

بررسی خودپالایی جذب فلزات سنگین در حوضه آبخیز کلیبرچای

علیرضا ایلدرمی^{۱*}، میرمهرداد میرسنجری^۲، رامین مهدی‌زاده^۳، محمد قربانی^۴

۱. دانشیار، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه ملایر

۲. استادیار، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه ملایر Mehrdadmirsanjari@yahoo.com

۳. کارشناسی‌ارشد، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه ملایر Ramin.mehdizadeh@yahoo.com

۴. کارشناسی‌ارشد، دانشکده انرژی و محیط‌زیست، واحد علوم و تحقیقات تهران Ghorbani.m26@gmail.com

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۸/۱۵

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۵/۰۴/۱۴

چکیده

فلزات سنگین به دلیل سمی بودن، زمان ماندگاری بالا و تجمع آنها از اهمیت اکولوژیکی زیادی برخوردارند. در این بررسی حوضه آبخیز رودخانه کلیبر چای آذربایجان طی عملیات میدانی، تعداد ۱۰ ایستگاه قبل و در محدوده و خارج از شهر انتخاب شد. به منظور بررسی فلزات سنگین از طیف سنجی اتمی (A.A.S) و برای انجام آزمون‌های آماری از نرم‌افزار spss و Excel برای آنالیز واریانس یک‌طرفه استفاده شد. نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌های رسوب، بیانگر آن است که ایستگاه ۵ بالاترین میزان سرب، ایستگاه ۷ (شهرک دانش) به دلیل ورود فاضلاب‌های خانگی و کودهای شیمیایی استفاده‌شده در باغ‌ها بالاترین میزان کادمیوم و مس، ایستگاه ۶ حداقل میزان سرب، ایستگاه ۲ حداقل میزان کادمیوم و ایستگاه ۳ حداقل میزان مس را نشان می‌دهد. نتایج حاصله از آنالیز نمونه‌های آب در ایستگاه‌های مختلف، نشان داد که بالاترین میزان سرب در ایستگاه ۱ و بالاترین میزان کادمیوم در ایستگاه ۲ و بالاترین میزان مس در ایستگاه ۸ مشاهده می‌شود. با توجه به کاهش قابل ملاحظه میزان عناصر سنگین در ایستگاه ۱۰ (خروجی) می‌توان نقش خودپالایی آب و رسوب را در جذب فلزات سنگین مشاهده کرد.

کلیدواژه

حوضه آبخیز، خودپالایی، رودخانه کلیبر، فلزات سنگین.

۱. سرآغاز

گیاهان حاصل از خاک‌های آلوده، هشداردهنده‌ترین علت آثار مضر فلزات بر سلامت انسان است (Cybulski et al, 2003). امروزه گسترش صنعت و استخراج منابع طبیعی، موجب انباشتگی فلزات سنگین در آب و خاک شده است. بنابراین، آلودگی خاک‌ها، آب‌های زیرزمینی، رسوبات، آب‌های سطحی و هوا، همراه فلزات سنگین پرخطر و مواد شیمیایی سمی یکی از آثار بلندمدت را بر روی اکوسیستم دارند. از میکروارگانیزم‌ها و گیاهان معمولاً برای پاکسازی فلزات سنگین استفاده می‌شوند. فرآیند درگیر شدن میکروارگانیزم‌ها برای کاهش انباشتگی آلودگی به نام

رودخانه‌ها، شریان‌های حیاتی هر کشوری محسوب می‌شوند. افزایش فعالیت‌های شهری، صنعتی و بالطبع افزایش غلظت فلزات سنگین در آب و رسوبات رودخانه‌ها و نقش آنها به‌عنوان آلاینده از دغدغه‌های کشورهای به حساب می‌آید. وجود آلاینده‌های مختلف ناشی از فعالیت‌های انسانی و صنعتی آثار نامطلوبی را بر گونه‌های جانوری و گیاهی مصرف‌کننده بر جای می‌گذارند (اقبال‌شمس‌آباد، ۱۳۸۹). فلزات سنگین در غلظت‌های کم به دلیل چگالی نسبتاً زیاد، سمی هستند. انباشت فلزات سنگین در

تحت تأثیر فاضلاب ورودی نواحی شهری و صنعتی و رواناب نواحی کشاورزی حوضه قرار دارد. زهکشی فاضلاب‌ها، مقدار زیادی از آب‌های آلوده به فلزات سنگین، کودها، آفت‌کش‌های کشاورزی، مواد آلی، شوینده‌ها و آلاینده‌های دیگر را وارد رودخانه می‌کند. تخلیهٔ پساب صنایع ذوب و آبکاری فلزات مانند مس، سرب و نیکل، روی، کروم و کادمیوم، همچنین پساب واحدهای شیمیایی می‌تواند منجر به تجمع فلزات در رسوبات شود (قائنی و همکاران، ۱۳۹۳). در سال‌های اخیر روش‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی عمده‌ای برای کاهش اثر آلاینده‌ها به ویژه فلزات سنگین به کار رفته است (Sheoran et al., 2011). بسیاری از این روش‌ها باعث به وجود آمدن هزینه‌های هنگفت و نیز آسیب‌زدن به محیط‌زیست شده است (Ali et al., 2013). در میان ترکیبات آلوده‌کنندهٔ آب، فلزات سنگین از اهمیت فراوانی برخوردارند، چون مقاوم هستند و در محیط تجمع زیستی دارند. برای حذف آلودگی‌ها، به‌ویژه فلزات سنگین و همچنین برای بهبود کیفیت آب، نیاز قطعی به فناوری، با هزینهٔ کم و دوست‌دار محیط‌زیست احساس می‌شود (Forough & Toghiani, 2012). فلزات سنگین از عوامل مهم آلودگی منابع آبی به شمار می‌روند. ورود فلزات به آب‌های طبیعی معمولاً از محل‌های تخلیهٔ فاضلاب‌های شهری، کشاورزی و صنعتی صورت می‌گیرد (قوبدل، ۱۳۹۳). یکی از مناسب‌ترین، کاربردی‌ترین و ارزان‌ترین روش‌ها در این زمینه، اصلاح زیستی گیاهی (phytoremediation) یا به عبارت دیگر کاهش آلودگی محیط‌زیست توسط گیاهان است (Burken et al., 2011). زیست‌پالایی یک فناوری نوآورانه و امیدبخش در دسترس برای حذف فلزات سنگین و بازیابی آنها در زمین‌ها و آب‌های آلوده شده است. از آنجا که میکروارگانیسم‌ها، استراتژی‌های مختلفی برای خودزیستگاه‌های آلوده شده به فلزات سنگین را توسعه داده‌اند، این موجودات زنده به توسعه و اتخاذ سازوکارهای پالایش‌های مختلف از جمله جذب، تجمع، زیست

زیست‌پالایی شناخته شده است که یک پروسهٔ طبیعی است و اهمیت گوناگونی زیستی تنوع زیستی (آن) زیر و یا روی زمین به طور افزاینده برای پاکسازی فلزات اکوسیستم آلوده است. همهٔ فلزات سمی هستند؛ اما مقداری از آنها در میزان انباشتگی کم مفید هستند. سمی بودن فلزات علت جدی مرگ و میر است (Suranjana et al., 2009). پدیدهٔ آلودگی عمدتاً نتیجهٔ توسعهٔ تکنولوژی، به ویژه در قرن حاضر است که با مسائل سیاسی، اقتصادی و اجتماعی گره خورده است (حسن پور، ۱۳۹۰). از آن جایی که رسوبات و آب در سیستم‌های آبی به آلاینده‌های فلزات سنگین بسیار حساس هستند و افزایش تدریجی آنها در اکوسیستم آبی خطرات جدی و مسئله مهمی محسوب می‌شود؛ لذا رسوبات برای پالایش آلاینده‌ها اندیکاتور حساسی هستند؛ در واقع رسوبات تاریخچهٔ تغییرات کیفی سیستم‌های آبی را نمایان می‌کنند (Karbassi, 2005). کیفیت آب، از مهمترین نگرانی‌های جوامع انسانی است. تخلیهٔ فاضلاب‌ها و ضایعات صنعتی و شهری در محیط‌های آبی و ایجاد آلودگی شدید در این منابع ارزشمند طبیعی، سبب این نگرانی شده است. در اغلب نقاط جهان، به دلیل روند رو به رشد آلودگی و اعمال مدیریت نادرست در رابطه با حفاظت منابع آب در مقیاس وسیع، آب کافی و سالم وجود ندارد. یک گونهٔ گیاهی مناسب برای گیاه پالایی باید شامل ویژگی‌هایی چون رشد سریع و فراوان، پراکندگی زیاد در منطقهٔ مطالعه شده و توان بالقوه برای جذب و تجمع فلزات سنگین باشد. گیاهان آبری به‌طور بالقوه توان مناسب را برای جذب و تجمع فلزات سنگین دارند (Hamidian et al., 2014). گیاه پالایی یکی از مهمترین روش‌های زیستی پایدار در مقابله با آثار روزافزون آلاینده‌هاست. در مطالعه حاضر قابلیت گیاه پالایی یک گیاه آبری (لاله تالابی) برای پالایش فلزات سنگین (مس، کروم، سرب، آرسنیک و کادمیوم) ارزیابی می‌شود (حمیدیان و همکاران، ۱۳۹۵). کاربرد فراوان کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها می‌تواند نقش بسزایی در افزایش فلزات سنگین داشته باشد. کیفیت و کمیت آب رودخانه‌ها

ولی مقدار پرولین بیشتر از منطقه شاهد بود. همچنین بیشترین مقدار کلروفیل در برگ‌های چنار شرقی و اسید آمینه و پرولین در نارون مشاهده شد.

ایلدرمی و همکاران (۱۳۹۲)، در بررسی کیفیت آب رودخانه کارون با استفاده از شاخص NSFQI در بازه زرگان تا کوت‌امیر (طی ۵ سال)، به این نتیجه رسیدند که کیفیت آب رودخانه کارون، در طی ۵ سال اخیر از رده خوب و متوسط در سال ۱۳۸۶ به رده بد در اسفند ۱۳۹۰ تنزل یافته است و رودخانه در طبقه ۳ نظام طبقه‌بندی سالانه کیفیت آب بوده و در این بازه خودپالایی رودخانه در حد کم است.

ایلدرمی و همکاران (۱۳۹۲) در پژوهشی به بررسی نقش گیاه نی در پالایش آلودگی ناشی از فلزات سنگین برای حفاظت زیست‌بوم بخشی از حوضه آبخیز دز به این نتیجه رسیدند که در میان عناصر مورد مطالعه غلظت فلز روی از محدوده بحرانی استاندارد بیشتر است که بالا بودن مقدار شاخص انتقال آن (۱/۴۵) ممکن است. بیانگر توانایی بالای انتقال این فلز در گیاه باشد. در همین راستا اهمیت به کارگیری گیاه نی به عنوان یک گیاه تجمع‌دهنده برای فلزات مورد مطالعه پیشنهاد می‌شود.

فویدل و همکاران (۱۳۹۳)، در پژوهشی به بررسی سرب، روی و نیکل رودخانه‌های حوضه آبریز تالاب انزلی (مورد مطالعاتی رودخانه گوهررود) پرداخته و به این نتیجه رسیدند که با توجه به استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست در مورد مقدار مجاز عناصر فلزی برای زندگی آبزیان در آب‌های سطحی، مقادیر میانگین و حداکثر اندازه‌گیری شده بالاتر از استانداردهای یاد شده است. از آنجا که این رودخانه یکی از مجاری تغذیه‌کننده تالاب انزلی است، امکان بروز خطر بهداشتی بزرگ‌نمایی زیستی عناصر سنگین در بدن ماهیان و در نهایت انسان وجود دارد.

قائنی و همکاران (۱۳۹۳)، در پژوهشی، میزان آرسنیک، جیوه، روی و مس در گیاهان آبی کارا (Char asp.)، نی (*Phragmites australis*)، لویی (*Typha latifolia*) و

دگرگونی و کانی‌سازی زیستی شناخته شده‌اند (تن زاده و همکاران، ۱۳۹۵).

