه واریانس تفاوت معنی‌دار غلظت این عنصر را در زمان‌ها و در مکان‌های نمونه‌برداری نشان می‌دهد (جدول ۲ و ۳). بیشترین میانگین غلظت روی محلول در آب در آبان‌ماه به میزان ۶/۲ پی‌پی‌ام بود که از حد استاندارد برای آب‌های ایران (مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۸۸) بسیار کمتر است. در بین ایستگاه‌های نمونه‌برداری بیشترین غلظت روی در آب رودخانه مربوط به ایستگاه ۹ به میزان ۴/۴۵ پی‌پی‌ام بود. از نظر آماری تفاوت

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس عناصر سنگین محلول در آب

میانگین مربعات				درجه آزادی	تغییرات
کادمیم	روی	مس	سرب		
۰/۰۶ ^{ns}	۳۹/۷۳ ^{**}	۰/۳۱ ^{**}	۱/۲۸ ^{**}	۵	زمان
۲/۷۳ ^{**}	۵/۳۹ ^{**}	۲/۱ ^{**}	۷/۶۸ ^{**}	۹	مکان
۰/۱۷۲	۱/۳۳	۰/۰۵	۰/۳۲	۴۵	خطا
۰/۵۵	۵/۲۰	۰/۳۸	۱/۵۲	۵۹	کل
۱۰/۳۴ ^{**}	۱۳/۲۶ ^{**}	۲۸/۹۴ ^{**}	۱۶/۵۸ ^{**}		F
۳۸/۶۸	۲۷/۲۱	۱۵/۸۱	۳۸/۳۸		ضریب تغییرات/

^{ns} و ^{**} به ترتیب به مفهوم عدم تفاوت معنی‌دار و معنی‌داری در سطح ۰/۰۱.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس عناصر سنگین در رسوب

میانگین مربعات				درجه آزادی	تغییرات
کادمیم	روی	مس	سرب		
۰/۰۳۵۴ ^{**}	۹/۹۶ ^{ns}	۶/۴۶ ^{ns}	۱۷/۸۵۶ [*]	۵	زمان
۰/۰۰۳ ^{ns}	۴۴/۱۹ ^{**}	۹۳/۳۳ ^{**}	۲۶/۴۶ ^{**}	۹	مکان
۰/۰۰۲	۱۵/۱۳۵	۳/۲۵	۵/۳۴۱	۴۵	خطا
۰/۰۰۵	۱۹/۱۳	۱۷/۲۶	۹/۶۲	۵۹	کل
۷/۵۴ ^{**}	۲/۱۱ [*]	۱۹/۱۵ ^{**}	۴/۳۸ ^{**}		F
۴۴/۵۹	۱۱/۳۲	۱۱/۶۸	۱۳/۷۸		ضریب تغییرات/

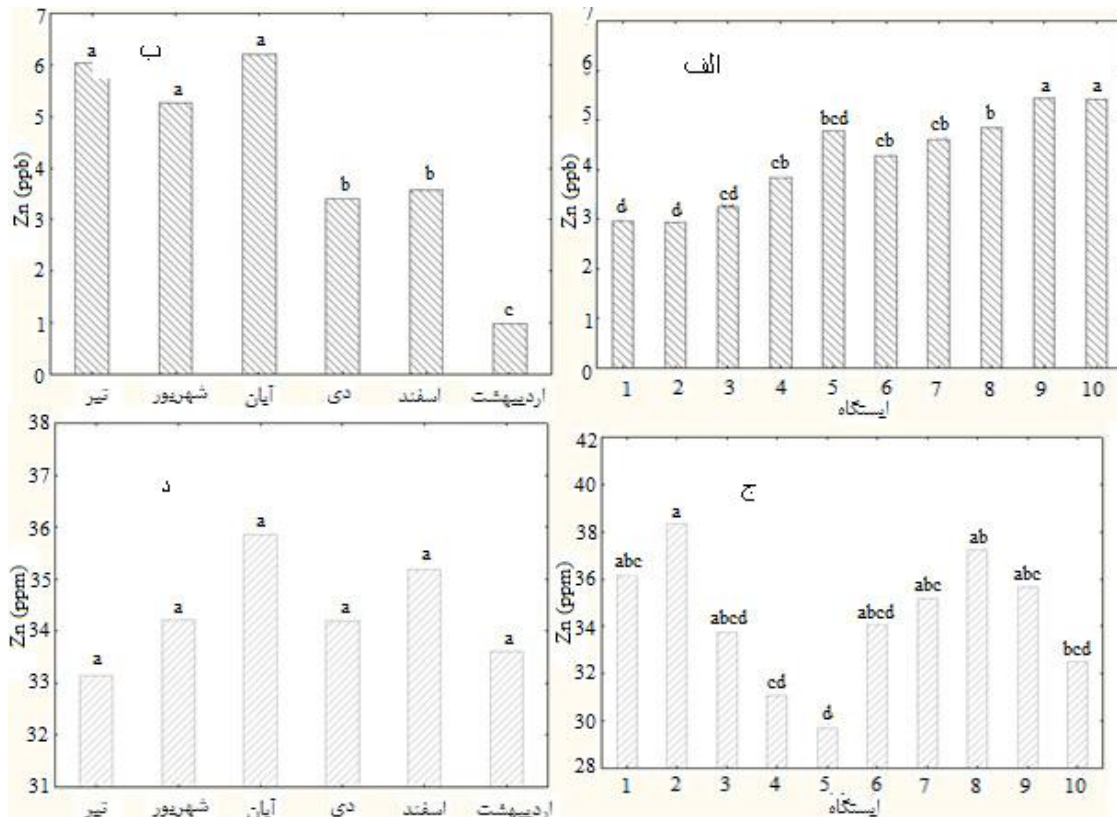
^{ns}، ^{*} و ^{**} به ترتیب به مفهوم عدم تفاوت معنی‌دار و معنی‌داری در سطوح ۰/۰۵ و ۰/۰۱.

