دوره‌ی۳۴، شماره‌ی ۴، شماره‌ی پیاپی ۱۳۳، زمستان ۱۴۰۰، صفحه‌های ۱۳۴-۱۱۸
شناسه‌ی دیجیتال10.22092/WMRJ.2021.354478.1410

پژوهش‌های آبخیزداری

مقاله‌ی پژوهشی

CC BY

بررسی کیفیت و مقدار آلودگی ته‌نشست‌های سطحی رود کارون در بخشی از بازه‌ی شهری اهواز

فریدون سلیمانی
(نویسنده‌ی مسئول)* استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران
محمدرضا غریب‌رضا
دانشیار پژوهشی، گروه تحقیقات مهندسی رودخانه و سواحل، پژوهشکده‌ی حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
فریبرز سوزنگر
کارشناس پژوهشی، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران

*رایانامه‌ی نویسنده‌ی مسئول: frsolaimani@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۹ اردیبهشت ۱۴۰۰ تاریخ پذیرش: ۲۹ شهریور ۱۴۰۰

چکیده
رود کارون یکی از محیط‌های ته‌نشستی مهم آبخیز کارون بزرگ است که پذیرای مقدار فراوانی از انواع آلاینده‌های نفتی، صنعتی، فاضلاب شهری و پس‌آب کشاورزی است. از طرفی شرایط فیزیکو شیمیایی حاکم بر آن که ناشی از تغییر در آب‌گذری و ریخت شناسی آن است، شرایط جذب عنصرهای فلزی سمی و ترازهای مختلف آلایندگی را برای آب‌زیان و بهره‌برداران و چرخه‌ی غذایی آن‌ها فراهم آورده است. بازه‌ی شهری اهواز (پل پنجم تا کوی سید خلف) با هدف تعیین غلظت هفت عنصر فلزی سمی (Pb، Zn، Cd، Cr، Cu، As، و Ni) و ترازهای آلودگی ناشی از آن‌ها برای این پژوهش مشخص شد. راه‌برد نمونه‌برداری از نوع دیده‌گرایی (تعَیُّن‌گرایی) و از محل کانون‌های شناسایی شده تعیین، و ۲۱ نمونه از ته‌نشست‌های سطحی رود (۱۰-۰ سانتی‌متر) با دستگاه نمونه بردار دست‌نخورده برداشته شد. ته‌نشست‌ها پس از مراحل آماده‌سازی با دستگاه ICP- MS تجزیه شد. غلظت عنصرها نسبت به تراز بمعیار آن‌ها در ته‌نشست‌های آب شیرین (ISQGs ,PE L,SEL) مقایسه، و تراز خطر آلودگی و منطقه‌ی خطر به‌دست آمد. عامل غنی‌شدگی برای تعیین مقدار عبور غلظت عنصرهای فلزی سمی از تراز مبنا محاسبه شد. ضریب تغییر غلظت غالب عنصرها نشان دهنده‌ی سهم آلاینده‌های انسانی در افزایش تمرکز آن‌ها در ته‌نشست‌ها داشت. ترتیب غنی‌شدگی عنصرها Zn> Cu> Ni > As > Cr=Pb> Cd در ته‌نشست‌های سطحی بود. ته‌نشست‌های سطحی کارون به‌ویژه از پل کیان‌پارس تا پل پنجم برای Cr در شرایط پرخطر بود، و غلظتی بیش از تراز ($۹۰\ mg\ kg^{-1}$) PEL داشت. غلظت Ni در ته‌نشست‌ها در بازه‌ی پژوهش فراتر از حد بمعیار PEL، ISQG به‌ویژه ($۵۰\ mg\ kg^{-1}$) SEL بود. همه‌ی آب‌زیان و بهره‌برداران از رودخانه‌ی کارون در بازه‌ی پژوهش در برابر خطر مسمومیت شدید ناشی از آلودگی نیکل اند. این شرایط در حالی است که فاضلاب‌های زه‌کش‌شده در بازه‌ی پل کیان‌پارس تا پل سیاه و پل نادری تا پل هشتم بیش‌ترین نقش در آلودگی کارون داشته‌است. کنش‌های پیش‌گیرانه و مهارکننده‌ی آلاینده‌ها از منشأ و روش‌های خنثاسازی و حذف آلاینده‌ها از ته‌نشست‌های رودخانه‌ی کارون توصیه می‌شود.

واژگان کلیدی: تراز آلودگی، شاخص کیفیت ته‌نشست، عنصرهای فلزی سمی، کارون، کانون‌های آلودگی

مقدمه

بسیاری از پژوهش‌گران بر این باور اند که ته‌نشست شاخص مهمی برای بررسی آلودگی آب‌های سطحی است. از این‌رو تجزیه و تحلیل ته‌نشست ممکن است اطلاعات مهمی برای ارزیابی فعالیت‌های انسانی به‌دست دهد و نقش مهمی در پژوهش‌های زیست محیطی ایفا کند. در بسیاری از سامانه‌های آبی، آلودگی‌های ته‌نشست از جمله فلزهای سنگین حتا ممکن است توان سمناکی برای زیندگان آبی داشته باشد (کریمی ۲۰۱۶). از طرفی در میان آلاینده‌های آبی، عنصرهای فلزی سمی مناسب‌ترین شاخص برای بررسی آلودگی است، زیرا در ته‌نشست‌های پایدار و در محیط طبیعی بسیار نادر است (ساییکی و همکاران ۱۹۹۳).