حسن پور و همکاران (۱۳۹۰) مطالعات خود را در ۱۶ ایستگاه تالاب گمیشان و خلیج گرگان انجام دادند. آنها به این نتیجه رسیدند که بیشترین غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های آب متعلق به سرب ($0/154 \pm 0/02 \text{ mg/kg}$) و در نمونه‌های رسوبات متعلق به روی ($2/04 \pm 0/42 \text{ mg/litr}$) بوده است. در بررسی رابطه بین مقادیر فلزات در ستون آب و رسوبات مشخص مشخص شد که همبستگی بالا و معنی‌داری در سطح $0/01$ بین آنها وجود دارد. غلظت‌های سرب، کادمیوم و روی در آب و رسوبات در حد استاندارد توصیه شده بود؛ اما غلظت کروم در آب بالاتر از مقدار استاندارد قابل تحمل بود. به عبارت دیگر فراوانی برداشت از معدن و تأثیر آن بر کیفیت آب سطحی بررسی شد و تعداد ۲۲ ایستگاه در فصل بهار به‌طور تصادفی انتخاب شدند که عناصر سنگین $\text{Al, Cu, Cd, Cr, Fe, Mn, Zn}$ مطالعه و غلظت آنها اندازه‌گیری شد و در ادامه، به منظور بررسی همبستگی بین فلزات به این نتایج دست یافتند که بین آلومینیوم و آهن، کادمیوم و کروم، مس و سدیم همبستگی وجود دارد.

Yarsan و همکاران (۲۰۰۷) با تحقیقاتی که در رودخانه الیتو، کشور ترکیه انجام دادند غلظت سرب، کادمیوم، جیوه در صدف‌های این رودخانه را بالاتر از حد استاندارد و به ترتیب ($0/68$ ، $1/08$ ، $0/75 \text{ ppm}$) به دست آوردند.

شعبانیان و همکاران (۱۳۹۲) در مقایسه زیست‌پالایی فلزات سنگین توسط گونه‌های چوبی استفاده‌شده در جنگلداری شهر سنندج، به این نتایج رسیدند که انباشت سرب، روی و کادمیوم در برگ بیشتر گونه‌ها در منطقه آلوده با اختلاف معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد بیشتر از منطقه شاهد بوده است. در منطقه آلوده بیشترین مقدار انباشت سرب و کادمیوم در سرو خمره‌ای، روی در زبان گنجشک و منگنز در نارون مشاهده شد. در مقایسه منطقه آلوده با منطقه شاهد، در همه گونه‌ها مقدار کلروفیل کمتر،

لخته‌سازی می‌شوند و این در حالی است که فلز نیکل در میان فلزات مورد مطالعه دارای کمترین میزان لخته‌سازی است.

حمیدیان و همکاران (۱۳۹۵)، در پژوهشی با عنوان قابلیت گیاه‌پالایی گیاه آبی *Nelumbo nucifera* در حذف فلزات سنگین (مس، کروم، سرب، آرسنیک و کادمیوم) در تالاب انزلی به این نتیجه رسیدند که لاله تالابی قابلیت بسیاری در جذب فلزات مذکور از خود بروز داده است. با توجه به داده‌ها، نتایج نشان می‌دهد که لاله تالابی می‌تواند به عنوان یک گونه ارزشمند برای اهداف گیاه‌پالایی در تالاب انزلی استفاده شود.

تن‌زاده و همکاران (۱۳۹۵)، در پژوهشی با عنوان استفاده از میکروارگانیسم‌ها در پاکسازی زیستی فلزات سنگین موجود در خاک، به این نتیجه رسیدند که جذب فلزات سنگین توسط سلول‌های میکروبی در نتیجه مکانیسم‌های جذب زیستی و تجمع زیستی است. آب و غذایی که مصرف می‌شود اغلب به فلزات شیمیایی و سنگین از قبیل مس، نیکل، روی، سرب، کادمیوم، آرسنیک، کرم و جیوه آلوده شده‌اند که عامل ایجاد بیماری‌های بسیاری هستند. بسیاری از مطالعات اثبات کرده است که میکروب‌ها توانایی حذف فلزات سنگین از خاک‌های آلوده شده را دارند. در بین باقی آنها تعدادی از میکروارگانیسم‌ها هستند که نقش بزرگی در زیست‌پالایی فلزات سنگین بازی می‌کنند.

ایلدرومی و همکاران (۱۳۹۵) در بررسی کارایی مدل Qual2kw در خودپالایی رودخانه (مطالعه موردی رودخانه کارون در بازه زرگان- کوت امیر)، به این نتیجه رسیدند که مدل Qual2kw دارای کارایی خوبی برای بررسی خودپالایی رودخانه‌هاست و در مورد رودخانه کارون این مدل توانایی شبیه‌سازی خوبی داشته است.

Diagomanolin و همکاران (۲۰۰۴) با مطالعاتی که در ۱۶ ایستگاه رودخانه کارون برای فصل‌های بهار و زمستان انجام دادند، نشان داد که در فصل بهار بیشترین و کمترین غلظت برای نیکل، کروم و مس به ترتیب ۶۰/۷-۴۱،

پیروز (*Scirpus bulrush*) در رودخانه دز را بررسی کردند. نتایج نشان داده که بیشترین میزان فلزات سنگین در ریشه گیاهان دیده شد و صرف‌نظر از گیاه مورد مطالعه، بیشترین میزان فلز سنگین متعلق به فلز روی بود که در اندام‌های مختلف گیاهان آبی بیشترین فراوانی را به خود اختصاص داد که ریشه نی (300/41ppm) بیشترین میزان روی را نشان داد. در کل گیاه نی بیشترین میزان فلزات سنگین را در مقایسه با سایر گیاهان داشت.

نیسی و همکاران (۱۳۹۳)، در بررسی گیاه‌پالایی فلزات سنگین توسط گیاه آفتابگردان به این نتیجه رسیدند که گیاه آفتابگردان برای حذف فلزات سنگین بکار رفته و بیشتر میزان جذب سرب و کادمیم از طریق ریشه گیاه بوده است. بنابراین آفتابگردان، پتانسیل استخراج گیاهی بالاتری نسبت به بسیاری از گیاهان دارد.

رجائی و همکاران (۱۳۹۴)، در بررسی تجمع فلزات سنگین منگنز، کادمیوم، کروم و سرب در صدف محار در جزایر هندورابی و لاوان، خلیج فارس به این نتیجه رسیدند که بین جذب کروم با وزن کل و وزن کفه اختلاف معنی‌داری وجود دارد. با توجه به نتایج جمعیت هندورابی به دلیل تحمل استرس کمتر، برای بازسازی ذخایر این گونه و تکثیر مصنوعی آن پیشنهاد می‌شود.

اسلامی و همکاران (۱۳۹۴) در بررسی حذف فلزات سنگین از محیط‌های آبی با استفاده از فناوری زیست‌پالایی (مطالعه مروری)، به این نتیجه رسیدند که استفاده از فرآیندهای زیست‌پالایی برای تصفیه فاضلاب‌های حاوی فلزات سنگین، بسیاری از محدودیت‌های بزرگ سایر روش‌های فیزیک و شیمیایی را نداشته و از نظر اقتصادی نیز مطلوب‌تر است. با این حال مطالعات بیشتری برای برطرف کردن محدودیت‌های کنونی این فناوری و استفاده در مقیاس عملی، نیاز است.

کرباسی و همکاران (۱۳۹۵)، در پژوهشی به بررسی خودپالایی فلزات سنگین در حین اختلاط آب رودخانه با آب دریا پرداختند. براساس نتایج بدست آمده فلزات روی، منگنز، سرب، مس به ترتیب متحمل بالاترین میزان

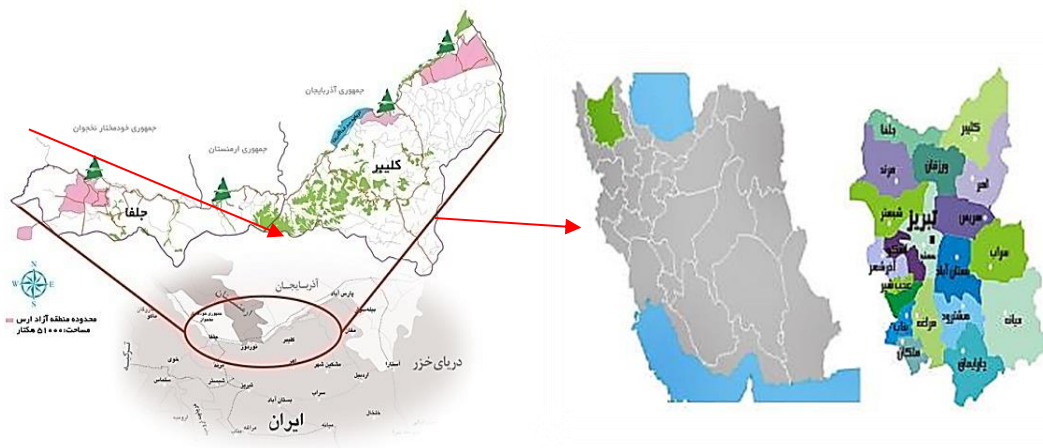
محسوب می‌شود و دارای آب و هوای سرد کوهستانی است. شهرستان کلپیر در مختصات جغرافیایی "۸' ۰۲° طول شرقی و "۱۳' ۰۷° عرض شمالی و با ارتفاع ۱۱۸۳ متر از سطح دریا واقع شده است (عبادی و همکارانش، ۱۳۸۸). مساحت این شهرستان ۴۰۳۸/۹ کیلومتر مربع است که ۸/۹۲ درصد مساحت استان را در بر می‌گیرد. کل این منطقه که رود ارس، شمالی‌ترین مرز آن را تشکیل می‌دهد با نام حوضه آبخیز ارسباران شمالی نامیده می‌شود. طول رودخانه ارس در حوضه آبخیز ارسباران شمالی ۲۱۲/۵ کیلومتر و از سمت غرب به شرق در جریان است. واحد هیدرولوژیک مطالعه شده در این تحقیق، رودخانه کلپیر است که از رودخانه‌های مهم تأمین‌کننده آب رود ارس است. این رودخانه که در مسیر جنوب به شمال در جریان است از کنار شهرستان و روستاهای مجاور عبور کرده و به رودخانه ارس می‌ریزد. مساحت حوضه آبریز آن ۱۱۲۸ کیلومتر مربع و میزان آب‌دهی سالانه ۴۹/۷ میلیون مترمکعب است. طول رودخانه مورد بررسی ۴۷ کیلومتر بوده که بصورت دائمی است و در مختصات جغرافیایی "۲۰' ۰۴° طول شرقی و "۴۶' ۰۶° عرض شمالی تا "۲۳' ۶۴° طول شرقی و "۵۸' ۰۷° عرض شمالی قرار گرفته است (شکل ۱).