نمونه‌برداری تفاوت‌های معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ با هم داشتند. بیشترین غلظت روی در رسوبات مربوط به ایستگاه دوم یعنی پشت سد تنظیمی رودخانه به میزان ۳۸/۳۵ پی‌پی‌ام بود. کاربری اراضی مشرف بر این ایستگاه باغات میوه است. کمترین غلظت روی در آب رودخانه

مشخصات کاربری اراضی در نزدیکی ایستگاه‌های اولیه (منطقه شهرستان سامان در استان چهارمحال و بختیاری) باغات گردو، بادام، هلو و اراضی کشاورزی است که استفاده از سموم دفع آفات و ریزمغذی‌ها در آن‌ها معمول است. برخلاف الگوی زمانی، غلظت روی رسوبات در مکان‌های

کارخانه ذوب آهن اصفهان و یا رسوبات حمل شده با رواناب به داخل زاینده‌رود باشد. در این رابطه نمازی (۱۳۹۲) گزارش کرد که غبارهای نواحی اطراف کارخانه ذوب آهن به شدت آلوده به عناصر سنگین هستند. در مورد وجود کانی‌های دارای روی در اراضی مشرف به رودخانه در این نواحی اطلاعی در دسترس نیست.

مربوط به ایستگاه شماره ۵ و برابر (۲۹/۶۸ پی‌پی‌ام) بود ولی بعد از این ایستگاه دوباره به سمت شرق افزایش غلظت روی در رسوبات رودخانه را شاهد هستیم. ژانگ و همکاران (۲۰۱۱) منشاء این فلز سنگین را در آب، خاکستر، گرد و غبار و فاضلاب کارخانه ذوب آهن گزارش کردند. در شرایط رودخانه زاینده‌رود در ایستگاه‌های انتهایی ممکن است آلودگی ناشی از نشت فاضلاب



شکل ۴- تغییرات زمانی و مکانی غلظت روی محلول در آب (الف و ب) و رسوبات رودخانه (ج و د) از تیرماه ۱۳۹۰ تا اردیبهشت ۱۳۹۱

حروف انگلیسی هم‌نام عدم تفاوت معنی‌دار و غیرهم‌نام روی ستون‌ها تفاوت معنی‌دار غلظت‌ها را نشان می‌دهند.