حضور عنصرهای فلزی سمی در محیط زیست بسیار مشکل ساز است. این دشواری به‌دلیل پایداری درازمدت آن‌ها است، زیرا برخلاف سایر آلاینده‌های آلی براثر فرایندهای شیمیایی یا زیستی در طبیعت تجزیه (ماسا و همکاران ۲۰۱۳) و در نتیجه، پس از ورود به بدن زیندگان، در بافت‌های آن‌ها ذخیره می‌شود، و ممکن است در اعضای بالاتر زنجیره‌ی غذایی به اندازه‌های بسیار بیش‌تری تجمع یابد. به علاوه، ممکن است جای‌گزین املاح و مواد معدنی نیازداشته‌ی بدن جان‌داران شود و از این راه موجب به خطر افتادن سلامتی آن‌ها شود (رضوانی و همکاران ۲۰۱۴). غلظت زیاد این فلزها سلامتی خاک، انسان و سایر زیندگان را به خطر می‌اندازد (جیائو و همکاران ۲۰۱۵). مقدار تجمع عنصرهای فلزی سمی به ساختار شیمیایی ته‌نشست، نوع ترکیب‌های درون آب، نرخ ته‌نشست فلزها، شرایط فیزیکوشیمیایی آن‌ها (یونی-ترکیبی) و ویژگی‌های ساختمانی-شیمیایی آب از نظر پی‌اچ، قلیاییت، تجمع‌دهنده‌ها، و غلظت اکسیژن محلول بستگی دارد (کرباسی و بیاتی ۲۰۱۷). روش‌های علمی بررسی شاخص خطر زیست‌محیطی برای مهارکردن آلودگی منبع آب و ته‌نشست بررسی شده است. راهنمای کیفیت ته‌نشست از جمله دستورکارهایی است که بر پایه‌ی پژوهش‌های سم‌شناسی زیست‌بومی توسعه داده شده‌است (CCME ۱۹۹۵). این راهنما به شناسایی محدوده‌یی از آلاینده‌ها در ته‌نشست کمک می‌کند که اثر بد آن‌ها بر سلامت جان‌داران کفزی گذشت‌نکردنی، نامشخص و محتمل باشد. مهم‌ترین کاربرد این روش ارزیابی کم‌ترین اثر بد محتمل بر سلامت آب‌زیان و بهره‌برداران است. آلودگی ته‌نشست در محیط‌های مختلف آبی با کمینه تا بیشینه‌ی سمی‌بودن بر آب‌زیان با راهنمای کیفیت ته‌نشست آشکار می‌شود. تفسیر کلی شیمی ته‌نشست و محیط نیز از دست‌آوردهای این راهنما است. دامنه‌ی کاربرد این روش عمدتاً برای غربال‌گری اثر بد زیست محیطی آلاینده‌ها در محیط‌های تالاب، دریاچه، رودخانه‌ها و آب‌راه‌های کم‌شیب، بندرها و منطقه‌ی ساحلی و خورها مناسب است. از مهم‌ترین معیارهای کاربردی در راهنمای کیفیت ته‌نشست برای آب‌های شیرین مانند رودخانه‌ها و تالاب‌ها کمینه‌ی سطح اثر (LEL)[1]، تراز احتمالی اثرگزاری (PEL)[2]، و تراز اثرگزاری شدید (SEL)[3] است.

در کنار روش‌های مقایسه‌یی و برآورد خطرهای زیست‌بوم، عامل‌هایی مانند غنی‌شدگی[4] و شاخص زمین انباشتگی[5] برای شناسایی اثر زیست‌محیطی فعالیت‌های انسانی در افزایش بیش از حد طبیعی فلزهای سمی در ته‌نشست و دیگر محیط‌های میزبان به کار می‌رود. این روش‌ها بر پایه‌ی تقسیم غلظت فلز سمی بر مقدار پایه یا طبیعی آن استوار است، و برای بهنجارکردن حاصل آن بر همان نسبت غلظت فلزهای اصلی مانند آلومینیم و لیتیم تقسیم می‌شود. مقدار به‌دست‌آمده نیز غنی‌شدگی و زمین انباشتگی فلزهای سمی در محیط را در ترازهای مختلف نشان می‌دهد، که بر پایه‌ی آن مقدار تاثیرگزاری منبع نقطه‌یی مشخص و غیرمشخص در بازه‌ی بررسی‌شده آشکار می‌شود (غریب‌رضا ۲۰۲۰).

بیش‌تر پژوهش‌های انجام شده در رودخانه‌ی کارون بر کیفیت آب تمرکز داشته و بررسی شرایط آلودگی محیطی بر پایه‌ی ته‌نشست پراکنده انجام شده است. قدیمی‌ترین پژوهش در زمینه‌ی آلودگی ته‌نشست‌های رودخانه‌ی کارون در سال ۱۳۷۲ انجام شد (ریاحی و همکاران ۱۹۹۹). نتیجه‌ی پژوهش ایشان نشان‌دهنده‌ی زیاد بودن غلظت عنصرهای فلزی سمی در محیط‌های مایع، ته نشست، و عضله‌ی ماهیان از سال‌های ۱۳۷۲-۱۳۷۳ است.

انصاری و همکاران (۲۰۰۶) در نمونه‌های آب و ته‌نشست برداشت شده از ۵ ایستگاه در بازه‌ی بالادست، میانی و پایین‌دست رودخانه‌ی کارون غلظت عنصرهای سنگین (سرب، کادمیوم، کبالت، کروم و نیکل) را اندازه‌گیری، و انباشت و چگونگی پراکنش آلاینده‌ها را میان ایستگاه‌های مختلف بررسی

1 - The lowest Effective Level, LEL
2 - The Probable Effective Level, PEL
3 - The Severe Effective Level, SEL
4 - Enrichment factor, Ef (Loring et al., 1995; Sutherland and Tolosa 2000)
5 - Geo-Accumulation Index, Igeo (Muller 1979)

کردند. در نمونه‌های ته‌نشست غلظت زیادی از عنصرهای فلزی سمی آشکار شد، که به‌دلیل برهم‌کنش‌های شیمیایی با آب امکان گسترش آن، و خطرهای زیست‌محیطی آن برای آب‌زیان، آب آشامیدنی، و کشاورزی هست.