۱۹/۸-۰/۷ و ۲۸/۷-۰/۵ میکروگرم بر لیتر بوده و برای فصل زمستان این غلظت به ترتیب ۱۱۸/۳-۱/۷ و ۱۱۰/۷-۶۹/۳، ۷۰/۳-۵/۵ میکروگرم بر لیتر به دست آمد، که غلظت آن‌ها از بالادست رودخانه به سمت پایین افزایش یافت. تا کنون بررسی در خصوص نقش آب و رسوبات رودخانه در پالایش آلودگی فلزات سنگین با یکدیگر و تعیین سهم و نقش هر یک از آن‌ها در حوضه‌های آبخیز شهری صورت نگرفته و این در حالی است که چنین بررسی‌هایی می‌تواند نقش طبیعی خودپالایی و ظرفیت آن را به خوبی نشان دهد. هدف از این بررسی نقش خودپالایی رودخانه کلپیر چای در جذب فلزات سنگین از طریق آب و رسوب است تا بتوان ضمن بررسی وضع موجود رودخانه، منابع آب و آلودگی آن را مدیریت کرد. به علاوه به دلیل فقدان چنین مطالعاتی در منطقه، و از طرف دیگر برای آگاهی مدیران و برنامه‌ریزان انجام چنین مطالعاتی ضروری به نظر می‌رسد. ضمناً داده‌های حاصل از این بررسی می‌تواند به عنوان یک منبع مطمئن در بازه‌های زمانی آینده، روندیابی خودپالایی رودخانه را در جهت افزایشی و کاهش‌ی بهتر مشخص کنند.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد بررسی

کلپیر از شهرستان‌های استان آذربایجان شرقی ایران



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

۳. روش بررسی

در این روش از مطالعات اسنادی و میدانی گسترده در فاصله زمانی از تیر ماه سال ۱۳۹۱ تا شهریور ۱۳۹۱ استفاده شد. شاخه‌های فرعی وارد شده به رودخانه و فاضلاب‌های شهری و روستایی به‌عنوان یک ایستگاه در نظر گرفته شد و تعداد ۱۰ ایستگاه شامل: ایستگاه آب معدنی اولاس، پل کالاتق، چلوخانه، پل کفشن ایوی، ترمینال، جیلان چای، شهرک دانش، پل عمارت، پل شاه حیدر، جانانلو به‌دست آمد با استفاده از GPS و نرم‌افزار گوگل ارث محل این ایستگاه‌ها تعیین شد. با توجه به عملیات میدانی و پیشینه مطالعاتی انجام گرفته شده تعداد ۳ ایستگاه قبل از ورود به شهر، ۴ ایستگاه در محدوده شهر و ۳ ایستگاه در خارج از شهر به‌منظور تعیین بار آلودگی رودخانه انتخاب شد. تعداد نمونه‌های انتخاب شده از هر ایستگاه ۱۰ مورد و از هر ایستگاه ۵ نمونه رسوب و ۵ نمونه آب جمع‌آوری شده است. مناطق مورد مطالعه طوری انتخاب شده است که کل مسیر رودخانه را تحت پوشش قرار دهد (جدول ۱).

۴. جمع‌آوری نمونه

برای نمونه آب از ظرف نمونه‌برداری، از جنس پلی‌اتیلن و با حجم ۱۲۵ سی‌سی سی استفاده شد. در ابتدا با استفاده از

پودر شوینده شسته شده و به‌مدت معینی در ظرف اسیدشویی که حاوی اسید نیتریک ۵ درصد بود نگهداری می‌شود تا آلاینده‌های احتمالی آن شسته شوند. سپس به وسیله آب سه بار تقطیر بدون یون (آبکشی) و بعد خشک و درب آن بسته شد. به‌منظور جمع‌آوری نمونه‌های آب از عمق ۵ سانتیمتری تا نزدیکی کف رودخانه ظروف را درون آب فرو برده و پس از پر شدن در زیر آب درب آن بسته شد تا از آلودگی اتمسفری (CO₂) جلوگیری شود.

نمونه‌های آب را پس از جمع‌آوری از کاغذ صافی ۴۵/ میکرون عبور و به آزمایشگاه انتقال داده‌اند (moor et al, 2011) برای نمونه خاک، نمونه‌های رسوب با دستگاه نمونه‌برداری ون وین گرب مدل (EKMAN) با ابعاد ۱۵×۱۵ انجام گرفت (این دستگاه عمدتاً در نمونه‌برداری رسوب‌های سطحی برای تعیین دانه‌بندی رسوب و سنجش فلزات سنگین به کار می‌رود). سپس نمونه‌ها به صورت منجمد برای آماده‌سازی و اندازه‌گیری فلزات آن‌ها به میزان تقریباً ۳۰۰ گرم به آزمایشگاه انتقال داده شد (ربانی و همکاران، ۱۳۸۷).

جدول ۱. ایستگاه‌های نمونه‌برداری براساس اهمیت و ویژگی آن‌ها

ایستگاه	نام ایستگاه	عرض جغرافیایی (N)	طول جغرافیایی (E)	محل ایستگاه	اهمیت / ویژگی‌ها
۱	کارخانه آب معدنی اولاس	۳۸° ۴۸' ۳۵"	۴۷° ۰۳' ۴۳"	گلدرق	تأمین آب
۲	پل کالاتق	۳۸° ۴۹' ۲۱"	۴۷° ۰۳' ۲۵"	روستای کالاتق	تأثیرپذیری از آبیاری باغ‌ها و تخلیه فاضلاب‌های روستایی
۳	چلوخانه	۳۸° ۵۰' ۴۹"	۴۷° ۰۳' ۰۸"	نیروگاه برق	تأثیرپذیری از فعالیت‌های کشاورزی و آبیاری باغ‌ها
۴	پل کفشن ایوی	۳۸° ۵۱' ۳۷"	۴۷° ۰۲' ۵۳"	روستای کفشن ایوی	تأثیرپذیری از فعالیت‌های صنعتی و تخلیه فاضلاب شهری
۵	ترمینال	۳۸° ۵۱' ۴۲"	۴۷° ۰۲' ۵۸"	شهر کلیبر	تأثیرپذیری از فعالیت‌های صنعتی و تخلیه فاضلاب شهری

ادامه جدول ۱. ایستگاه‌های نمونه‌برداری براساس اهمیت و ویژگی آن‌ها

ایستگاه	نام ایستگاه	عرض جغرافیایی (N)	طول جغرافیایی (E)	محل ایستگاه	اهمیت / ویژگی‌ها
۶	جیلان چای	۳۸° ۵۱' ۵۲"	۴۷° ۰۳' ۰۵"	روستای کفشن ایوی	تأثیرپذیری از فعالیت‌های کشاورزی، آبیاری باغ‌ها و شیرابه زباله
۷	شهرک دانش	۳۸° ۵۲' ۲۸"	۴۷° ۰۲' ۴۷"	شهر کلیبر	تأثیرپذیری از فعالیت‌های صنعتی و تخلیه فاضلاب شهری
۸	پل عمارت	۳۹° ۰۲' ۴۱"	۴۶° ۵۶' ۵۷"	عمارت	تأثیرپذیری از فعالیت‌های کشاورزی و تخلیه فاضلاب روستایی
۹	پل شاه حیدر	۳۸° ۵۹' ۴۱"	۵۹° ۵۶' ۴۶"	روستای شاه حیدر	تأثیرپذیری از فعالیت‌های کشاورزی
۱۰	جانانلو	۳۰° ۰۷' ۳۹"	۱۹° ۴۶' ۵۲"	روستای جانانلو	تأثیرپذیری از فعالیت‌های کشاورزی، تخلیه فاضلاب‌های شهری

۵. آماده‌سازی نمونه برای اندازه‌گیری فلزات

در این مرحله تمامی ظروف قبل از شروع آزمایش کاملاً اسیدشویی شدند. به این ترتیب که ابتدا با مواد شوینده کاملاً شسته شده و سپس به مدت ۲۴ ساعت، در محلول اسیدنیتریک ۱۰ درصد قرار داده شدند که از مخلوط کردن اسیدنیتریک خالص غلیظ ۶۵ درصد و آب دو بار تقطیر شده تهیه شده بود. پس از اتمام این مرحله، با استفاده از آب دو بار تقطیر شده کاملاً شسته و توسط آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد کاملاً خشک شدند (Yap et al, 2002). نمونه‌ها را پس از انتقال به آزمایشگاه بردند و اسید نیتریک ۵ درصد به آن افزودند تا pH آن‌ها به زیر ۲ برسد و تا زمان آنالیز در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد در یخچال نگهداری شدند (moor et al, 2011). نمونه‌ها به‌وسیله آون خشک شده و تمامی ناخالصی‌ها از قبیل: پوسته‌ها، خار و خاشاک، سنگ‌ریزه، کلوخ‌های آهکی و تمامی ناخالصی‌های بزرگتر از ۲ میلی‌متر از نمونه‌ها جدا شدند. نمونه‌ها در هاون چینی کوبیده شده تا از الک ۰/۱۴۹ میلی‌متر عبور کرده و بعد در قوطی‌های پلاستیکی تمیز نگهداری شدند. نمونه‌های رسوب پس از انتقال به آزمایشگاه در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت در آون گذاشته شده تا به وزن ثابتی برسند سپس

نمونه‌ها در هاون چینی کوبیده و به صورت پودر درآورده شدند (Yap et al, 2002). نمونه‌های آب پس از انتقال به آزمایشگاه ابتدا از کاغذ صافی ۴۵ μm عبور داده و سپس به‌وسیله اسیدنیتریک pH نمونه‌ها را به زیر ۲ رساندند و تا زمان آنالیز در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد در یخچال نگهداری شد (moor et al, 2011). در آنالیز رسوب حدود ۱ گرم از نمونه خشک شده (رسوب) را با ترکیبی از اسید نیتریک و اسید پرکلریک به نسبت ۱ به ۴ درون دستگاه Hot Block Digester به‌منظور هضم، ابتدا در دمای پایین (۴۰ درجه) به مدت ۱ ساعت و سپس در دمای ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳ ساعت قرار داده شد. نمونه‌های هضم شده را با استفاده از کاغذ صافی واتمن شماره یک فیلتر کرده و به کمک آب مقطر دوبار تقطیر شده (دیونیزه) به حجم رسانیده و سپس نمونه‌ها، درون ظروف پلی اتیلنی مخصوص تا زمان آنالیز در یخچال نگهداری شدند (Yap et al, 2002). سپس نمونه‌ها با کاغذ صافی Whatman شماره ۱ صاف و حجم محلول صاف شده توسط آب مقطر به ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شد و پس از آن، هر یک از نمونه‌ها در ظروف پلی اتیلنی در بسته، تا زمان اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین آن‌ها توسط دستگاه جذب اتمی در یخچال نگهداری شدند (Yap et al, 2002).

محاسبه غلظت نهایی فلزات با استفاده از رابطه زیر بر حسب میکروگرم بر گرم وزن خشک محاسبه شد.

$$M = CV / W \quad (۱) \text{ رابطه}$$

C: غلظت بدست آمده از دستگاه

V: حجم نهایی نمونه (در این بررسی ۲۵ میلی‌لیتر بوده است).

W: مقدار ماده خشک مصرف شده برای هضم بر حسب گرم (در این بررسی یک گرم بوده است).

M: غلظت نهایی نمونه بر حسب ppm به ازای یک گرم وزن خشک محاسبه شد.

برای انجام آزمون‌های آماری از نرم افزار spss نسخه ۱۶ و نرم افزار Excel استفاده می‌شود. برای مقایسه اختلاف معنی دار بین غلظت فلزات در ایستگاه‌های مختلف مناطق مورد از آنالیز واریانس یک طرفه^۴ با کمک آزمون حداقل معنی داری و یا آزمون دانت^۵ استفاده شد. همچنین برای بررسی همبستگی فلزات در آب و رسوبات از آزمون همبستگی^۶ استفاده شده است.

۶. نتایج

میانگین غلظت فلز سرب در رسوب، ایستگاه‌های آب معدنی اولاس، پل کلالق، چلو خانه، پل کفشن ایوی، ترمینال، جیلان چای، شهرک دانش، پل عمارت، پل شاه حیدر، سه راهی جانانلو محاسبه شد (جدول ۲). حداقل حد اکثر غلظت سرب به ترتیب ۰/۰۳ و ۳/۸ میکروگرم بر گرم در وزن خشک به ترتیب در ایستگاه‌های جیلان چای و ترمینال محاسبه شد. با توجه به $P > ۰/۰۵$ در آزمون نرمالیتی و $P < ۰/۰۵$ در آزمون هموزنیتی، داده‌ها نرمال و هموزن بوده و برای بدست آوردن اختلاف معناداری از آنالیز واریانس یک طرفه استفاده شد که نشان داد، اختلاف معناداری با یکدیگر دارند ($P < ۰/۰۵$). در مرحله بعد با استفاده از آزمون دانت^۷ مشخص شد بین ایستگاه‌های ۷ و ۸ در غلظت سرب در رسوب اختلاف معناداری^۷ وجود دارد.