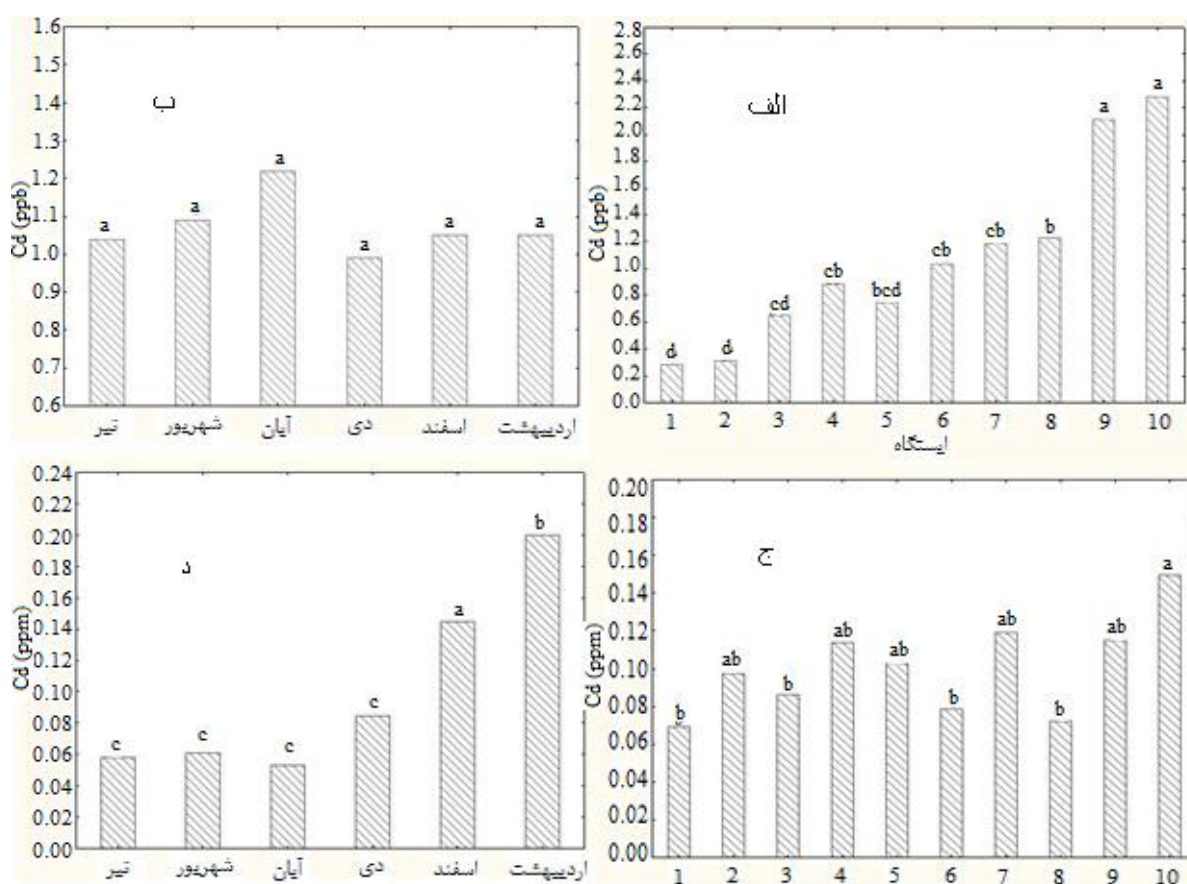
نمونه‌برداری‌ها تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۲ و شکل ۵).

میانگین کل کادمیوم در رسوب ۰/۱ و حداقل و حداکثر آن به ترتیب ۰/۰۱۲ و ۰/۳۰۰ پی‌پی‌ام بود. در اردیبهشت ماه بیشترین میانگین غلظت این عنصر به مقدار ۰/۲ و کمترین آن به میزان ۰/۰۵ پی‌پی‌ام در نمونه رسوبات آبان‌ماه وجود داشت. مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که رسوبات ایستگاه شماره ۱۰ (زرین‌شهر) غلظت بالاتری از کادمیوم را که برابر ۰/۱۴ پی‌پی‌ام دارد در صورتی که ایستگاه شماره ۱ با میانگین ۰/۰۶ پی‌پی‌ام کمترین مقدار کادمیوم را داراست ولی تفاوت میانگین‌ها معنی‌دار نیست.

روند تغییرات مکانی غلظت کادمیوم در آب رودخانه مانند روند غلظت سرب بود بدین ترتیب که غلظت کادمیوم در نمونه آب‌های دو ایستگاه آخر تفاوت معنی‌داری را با دو ایستگاه آخر نشان دادند (شکل ۵). میانگین غلظت کادمیوم در نمونه آب‌های ایستگاه شماره ۱۰ برابر ۲/۲۸ پی‌پی‌ام و در ایستگاه شماره ۹ برابر ۲/۱۱ پی‌پی‌ام بود. میانگین غلظت کل کادمیوم نمونه‌های آب برابر ۱/۰۷ پی‌پی‌ام بود. نمونه آب‌های آبان‌ماه بیشترین غلظت کادمیوم را به میزان ۱/۲۲ پی‌پی‌ام داشتند کمترین غلظت کادمیوم محلول مربوط به اولین ایستگاه نمونه‌برداری در محل سدزاینده رود بود. از نظر زمانی بین هیچ کدام از