راستمنش و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که بیش‌تر عنصرهای فلزی سمی تاثیر منفی بر انسان و محیط زیست دارد. ۲۴ نمونه از ته‌نشست‌های سطحی (۵-۰سانتی‌متر) جمع‌آوری شد. غلظت عنصرهای فلزی سمی (کروم، مس، روی، سرب، آرسنیک، نیکل، منگنز و آهن) با روش‌های معیاری (ICP-MS) مشخص شد. غلظت فلزها در ته‌نشست‌های سطحی از ۱۲/۷۵ تا ۴۷/۲۵ mg/L برای مس، ۳/۹۶ تا ۴۵/۲۴ mg/L برای سرب، ۱۵۱/۷- ۳۰/۹ mg/L برای روی، ۹۹/۷- ۵۰/۸ mg/L برای نیکل، ۴/۹- ۲/۶ mg/L برای آرسنیک، ۵۹/۳-۳۵/۷ mg/L برای کروم، ۳۸۲ تا۴۹۳ mg/L برای منگنز، و ۱۳۲۰۰ تا ۲۰۰۰۰ mg/L برای آهن بود. غلظت نیکل در همه‌ی ایستگاه‌ها بیش از تراز PEL و کروم در ۹۲٪ از نمونه‌ها بیش از تراز TEL بود. بیش‌ترین مقدار عامل آلودگی برای روی و بیش‌ترین درجه‌ی آلودگی در منطقه‌ی نیوسایت بود. تحلیل آماری این پژوهش نشان داد که مس، روی، و سرب ارتباط معنی‌داری با کربن آلی دارد، و احتمالا به طور عمده از فاضلاب خانگی و پس‌آب صنعتی ناشی می‌شود. در مقابل کروم و آرسنیک و نیکل با آهن و منگنز همبستگی داشت، که احتمالا ناشی از منبع‌های طبیعی یا کشاورزی بود. نتیجه نشان‌دهنده‌ی آلودگی متوسط ته‌نشست‌های رودخانه‌ی کارون در سال ۱۳۹۴ بوده است. در پژوهش شهنواز و همکاران (۲۰۰۹) در گذر رود کارون در شهر اهواز، نمونه‌برداری و غلظت عنصرهای فلزی سمی (Pb, Zn, Cu, Cd, Ni)، مواد آلی، ازت، فسفر، پتاسیم، هدایت الکتریکی، و پی‌اچ در نمونه‌های چهار ایستگاه اندازه‌گیری شد. غلظت عنصرها در ته‌نشست‌های سطحی بیش‌تر از عمقی بود، و غلظت مس در مقدار خطرناک بود. ته نشست‌ها از نظر پتاسیم، هدایت الکتریکی و پی‌اچ در وضعیت مناسب بود. غفاری (۲۰۰۲) نشان داد که غلظت آهن، روی، سرب، کادمیم، مس و منگنز در بستر رود کارون بسیار بیش‌تر از حد مجاز، و در گذر زمان افزایشی است. پژوهش کانی‌شناسی رس‌های ته نشست رود کارون عمدتاً ترکیب رس مونت‌موریولینی داشت، که به‌علت داشتن بار الکتریکی زیاد و ظرفیت تبادلی کاتیونی زیاد، قدرت آن برای جذب‌کردن عنصرهای آلاینده‌ی زه‌آب‌های واردشده به رود زیاد بود. نتیجه‌ی به‌دست آمده نشان‌دهنده‌ی روند روبه افزایش ته‌نشست و درنتیجه آلوده‌ترشدن ته‌نشست بود. توان آلوده‌کنندگی ته‌نشست‌های رود کارون زیاد بود، و پیش‌بینی شد که خطر مسمومیت با غلظت‌های بیش از حد عنصرهای آلاینده روزبه‌روز بیش‌تر می‌شود. چراغی (۲۰۱۸) منشأیابی و ارزیابی خطر فلزهای سمی را در تالاب شادگان بررسی کرد، و با محاسبه‌کردن شاخص‌های GCF و ICF نشان داد که ایستگاه‌های با کاربری کشاورزی، گردشگری، و مسکونی به‌دلیل واردکردن فلز سمی به تالاب منطقه‌ی خطر دانسته می‌شود. علی‌بیگی و همکاران (۲۰۱۷) غلظت فلزهای سنگین را در ته‌نشست‌های سطحی تالاب چغاخور اندازه‌گیری، و عامل‌های آلودگی، زمین‌انباشتگی و غنی‌شدگی را سنجیدند، اگرچه آلودگی فراوانی مشاهده نشد.

در پژوهش‌های پیشین تعداد بسیار کمی از کانون‌های نقطه‌یی رود کارون در بازه‌ی شهری اهواز پوشش داده شده است، که نتیجه‌ی آن‌ها به شرایط آلودگی ۱۳۹۴ منتهی شد. پس‌آب‌های کشاورزی مهم‌ترین منبع آلودگی رودخانه‌ی کارون است (۴۸ ٪ پس‌آب‌های ورودی به کارون). پس از آن فاضلاب شهری (۲۶ ٪) در رتبه‌ی دوم است. ساخت مزرعه‌ی پرورش نامجاز ماهی در سرشاخه‌های رود بزرگ کارون از جمله رودخانه‌ی ارمند، بهشت آباد، کاج، کارون میانی و مانند آن‌ها در استان چهارمحال و بختیاری و استخرهای بزرگ پرورش ماهی گرمابی به‌ویژه در شاخه‌ی گرگر در استان خوزستان بر محیط زیست رود تأثیر کرده، و عملاً حیات زیست‌بوم آبی و تنوع زیستی آن را با خطر روبه‌رو کرده است. به‌دلیل اهمیت اثر تخریب‌گر عنصرهای سنگین بر زیندگان و به‌ویژه انسان‌ها، بررسی وضعیت آلودگی ته‌نشست‌های رودخانه‌ی کارون ضروری است. بنابراین، این پژوهش با تأکید بر جامعیت پایش همه‌ی منبع‌های آلاینده و با معیار و راهنمای کیفیت ته‌نشست برای برآوردکردن تراز آلودگی ته‌نشست‌ها، و شناسایی بازه‌های آلاینده برای آب‌زیان و بهره‌برداران طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

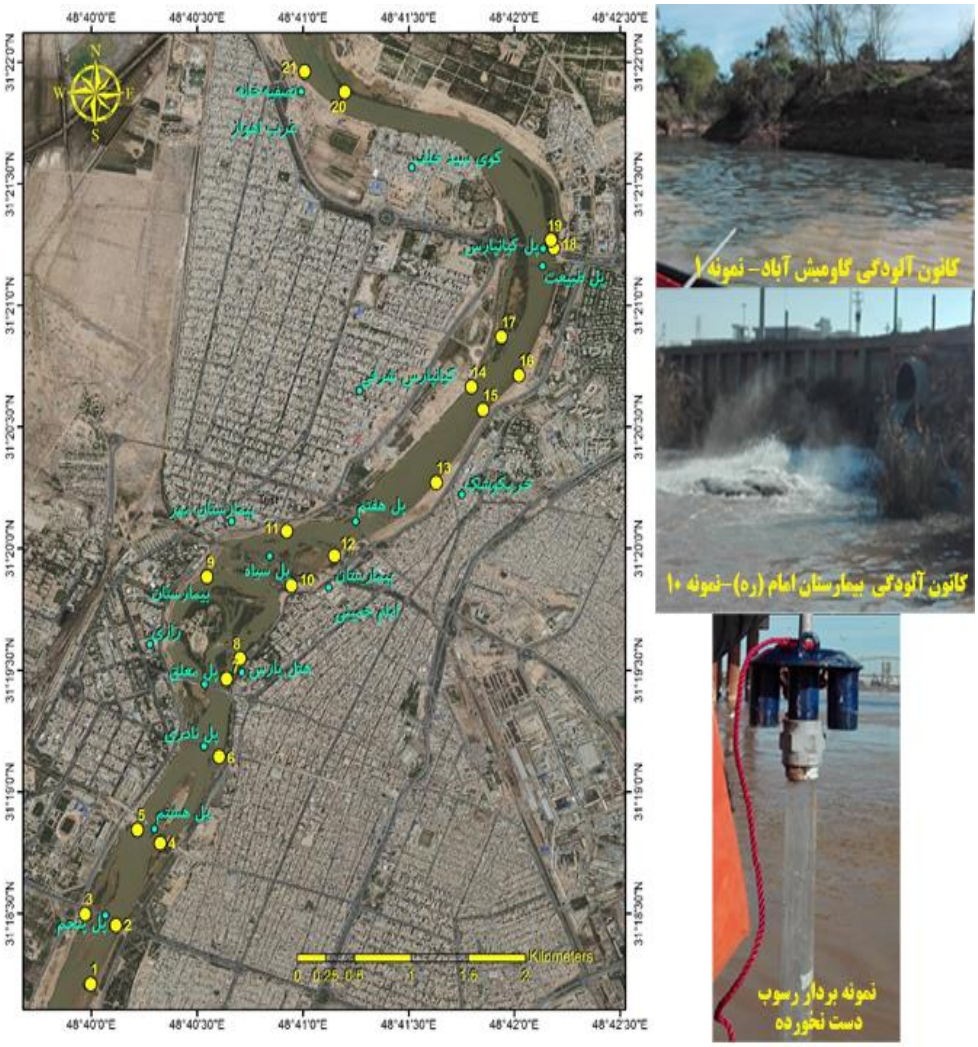
کارون پرآب‌ترین و طویل‌ترین رود ایران است (۹۵۰ کیلومتر) که مساحت آبخیز آن ۶۵۲۳۰ کیلومتر مربع است. ۱۱ سد و نیروگاه روی کارون در مرحله‌ی بهره‌برداری، ساخت یا پژوهش است، که حجم کل آن‌ها در هنگام تکمیل‌شدن ۲۱ میلیارد و ۵۵۹ میلیون متر مکعب خواهد بود. حجم مفید این ۱۱ سد هفت میلیارد و ۹۸۶ میلیون متر مکعب برآورد شده است. متوسط آب‌دهی روزانه، ماهانه و زیست‌بومی رود کارون به‌ترتیب ۵۳۶، ۶۳۱ (ادب و همکاران ۱۳۹۷) و ۲۹۰ مترمکعب بر ثانیه گزارش شده است (سعیدی و همکاران ۱۳۹۰).

