اولین همایش ملی جغرافیا، محیط زیست، امنیت و گردشگری
۲۹ -۳۰ دی ماه ۱۳۹۵، دانشگاه بزرگمهرقائنات

بررسی و پایش آلودگی آب رودخانه های مجاور شهرها به فلزات سنگین (مطالعه موردی: رودخانه فصلی کشف‌رود)

پویان لقایی افشار[۱]، محمدتقی دستورانی[۲*]، محمود آذری[۳]، محمد فرزام[۴]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استاد دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد (نویسنده مسئول)

۳- استادیار دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد

۴- دانشیار دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد

dastorani@um.ac.ir *

چکیده

در حال حاضر اکثر رودخانه‌های کشور تحت تاثیر انواع دخالت‌های انسانی می‌باشند که باعث بروز انواع آلودگی‌ها و نیز تغییر و تخریب رودخانه‌ها شده است. فلزات سنگین یکی از گروه‌های اصلی آلاینده‌ها می‌باشد که تاثیر قابل توجهی بر تخریب اکوسیستم رودخانه دارد. بنابراین با توجه به تاثیرات آلاینده‌های فلزات سنگین بر اکوسیستم رودخانه و محیط زیست، در این تحقیق به بررسی میزان آلودگی آب رودخانه کشف‌رود به فلزات سنگین پرداخته شده است. در تحقیق حاضر از ۴ ایستگاه در طول بازه اصلی رودخانه یا شاخه‌های فرعی آن به روش انتگراسیون عمقی نمونه‌برداری گردید و سپس در آزمایشگاه از روش ICP-MS جهت تعیین غلظت فلزات سنگین استفاده شد. در نهایت به منظور ارزیابی میزان آلودگی آب رودخانه، مقادیر مربوط به نتیجه آزمایشات با استانداردهای معتبر جهانی مقایسه گردید. نتایج نشان‌دهنده این است که غلظت عناصر سنگین مورد مطالعه در آب رودخانه در هیچ یک از مقاطع مورد بررسی از حدود مجاز استاندارد آن‌ها برای تخلیه به آب‌های سطحی، چاه‌های جاذب و مصارف مربوط به کشاورزی و آبیاری محصولات کشاورزی، تجاوز ننموده است.

کلمات کلیدی: آلودگی محیط زیست, رودخانه کشف‌رود, فلزات سنگین, کیفیت آب

مقدمه

رودخانه‌ها یکی از معدود پدیده‌هایی هستند که تاثیر ویژه‌ای در زندگی بشر و شکل‌گیری تمدن‌های مختلف داشته‌اند و همواره آن‌ها را از نعمت آب و زندگی در اراضی حاشیه خود بهره‌مند ساخته‌اند (عباسی، ۱۳۹۲). اما در حال حاضر اکثر رودخانه‌های کشور تحت تاثیر انواع دخالت‌های انسانی می‌باشند که باعث بروز انواع آلودگی‌ها، تغییر و تخریب رودخانه‌ها شده است. از مهم‌ترین این عوامل می‌توان به آلودگی‌های ناشی از فاضلاب‌های صنعتی، شهری، روستایی، آلودگی‌های ناشی از تخلیه سموم مورد استفاده در کشاورزی، برداشت بی‌رویه آب رودخانه و تخریب پوشش گیاهی، احداث سدها و موانع زیر پل‌ها، مسدود شدن دهانه رودخانه و صید غیر مجاز اشاره نمود (وطن دوست، ۱۳۸۵). عوامل اصلی در آلودگی آب رودخانه کشف‌رود شامل پساب تولیدی (پساب خانگی- صنعتی) تعداد قابل ملاحظه‌ای از روستاهای واقع در حاشیه رودخانه کشف‌رود، تخلیه پساب‌های خانگی جوامع ساکن در شهر بزرگ مشهد بعد از تصفیه بر روی این رودخانه، تخلیه پساب صنایع مختلف از طریق تانکرهای لجن‌کش، کارگاه‌های برداشت منابع معدنی حاشیه این رودخانه که موجب افزایش شدید املاح رودخانه کشف‌رود می‌گردد، آلودگی ناشی از ورود پساب‌های کشاورزی شامل مازاد سموم و کودهای شیمیایی به این رودخانه (مهندسین مشاور خزرآب، ۱۳۸۵) و افزایش فرسایش در سطح حوزه آبخیز این رودخانه که موجب گل آلودگی و افزایش کدورت آب رودخانه می‌گردد، می‌باشد. فلزات سنگین گروه اصلی آلاینده‌های معدنی هستند و به علت استفاده از لجن یا کمپوست حاصل از زوائد شهری، آفت‌کش‌ها و کودهای شیمیایی و نیز از طریق زباله سوزهای شهری، اگزوز اتومبیل‌ها، پسماندهای ناشی از معادن استخراج فلزات و صنایع ذوب فلزات در محیط منتشر شده و آلودگی بخش قابل توجهی از زمین را سبب می‌شوند (Halim و همکاران، ۲۰۰۳). رها سازی فلزات سنگین مانند کرم، نیکل، سرب، روی، مس و ... باعث کاهش قدرت خودپالایی آب و مرگ و میر آبزیان می‌شود (وطن دوست، ۱۳۸۵). همچنین حضور بیش از حد آنها در خاک سبب آسیب به گیاهان می‌گردد. بسیاری از عناصر شیمیائی موجود در فاضلاب وقتی بیش از حد مجاز در اندام‌های گیاهان تجمع پیدا می‌کنند می‌توانند برای انسان و حیوانات و بطور کلی برای محیط زیست خطرناک و سمی باشند (گلباشی و همکاران، ۱۳۸۸). سلاجقه و همکاران (۱۳۹۰)، در مطالعات خود در ارتباط با تغییرات کاربری اراضی و آثار آن بر کیفیت آب رودخانه در حوزه آبخیز کرخه دریافتند که فلزات سنگین تمایل به تجمع در رسوبات سطحی دارند، در نتیجه این فرآیند، غلظت فلزات در اعضای بالاتر زنجیره می‌تواند تا چندین برابر غلظت آن‌ها در محیط آب یا هوا افزایش یابد و سلامتی گیاهان و جانورانی را که از این مواد غذایی استفاده می‌کنند، به خطر اندازد. محلول‌های حاصل از ترکیبات فلزی به آب‌های سطحی و غیرسطحی می‌پیوندند که هرگونه آلودگی رواناب‌های سطحی در بالادست، آثار نامطلوب زیادی در پایین دست برجای می‌گذارد. Olias و همکاران (۲۰۰۶)، انتقال آلاینده‌های محلول توسط رودخانه‌های Tinto و Odiel واقع در جنوب غرب اسپانیا را مورد بررسی قرار دادند و بیان داشتند که مقدار انتقال سالانه فلزات سنگین در این رودخانه‌ها به رژیم بارش بستگی دارد. همچنین همبستگی زیادی بین غلظت هر عنصر و بارش سالانه وجود دارد. صمدی و همکاران (۱۳۸۸)، غلظت فلزات سنگین آب را در طول رودخانه دره مرادبیک در استان همدان مورد پایش قرار دادند. نتایج حاکی از آن بوده است که غلظت عناصر سنگین در برخی از ایستگاه‌های نمونه‌برداری از استانداردهای کیفی فاضلاب‌های تصفیه شده مورد استفاده در آبیاری (WHO) بالاتر می‌باشد، که فعالیت‌های شهری و صنعتی در محدوده حوزه آبخیز این رودخانه را