برای اطمینان از دقت عملیات هضم و مؤثر نبودن مواد مصرفی بر غلظت فلزات سنگین، در هر نوبت از عملیات هضم، یک نمونه شاهد نیز در نظر گرفته شد. بدین صورت که به همان میزان مواد مصرفی (اسید نیتریک و اسید پرکلریک) که برای هضم نمونه‌ها به کار برده شد، در فرآیند هضم قرار داده و همانند نمونه‌های اصلی به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسانده و در ظروف پلی‌اتیلنی نگهداری شدند و در نهایت، غلظت فلزات سنگین مورد نظر در آن‌ها نیز اندازه‌گیری شد، تا نتایج آن در صورت قابل ملاحظه بودن، از غلظت‌های بدست آمده برای فلزات مورد نظر در نمونه‌های مختلف کاسته شود (نیک ورز و همکاران، ۱۳۸۷).

در این مطالعه سنجش غلظت فلزات سنگین از دستگاه جذب اتمی^۱ مدل contraAA700 استفاده شده است. تنظیمات دستگاه از قبیل طول موج و عرض شکاف نیز بر اساس نوع فلز انجام شد. برای اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین نمونه‌ها توسط دستگاه جذب اتمی، ابتدا محلول‌های استاندارد این فلزات تهیه و توسط دستگاه اندازه‌گیری شدند. پس از اندازه‌گیری جذب محلول‌های استاندارد، منحنی کالیبراسیون برای هر فلز رسم شد. بعد از کالیبره شدن دستگاه و اطمینان از خطی بودن منحنی کالیبراسیون، نمونه‌ها به ترتیب به دستگاه تزریق و هر یک از نمونه‌ها توسط دستگاه سه بار مکیده شدند و غلظت فلزات سنگین آن‌ها اندازه‌گیری شد و پس از ثبت داده‌ها میانگین آن‌ها بدست آمد. که در این مطالعه به منظور سنجش غلظت فلزات مس و روی، از روش شعله و برای سنجش غلظت فلزات کادمیوم و سرب از روش کوره گرافیتی استفاده شده است. میزان LOD^۲ دستگاه برای فلزات مس، روش شعله به ترتیب ۰/۲۴۱۴ میکروگرم بر گرم و میزان LOQ^۳ دستگاه ۰/۸۹۸۷ میکروگرم بر گرم بود. همچنین میزان LOD دستگاه برای فلزات سرب و کادمیوم در روش کوره گرافیتی به ترتیب ۱/۰۰۸ و ۱/۱۲۶ نانوگرم بر گرم و میزان LOQ دستگاه به ترتیب ۳/۷۹۷ و ۳/۷۸۴ نانوگرم بر گرم بود.

جدول ۲. میانگین غلظت سرب در رسوب ایستگاه‌ها (میکروگرم بر گرم در وزن خشک)

ایستگاه	مکان	تعداد	میانگین	SD	حداقل	حداکثر
۱	آب معدنی اولاس	۴	۱/۹۵	۰/۴۷۹	۱/۳۲	۲/۴۵
۲	پل کلالق	۴	۱/۷۴	۰/۶۱۷	۱/۰۵	۲/۵۵
۳	چلوخانه	۴	۱/۴	۰/۴۸۶	۱/۰۸	۲/۱۲
۴	پل کفشن ایوی	۴	۱/۶۴	۰/۶۹۲	۱/۰۸	۲/۶۵
۵	ترمینال	۴	۲/۴	۱/۰۳۳	۱/۴۲	۳/۸
۶	جیلان چای	۴	۱/۲۵	۱/۰۲۷	۰/۰۳	۲/۵۴
۷	شهرک دانش	۴	۲/۹۳	۰/۳	۲/۵۴	۳/۲۱
۸	پل عمارت	۴	۱/۳۳	۰/۴۵	۰/۹۹	۱/۹۷
۹	پل شاه حیدر	۴	۲/۴۲	۰/۶۹۸	۱/۴۴	۲/۹۶
۱۰	جانانلو	۴	۲/۹۵	۰/۶۳۶	۲/۱۲	۳/۶۶
جمع		۴۰	۲/۰۱۳	۰/۸۶۰	۰/۰۳	۳/۸۰

میانگین غلظت فلز کادمیوم در رسوب ایستگاه‌های آب معدنی اولاس، پل کلالق، چلو خانه، پل کفشن ایوی، ترمینال، جیلان چای، شهرک دانش، پل عمارت، پل شاه‌حیدر، سه راهی جانانلو مطابق جدول (۳) محاسبه شد. ایستگاه‌های دارای حداقل و حداکثر غلظت کادمیوم به ترتیب ۰/۰۲ و ۱/۰۱ میکروگرم بر گرم در وزن خشک و در ایستگاه‌های پل کلالق و شهرک دانش محاسبه شد. با توجه به $P > ۰/۰۵$ در آزمون نرمالیتی و $p > ۰/۰۵$ در آزمون هموزنیته، داده‌ها نرمال و هموزن بوده و برای بدست آوردن اختلاف معناداری از آزمون واریانس یک طرفه استفاده شد که نشان داد، نتایج، اختلاف معناداری با یکدیگر دارند ($P < ۰/۰۵$) که بین ایستگاه‌های ۱ و ۲، ۱ و ۳، ۱ و ۴، ۱ و ۵، ۱ و ۶، ۱ و ۷، ۱ و ۸، ۱ و ۹، ۱ و ۱۰ اختلاف معناداری وجود دارد.

میانگین غلظت فلز کادمیوم در رسوب ایستگاه‌های آب معدنی اولاس، پل کلالق، چلو خانه، پل کفشن ایوی، ترمینال، جیلان چای، شهرک دانش، پل عمارت، پل شاه‌حیدر، سه راهی جانانلو مطابق جدول (۳) محاسبه شد. ایستگاه‌های دارای حداقل و حداکثر غلظت کادمیوم به ترتیب ۰/۰۲ و ۱/۰۱ میکروگرم بر گرم در وزن خشک و در ایستگاه‌های پل کلالق و شهرک دانش محاسبه شد. با توجه به $P > ۰/۰۵$ در آزمون نرمالیتی و $p > ۰/۰۵$ در آزمون هموزنیته، داده‌ها نرمال و هموزن بوده و برای بدست آوردن اختلاف معناداری از آزمون واریانس یک طرفه استفاده شد که نشان داد، نتایج، اختلاف معناداری با یکدیگر دارند ($P < ۰/۰۵$) که بین ایستگاه‌های ۱ و ۲، ۱ و ۳، ۱ و ۴، ۱ و ۵، ۱ و ۶، ۱ و ۷، ۱ و ۸، ۱ و ۹، ۱ و ۱۰ اختلاف معناداری وجود دارد.

جدول ۳. میانگین غلظت کادمیوم در رسوب ایستگاهها (میکروگرم بر گرم در وزن خشک)

ایستگاه	مکان	تعداد	میانگین	SD	حداقل	حداکثر
۱	آب معدنی اولاس	۴	۰/۲	۰/۴۵۷	۰/۱۵	۰/۲۶
۲	پل کلالق	۴	۰/۰۸	۰/۴۳۲	۰/۰۲	۰/۱۲
۳	چلوخانه	۴	۰/۱۱	۰/۲۸۸	۰/۰۸	۰/۱۵
۴	پل کفشن ایوی	۴	۰/۲۵	۰/۱۳۴	۰/۱۲	۰/۳۹
۵	ترمینال	۴	۰/۶۰	۰/۳۶۴	۰/۱۱	۰/۸۹
۶	جیلان چای	۴	۰/۰۸۲	۰/۰۵۷	۰/۰۳	۰/۱۶
۷	شهرک دانش	۴	۰/۹۲	۰/۰۶۶	۰/۸۵	۱/۰۱
۸	پل عمارت	۴	۰/۴۴	۰/۳۷۱	۰/۰۳	۰/۸۳
۹	پل شاه حیدر	۴	۰/۴۶	۰/۲۴۱	۰/۱۳	۰/۶۴
۱۰	جانانلو	۴	۰/۷۳	۰/۱۵۹	۰/۵۵	۰/۹۰
جمع		۴۰	۰/۳۹۰	۰/۵۲۴	۰/۰۲	۱/۰۱

جدول ۴. میانگین غلظت مس در رسوب ایستگاهها (میکروگرم بر گرم در وزن خشک)

ایستگاه	مکان	تعداد	میانگین	SD	حداقل	حداکثر
۱	آب معدنی اولاس	۴	۳/۰۲	۱/۲۸	۱/۵۴	۴/۶۳
۲	پل کلالق	۴	۳/۶۹	۱/۰۲	۲/۲۲	۴/۵۲
۳	چلوخانه	۴	۲/۰۹	۰/۸۸	۱/۲۳	۳/۲۲
۴	پل کفشن ایوی	۴	۵/۳۵	۱/۴۶	۳/۵۱	۶/۸۱
۵	ترمینال	۴	۵/۳۱	۱/۳۸	۳/۵۷	۶/۸۷
۶	جیلان چای	۴	۵/۶۱	۰/۴۵	۴/۹۵	۵/۹۱
۷	شهرک دانش	۴	۹/۴۸	۳/۵۲	۶/۹۴	۱۴/۵۰
۸	پل عمارت	۴	۶/۴۱	۰/۷۴	۵/۴۸	۷/۰۶
۹	پل شاه حیدر	۴	۷/۳۰	۰/۹۸	۶/۰۹	۸/۳۹
۱۰	جانانلو	۴	۷/۲۲	۰/۳۵	۶/۹۶	۷/۷۳
جمع		۴۰	۵/۵۵	۲/۴۸	۱/۲۳	۱۴/۵۰

ایوی، ترمینال، جیلان چای، شهرک دانش، پل عمارت، پل شاه حیدر، سهراهی جانانلو مطابق جدول (۴) محاسبه شد.

میانگین غلظت فلز مس در رسوب، ایستگاههای کارخانه آب معدنی اولاس، پل کلالق، چلوخانه، پل کفشن

میانگین غلظت فلز کادمیوم در آب، ایستگاه‌های کارخانه آب معدنی اولاس، پل کلالق، چلوخانه، پل کفشن ایوی، ترمینال، جیلان چای، شهرک دانش، پل عمارت، پل شاه‌حیدر، سهرای جانانلو مطابق جدول (۶) محاسبه شد. ایستگاه‌های حداقل و حداکثر غلظت کادمیوم به ترتیب ۰/۰۰ و ۰/۹۹ میلی‌گرم بر لیتر به ترتیب در ایستگاه‌های پل کلالق و سهرای جانانلو محاسبه شد. با توجه به $P > 0/05$ در آزمون نرمالیتی و $P < 0/05$ در آزمون هتروژن، داده‌ها نرمال و هتروژن بوده و برای بدست آوردن اختلاف معنادار از آنالیز دانت استفاده شد که نشان داد، نتایج اختلاف معناداری با یکدیگر دارند ($P < 0/05$). در مرحله بعد برای اینکه مشخص شود این اختلاف بین کدام گروه‌هاست از آزمون دانت استفاده شد که نشان داد بین ایستگاه‌های ۵ و ۲، ۳ و ۸، ۴ و ۸ در غلظت کادمیوم آب اختلاف معناداری وجود دارد.