نمونه‌برداری در بخش شمالی بازه‌ی شهری اهواز و بر پایه‌ی پراکنش کانون‌های نقطه‌یی آلاینده از کوی سیدخلف تا پل پنجم به طول ۹/۵ کیلومتر انجام شد (شکل ۱). در این بازه از پایین مهم‌ترین کانون‌های آلودگی شامل فاضلاب دو سوی پل پنجم (نادری)، فاضلاب بیمارستان امام خمینی (ره)، فاضلاب پایین‌دست پل عامری ساحل شرقی، فاضلاب‌های کیان‌پارس ساحل غربی، فاضلاب عامری، فاضلاب خرم‌کوشک، فاضلاب نیوسایت، فاضلاب‌های کیان‌پارس شرقی، فاضلاب زیر پل کیان‌پارس، انباشت زباله و نخاله درکرانه‌ی غربی منطقه‌ی سید

خلف و فاضلاب کیان‌آباد است.

پیمایش میدانی برای شناسایی همه‌ی کانون‌های مشخص آلودگی به رود، و طراحی طرح نمونه‌برداری به انجام رسید. ابتدا اطلاعات مکانی منبع آلوده‌کننده‌ی رود کارون (اداره‌ی کل حفاظت محیط زیست استان خوزستان ۱۱۳۹۹، اداره‌ی محیط زیست شهرستان اهواز ۱۳۹۹) وارسی کرده شد، و سپس موقعیت مکانی کانون‌های نقطه‌یی گزارش‌نشده و جدید شناسایی، و مجموعه‌ی منبع‌های آلاینده بر نقشه‌ها و تصویرهای ماهواره‌یی مشخص شد.

نمونه‌برداری مرحله‌ی اصلی کنش میدانی با راه‌کار دیده‌گرایی (تعَیُّن‌گرایی)[۶] به انجام رسید. شرایط ریخت‌شناسی رودخانه، جزیره‌ها و سدهای میان آب‌راه‌ها، جریان رود، و حوضچه‌های آرامش قبل و بعد از کانون‌های آلاینده بررسی شد. در روش راه‌کار قطعی (رادکی ۲۰۰۵) منطقه بر پایه‌ی شناخت به‌دست‌آمده از کانون‌های آلاینده به بازه‌های کوچک‌تری تقسیم می‌شود، و محل برداشت بر مبنای قضاوت کارشناسی است، و هیچ نمونه‌یی مطابق شبکه یا اتفاقی برداشته نمی‌شود. به این روش، در این محدوده ۲۱ نمونه از ته‌نشست‌های سطحی (عمق ۱۰-۰ سانتی متری) از بستر رود به‌شکل دست نخورده با دستگاه مغزه‌گیر ته‌نشست برداشته شد. این دستگاه در پژوهشکده‌ی حفاظت خاک و آبخیزداری کشور برای برداشتن نمونه‌های دست‌نخورده تا عمق ۲ متر از بستر محیط‌های آبی طراحی و ساخته شده است. با راه‌کار انتخاب‌شده ایستگاه‌های نمونه‌برداری از ته‌نشست‌های سطحی در قبل از، روبه‌روی، و بعد از محل ورود آلاینده‌های نقطه‌یی در بازه‌ی پژوهش‌های برگزیده شد.



شکل ۱- نقشه‌ی موقعیت نمونه‌برداری در محدوده‌ی شهری رود کارون (کوی سیدخلف تا پل پنجم).

6 - Deterministic strategy

ته‌نشست سطحی برداشته‌شده با نمونه‌بردار مغزه‌گیر بی‌درنگ در کیسه‌های پلاستیکی چفت‌شونده گذاشته شد، و پس از ثبت محل و شناسه‌ی نمونه بر آن در یخدان نگه‌داری و به آزمایشگاه برده، و تا زمان آماده‌سازی در فریزر نگهداری شد. برای آزمون دانه‌بندی و تعیین غلظت فلزهای سمی، نمونه‌ها در آزمایشگاه پژوهشکده‌ی حفاظت خاک و آبخیزداری آماده‌سازی، و پس از خشک‌شدن به دو بخش تقسیم کرده شد. یک بخش با مجموعه‌ی کامل الک مقیاس آزمایش‌های آب‌شناسی دانه‌بندی شد، و بخش ریزدانه‌تر از ۲ میلی‌متر نیز که با هاون چینی کوبیده و پودر شده بود، برای سنجیدن غلظت عنصرها به‌کار برده شد. سنجش غلظت عنصرهای سنگین (As, Zn, Pb, Ni, Cu, Cr, Cd) شامل هضم نمونه‌ها با اسیدهای شاخص و به حجم رساندن و خواندن غلظت عنصرهای فلزی و شبه‌فلزی با دستگاه طیف‌سنج جرمی پلاسمای القایی (ICP-Mass)[7] در آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی انجام شد. مقدار غلظت محاسبه‌شده‌ی عنصرها بر پایه‌ی وزن خشک (میلی‌گرم در کیلوگرم) گزارش شد. دستگاه ICP-Mass و بررسی کیفی تجزیه‌ها بر پایه‌ی روش معیار وگچیدر (۱۹۹۴) تنظیم شد. برای بررسی تأثیر مواد آلی در جذب کاتیون‌های فلزهای سمی در ته‌نشست، مقدار کربن آلی به روش والکی و بلک (۱۹۳۴) به‌دست آمد.