از نظر زمانی بیشترین میانگین غلظت مس محلول در آب به میزان ۱/۶۲ پی پی ام در دی ماه و کمترین غلظت در تیرماه با میانگین ۱/۲۲ پی پی ام دیده شد (شکل ۶). از نظر مکانی بالاترین میانگین غلظت‌های مس محلول برابر ۲/۵۳ و ۲/۱۶ پی پی ام برای نمونه آب ایستگاه‌های شماره ۱۰ و ۹ به دست آمد و کمترین مقدار را ایستگاه ۱ به میزان ۰/۶۱ پی پی ام دارد. این وضعیت احتمال تأثیر فاضلاب کارخانه ذوب آهن اصفهان را در آلودگی رودخانه تقویت می‌کند.

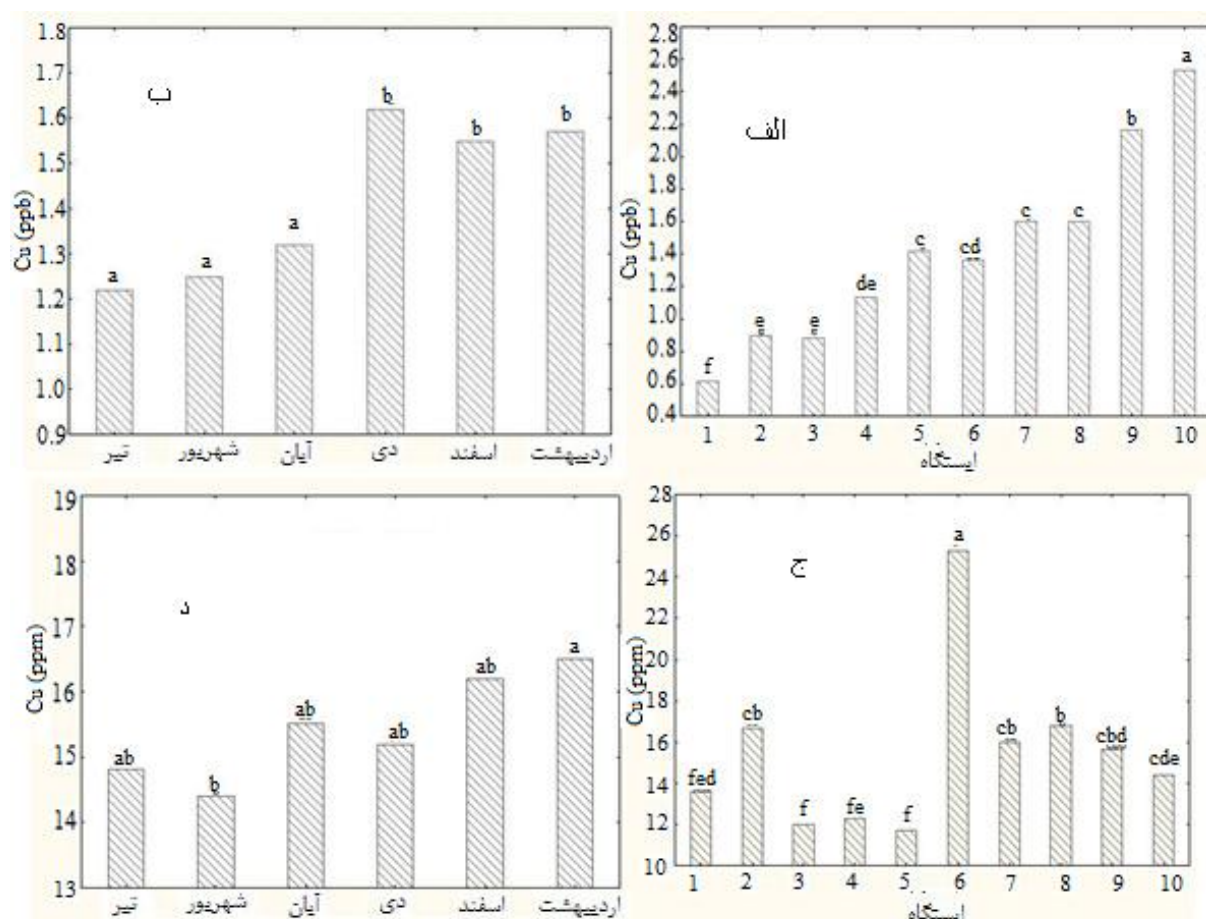
خطر اکولوژیکی کادمیوم نسبت به دیگر عناصر بیشتر است که به دلیل ضریب سمیت بالای آن در غلظت‌های کم است. کادمیوم به عنوان ناخالصی در سنگ‌های فسفاته وجود دارد و در فرایند تبدیل به کود این ناخالصی حذف نمی‌شود (ین و همکاران، ۲۰۱۱). نتایج نشان می‌دهند که این عنصر همچون روی یک آلاینده غیرنقطه‌ای است که از اراضی کشاورزی حاشیه رودخانه وارد شده است. مصرف کودهای فسفاته آلوده به کادمیوم در اراضی کشاورزی و باغات و آبیاری آن‌ها در اواخر زمستان و بهار به همراه نفوذ بارندگی‌ها ممکن است سبب شست‌شوی این کاتیون و ورود آن به رودخانه شده باشد.