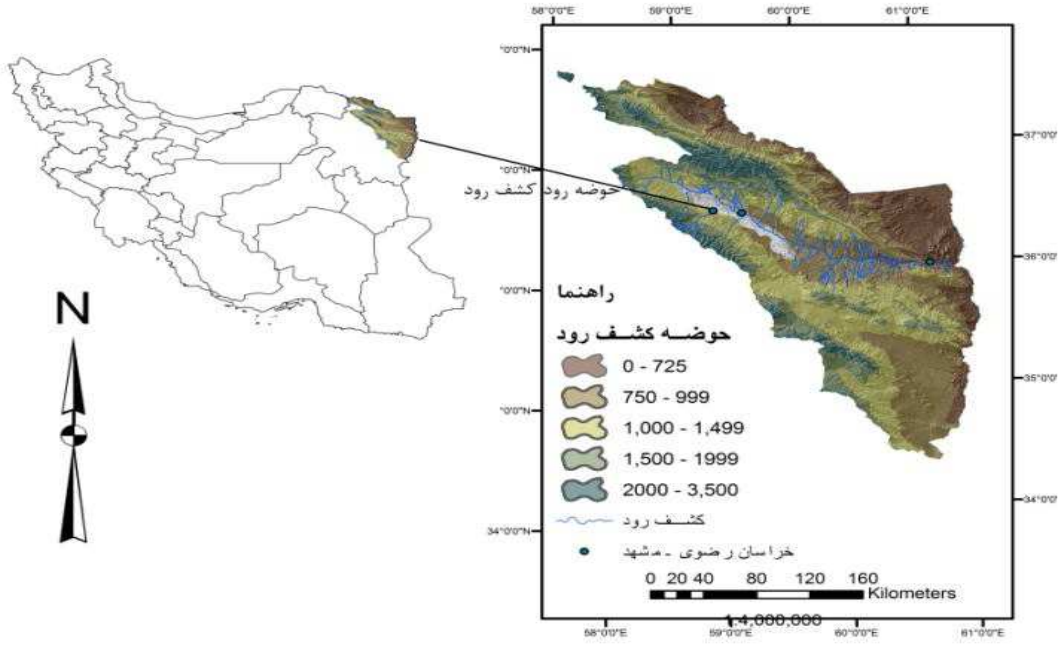
اصلی‌ترین منشاء آلایندگی آن دانسته‌اند. در همین حال تخلیه فاضلاب‌های شهری، روستایی و صنعتی و همچنین تخلیه مواد زائد جامد به این رودخانه که پیوسته روند فزونی دارد، آلودگی رودخانه را افزایش می‌دهد. رجایی و همکاران (۱۳۹۱)، غلظت فلزات سنگین روی، سرب، کروم و کادمیوم را در آب و رسوب خلیج گرگان و مصب رودخانه گرگان‌رود مورد بررسی قرار دادند. نمونه‌برداری به تعداد ۳۰ نمونه (۱۵ نمونه آب و ۱۵ نمونه رسوب) از ۵ ایستگاه صورت گرفت که مقایسه نتایج آنالیز غلظت فلزات سنگین مورد مطالعه در مقاطع نمونه‌برداری با مقدار حد مجاز آن‌ها در آب نشان داد که میزان کروم و کادمیوم در زمان انجام تحقیق بیشتر از حد مجاز سازمان بهداشت جهانی (WHO) برای آبیاری محصولات کشاورزی است. جلیلی و همکاران (۱۳۸۵)، غلظت فلزات سنگین سرب، روی و کادمیوم را در آب رودخانه مند واقع در حوزه آبریز خلیج فارس و دریای عمان در ۵ ایستگاه در طول رودخانه، در ۳ مرحله و به فاصله زمانی یک هفته مورد اندازه‌گیری قرار دادند. مقایسه نتایج حاصل از این پژوهش با استانداردهای جهانی (WHO در ارتباط با آبیاری محصولات کشاورزی) نشان داد که غلظت متوسط فلزات سرب و روی در تمامی ایستگاه‌ها پایین‌تر از حد مجاز می‌باشد، اما غلظت عنصر کادمیوم در هر ۵ ایستگاه بالاتر از حدود مجاز WHO است. بابائی و همکاران (۱۳۸۹)، آلودگی زیست محیطی فلزات سنگین مس، روی، آهن، نیکل، سرب، کروم، کادمیوم، کبالت و جیوه را در آب رودخانه گاماسیاب در استان همدان در ۶ ایستگاه مطالعاتی در طول رودخانه و در طی ۵ مرحله مورد بررسی قرار دادند، که نتایج حاصل از آنالیز غلظت فلزات سنگین فوق نشان می‌دهد که غلظت تمام این عناصر بجز عنصر مس پائین‌تر از حد مجاز جهت استفاده آبزی پروری می‌باشد. چنانچه نتایج حاصل با معیار سازمان بهداشت جهانی (W.H.O) مورد مقایسه قرار گیرد، ملاحظه می‌شود که غلظت فلزات به‌دست آمده در این مطالعه پایین‌تر از استاندارد توصیه شده می‌باشد و جهت آبیاری محصولات کشاورزی نیز محدودیتی ندارد. حسینی زارع (۱۳۸۷)، غلظت فلزات سنگین کروم، سرب، کادمیوم، مس، روی، منگنز و آهن را در آب رودخانه کارون در محل‌های ورودی به تصفیه خانه‌های آب شرب اهواز و حومه، مورد بررسی قرار داد و نتایج حاصله را با استانداردهای داخلی و بین‌المللی نظیر استانداردهای EPA، WHO و استاندارد شماره ۱۰۵۳ وزارت نیرو مقایسه نمود. با توجه به نتایج حاصله میانگین مقدار سرب در کلیه ایستگاه‌های مطالعاتی از استاندارد WHO بیشتر بوده است. همچنین میانگین مقدار منگنز نیز از استاندارد EPA بیشتر نشان داد که حاکی از تخلیه ناگهانی و موردی پساب‌های حاوی عناصر مذکور به رودخانه می‌باشد که این مهم در مواقع کم‌آبی بیشتر آشکار می‌گردد. اما برای سایر فلزات مورد بررسی میانگین از حدود استانداردهای فوق‌الذکر کمتر بود. صادقی و همکاران (۱۳۹۳)، کیفیت شیمیایی و میکروبی آب رودخانه کشکان پل دختر در استان لرستان را در طی یک دوره شش ماهه مورد بررسی قرار دادند. نمونه‌برداری در هر ماه از یک مقطع مشخص در بازه اصلی رودخانه انجام شد و نتایج حاصل با استاندارد WHO (سازمان بهداشت جهانی) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج حاصل از این مطالعه بیانگر آن است که غلظت تمامی عناصر سنگین مورد مطالعه به غیر از کادمیوم و سرب در تمامی ماه‌های نمونه‌برداری پایین‌تر از حد مجاز استاندارد WHO برای آبیاری بود. مدرس و همکاران (۱۳۹۱)، غلظت عناصر سرب، کروم و جیوه را در آب رودخانه کشف‌رود در طول بازه اصلی این رودخانه و در محل ۵ ایستگاه پل فردوسی، پرکندآباد، سیس‌آباد، همت‌آباد و التیمور در بهار سال ۱۳۹۱ مورد اندازه‌گیری قرار دادند و اختلاف میانگین غلظت هر فلز سنگین در نمونه‌های آب را با حداکثر مجاز آن برای