از روش‌های زمین‌آماری برای بررسی ارتباط منشأ عنصرهای فلزی سمی با هم، و مرتبط‌ترین حامل کاتیونی شامل مواد آلی یا ذره‌ی ریزدانه‌ی رسی بهره گرفته شد. علاوه بر محاسبه‌ی سنجه‌های آماری (میانگین، میانه، دامنه، انحراف معیار و ضریب تغییر) از چهارچوب ضریب پیرسون و روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی در نرم‌افزار XLSTAT ۲۰۱۸ بهره برده شد. برای تفسیر نتیجه‌ها از روش راهنمای ایناکس و همکاران (۲۰۰۷) بهره گرفته شد.

برای ارزیابی آلودگی ته‌نشست از روش مقایسه‌ی غلظت فلزهای سمی با معیار ISQG، PEL و مقدار پایه‌ی جهانی بهره گرفته شد. جدول ۱ آستانه‌ی غلظت فلزهایی سمی در راهنمای کیفیت ته‌نشست را نشان می‌دهد.

جدول ۱- مقدار معیار غلظت فلزهای سمی در راهنمای کیفیت ته‌نشست (CCME 1995; EPA 2001).

شاخص کیفیت ته‌نشست mg/kg	As	Cr	Zn	Cu	Ni	Pb	Cd
LEL	۶	۲۶	۱۲۰	۱۶	۱۶	۳۱	۰/۶
SEL	۳۳	۱۱۰	۲۷۰	۱۱۰	۵۰	۱۱۰	۹
ISQG	۵/۹	۳۷/۳	۱۲۳	۳۵/۷	۱۸	۳۵	۰/۶
PEL	۱۷	۹۰	۳۱۵	۱۹۷	۳۴	۹۳/۱	۳/۵
CBSQG	۹/۸	۴۳	۱۲۰	۳۲	۲۳	۳۶	۰/۹۹

عامل غنی‌شدگی بیش‌تر برای شناسایی اثر زیست محیطی فعالیت‌های انسانی در افزایش بیش از حد طبیعی فلزهای سمی در ته نشست و دیگر محیط‌های میزبان به‌کار می‌رود. مقدار غلظت هر فلز سمی بر مقدار پایه یا طبیعی آن تقسیم، و حاصل بر همان نسبت غلظت فلزهای اصلی مانند آلومینیم و لیتیم برای بهنجارکردن تقسیم شد. مقدار به‌دست‌آمده در ۵ تراز شرایط غنی‌شدگی فلزات سمی در محیط را نشان می‌دهد، که بر پایه‌ی آن مقدار تاثیرگزاری منبع نقطه‌یی مشخص و غیرمشخص در بازه‌ی بررسی شده آشکار خواهد شد. عامل غنی‌شدگی (رابطه‌ی ۱) یکی از پرکاربردترین شاخص‌های کیفیت ته‌نشست در محیط‌های آبی است (لورینگ و همکاران ۱۹۹۵، ساترلند و تولوزا ۲۰۰۰).

$$EF = \frac{C_i/C_{ref}}{B_i/B_{ref}} \quad (۱)$$

EF<۲ نشان دهنده‌ی کم‌ترین غنی‌شدگی، ۵- ۲ غنی‌شدگی متوسط، ۲۰ - ۵ غنی‌شدگی مهم، ۴۰ - ۲۰ غنی‌شدگی زیاد، و بیش از ۴۰ غنی‌شدگی بسیار زیاد است. Ci غلظت عنصر بررسی‌شده، Cref غلظت پایه‌ی همان عنصر بررسی‌شده، Bi غلظت عنصر بهنجارکننده مانند آلومینیم و لیتیم در همان نمونه یا عمق، و Bref غلظت پایه‌ی عنصر بهنجارکننده است. از غلظت‌های عنصرها در پوسته‌ی بالایی زمین یا در ژرفای ستون ته‌نشست‌های محیط ته‌نشستی پژوهش که آلوده نشده باشد، با غلظت پایه بهره‌گرفته شد. غلظت پایه‌ی غالب عنصرها در بخش‌های آلوده تابعی از ترکیب کانی‌شناسی سنگ مادر

7 - Inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-Mass

پژوهش است، که ضریب تغییر[8] آن الزاماً بسیار کم و در بیشینه ۳۰٪ باشد (اشرف و همکاران ۲۰۱۵).

نتایج و بحث

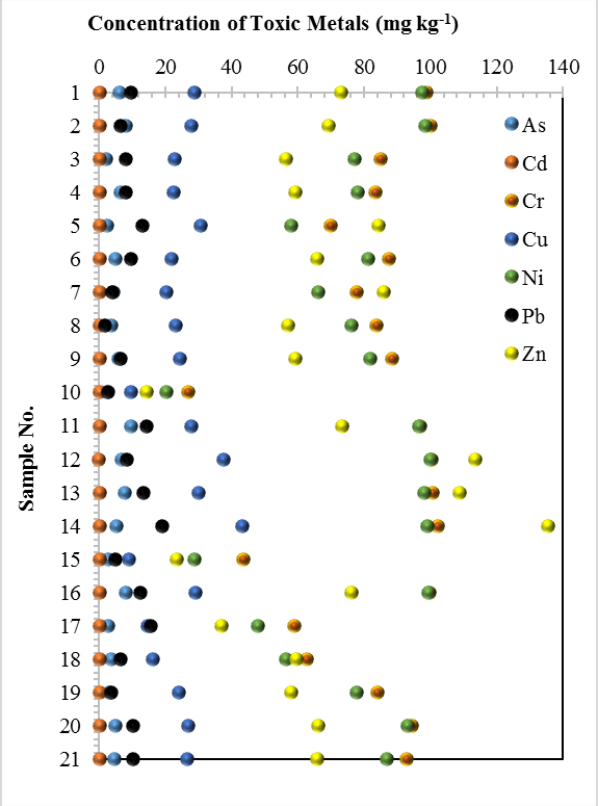
غلظت فلزهای سمی در محیط جامد یا کانی‌سازی در ته‌نشست‌های تابع مقدار دسترس بودن، شرایط اکسیداسیون و احیا، اسیدی یا قلیایی بودن، و حضور حامل‌های کاتیونی مانند مواد رسی و آلی در محیط ته‌نشست است (غریب‌رضا و اشرف ۲۰۱۴؛ اشرف و همکاران ۲۰۱۵؛ ارنست ۱۹۷۰؛ هاکانسون ۱۹۹۴). محیط ته‌نشستی رود کارون مانند دیگر محیط‌های ته‌نشستی رودخانه‌یی شرایط فیزیکو-شیمیایی ویژه‌یی دارد که غلظت عنصرهای به‌ثبت رسیده در آن بیش‌تر تابعی از مقدار آورد آلاینده‌ها از کانون‌های آلودگی است. شرایط فیزیکو-شیمیایی رودخانه‌های فعالی مانند کارون البته از مقدار خودپالایندگی و پراکنش و حمل آلاینده‌ها پی‌روی می‌کند، که خود تابع مقدار آب‌گذری و تلاطم جریان (که موجب برقرارشدن شرایط اکسیدی می‌شود) و نیز طبقه‌بندی ستون جریان آب است. غلظت‌های به‌دست آمده بیش‌تر بیان‌گر مقدار غلظت آلاینده‌ها از منشأ در شرایط آب‌شناسی و فیزیکو-شیمیایی نسبتاً برابر است (شکل ۲ و ۳).