حداقل و حداکثر غلظت مس به ترتیب ۱/۲۳ و ۱۴/۵۰ میکروگرم بر گرم در وزن خشک به ترتیب در ایستگاه‌های چلو خانه و شهرک دانش محاسبه شد. بررسی آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار spss مدل ۱۱/۵ انجام شد. میانگین غلظت فلز سرب در آب، ایستگاه‌های کارخانه آب معدنی اولاس، پل کلالق، چلوخانه، پل کفشن ایوی، ترمینال، جیلان چای، شهرک دانش، پل عمارت، پل شاه‌حیدر، سهرای جانانلو مطابق جدول (۵) محاسبه شد. حداقل و حداکثر غلظت سرب به ترتیب ۰/۰۷ و ۰/۴۵ میلی‌گرم بر لیتر به ترتیب در ایستگاه‌های سهرای جانانلو و آب معدنی اولاس محاسبه شد. با توجه به $P > 0/05$ در آزمون نرمالیتی و $P < 0/05$ در آزمون هتروژن، داده‌ها نرمال و هتروژن بوده و برای بدست آوردن اختلاف معنادار از آنالیز دانت استفاده شد که نشان داد، نتایج اختلاف معناداری با یکدیگر دارند ($P < 0/05$) و بین ایستگاه‌های ۲ و ۸، ۳ و ۴، ۷ و ۳، ۸ و ۴، ۸ و ۵ در غلظت سرب آب اختلاف معناداری وجود دارد.

جدول ۵. میانگین غلظت سرب در آب ایستگاه‌ها (میکروگرم بر گرم در وزن خشک)

ایستگاه	مکان	تعداد	میانگین	SD	حداقل	حداکثر
۱	آب معدنی اولاس	۴	۰/۹۷	۰/۳۸	۰/۵۳	۱/۴۵
۲	پل کلالق	۴	۰/۶۰	۰/۱۱	۰/۴۵	۰/۷۱
۳	چلوخانه	۴	۰/۲۵	۰/۰۷	۰/۱۶	۰/۳۵
۴	پل کفشن ایوی	۴	۰/۶۱	۰/۰۹	۰/۴۷	۰/۶۹
۵	ترمینال	۴	۰/۵۰	۰/۱۱	۰/۳۸	۰/۶۱
۶	جیلان چای	۴	۰/۵۶	۰/۲۱	۰/۴۲	۰/۸۸
۷	شهرک دانش	۴	۰/۸۷	۰/۰۴	۰/۸۵	۰/۹۴
۸	پل عمارت	۴	۱/۰۱	۰/۰۹	۰/۸۷	۱/۰۸
۹	پل شاه‌حیدر	۴	۰/۶۱	۰/۳۸	۰/۲۳	۱/۰۸
۱۰	جانانلو	۴	۰/۵۵	۰/۳۵	۰/۰۷	۰/۸۴
جمع		۴۰	۰/۶۵	۰/۲۹	۰/۰۷	۱/۴۵

جدول ۶. میانگین غلظت کادمیوم در آب ایستگاه‌ها (میکروگرم بر گرم در وزن خشک)

ایستگاه	مکان	تعداد	میانگین	SD	حداقل	حداکثر
۱	آب معدنی اولاس	۴	۰/۰۴	۰/۰۰	۰/۰۴	۰/۰۶
۲	پل کلالتق	۴	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۳
۳	چلوخانه	۴	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۳
۴	پل کفشن ایوی	۴	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۵
۵	ترمینال	۴	۰/۰۵	۰/۰۰	۰/۰۵	۰/۰۶
۶	جیلان چای	۴	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۲	۰/۲۰
۷	شهرک دانش	۴	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۳
۸	پل عمارت	۴	۰/۰۴	۰/۰۰	۰/۰۴	۰/۰۵
۹	پل شاه حیدر	۴	۰/۰۶	۰/۱۰	۰/۰۰	۰/۲۱
۱۰	جانانلو	۴	۰/۴۹	۰/۳۷	۰/۱۲	۰/۹۹
جمع		۴۰	۰/۰۸	۰/۱۷	۰/۰۰	۰/۹۹

جدول ۷. میانگین غلظت مس در آب ایستگاه‌ها (میکروگرم بر گرم در وزن خشک)

ایستگاه	مکان	تعداد	میانگین	SD	حداقل	حداکثر
۱	آب معدنی اولاس	۴	۲/۲۹	۰/۷۴	۱/۶۳	۳/۳۴
۲	پل کلالتق	۴	۲/۷۶	۰/۷۸	۱/۸۹	۳/۷۴
۳	چلوخانه	۴	۱/۵۲	۰/۶۲	۰/۹۰	۲/۳۵
۴	پل کفشن ایوی	۴	۲/۰۳	۰/۶۵	۱/۳۸	۲/۷۵
۵	ترمینال	۴	۳/۳۸	۰/۲۹	۱/۹۶	۳/۶۲
۶	جیلان چای	۴	۱/۸۰	۰/۵۴	۱/۳۶	۲/۶۰
۷	شهرک دانش	۴	۰/۹۲	۰/۲۱	۰/۶۴	۱/۱۷
۸	پل عمارت	۴	۱/۰۱	۰/۳۳	۰/۵۶	۱/۳۳
۹	پل شاه حیدر	۴	۲/۴۶	۰/۷۵	۱/۳۵	۲/۹۶
۱۰	سهرای جانانلو	۴	۳/۴۱	۰/۳۲	۳/۱۴	۳/۸۷
جمع		۴۰	۲/۱۶	۰/۹۸	۰/۵۶	۳/۸۷

نرمال و هموزن بوده و برای بدست آوردن اختلاف معنادار از آزمون واریانس یک طرفه استفاده شد که نشان داد، نتایج اختلاف معناداری با یکدیگر دارند ($p > 0/05$) که بین ایستگاه‌های ۵ و ۱، ۳ و ۱، ۱۰ و ۳، ۲ و ۳، ۲ و ۶، ۲ و ۷، ۲ و ۸، ۳ و ۵، ۳ و ۹، ۳ و ۱۰، ۴ و ۵، ۴ و ۷، ۴ و ۱۰، ۵ و ۶، ۵ و ۷، ۵ و ۸، ۵ و ۹، ۶ و ۷، ۶ و ۱۰، ۷ و ۹، ۷ و ۱۰، ۸ و ۹، ۸ و ۱۰، ۹ و ۱۰ اختلاف معناداری وجود دارد.

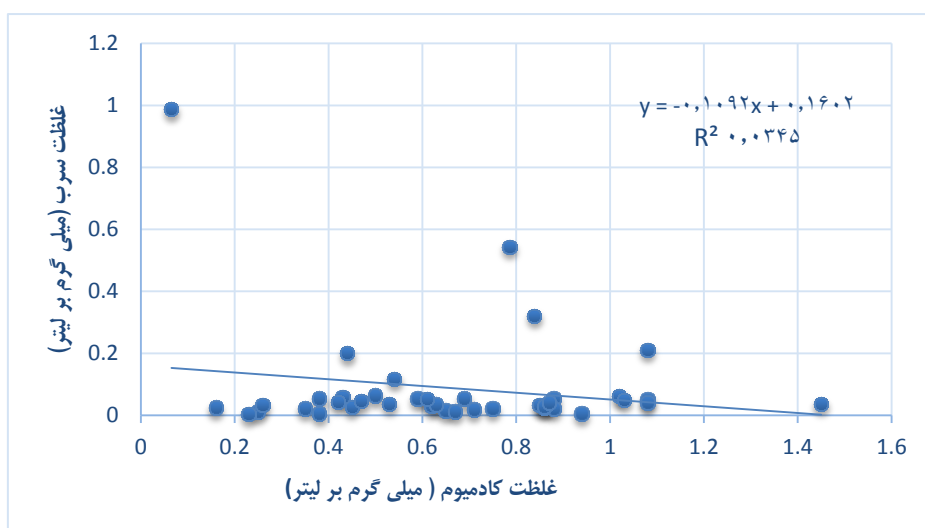
میانگین غلظت فلز مس در آب، ایستگاه‌های آب معدنی اولاس، پل کلالتق، چلوخانه، پل کفشن ایوی، ترمینال، جیلان چای، شهرک دانش، پل عمارت، پل شاه حیدر، سهرای جانانلو مطابق جدول (۷) محاسبه شد. ایستگاه‌های حداقل و حداکثر غلظت مس به ترتیب ۰/۵۶ و ۳/۸۷ میلی گرم بر لیتر به ترتیب در ایستگاه‌های پل عمارت و سهرای جانانلو محاسبه شد. با توجه به $P > 0/05$ در آزمون نرمالیتی و $p > 0/05$ در آزمون هموزنی، داده‌ها

در این ارزیابی سعی شده تا همبستگی بین تمام عناصر سنگین مشخص تا بیان شود که نقش آب و رسوب در خودپالایی این فلزات معین شود. با توجه به همبستگی خیلی کم بین آنها مشخص شد که این عناصر با آب و رسوب ارتباط خودپالایی داشته و هیچ تأثیری در این رابطه بطور افزایشی و کاهش‌ی روی یکدیگر ندارند (شکل ۲، ۳، ۴).

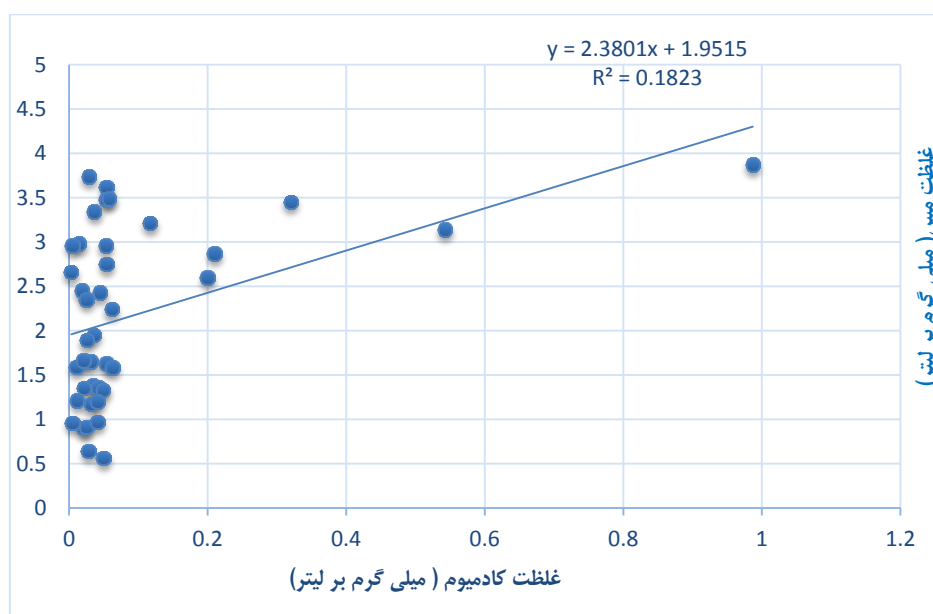
۷. تعیین همبستگی بین غلظت سرب، کادمیوم و

مس در بین آب و رسوب رودخانه

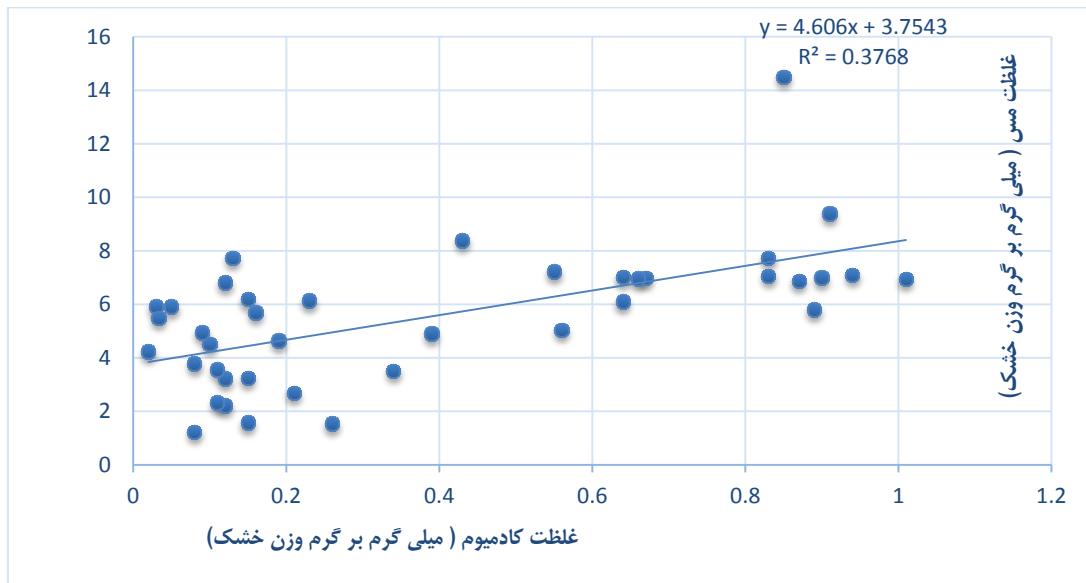
برای همبستگی بین داده‌های رسوب و آب از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد که کادمیوم با سرب و مس در نمونه‌های آب و با عنصر مس در نمونه‌های رسوب همبستگی دارد و در سطح $p=0/01$ و $r=0/185$ ، $r=0/426$ و $r=0/613$ اختلاف معنی‌داری وجود دارد (جدول ۸).