مقاصد آشامیدن، آبیاری و حیات آبزیان به‌وسیله آزمون t-student (در سطح اطمینان ٪۹۵)، مقایسه نمودند. نتایج نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌داری بین غلظت سرب در آب رودخانه و حداکثر مجاز آن برای مقاصد آشامیدن، کشاورزی و حیات آبزیان وجود دارد و میزان سرب در تمامی ایستگاه‌ها پایین‌تر از حد مجاز می‌باشد. در ارتباط با کروم نیز در تمامی ایستگاه‌ها غلظت آن در آب رودخانه پایین‌تر از حداکثر مجاز برای مقاصد آشامیدن، کشاورزی و حیات آبزیان می‌باشد و اختلاف معنی‌داری در سطح ٪۹۵ در این زمینه وجود دارد، که این امر نشان دهنده میزان نسبتا پایین کروم در آب رودخانه می‌باشد. اما میزان جیوه به‌طور معنی‌داری از حداکثر مجاز برای مقاصد آشامیدن به‌جز ایستگاه ۲ (پرکندآباد) بالاتر می‌باشد که یکی از دلایل افزایش جیوه در آب سموم رها شده از زمین‌های کشاورزی اطراف رودخانه به‌ویژه در منطقه التیمور و همچنین صنایع و کارگاه‌های قالیشویی در این منطقه می‌باشد. اما در ارتباط با مصارف کشاورزی و حیات آبزیان محدودیتی در هیچ یک از ایستگاه‌ها وجود ندارد و غلظت جیوه در تمامی ایستگاه‌ها به‌طور معنی‌داری پایین‌تر از حد مجاز آن می‌باشد. با توجه به مطالب فوق و ضرورت پایش مستمر کیفیت آب رودخانه‌ها به‌منظور استفاده از آن‌ها در مصارف مختلف از قبیل کشاورزی و شرب و همچنین تاثیرات آلاینده‌های فلزات سنگین بر اکوسیستم رودخانه و محیط زیست، در این تحقیق به بررسی میزان آلودگی آب رودخانه کشف‌رود به فلزات سنگین پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