مقدار میانگین غلظت آرسنیک، روی، مس، و سرب در نمونه‌های ته‌نشست سطحی رود کارون، و غلظت آنها در زمینه‌ی محلی به همراه میانگین غلظت در پوسته‌ی زمین در جدول ۲ آورده شده است. نتیجه‌ی تجزیه‌ی نمونه‌های ته‌نشست نشان می‌دهد که میانگین غلظت همه‌ی عنصرها جز کادمیوم از غلظت آن‌ها در غلظت پایه‌ی منطقه‌ی بیش‌تر است، که با نتیجه پژوهش غفاری (۲۰۰۲)، انصاری و همکاران (۲۰۰۶) و شهنواز و همکاران (۲۰۰۹) مطابقت دارد. غلظت‌های پایه بر پایه‌ی میانگین غلظت عنصر در بخش زیرین مغزه‌ی ته‌نشستی محاسبه شد، که نشان می‌دهد شرایط پایه‌ی غلظت عنصرها متأثر از زمین‌شناسی حوزه‌ی بالادست، و ضریب تغییر آن کم‌تر از ۳۰٪ بود.

جدول ۲- میانگین غلظت ($mg\ kg^{-1}$) عنصرها و درصدهای رس و مواد آلی در ته‌نشست سطحی رود کارون.

متغیر (n=۲۱)	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییر
As	۲/۲۴	۹/۷۲	۵/۰۹	۲/۲۱	۰/۴۳
Cd	۰/۱۰	۰/۳۴	۰/۲۳	۰/۰۶	۰/۲۷
Cr	۲۶/۸۰	۱۰۲/۱۲	۸۲/۷۵	۲۰/۲۲	۰/۲۴
Cu	۹/۰۰	۴۳/۲۶	۲۴/۶۶	۸/۱۴	۰/۳۳
Ni	۲۰/۴۳	۱۰۰/۰۹	۷۷/۱۳	۲۳/۳۷	۰/۳۰
Pb	۱/۹۴	۱۹/۰۰	۹/۰۳	۴/۴۸	۰/۵۰
Zn	۱۴/۴۸	۱۳۵/۵۴	۶۸/۶۶	۲۷/۷۵	۰/۴۰
%Clay	۱۷/۴۵	۵۵/۹۶	۳۶/۱۳	۱۱/۰۶	۰/۳۱
%OC	۰/۲۷	۱/۶۵	۰/۷۶	۰/۳۸	۰/۵۰

8 - Coefficient of Variation, CV



شکل ۲- غلظت فلزهای سمی ته‌نشست‌های سطحی رود کارون.

جدول ۳- اثرگزاری کانون‌های آلودگی بر پایه‌ی فلزهای سمی در ته‌نشست سطحی رودخانه کارون.

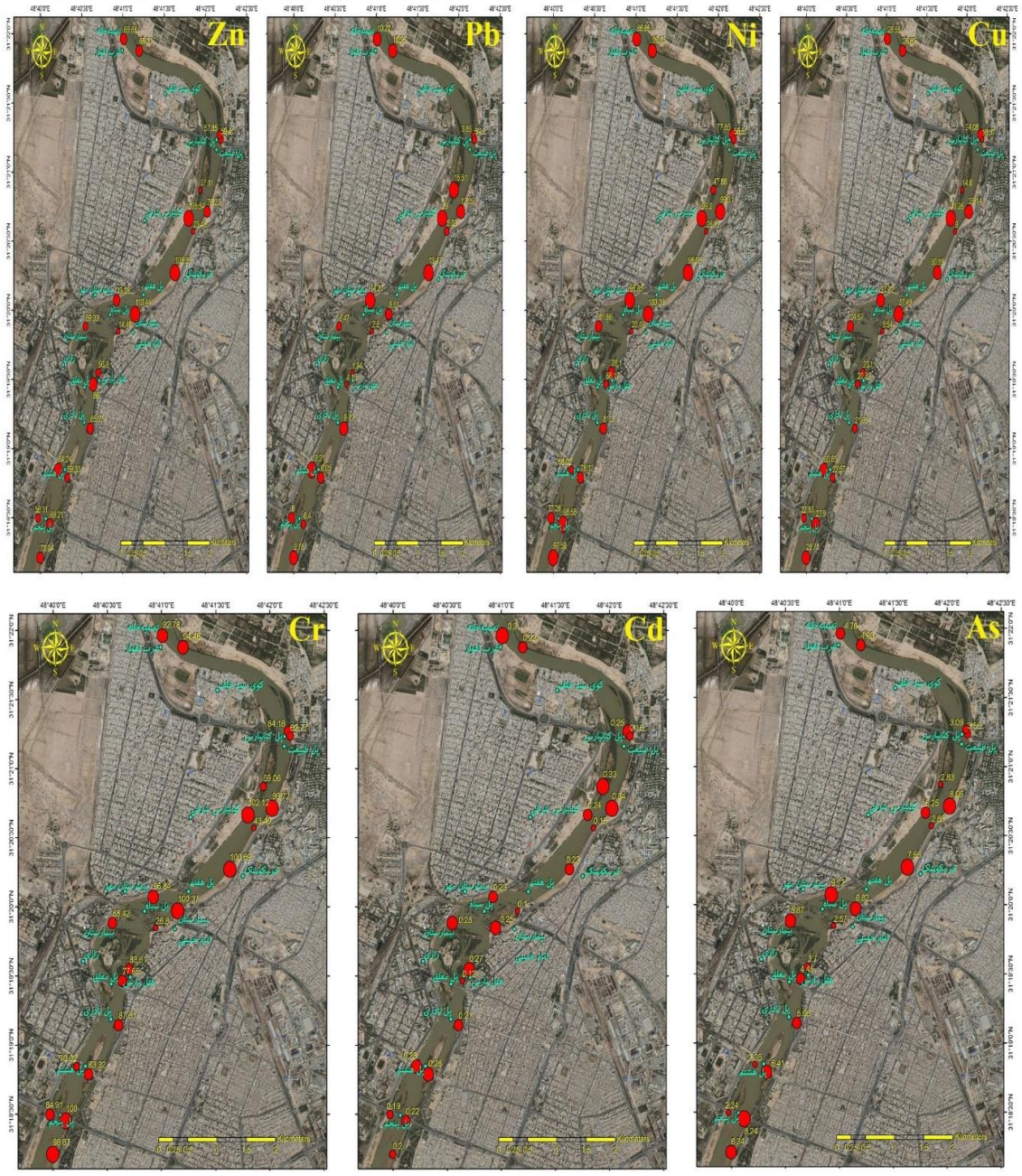
فلزهای سمی	مقدار اثرگزاری
As	پرغلظت‌ترین کانون‌های آلودگی به آرسنیک در ته‌نشست‌های فاضلاب بیمارستان مهر، فاضلاب دغاغله، فاضلاب‌های منطقه‌ی نفتی نیوساید و خرم‌کوشک، و فاضلاب ساحل غربی زیر پل هشتم است.
Cd	پرغلظت‌ترین ته‌نشست‌ها از کادمیم به‌ترتیب از فاضلاب‌های نیوساید، کیان‌پارس و کیان آباد است.
Cr	پرغلظت‌ترین ته‌نشست‌ها از کروم به‌ترتیب از فاضلاب‌های کیان‌پارس، خرم‌کوشک، ساحل غربی پل پنجم، گاومیش‌آباد و نیوساید است.
Cu	فاضلاب‌های کیان‌پارس، بیمارستان امام، ساحل غربی پل هشتم، نیوساید، گاومیش‌آباد، بیمارستان مهر و ساحل شرقی پل پنجم بیش‌ترین نقش را در آلودگی ته‌نشست‌ها به مس داشت.
Ni	پرغلظت‌ترین ته‌نشست‌ها از نیکل به‌ترتیب از فاضلاب‌های بیمارستان امام، نیوساید، کیان‌پارس، ساحل شرقی پل پنجم، خرم‌کوشک و بیمارستان مهر و کیان آباد است.
Pb	فاضلاب‌های کیان‌پارس، کیان‌پارس شرقی، بیمارستان مهر، ساحل غربی پل هشتم، خرمکوشک و نیوساید بیش‌ترین نقش را در آلودگی ته‌نشست‌ها به سرب داشت.
Zn	پرغلظت‌ترین ته‌نشست‌ها از روی به‌ترتیب از فاضلاب‌های کیان‌پارس و نیوساید است.