شکل ۲. همبستگی کادمیوم با سرب در نمونه‌های آب (میلی گرم بر لیتر)



شکل ۳. همبستگی کادمیوم با مس در نمونه‌های آب (میلی گرم بر لیتر)



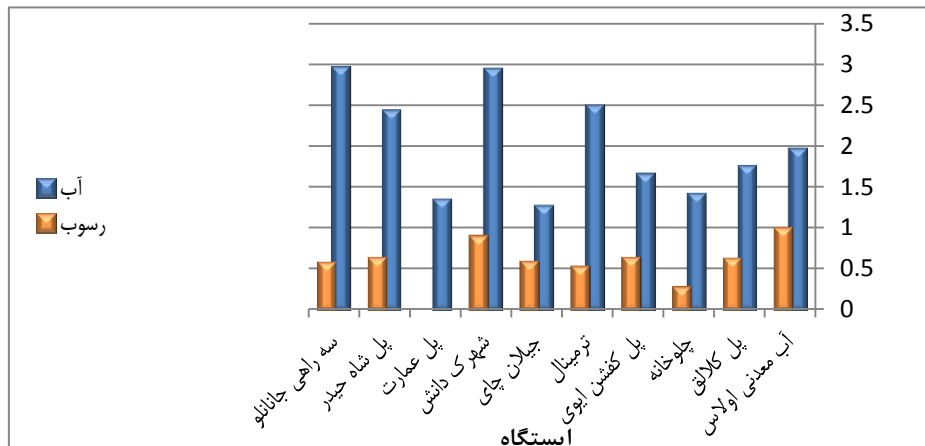
شکل ۴. همبستگی کادمیوم با مس در نمونه‌های رسوب (میلی گرم بر گرم وزن خشک)

جدول ۸. ماتریس همبستگی غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های آب و رسوب

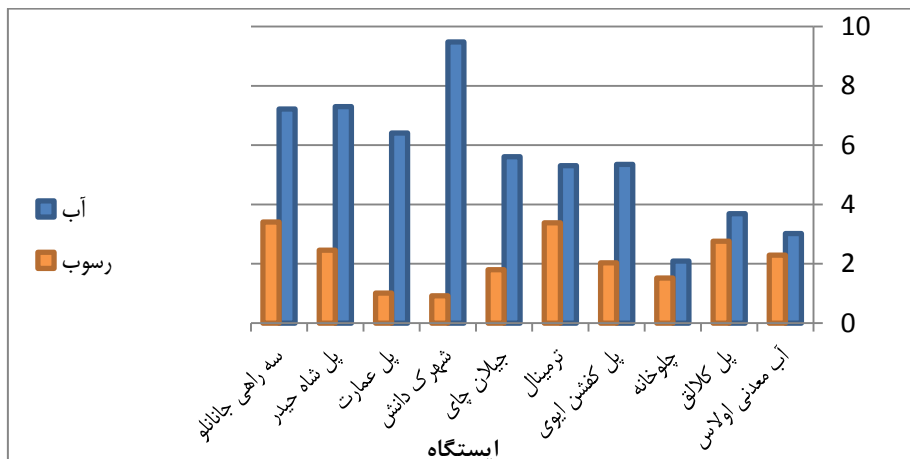
Cu2	Cd2	Pb2	Cu1	Cd1	Pb1	
۰/۲۵۸	۰/۲۳۳	-۰/۰۵۸	۰/۳۰۴	۰/۴۶۶	۱	Pb1
۰/۰۴۰	۰/۲۰۰	۰/۱۱۲	۰/۶۱۴**	۱	۰/۴۶۶	Cd1
-۰/۱۱۷	۰/۲۱۴	۰/۲۷۶	۱	۰/۶۱۴**	۰/۳۰۴	Cu1
-۰/۲۳۹	-۰/۱۸۶	۱	۰/۲۷۶	۰/۱۱۲	-۰/۰۵۸	Pb2
۰/۴۲۷	۱	-۰/۱۸۶	۰/۲۱۴	۰/۲۰۰	۰/۲۲۳	Cd2
۱	۰/۴۲۷	-۰/۲۳۹	-۰/۱۱۷	۰/۰۴۰	۰/۲۵۸	Cu2

وهواشناسی (NOAA)^۸، استاندارد بین‌المللی کانادا (ISQG)^۹، آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا (USEPASV)^{۱۰}، سازمان غذا و سلامت آمریکا (FAO/WHO)^{۱۱}، سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران (ISIRI)^{۱۲} مقایسه و از بین فلزات بررسی شده سرب و کادمیوم جزء فلزات بسیار سمی تلقی شده و بدن موجودات زنده هیچ‌گونه احتیاجی به آن ندارند. در نتیجه مقدار بسیار ناچیز آن نیز برای بدن مضر بوده و نباید در جیره غذایی وجود داشته باشد. اما در مورد فلز مس در غلظت‌های پایین، بدن به وجود آنها احتیاج دارد و غلظت‌های بالای این فلزات می‌تواند برای انسان خطرناک باشد (حیدری چهار لنگ، ۱۳۹۰).

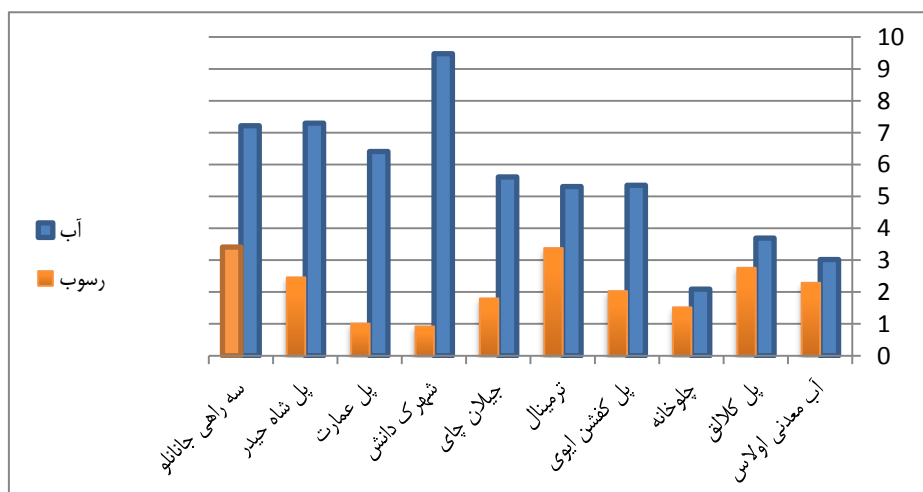
به‌منظور تعیین تأثیر نقش فلزات سنگین و تفکیک سهم میزان رسوب و آب در جذب و پالایش آلودگی سعی شده تا تمام همبستگی‌ها بررسی شود تا ارتباط بین تمام متغیرها بهتر شناسایی شود هم‌چنانکه مشاهده می‌شود آب و رسوب دارای نقش خودپالایی هستند و عناصر سنگین نه‌تنها هیچ‌گونه نقشی بر روی یکدیگر نداشته بلکه بر روی جذب هم ندارند. مقایسه میزان غلظت سرب، کادمیوم و مس در آب و رسوب ایستگاه‌های مختلف به ترتیب در شکل‌های (۵)، (۶)، (۷) ارائه شده است. در جداول (۹ و ۱۰) میزان فلزات سرب، مس و کادمیوم در منطقه مورد مطالعه با مرکز بین‌المللی اقیانوس



شکل ۵. مقایسه میزان سرب در آب و رسوب ایستگاه‌های مختلف



نمودار ۶. مقایسه میزان کادمیوم در آب و رسوب ایستگاه‌های مختلف



شکل ۷. مقایسه میزان مس در آب و رسوب ایستگاه‌های مختلف

جدول ۹. استانداردهای بین‌المللی غلظت مجاز فلزات سنگین در رسوب (بر حسب میکروگرم بر گرم)

Cu (µg/g)	Cd (µg/g)	Pb (µg/g)	استاندارد
۱۵۰	۰/۳	۰/۵	FAO/WHO
۵۰	۰/۱	۱	ISIRI
۳۴	۱/۲	۴۶/۷	NOAA
۱۸/۷	۰/۶۸	۳۰/۲	USEPA SV
۱۸/۷	۰/۷	۳۰/۲	ISQG
۵/۵۵	۰/۳۹	۲/۰۱۳	مطالعه حاضر

جدول ۱۰. استانداردهای بین‌المللی غلظت مجاز فلزات سنگین در آب (بر حسب میکروگرم بر لیتر)

Cu (µg/l)	Cd (µg/l)	Pb (µg/l)	استاندارد
۱۳۰۰	۳	۱۵	EPA(2009)
۲۰۰۰	۳	۱۰	WHO(2009)
۱۵۰۰	۱۰	۱۰۰	استاندارد ایران
۲/۱۶	۰/۰۸	۰/۶۵	مطالعه حاضر

جدول ۱۱. مقایسه غلظت‌های گزارش شده از فلزات سرب، کادمیوم و مس در آب و رسوب مناطق مختلف جهان با نتایج بدست آمده در تحقیق حاضر

منبع	Cu	Cd	Pb	نمونه	مکان
Saygi et al.(2012)	۲۳	۱/۹	۲۷	sedimsnet	Turkey
	۱۹/۳۳	۰/۲	۲۰/۸	water	
Fernandez ,(1999)	۴۳/۲	۳/۷	۶۸/۹	sedimsnet	Spain
	۰/۰۱	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۸۱	water	
Selcuk zorer,(2007)	۰/۱۰	۰/۰۱	۰/۰۵	water	Turkey
Anju et al,(2010)	-	۲۴/۴۳	۷/۵۸	Soil	India
Nasehi et al,(2012)	۱۹	۸	۹	water	Iran
خراسانی و همکاران(۱۳۸۴)	۳۳/۲	-	۳/۴	soil	Iran
ربانی و همکاران(۱۳۸۷)	۱۳/۳۵	۲/۹۷	۳۴/۹۸	soil	Iran
-----	۵/۵۵	۰/۳۹	۲/۰۱	آب	
	۲/۱۶	۰/۱۷	۰/۶۵	رسوب	تحقیق حاضر

بوده و با استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست، بهداشت جهانی و سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران اختلاف معناداری دارد. میزان فلز Cd در آب کمتر از استاندارد تمامی کشورها بوده و با استاندارد سازمان

برای مقایسه غلظت فلزات (Cu, Zn, Pb, Cd) با استانداردهای ارائه شده در جدول (۱۱) از آزمون one sample t-test استفاده شد نتایج حاصله بیانگر این است که میزان فلز Pb در آب کمتر از استاندارد تمامی کشورها