۱– موقعیت منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه حوضه کشف‌رود است که در شمال شرق کشور و در شمال استان خراسان بین طول‌های جغرافیایی ۵۸ درجه و ۲ دقیقه تا ۶۰ درجه و ۸ دقیقه و عرض‌های جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳ دقیقه قرار دارد (شکل۱). وسعت کل حوضه آبخیز کشف‌رود در حدود ۱۶۵۰۰ کیلومتر مربع است که ۵۰۰۰ کیلومتر مربع آن را دشت و بقیه آن را ارتفاعات تشکیل می‌دهد. میانگین دما در این منطقه ۱۳/۶ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش سالانه برابر با ۲۲۰ میلی متر می باشد. در مناطق کوهستانی میانگین بارش از این مقدار بیشتر می‌باشد بطوری که به ۳۲۴ میلی‌متر می‌رسد. میانگین تبخیر و تعرق سالانه برابر با ۷۳۵ میلی‌متر و اقلیم این منطقه خشک و سرد است (سیاری و همکاران، ۱۳۹۰).



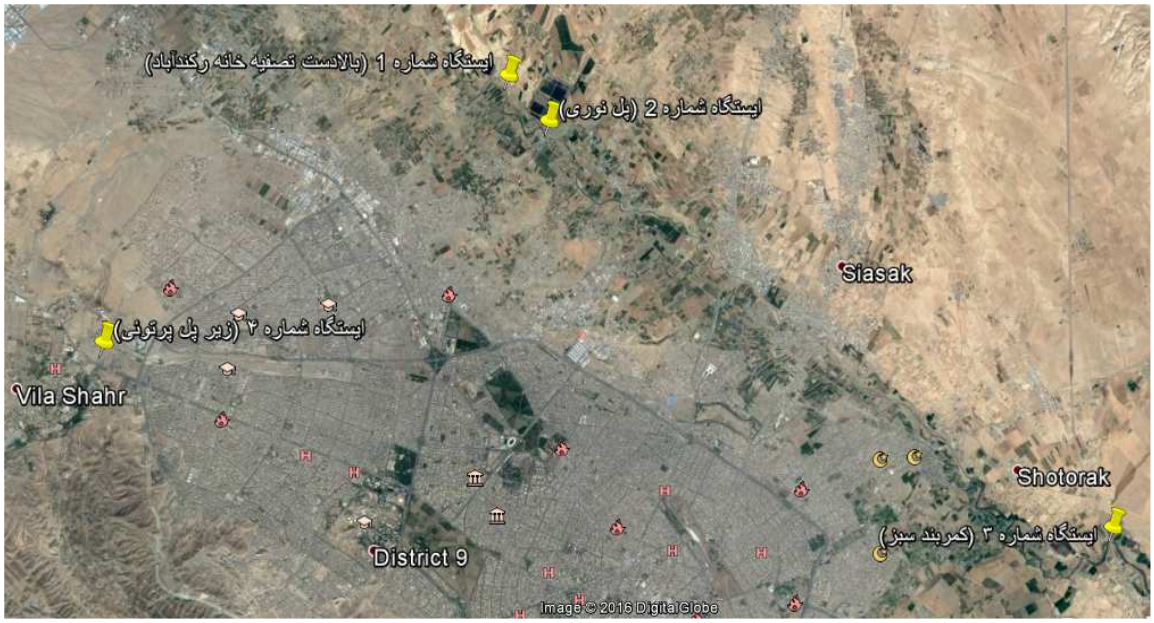
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز کشف‌رود

۲- انتخاب ایستگاه‌های نمونه‌برداری

بر اساس مطالعات اولیه و بررسی‌های صحرایی و با در نظر گرفتن چندین پارامتر شامل: توزیع منابع آلودگی، محل قرارگیری صنایع و تخلیه فاضلاب و پساب‌های شهری و صنعتی به رودخانه، ۴ ایستگاه برای نمونه‌برداری در طول بازه اصلی رودخانه یا شاخه‌های فرعی آن انتخاب شد (جدول ۱). ایستگاه شماره ۴ به عنوان شاهد (زیر پل پرتوئی) به علت عدم وجود منابع جدی آلوده کننده در بالادست آن، در نظر گرفته شد. محل هر یک از ایستگاه‌های نمونه‌برداری بر روی نقشه در شکل ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱- موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه در طول مسیر رودخانه یا شاخه‌های فرعی