نتیجه نشان داد که پرغلظت‌ترین ته‌نشست‌ها به روی به‌ترتیب متأثـر از فاضلاب‌های کیان‌پارس شـرقی، بیمارسـتان امام، خرم‌کوشک، و سـاحل غربی پل هشتم است. مسلم است که منبع‌های آلاینده‌ی متفاوتی در منطقه‌های مختلف شهر اهواز هسـت که مقدار متفاوتی از کاتیون‌های جذب‌شده از فلزهای سمی را به ته‌نشست‌ها می‌فرستد، در قسمت‌های شمالی شهر فاضلاب‌های منطقه‌ی نفتی خرم‌کوشـک و نیوساید در ساحل شـرقی و فاضلاب های کیان‌پارس و کیان‌پارس شـرقی، و تا اندازه‌یی کیان‌آباد بیش‌ترین آورده‌ی فلزهای سـمی داشـت. در بخش جنوبی بازه‌ی پژوهش نیز در سـاحل غربی فاضلاب بیمارسـتان مهر، پل هشـتم، و در سـاحل شـرقی فاضلاب بیمارسـتان امام، پل پنجم، و گاومیش‌آبـاد نقش فراوانی در انتقال آلاینده‌ها داشت.

گام بعدی در شناخت وضعیت شرایط محیطی در ورود فلزهای سمی به ته‌نشست‌های رود کارون بررسی وضعیت غنی‌شدگی این عنصرها متأثر از کانون‌های آلودگی بود. بهنجارکننده برای محاسـبه‌ی عامل غنی‌شدگی در این پژوهش لیتیم بود. منشأ زمین‌زاد و انسان‌زاد هر عنصر بر پایه‌ی طبقه‌بندی ژانگ و لیو (۲۰۰۲) مشـخص شـد، و بیش‌تر نمونه‌ها غنی‌شدگی کم را نشان داد.

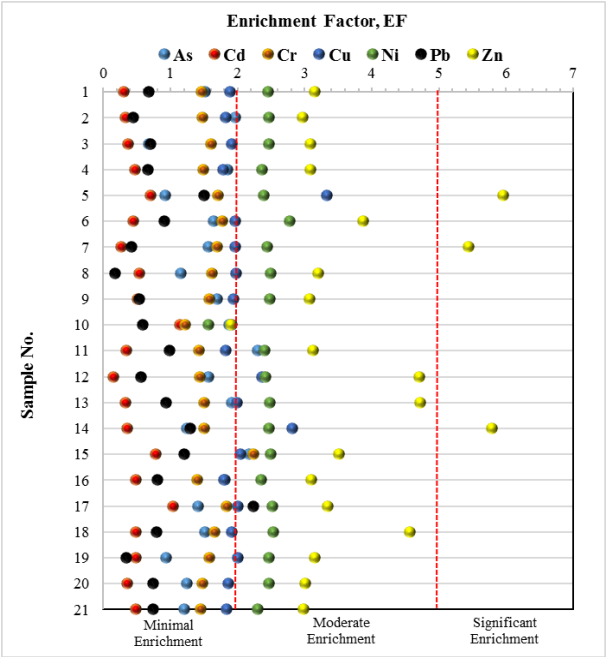
ارتبـاط بیشـینه‌ی غنی‌شـدگی عنصرهـا به‌ترتیـب $Zn> Cu> Ni > As > Cr=Pb> Cd$ بـود. بـا آن‌چه در توضیح غلظت آرسـنیک گفته شـد، نتیجه نشان داد که این عنصر غنی‌شـدگی کمینه ($Ef < ۲$) در ته‌نشسـت‌های بازه‌ی پژوهش داشت (شـکل ۴). شرایط مشابهی برای سرب بود که در آن غنی‌شـدگی کمینه در ته‌نشسـت‌ها دیده شد، به‌جز ته‌نشسـت‌های در برابر فاضـلاب کیان‌پارس که در آن غنی شدگی با سرب در حد متوسط بود. کادمیم و کروم نیز مانند آرسنیک و سرب روند غنی‌شدگی کمینه را در ته‌نشست‌های رود کارون از منطقـه‌ی سـیدخلف تـا پـل پنجم داشـت. البته، ته‌نشسـت‌های در برابر فاضلاب خرم‌کوشـک درجه‌ی غنی‌شدگی متوسـط کروم داشت. در حالی که ته‌نشست‌های سراسـر این بازه به‌جز جنوب پل‌سـیاه و فاضلاب بیمارستان امام، در تراز غنی‌شـدگی متوسط ($۲ \geq Ef \geq ۵$) از دید نیکل بود. مس در طول این بازه در ته‌نشست‌های رود کارون عمدتاً غنی‌شدگی کمینه تا متوسط داشـت. ته‌نشست‌های در برابر فاضلاب سـاحل شـرقی پل نادری، خرم‌کوشک و کیان‌پارس غنی‌شدگی متوسط از مس بود.