شکل ۵- تغییرات زمانی و مکانی غلظت کادمیوم محلول در آب (الف و ب) و رسوبات رودخانه (ج و د) از تیرماه ۱۳۹۰ تا اردیبهشت ۱۳۹۱ حروف انگلیسی هم‌نام عدم تفاوت معنی‌دار و غیرهم‌نام روی ستون‌ها تفاوت معنی‌دار غلظت‌ها را نشان می‌دهند.

رسوبات ایستگاه ششم که در منطقه چلوان قرار دارد به طور معنی‌داری غلظت بیشتری از مس را داشتند. این در حالی است که رسوبات ایستگاه پنجم با وجود فاصله چند کیلومتری حداقل میزان مس را به خود اختصاص داد. احتمال نشت فاضلاب از کارخانه‌جات تغلیظ منگنز ممکن است عامل افزایش غلظت در ایستگاه ششم باشد.

حداقل غلظت مس در رسوبات برابر ۱۰ و حداکثر برابر ۳۰/۶۵ پی پی ام بود. از نظر زمانی بجز بین نمونه‌برداری دوم و آخر تفاوت معنی‌داری بین میانگین غلظت مس در رسوبات سایر ماه‌ها مشاهده نشد. میانگین غلظت مس در رسوبات برداشت شده در اردیبهشت‌ماه ۱۶/۵۰ و در شهریورماه ۱۴/۴۰ پی پی ام بود.



شکل ۶- تغییرات زمانی و مکانی مس در آب (الف و ب) و رسوبات رودخانه (ج و د) از تیرماه ۱۳۹۰ تا اردیبهشت ۱۳۹۱

حروف انگلیسی هم نام عدم تفاوت معنی دار و غیرهم نام روی ستون ها تفاوت معنی دار غلظت ها را نشان می دهد.

نتیجه گیری

بر اساس مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران (۱۳۸۸) حداکثر غلظت مجاز عناصر سرب، کادمیوم و مس به ترتیب برابر ۰/۰۱، ۰/۰۰۳ و ۲ پی پی ام محلول در آب هستند. حداکثر مجاز برای عنصر روی در مؤسسه تعیین نشده و حداکثر مطلوب این عنصر ۳ پی پی ام در محلول آب آشامیدنی است. بر اساس این مرجع غلظت هیچکدام از عناصر اندازه گیری شده در آب رودخانه بالاتر از حد مجاز برای آشامیدن نبود. از نظر زمانی حداکثر آلودگی رسوبات به سرب، کادمیوم و مس در اردیبهشت ماه رخ داد در حالی که حداکثر آلودگی رسوبات به عنصر روی در نمونه های برداشت شده در آبان ماه مشاهده شد. با وجود افزایش میزان آب رودخانه در اواخر زمستان و اوایل بهار (اردیبهشت ماه) میزان غلظت عناصر سنگین در رسوبات افزایش یافته است که نشان دهنده اضافه شدن این عناصر همراه رسوبات ناشی از سیلاب ها به رودخانه است. افزایش غلظت عناصر سنگین در ایستگاه های

نمونه برداری بعد از سد زاینده رود تأثیر کاربری های کشاورزی و باغداری و در ایستگاه های انتهایی نشان دهنده احتمال تأثیر پساب کارخانه ذوب آهن و مراکز تغلیظ فلزات بر آب رودخانه است. در مورد همه عناصر در ایستگاه های میانی کاهش نسبی عناصر را نسبت به ایستگاه های ابتدایی و انتهایی شاهد بودیم که شاید به دلیل کاهش فعالیت کشاورزی و صنعتی در اراضی مشرف به رودخانه و همچنین خاصیت خودپالایی رودخانه پس از آلودگی بوده است.