شده در باغ‌های این شهرک بالاترین میزان کادمیوم و مس را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌های آب در ایستگاه‌های مختلف رودخانه کلیبر، بیانگر آن است که در میان ایستگاه‌های مطالعه شده ایستگاه ۱ (آب معدنی اولاس) بالاترین میزان سرب با غلظت $1/45$ میلی‌گرم بر لیتر (جدول ۵)، بالاترین میزان کادمیوم در ایستگاه ۲ (پل کلاتق) با غلظت $0/99$ میلی‌گرم بر لیتر (جدول ۶) و بالاترین میزان مس در ایستگاه ۸ (پل عمارت) با غلظت $3/87$ میلی‌گرم بر لیتر (جدول ۷) را نشان می‌دهد. در حالی که حداقل میزان این عناصر در ایستگاه ۱۰ (جانانلو) به ترتیب با غلظت $0/07$ ، $0/00$ ، $0/56$ میلی‌گرم بر لیتر تجمع یافته‌اند. در تحقیق حاضر در نمونه‌های رسوب میزان فلز کادمیوم بیشتر از استاندارد سازمان تحقیقات صنعتی ایران بوده و اختلاف معناداری ندارد. این عنصر به‌عنوان فلز سنگین آلاینده‌ای شایع است که در سرتاسر اکوسیستم‌ها پراکنده شده است. هرچند که طبیعتاً در محیط‌های زیست دریایی حضور دارد اما جزء عناصر غیرضروری ظهور آن در رژیم غذایی می‌تواند بر مصرف‌کنندگان پرندگان دریایی سمی باشد که بیشتر به دلیل وارد شدن فاضلاب‌های خانگی در رودخانه غلظت آن بالا رفته است (فتائی، ۱۳۹۰). ترتیب فلزات در نمونه‌های آب و رسوب براساس غلظت را می‌توان این گونه بیان کرد، مس < سرب > کادمیوم. نتایج حاصله نشان می‌دهد که غلظت فلزات در نمونه‌های آب و همچنین غلظت فلزات در نمونه‌های رسوب - بالاتر از حد استاندارد است. همبستگی بین غلظت فلزات در آب و رسوب نیز وجود نداشته؛ اما بین عناصر موجود در رسوب و آب همبستگی به‌طور جداگانه وجود دارد. حسن پور و همکاران (۱۳۹۰) مطالعات خود را در ۱۶ ایستگاه تالاب گمیشان و خلیج گرگان انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که بیشترین غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های آب، متعلق به سرب ($0/154 \pm 0/02 \text{ mg/kg}$) و در نمونه‌های رسوبات، متعلق به روی ($0/42 \pm 0/04 \text{ mg/litr}$) بوده است. در

حفاظت محیط‌زیست، سازمان بهداشت جهانی و سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران اختلاف معناداری دارد. مقدار فلز Cu در آب کمتر از استاندارد در آب کمتر از استاندارد تمامی کشورها بوده و با استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست، سازمان بهداشت جهانی و سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران اختلاف معناداری دارد. میزان فلز Pb در رسوب بیشتر از استاندارد سازمان تحقیقات صنعتی ایران، استاندارد بین‌المللی بهداشت و غذا بوده و اختلاف معناداری دارد. میزان فلز Cd در رسوب بیشتر از استاندارد سازمان تحقیقات صنعتی ایران، استاندارد بین‌المللی بهداشت و غذا بوده و اختلاف معناداری دارد. مقدار فلز Cu در رسوب کمتر از استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست، سازمان بین‌المللی اقیانوس و هواشناسی، استاندارد بین‌المللی کانادا، سازمان استاندارد، استاندارد بین‌المللی غذا و بهداشت جهانی و سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران بوده و اختلاف معناداری دارد.

۸. بحث و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌های رسوب در ایستگاه‌های مختلف رودخانه کلیبر، بیانگر آن است که در میان ایستگاه‌های مطالعه شده، ایستگاه ۵ (ترمینال) بالاترین میزان سرب با غلظت $3/8$ میکروگرم بر گرم وزن خشک را نشان می‌دهد (جدول ۲). در حالی که بالاترین میزان کادمیوم و مس به ترتیب با غلظت $1/01$ و $14/50$ میکروگرم بر گرم در وزن خشک در ایستگاه ۷ (شهرک دانش) تجمع یافته است (جدول ۳ و ۴). همچنین حداقل میزان سرب در رسوب ایستگاه ۶ (جیلان چای) با غلظت $0/03$ میکروگرم بر گرم وزن خشک، حداقل میزان کادمیوم در رسوب ایستگاه ۲ (پل کلاتق) با غلظت $0/02$ میکروگرم بر گرم وزن خشک و حداقل میزان مس در رسوب ایستگاه ۳ (چلوخانه) با غلظت $1/23$ میکروگرم بر گرم وزن خشک محاسبه شده است. ایستگاه ۷ (شهرک دانش) به دلیل ورود فاضلاب‌های خانگی و کودهای شیمیایی استفاده

است. البته لازم به ذکر است سربی که طی سال‌ها وارد محیط شده مدت زمان بیشتری لازم دارد تا از طبیعت حذف شود ولی به دلیل اینکه سرب حاصل از وسایل نقلیه عموماً بصورت ذرات ریز بر روی برگ گیاهان می‌نشیند و همراه آنها وارد زنجیره غذایی می‌شود، در نتیجه با حذف سرب از هوا از میزان سرب در گیاهان به سرعت کاسته می‌شود و تنها سربی که بصورت طبیعی در پوسته زمین وجود دارد و سربی که طی سال‌ها وارد خاک شده باقی خواهد ماند (نجات الهی، ۱۳۹۲). در پایان بر طبق داده‌های بدست آمده می‌توان چنین اظهار کرد که غلظت فلزات در نمونه‌های آب بالاتر از حد استاندارد است و همچنین غلظت فلزات در نمونه‌های رسوب- بالاتر از حد استاندارد است. یعنی وجود همبستگی بین غلظت فلزات در آب و رسوب نیز وجود ندارد و بین عناصر موجود در رسوب و آب همبستگی به‌طور جداگانه وجود دارد. چون همان‌گونه که دیده شد کادمیوم با سرب و مس در نمونه‌های آب و همچنین با مس در نمونه‌های رسوب ارتباط معناداری وجود دارد. همچنین نتایج نشان داد که غلظت فلزات سنگین همراه با جریان رودخانه به سمت پایین دست علی‌رغم ورود پسماندهای شهر کلیبر کاهش یافته و توسط آب و رسوب جذب می‌شوند. این موضوع نقش خودپالایی رودخانه حوضه آبخیز کلیبر چای را نشان می‌دهد. نتایج همچنین نشان دهنده قدرت خودپالایی کم رودخانه در این فاصله است و رودخانه به‌شرط آنکه فاضلابی بیش از حد توان خودپالایی به آن وارد نشود می‌تواند با طی مسافتی نسبتاً طولانی مقادیر آلاینده‌های وارده توسط فاضلاب‌های شهری و صنعتی را که به آن وارد می‌شوند را کاهش داده و به حد اولیه برگرداند. منابع آلودگی رودخانه کلیبر چای مراکز جمعیتی، فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی و رواناب‌های ناشی از بارندگی هستند. در ماه‌های کم‌آب پساب‌های ورودی به رودخانه به‌عنوان منابع اصلی آلودگی محسوب می‌شوند و در ماه‌های پر آب رواناب‌های کشاورزی و زهکش‌ها عامل

بررسی رابطه بین مقادیر فلزات در ستون آب و رسوبات مشخص شد که همبستگی بالا و معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ بین آن‌ها وجود دارد. غلظت‌های سرب، کادمیوم و روی در آب و رسوبات در حد استاندارد توصیه شده بودند. اما غلظت کروم در آب بالاتر از مقدار استاندارد قابل تحمل بود. به عبارت دیگر فراوانی برداشت از معدن و تأثیر آن بر کیفیت آب سطحی بررسی شد که تعداد ۲۲ ایستگاه در فصل بهار به‌طور تصادفی انتخاب شدند که عناصر سنگین $Al, Cu, Cd, Cr, Fe, Mn, Zn$ مورد مطالعه و غلظت آن‌ها اندازه‌گیری شده و در ادامه به‌منظور بررسی همبستگی بین فلزات به این نتایج دست یافتند که بین آلومینیوم و آهن، کادمیوم و کروم، مس و سدیم همبستگی وجود دارد. با تحقیقاتی که بر روی عنصر سرب موجود آب و سرب در کشورمان انجام شده است می‌توان نتیجه گرفت که در طی سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۱ غلظت این عناصر به تدریج کاهش چشمگیری داشته است که این مهم را می‌توان به بهبود کیفیت سوخت‌های فسیلی و افزایش استانداردها نسبت داد. در گذشته سوخت‌های مصرفی عموماً حاوی مقادیر بالای فلز سرب بوده‌اند که همین امر باعث افزایش میزان سرب در گیاهان بوده، ولی امروزه با سخت‌تر شدن قوانین و رعایت استانداردهای بین‌المللی در رابطه با تولید سوخت‌های پاک، به تدریج سرب از سوخت حذف شده که به تبع آن باعث کاهش غلظت این فلز در محیط شده است. از طرف دیگر به دلیل پایین بودن سطح تکنولوژی ساخت خودرو و تولید خودرویی با کیفیت کم در گذشته منجر به آلودگی شده است؛ اما امروزه با افزایش سطح دانش در رابطه با تولید خودرو و افزایش نگرانی عمومی در رابطه با آلودگی‌های محیط‌زیست و وضع قوانین سختگیرانه در رابطه با تولید خودروهای پاک، تمامی خودروهای تولید شده باید استاندارد یورو ۴ را داشته باشند. تولید خودرو و سوخت پاک و عاری از سرب منجر به کاهش سرب در محیط و جیره غذایی شده است که این موضوع باعث کاهش آلودگی سرب به‌طور نسبی شده

پرنندگان، بررسی میزان خودپالایی عناصر سنگین در رودخانه و گیاه، بررسی فلزات سنگین در خاک اطراف رودخانه باشد.

یادداشت‌ها

1. Atomic Absorption Spectroscopy
2. Limit Of Detection
3. Limit Of Determination
4. ANOVA
5. Dunnett T3
6. correlation
7. LSD15
8. National Oceanic and Atmospheric Administration
9. Canadian Interim Marine Sediment Quality Guideline
10. U.S.Environmental Protection Agency Screening Values for bed sediment
11. Food And Agriculture Organization/World Health Organization
12. Institute of Standards and Industrial Research of Iran

اصلی آلودگی محسوب می‌شوند. کاربرد فراوان کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها می‌تواند نقش بسزایی در افزایش فلزات سنگین داشته باشد. کیفیت و کمیت آب رودخانه‌ها تحت تأثیر فاضلاب ورودی نواحی شهری و صنعتی و رواناب نواحی کشاورزی حوضه قرار دارد. زهکشی فاضلاب‌ها، مقدار زیادی از آب‌های آلوده به فلزات سنگین، کودها، آفت‌کش‌های کشاورزی، مواد آلی، شوینده‌ها و آلاینده‌های دیگر را وارد رودخانه می‌کند. تخلیهٔ پساب صنایع ذوب و آبکاری فلزات مانند مس، سرب و نیکل، روی، کروم و کادمیوم، همچنین پساب واحدهای شیمیایی می‌تواند منجر به تجمع فلزات در رسوبات شود (قائنی و همکاران، ۱۳۹۳). ورود فلزات به آب‌های طبیعی معمولاً از محل‌های تخلیهٔ فاضلاب‌های شهری، کشاورزی و صنعتی صورت می‌گیرد (قویدل، ۱۳۹۳). در پایان می‌توان به این موضوع اشاره کرد که وجود پوشش گیاهی در اطراف حاشیهٔ رودخانه کلیبر چای و حجم رسوبات تجمع یافته در بستر و کناره‌ها و همچنین مقدار دبی رودخانه می‌تواند در میزان خودپالایی رودخانه مؤثر باشد. بنابراین مقدار خودپالایی بر اساس سال و ماه و سایر پارامترهای ذکر شده می‌تواند متغیر باشد. دیاگومانولین و همکاران^۱ (۲۰۰۴) با مطالعاتی که در ۱۶ ایستگاه رودخانهٔ کارون برای فصل‌های بهار و زمستان انجام دادند، نشان داد که در فصل بهار بیشترین و کمترین غلظت برای نیکل، کروم و مس به ترتیب ۶۰/۷-۴۱، ۱۹/۸-۰/۷ و ۲۸/۷-۰/۵ میکروگرم بر لیتر بوده و برای فصل زمستان این غلظت به ترتیب ۱۱۰/۷-۶۹/۳، ۱۱۸/۳-۱۰/۷ و ۷۰/۳-۵/۵ میکروگرم بر لیتر به دست آمد، که غلظت آن‌ها از بالادست رودخانه به سمت پایین افزایش یافته است. بنابراین این موضوع می‌تواند زمینه تحقیقاتی در رابطه با بررسی سایر فلزات سنگین و سمی در نمونه‌های آب و رسوب، بررسی تأثیر این فلزات در گیاهان، آبزیان و