ایستگاه‌ها	موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه		
	عرض جغرافیائی	طول جغرافیائی	فاصله از ایستگاه بالادست (متر)
۱	۳۶°۲۴′۲۹″	۵۹°۳۴′۰۵″	-
۲	۳۶°۲۳′۵۱″	۵۹°۳۴′۴۹″	۱۶۱۸
۳	۳۶°۱۸′۰۹″	۵۹°۴۵′۰۴″	۱۸۶۱۲
۴	۳۶°۲۰′۴۵″	۵۹°۲۶′۵۶″	واقع در یکی از شاخه‌های فرعی



شکل ۲- نقشه محل ایستگاه‌های نمونه‌برداری

۳- نمونه برداری از آب

ابتدا از منطقه مورد نظر جهت نمونه‌برداری از آب، بازدید میدانی به عمل آمد. با توجه به این‌که رودخانه کشف‌رود یک رودخانه فصلی است و در فصول تابستان و پاییز بیشتر مقاطع رودخانه دارای جریان بسیار کم یا عمدتا فاقد جریان می‌باشند، بنابراین در این مطالعه فقط در فصول زمستان و بهار در مقاطع مشخصی از آب رودخانه نمونه‌برداری به‌عمل آمد. در این تحقیق مجموعا ۸ نمونه آب با ۲ تکرار در تاریخ‌های ۲۴ اسفندماه سال ۱۳۹۴ و ۲۴ خردادماه سال ۱۳۹۵ از ۴ مقطع مختلف در طول بازه اصلی رودخانه کشف رود یا شاخه‌های فرعی آن به روش انتگراسیون عمقی گرفته شد. جهت از بین بردن و کاهش خطا، ازظروف پلی اتیلنی ۱ لیتری که به مدت ۴۸ ساعت در محلول اسید نیتریک ۱۰ درصد غوطه‌ور شده و سپس با آب مقطر شستشو داده شده بود، جهت نمونه برداری استفاده گردید (MacFarlane و همکاران، ۲۰۰۳). سپس به هر ظرف یک تا دو میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ جهت ایجاد محیط اسیدی (pH<۲) و جلوگیری از ته‌نشین شدن فلزات سنگین اضافه گردید و تا زمان ارسال به آزمایشگاه در یخچال و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد و در نهایت با رعایت شرایط استاندارد، نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل گردید.

۴- تعیین غلظت عناصر سنگین مورد مطالعه در نمونه‌های آب

در آزمایشگاه از روش ICP-MS (Inductive coupled plasma-Mass spectrometry) جهت تعیین غلظت فلزات سنگین آرسنیک، بور، کادمیوم، کبالت، کروم، مس، آهن، منگنز، نیکل، سرب، روی و جیوه استفاده شد. برای مطالعه آلودگی رودخانه‌ها و تعیین میزان و درجه سمیت عناصر سنگین مختلف، لازم است تا از استانداردهای معتبر جهانی استفاده شود (Kabata و همکاران، ۲۰۰۷).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از اندازه‌گیری غلظت عناصر سنگین مورد مطالعه در مقاطع مورد بررسی از رودخانه کشف‌رود در جداول ۲ و ۳ به‌ترتیب برای اسفند ماه ۱۳۹۴ و خرداد ماه ۱۳۹۵ نشان داده شده است. در مقایسه دو فصل زمستان و بهار می‌توان بیان داشت که در فصل زمستان بیشترین غلظت مربوط به عنصر آهن در ایستگاه سوم و کمترین غلظت مربوط به عناصر آرسنیک، کروم، کادمیوم، کبالت، منگنز، نیکل، سرب و روی است که در بعضی از ایستگاه‌ها و به‌ویژه ایستگاه چهارم کمتر از حد قابل تشخیص دستگاه ICP بوده است. در فصل بهار نیز بیشترین غلظت مربوط به عنصر آهن در ایستگاه سوم و کمترین غلظت مربوط به عناصر آرسنیک، کادمیوم، کبالت، سرب، روی و جیوه می‌باشد که در اکثر ایستگاه‌ها کمتر از حد قابل تشخیص دستگاه ICP بوده است.

جدول ۲- نتایج آنالیز غلظت عناصر سنگین مورد مطالعه در نمونه‌برداری از آب رودخانه در مقاطع مورد بررسی در اسفندماه ۱۳۹۴