منابع

۱. آخوندی آ. نظری ع. و نخعی م. ۱۳۸۹. پهنه بندی کیفی رودخانه قمرود با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی. همایش ملی آب پاک دانشگاه صنعت آب و برق.
۲. اوستان ش. ۱۳۸۳. شیمی خاک. ترجمه، انتشارات دانشگاه تبریز. ۴۱۷ ص.

13. Varol M. and Şen B. 2012. Assessment of nutrient and heavy metal contamination in surface water and sediments of the upper Tigris River, Turkey. *Catena*. 92: 1-10.
14. Wang C. Liu S. Zhao Q. Deng L. and Dong Sh. 2012. Spatial variation and contamination assessment of heavy metals in sediments in the Manwan Reservoir, Lancang River. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 82: 32-39.
15. Yang H. and Rose N. 2005. Trace element pollution records in some UK lake sediments, their history, influence factors and regional differences. *J. Environment International*. 31: 63-75.
16. Ye-Na S. Jun L. Ding-Jiang C. and Yi-Ming S. 2011. Response of stream pollution characteristics to catchment land Cover in Cao-E River basin, China. *Pedosphere*. 21: 15-123.
17. Zhao S. Feng C. Quan W. Chen X. Niu J. and Shen Z. 2012. Role of living environments in the accumulation characteristics of heavy metals in fishes and crabs in the Yangtze River Estuary, China. *Marine Pollution Bulletin*. 64: 1163-1171.
18. Zhang C. Qiao Q. Piper J. D. A. and Huang B. 2011. Assessment of heavy metal pollution from a Fe-smelting plant in urban river sediments using environmental magnetic and geochemical methods. *Environmental Pollution*. 159: 3057-3070.
۳. جوهری م. ۱۳۸۸. گردش علمی در ایران. زاینده رود. نشریه اطلاعات علمی. ۲۳: ۴۲-۴۴
۴. خوش اقبال م. غضبان ف. شریفی ف. و خسروتهرانی خ. ۱۳۹۰. استفاده از زمین آمار و GIS در پهنه بندی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات تالاب انزلی. فصلنامه زمین. ۶(۱۹): ۳۳-۴۸
۵. سبزیبایی ن. ۱۳۷۵. آلودگی رسوبات زاینده رود توسط فلزات سنگین و شناسایی منابع آلاینده. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی اصفهان. ۱۲۰ ص.
۶. صمدی م. ت. ساقی م. ح. رحمانی ع. و ترابزاده ح. ۱۳۸۸. پهنه بندی کیفی آب رودخانه دره مرادیبک همدان بر اساس شاخص NSFQI و بهره گیری از سامانه اطلاعات جغرافیایی. مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی همدان. ۱۶(۳): ۳۸-۴۲.
۷. مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران. ۱۳۸۸. ویژگی های فیزیکی و شیمیایی آب آشامیدنی. شماره ۱۰۵۳ تجدید نظر پنجم. مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران. ۲۶ ص.
۸. نمازی ریزی. ن. ۱۳۹۲. تغییرات مکانی و زمانی برخی از عناصر سنگین در غبارات اتمسفری منطقه لنجان اصفهان. پایان نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، گرایش پیدایش و طبقه بندی خاک، دانشگاه شهرکرد. ۱۳۵ ص.
۹. وهابزاده ع. ۱۳۷۲. مبانی محیط زیست. چاپ اول، جهاد دانشگاهی مشهد. ۳۴۴ ص.
10. Hoaba C. Remacel J. Dubios D. and thorez J. 1983. Factors affecting on concentration of cadmium, zinc, copper and lead in the sediments of the Vender River. *Water Research*. 17: 1281-1286.
11. Sposito G. Land L. J. and Chang A. C. 1982. Trace metal chemistry in arid zone field soils amended sewage sludge: I. fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd, and Pb in solid phases. *Soil Science Society of America*. 46: 260-264.
12. U.S. Geological Survey. 1978. National Handbook of Recommended Methods for Water Data Acquisition, Reston, Virginia, USA.