منابع

- اسلامی، ا. و نعمتی، ر. ۱۳۹۴. بررسی حذف فلزات سنگین از محیط‌های آبی با استفاده از فناوری زیست پالایی (مطالعه مروری)، فصلنامه بهداشت در عرصه دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی - دانشکده بهداشت ۳(۲): ۴۳-۵۱.
- اقبالی شمس‌آباد، پ.، معاریانی، م. و معطر، ف. ۱۳۸۹. بررسی عناصر سنگین کروم، کادمیوم، سرب و مواد آلی در سفیدرود به نگرشی بر منشأ زمین ساختاری آنها، مجله علمی - تخصصی تالاب دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، ص ۳۹-۵۵.
- ایلدرمی، ع.، نوروزی فرد، پ. و مرتضوی، ث. ۱۳۹۲. پژوهشی به بررسی نقش گیاه نی در پالایش آلودگی ناشی از فلزات سنگین جهت حفاظت زیست‌بوم بخشی از حوضه آبخیز دز، نشریه حفاظت زیست‌بوم گیاهان، ۱(۳): ۳۱-۴۶.
- ایلدرمی، ع.، حسینی، پ. و حسینی، ع. ۱۳۹۲. بررسی کیفیت آب رودخانه کارون با استفاده از شاخص NSFQI در بازه زرگان تا کوت امیر (طی ۵ سال)، فصلنامه انسان و محیط‌زیست، ۲۵: ۱-۱۱.
- ایلدرمی، ع.، حسینی، پ. و حسینی، ی. ۱۳۹۵. بررسی کارایی مدل kw^2Qual در خودپالایی رودخانه (مطالعه موردی رودخانه کارون در بازه زرگان - کوت امیر)، علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، ۱۸(۲): ۱۰۳-۱۲۳.
- تن‌زاده، ج.، شارق‌فر، م. و پناهنده، م. ۱۳۹۵. استفاده از میکروارگانیسم‌ها در پاکسازی زیستی فلزات سنگین موجود در خاک، پژوهش و فناوری محیط زیست، ۱(۱): ۱-۶.
- حسن پور، م.، پورخباز، ع. و قربانی، ر. ۱۳۹۰. اندازه‌گیری فلزات سنگین در آب، رسوب و پرند و وحشی چنگر در حاشیه جنوب شرقی دریای خزر، مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران ۲۱(۱): ۱۸۴-۱۹۴.
- حیدری چهارلنگ، ب.، ریاحی بختیاری، ع. و یآوری، و. ۱۳۹۰. بررسی غلظت فلزات سنگین (Pb, Zn, Cd and Cu) در رسوبات سطحی سواحل بندر لنگه، پنجمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط‌زیست، انجمن مهندسی محیط‌زیست، ص ۷-۱.
- حمیدیان، ا.، نوروزنیا، ه. و میرزایی، ر. ۱۳۹۵. قابلیت گیاه پالایی گیاه آبزی *Nelumbo nucifera* در حذف فلزات سنگین (مس، کروم، سرب، آرسنیک و کادمیوم) در تالاب انزلی، محیط‌زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، ۶۹(۳): ۶۳۳-۶۴۳.
- خراسانی، ن.، شایگان، ج. و کریمی شهری، ن. ۱۳۸۴. بررسی غلظت فلزات سنگین (روی، مس، آهن، کروم و سرب) در رسوبات سطحی سواحل بندرعباس، مجله منابع طبیعی ایران، ۵۸(۴): ۸۶۱-۸۶۹.
- ربانی، م. ۱۳۸۷. اندازه‌گیری میزان آلودگی ناشی از فلزات سنگین نیکل، سرب و جیوه در رسوبات خلیج فارس/منطقه عملیاتی عسلویه، مجله اکتشاف، ۵۱: ۵۳.
- رجائی، م.، پورباقر، ه.، فرحمند، ح.، مرتضوی، م.، افلاکی، ف. و حمیدیان، ا. ۱۳۹۴. بررسی تجمع فلزات سنگین منگنز، کادمیوم، کروم و سرب در صدف محار در جزایر هندورابی و لاوان، خلیج فارس، محیط‌زیست طبیعی، ۶۸(۱): ۴۵-۵۲.
- شعبان‌بان، ن. و چراغی، چ. ۱۳۹۲. مقایسه زیست پالایی فلزات سنگین توسط گونه‌های چوبی مورد استفاده در جنگلداری شهری سندج، فصلنامه علمی - پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۲۱(۱): ۱۵۴-۱۶۵.
- عبادی، ا.، پیام، ح.، فلاح‌چای، م. و امیدوار، ا. ۱۳۸۸. بررسی اوت اکولوژی سرخدار در جنگل‌های ارسبارن (مطالعه موردی حوضه آبخیز ایلگنه چای)، مجله علوم زیستی واحد لاهیجان، ۲: ۴۷-۵۹.

- فتائی، ابراهیم. ۱۳۹۰. بررسی پارامترهای کیفی کانال‌های آبرسانی شهرستان پارس‌آباد، فصلنامه علمی محیط‌زیست، ۵۰: ۷۳-۸۱.
- قائمی، م.، رومیانی، ل. و صفرخانلو، ر. ۱۳۹۳. بررسی میزان آرسنیک، جیوه، روی و مس در گیاهان آبزی کارا (Char asp)، نی (Phragmites australis)، لویی (Typha latifolia) و پیروز (Scirpus bulrush) در رودخانه دز، فصلنامه علمی پژوهشی اکوبیولوژی تالاب- دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، ۶ (۲۲): ۴۹-۵۸.
- قویدل، ا. و فرامرز، م. ۱۳۹۳. بررسی سرب، روی و نیکل رودخانه‌های حوضه آبریز تالاب انزلی (مورد مطالعاتی رودخانه گوه‌رود)، علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، ۱۶ (۱): ۸۹-۹۶.
- کرباسی، ع.، حیدری، ر. و ایاز، ق. ۱۳۹۵. بررسی خودپالایی فلزات سنگین در حین اختلاط آب رودخانه با آب دریا، محیط‌زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، ۶۹ (۱): ۱۷۱-۱۸۱.
- نجات‌الهی، م.، ایلدرمی، ع. و مرتضوی، ث. ۱۳۹۲. بررسی غلظت فلزات سنگین (مس، روی، کادمیوم و سرب) در برگ چای تولید شده در ایران (مطالعه موردی: استان‌های گیلان و مازندران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه ملایر).
- نیسی، ع. و ثوقی، م.، محمدی، ب.، محمدی، م.، نعیم آبادی، ا. و هاشم زاده، ب. ۱۳۹۳. گیاه پالایی فلزات سنگین توسط گیاه آفتابگردان: مطالعه موردی، فصلنامه علمی دانشگاه علوم پزشکی تربت حیدریه، ۲ (۲): ۵۵-۶۶.
- نیک ورز، ع.، نبوی، م. و محسنی، م. ۱۳۸۷. بررسی استفاده از جلبک‌ها در پایش زیستی فلزات سنگین (سرب، کادمیوم، مس، روی، آهن) در مناطق بین جزر و مدی جزیره هرمز، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه علوم.
- Ali, H., Khan, E. and Sajad, M.A., 2013. Phytoremediation of heavy metals - concepts and applications. *Chemosphere*, 91: 869-881.
- Anju, M. and Banerjee, D. K. (2010). Comparison of two sequential extraction procedures for heavy metal partitioning in mine tailings. *Chemosphere*, 78(11): 1393-1402.
- Burken, J., Vroblesky, D. and Balouet, J.C., 2011. Phytoforensics, dendrochemistry and phytoscreening: New green tools for delineating contaminants from past and present. *Environmental Science & Technology*, 45(15): 6218-6226.
- Cybalski Z., Dzuiria E., Kaczorek E. and Olszanowski A., 2003. The influence of emulsifier on hydrocarbon biodegradation by Pseudomonadacea and Bacillaceastrains. *Spill Science and Technology Bulletin*, 8: 503-507.
- Diagomanolin, V., Farhang, M., Ghazi-Khansari, M. and Jafarzadeh, N., 2004. Heavy metals (Ni, Cr, Cu) in the karoon waterway river, Iran. *Taxiology Letters*, 151: 63-6.
- Foroughi, M. and Toghiani, S., 2012. Phosphorus removal from aquaculture wastewater and latex by *Ceratophyllum demersum*. *African Journal of Biotechnology*, 11 (7): 1639-1643, 24.
- Fernandez, M. A., Alonso, C., González, M. J. and Hernandez, L. M. (1999). Occurrence of organochlorine insecticides, PCBs and PCB congeners in waters and sediments of the Ebro River (Spain). *Chemosphere*, 38(1): 33-43.
- Hamidian, A.H., Atashgahi, M. and Khorasani, N., 2014. Phytoremediation of heavy metals (Cd, Pb and V) in gas refinery wastewater using common reed (*Phragmites australis*). *International Journal of Aquatic Biology*, 2(1): 29-35.
- Karbassi A.R., Nabi-Bidhendi G.R. and Bayati I., 2005. Environmental geochemistry of heavy metals in a sediment core off Bushehr, Persian Gulf. *Iran. J Environ HealthSci Eng*; 255-260.
- Moor, F., Esmaili, K. and Keshavarzi, B., 2011. Assessment of heavy metals contamination in stream water and sediments affected by the sungun Porphyry Copper Deposit, East Azerbaijan Province, North west Iran, *Water Qual Expo Healeh* 3: 37-49.
- Nasehi, S. M., Sillito, J., Maurer, F. and Burns, C. (2012, September). What makes a good code example?: A study of programming Q&A in StackOverflow. In *Software Maintenance (ICSM), 2012 28th IEEE International Conference on: 25-34. IEEE.*

- Saygi, Y. and Yiit, S. A. (2012). Heavy metals in Yenicaa Lake and its potential sources: soil, water, sediment, and plankton. *Environmental monitoring and assessment*, 184(3): 1379.
- Sheoran, V., Sheoran, A. and Poonia, P, 2011. Role of hyperaccumulators in phytoextraction of metals from contaminated mining sites: a review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 41: 168-214.
- Suranjana R. and Manas K. R., 2009. Bioremediation of Heavy metals Toxicity with special Reference to Chromium, special:57- 63,ISSN0974-1143.
- Yarsan, E., Baskaye ,R., Yildiz ,A., Altintas, L. and Yesilot, S., 2007. Copper, Lead, Cadmium and Mercury Concentration in th Mussel Elliptio. *Bull Environ Contam Toxicol*, 79: 218-220.
- Yap,C.k., Ismail, A., Tan,S.G., Omar,H., 2002. Concentration of CU and Pb in the offshore and intertidal sediments of the west coast of peninsular Malaysia.*Environ.Int.* 28:467-479.
- Zorer, Ö. S., Ceylan, H., and Doğru, M. (2008). Assessment of some trace heavy metals and radioactivity concentration in water of Bendimahi River Basin (Van, Turkey). *Environmental monitoring and assessment*, 147(1): 183-190.