عناصر سنگین مورد مطالعه	ایستگاه‌های مورد مطالعه			
	ایستگاه اول	ایستگاه دوم	ایستگاه سوم	ایستگاه چهارم
آرسنیک (mg/l)	۰/۰۰۳	LLD	LLD	LLD
بور (mg/l)	۰/۱۹۵	۰/۰۶۱	۰/۰۵۳	۰/۰۳۸
کادمیوم (mg/l)	۰/۰۰۴	۰/۰۰۱	LLD	LLD
کبالت (mg/l)	۰/۰۰۱	LLD	۰/۰۰۲	LLD
کروم (mg/l)	LLD	LLD	LLD	LLD
مس (mg/l)	۰/۰۲۲	۰/۰۳۶	۰/۰۲۳	۰/۰۲۰
آهن (mg/l)	۰/۰۳۶	۰/۱۴۷	۰/۶۸۴	۰/۱۰۹
منگنز (mg/l)	۰/۰۲۶	۰/۰۴۸	۰/۰۷۳	LLD
نیکل (mg/l)	۰/۰۰۹	۰/۰۱۷	۰/۰۱۵	LLD
سرب (mg/l)	۰/۰۵۰	۰/۰۲۵	LLD	LLD
روی (mg/l)	LLD	۰/۱۴۵	۰/۰۴۹	LLD
جیوه (mg/l)	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	LLD	۰/۰۰۲

*LLD = پایین‌تر از حد قابل تشخیص دستگاه

جدول ۳- نتایج آنالیز غلظت عناصر سنگین مورد مطالعه در نمونه‌برداری از آب رودخانه در مقاطع مورد بررسی در خردادماه ۱۳۹۵

عناصر سنگین مورد مطالعه	ایستگاه‌های مورد مطالعه			
	ایستگاه اول	ایستگاه دوم	ایستگاه سوم	ایستگاه چهارم
آرسنیک (mg/l)	LLD	۰/۰۰۴	۰/۰۰۸	LLD
بور (mg/l)	۰/۰۲۵	۰/۰۴۲	۰/۰۷۴	۰/۰۲۴
کادمیوم (mg/l)	LLD	LLD	LLD	LLD

کبالت (mg/l)	LLD	۰/۰۰۱	LLD	LLD
کروم (mg/l)	۰/۰۲۴	۰/۰۲۱	۰/۰۳۲	۰/۰۱۵
مس (mg/l)	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۷
آهن (mg/l)	۰/۳۳۰	۰/۳۸۸	۰/۵۰۷	۰/۰۲۳
منگنز (mg/l)	۰/۰۳۶	۰/۰۵۹	۰/۱۲۶	۰/۰۱۶
نیکل (mg/l)	۰/۰۱۸	۰/۰۲۲	۰/۰۳۰	۰/۰۱۲
سرب (mg/l)	LLD	LLD	LLD	LLD
روی (mg/l)	LLD	LLD	LLD	LLD
جیوه (mg/l)	LLD	LLD	LLD	LLD

*LLD = پایین‌تر از حد قابل تشخیص دستگاه

با توجه به جداول ۲ و ۳ چنانچه مشاهده می‌شود غلظت عناصر بور (B)، کادمیوم (Cd)، کبالت (Co)، مس (Cu)، سرب (Pb)، روی (Zn) و جیوه (Hg) در آب رودخانه در اکثر ایستگاه‌های نمونه‌برداری در فصل بهار نسبت به فصل زمستان، کاهش یافته است. اما مقادیر فلزات آرسنیک (As)، کروم (Cr)، منگنز (Mn) و نیکل (Ni) تقریبا در تمامی ایستگاه‌ها در فصل بهار نسبت به فصل زمستان، افزایش پیدا کرده است. در فصل زمستان بیشترین مقادیر اندازه‌گیری شده عنصر آرسنیک (As) مربوط به ایستگاه شماره ۱ بوده است و در سایر ایستگاه‌ها غلظت این عنصر کمتر از حد قابل تشخیص دستگاه ICP و بسیار ناچیز می‌باشد. بیشترین مقادیر عنصر بور (B) نیز مربوط به ایستگاه اول است در حالی که کمترین غلظت آن در ایستگاه چهارم به ثبت رسیده است. کادمیوم (Cd) در ایستگاه شماره ۱ دارای بیشترین غلظت و در ایستگاه‌های شماره ۳ و ۴ دارای مقادیر بسیار ناچیز و پایین‌تر از حد قابل تشخیص دستگاه بوده است. کبالت (Co) در ایستگاه سوم بیشترین غلظت و در ایستگاه‌های دوم و چهارم کمترین غلظت را دارا بوده است. مقادیر فلز کروم (Cr) در تمامی ایستگاه‌ها بسیار ناچیز و پایین‌تر از حد قابل تشخیص دستگاه می‌باشد. بیشترین غلظت عناصر مس (Cu) و نیکل (Ni) مربوط به ایستگاه دوم و کمترین غلظت آن‌ها مربوط به ایستگاه چهارم بوده است. بیشترین مقادیر عنصر آهن (Fe) مربوط به ایستگاه شماره ۳ و کمترین مقادیر آن مربوط به ایستگاه شماره ۱ می‌باشد. منگنز (Mn) در ایستگاه شماره ۳ دارای بیشترین غلظت بوده است در حالی که مقادیر آن در ایستگاه شماره ۴ بسیار ناچیز و کمتر از حد قابل تشخیص دستگاه بوده است. بیشترین مقادیر فلز سرب (Pb) در ایستگاه شماره ۱ و کمترین مقادیر آن در ایستگاه‌های شماره ۳ و ۴ به ثبت رسیده است که بسیار ناچیز و کمتر از حد قابل تشخیص دستگاه بوده است. فلز روی (Zn) نیز در ایستگاه دوم دارای بیشترین غلظت میانگین و در ایستگاه‌های اول و چهارم دارای کمترین غلظت بوده است. نهایتا عنصر جیوه (Hg) در ایستگاه‌های دوم و چهارم دارای بیشترین غلظت و در ایستگاه سوم کمترین غلظت را دارا بوده است به نحوی که مقادیر آن در این ایستگاه بسیار ناچیز و کمتر از حد قابل تشخیص دستگاه بوده است. اما در فصل بهار بیشترین مقادیر اندازه‌گیری شده عنصر آرسنیک (As) مربوط به ایستگاه سوم و کمترین مقادیر آن مربوط به ایستگاه‌های اول و چهارم می‌باشد که بسیار ناچیز و کمتر از حد قابل تشخیص دستگاه ICP بوده است. مقادیر عنصر

کبالت (Co) در ایستگاه شماره ۲ بیشترین و در ایستگاه‌های شماره ۱، ۳ و ۴ بسیار ناچیز و کمتر از حد قابل تشخیص دستگاه بوده است. بیشترین مقادیر عنصر مس (Cu) در ایستگاه چهارم و کمترین مقادیر آن در ایستگاه سوم به ثبت رسیده است. عناصر بور (B)، کروم (Cr)، آهن (Fe)، منگنز (Mn) و نیکل (Ni) در ایستگاه سوم دارای بیشترین غلظت و در ایستگاه چهارم کمترین غلظت را دارا بوده‌اند. این در حالی است که مقادیر عناصر کادمیوم (Cd)، سرب (Pb)، روی (Zn) و جیوه (Hg) در تمامی ایستگاه‌های نمونه‌برداری بسیار ناچیز و کمتر از حد قابل تشخیص دستگاه ICP بوده است.

بر اساس استانداردهای تعیین شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست در رابطه با غلظت عناصر سنگین موجود در آب‌های ورودی به جریان‌های سطحی، چاه‌های جاذب و مصارف مربوط به کشاورزی و آبیاری، غلظت هیچ یک از عناصر سنگین مورد مطالعه در مقاطع مورد بررسی از رودخانه کشف‌رود از استانداردهای مذکور تجاوز ننموده است و چنانچه کیفیت شیمیایی آب این رودخانه از منظر سایر پارامترهای مهم و با اهمیت مانند غلظت انواع آنیون و کاتیون‌ها و همچنین پارامترهایی از قبیل DO، BOD و COD از استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست تجاوز نکرده باشد، استفاده از این آب برای مصارف مذکور بلامانع است. مقایسه نتایج حاصله با استانداردهای کیفی فاضلاب‌های تصفیه شده مورد استفاده در آبیاری (WHO) نیز بیانگر آن است که غلظت هیچ یک از فلزات سنگین مورد مطالعه در هیچ یک از مقاطع و ایستگاه‌های نمونه‌برداری از حدود مجاز استاندارد مذکور تجاوز ننموده است. لازم به ذکر است که نتایج حاصل از این مطالعه با یافته‌های مدرس و همکاران (۱۳۹۱) در خصوص بررسی غلظت عناصر سرب و کروم در آب رودخانه کشف‌رود و مقایسه آن با استانداردهای موجود در رابطه با آبیاری محصولات کشاورزی، مطابقت دارد.

بر اساس پژوهش حاضر و غالب مطالعات صورت گرفته در این زمینه، در حال حاضر در رودخانه کشف‌رود و سایر رودخانه‌های با اهمیت کشور، تقریبا غلظت تمامی فلزات سنگین مورد مطالعه پایین‌تر از حد مجاز استاندارد آن‌ها (WHO) برای مصارف کشاورزی بوده است. اما با توجه به ادامه روند تخلیه آلاینده‌های سمی به رودخانه کشف‌رود، پتانسیل زیادی جهت افزایش سریع و تجمعی غلظت عناصر سنگین سمی و رسیدن مقادیر آن‌ها به حد بحرانی وجود دارد. لذا به‌منظور پیشگیری از آلودگی بیشتر این رودخانه به عناصر سنگین پیشنهادهای زیر ارائه می‌گردد.

۱- تعبیه سیستم‌های مناسب و کارآمد به‌منظور جمع‌آوری فاضلاب‌های روستایی و پساب‌های صنعتی و جلوگیری از تخلیه آن‌ها به رودخانه.

۲- ارائه آموزش‌ها و دستورالعمل‌های لازم به کشاورزان و روستاییان به‌منظور کنترل میزان کود و سموم مصرفی.

۳- جمع‌آوری زباله‌های موجود در حاشیه رودخانه و وضع قوانین سخت‌گیرانه توسط ارگان‌ها و نهادهای زیربط برای جلوگیری از تخلیه هر گونه زباله در این نواحی.

۴- کاهش مصرف سموم زراعی و جایگزینی آن با روش‌های بیولوژیکی برای مبارزه با آفات.

مراجع

۱. بابائی، ه.، خداپرست، س. ح.، میرزاجانی، ع. ر. و نیک سرشت، ک.، (۱۳۸۹)، "بررسی آلودگی زیست محیطی فلزات سنگین در آب رودخانه گاماسیاب استان همدان،" نخستین کنفرانس پژوهشهای کاربردی منابع آب ایران، کرمانشاه، دانشگاه صنعتی کرمانشاه، ص ۸۱۴-۸۰۳.

۲. جلیلی، م. ه. و خاکپور، ا.، (۱۳۸۵)،" اندازه‌گیری فلزات سنگین سرب، روی و کادمیوم در رودخانه مند،" اولین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست، تهران، دانشگاه تهران، دانشکده محیط زیست، ص ۷۰۸-۶۹۶.

۳. حسینی زارع، ن.، (۱۳۸۷)، "بررسی فلزات سنگین رودخانه کارون درمحل های ورودی به تصفیه‌خانه‌های آب شرب اهواز و حومه،" دومین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران، ایران، ص ۱۵۱۸-۱۵۱۲.

۴. رجایی، ق.، حسن‌پور، م. و مهدی‌نژاد، م. ه.، (۱۳۹۱)،" بررسی غلظت فلزات سنگین روی، سرب، کروم و کادمیوم در آب و رسوب خلیج گرگان و مصب رودخانه گرگان‌رود،" مجله تحقیقات نظام سلامت،سال هشتم، شماره پنجم،آذر و دی ۱۳۹۱، ص ۷۵۶-۷۴۸.

۵. سلاجقه، ع.، رضوی زاده، س.، خراسانی، ن.ا.، حمیدی فر، م. و سلاجقه، س.، (۱۳۹۰)،" تغییرات کاربری اراضی و آثار آن بر کیفیت آب رودخانه (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کرخه)،" محیط شناسی، سال سی و هفتم، شماره ۵۸، تابستان ۹۰، صفحات ۸۶-۸۱.

۶. سیاری، ن.، علیزاده، ا.، بنایان اول، م.، فرید حسینی، ع.ر. و حسامی کرمانی، م.ر.، (۱۳۹۰)،"مقایسه دو مدل گردش عمومی جو (HadCM3 و CGCM2) در پیش بینی پارامترهای اقلیمی و نیاز آبی گیاهان تحت تغییراقلیم (مطالعه موردی: حوضه کشف‌رود)،" نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۵، شماره ۴، مهر – آبان ۱۳۹۰، ص ۹۲۵-۹۱۲.

۷. صادقی، م. و آذربانی، س.، (۱۳۹۳)،" بررسی کیفیت شیمیایی و میکروبی رودخانه کشکان پل‌دختر در استان لرستان،" هشتمین همایش ملی تخصصی زمین شناسی دانشگاه پیام نور، اراک، ایران، ص ۴۳۶-۴۲۹.

۸. صمدی، م. ت.، ساقی، م. ح.، یحیی پور، ز. ا. و ابوالقاضی، ف.، (۱۳۸۸)، "اندازه‌گیری و پایش فلزات سنگین در طول رودخانه دره‌مرادبیک همدان،" دومین همایش ملی و تخصصی پژوهش‌های محیط زیست ایران، انجمن ارزیابان محیط زیست هگمتانه، همدان، ایران، ص ۴۳-۳۸.

۹. عباسی، ع. ا.، (۱۳۹۲)، "بررسی و ارائه طرح کنترل فرسایش کناری رودخانه گوش و بهره در بالادست سد کارده،" پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سال ششم، شماره ۱۹، صفحات ۲۶-۱۷.

۱۰. گلباشی، م.، شریعتمداری، م. ح.، ضرابی، م.، آشفته بیدگی، م. و ظهوری، ع.، (۱۳۸۸)، " مطالعه مضرات استفاده از فاضلاب‌های شهری در بخش کشاورزی و تاثیر آن بر تجمع عناصر شیمیایی در اندام‌های مختلف گیاه،" همایش ملی انسان، محیط زیست و توسعه پایدار، باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان، ایران، ص ۱۴۹۴-۱۴۸۸.

۱۱. مدرس، م.، رضایی، م. ر. و ناصری، م. ع.، (۱۳۹۲)،"بررسی غلظت سرب، کروم و جیوه در رودخانه کشف‌رود، خاک و برخی محصولات کشاورزی،"مجله پژوهش آب در کشاورزی، ب، جلد ۲۷، شماره ۳، ۳۶۷-۳۵۹.

۱۲. مهندسین مشاور خزرآب.، (۱۳۸۵)، " مطالعات ارزیابی زیست محیطی طرح احداث سد مخزنی شوریجه،" ص ۵۵۰.

۱۳. وطن دوست، ص.، (۱۳۸۵)، " بررسی اثرات زیست محیطی فعالیت‌های انسانی بر روی رودخانه‌های شمال کشور با تاکید بر رودخانه تنکابن،" اولین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران، ایران، ص ۱۱۸۰-۱۱۷۰.

14. Halim, M., Conte, P. and Piccolo, A., (2003)," Potential availability of heavy metals to phytoextraction from contaminated soils induced by exogenous humic substances", Chemosphere, 52(1), pp 265–75.
15. Kabata pendias, A. and Mukherjee, A.B., (2007), "trace elements from soil to human," springer, Verlag, 561.
16. MacFarlane, G. R., Pulkownik, A. and Burchett, M. D., (2003), " Accumulation and distribution of heavy metals in the grey mangrove, Avicennia marina (Forsk.) Vierh", Biological indication potential, Environmental Pollution, 123, pp 139–151.
17. Olias, M., Canovas, C.R., Nieto, J.M. and Sarmiento, A.M., (2006)," Evaluation of the dissolved contaminant load transported by the Tinto and Odiel rivers (South West Spain)", Applied Geochemistry 21, pp 1733–1749.