ته‌نشست‌های رود کارون با تأثیر گرفتن از کانون‌های آلودگی از روی غنی‌شدگی متوسط تا فراوانی ($۵ \geq Ef \geq ۲۰$) داشت. روی در ته‌نشسـت‌های این بازه بیش‌تر غنی‌شـدگی متوسط داشت، اما در ته‌نشست‌های در برابر فاضلاب ساحل شرقی پل نادری، فاضلاب ساحل شـرقی پل معلق، و کیان‌پارس شرقی غنی‌شدگی فراوان داشت (شکل ۴).



شکل ۳- نمایش غلظت فلزهای سمی ته‌نشست‌های سطحی رود کارون (قطر بیش‌تر نشان‌دهنده‌ی منطقه‌ی پرغلظت‌تر).

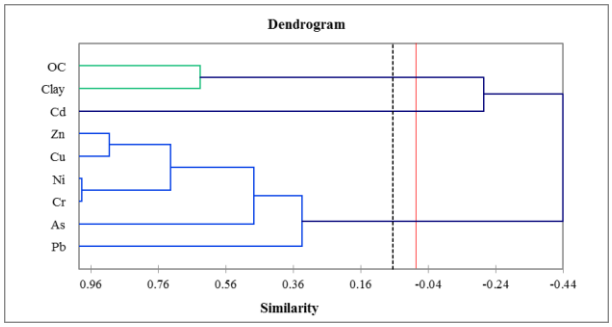
غنی‌شـــدگی کادمیوم، ســـرب، روی، و مس ممکن است ناشی از فعالیت‌های انســـان‌زاد باشد. بر پایه‌ی طبقه‌بندی ژانگ و لیو (۲۰۰۲) منشأ آرســـنیک، نیکل، و کروم زمین‌زاد، و کادمیوم، سرب، روی، و مس زمین‌زاد و انسان‌زاد است.



شکل ۴- عامل غنی‌شدگی فلزهای سمی در ته‌نشست‌های سطحی رود کارون.

علاوه بر روند غنی‌شـــدگی فلزهای سمی، همبستگی و ارتباط معنی‌دار بین آن‌ها در تراز ۹۵٪ از دیدگاه برخاســـتگاه مشابه و هم‌سوی آن‌ها به‌دســـت آمد. شکل ۵ نشان‌دهنده‌ی تحلیل خوشه‌بندی بین عنصرها و مواد حامل به‌ویژه مواد آلی و درصد رس جذب‌کننده‌ی کاتیون‌های فلزهای سمی است. عنصرها در سه خوشه دســـته‌بندی شد. خوشه‌ی نخست شامل عنصرهای As ,Zn ,Cu ,Cr ,Cu ,Ni، خوشـــه‌ی دوم عنصـــر Cd به‌تنهایی، و خوشه ی سوم به‌فراوانی شامل مواد آلی و ذره‌های ریزدانه‌ی رسی ته‌نشست‌ها است. نتیجه نشان‌دهنده‌ی رابطه‌ی مستقیم ذره‌های ریزدانه‌ی رسی و حفظ مواد آلی ته‌نشست‌ها با همســـبتگی معنی‌دار $r=0.641$ و $p<0.05$ اســـت. از بین فلزهای سمی فقط کادمیم همبستگی بسیار ضعیفی با فراوانی مواد آلی و ته‌نشســـت‌های رسی داشـــت. آرایش و همسبتگی معنـــی‌دار بین نیکل و کـــروم ($r=0.992, p<0.05$)، و بین مـــس و روی ($r=0.911, p<0.05$) شـــباهت بســـیاری به ته‌نشســـت‌های آلوده به مواد نفتی داشت، که در پژوهش‌های الگال و بیهان (۲۰۲۰)، آخیبی و همکاران (۲۰۱۹)، و مصطفا و همکاران (۲۰۱۵) به آن اشاره، و خوشه‌بندی بسیار مشابهی با خوشه‌بندی این پژوهش آورده شده است. آرسنیک با نیکل، روی، کـــروم و کادمیم نیز همبســـتگی معنـــی‌داری (ضریب همبســـتگی ۰/۴ تا ۰/۷۴) داشت. ســـرب فقط با روی و مس همبســـتگی معنی‌دار (ضریب ۰/۵۵۱ و ۰/۵۶۵) داشـــت. روی بیش‌ترین همســـبتگی (تراز اطمینـــان ۹۵٪) با دیگر عنصرها به‌جز کادمیوم داشـــت. از طرفی، ته‌نشست‌های ریزدانه‌ی رسی همبستگی مثبت و ضعیفی با Zn ,Pb ,Cu ,Cr، و همبستگی منفـــی ضعیفی با As و Cd داشـــت. مواد آلـــی با هیچ‌یک از عنصرهای بررسی‌شده به‌جز Cd همبستگی مثبتی نداشت، و آن هم بسیار ضعیف (ضریب ۰/۰۲۲) بود.

علاوه بر مـــواد نفت-پیوند، آفت‌کش‌ها، کودهای شـــیمیایی، دود ناشـــی از آتش فلرهای نفتی (ووآنـــا و اوکیمن ۲۰۱۱) و آلاینده‌های شـــهری به‌ویژه کارگاه های صنعتی شرق اهواز که شـــبکه‌ی فاضلاب آن‌ها با فاضلاب شـــهری مخلوط می‌شود، احتمالا از جمله منشـــأهایی است که در ایجاد شرایط آلودگی نقش دارد.



شکل ۵- خوشه‌بندی و همبستگی فلزهای سمی در ته‌نشست‌های سطحی رود کارون.

تراز آلودگی ته‌نشست‌ها در برازش با تراز معیار راهنمای کیفیت نشان داد که غلظت As ته‌نشست‌های در برابر فاضلاب‌های دو سوی پل هشتم، باغ معین، کیان‌پارس و فاضلاب زیر پل کیان‌پارس از تراز کمینه‌ی راهنمای کیفیت ISQG (۹/ ۵ mg kg^{-1}) گذر کرد (شکل ۶). بنابراین آبزیان و بهره‌برداران رود کارون در این منطقه در برابر کمینه‌ی مسمومیت آرسنیک اند.

در برازش غلظت کروم با ترازهای معیار راهنمای کیفیت مشخص شد که ته‌نشست‌های بازه‌ی پژوهش به ویژه از پایین‌دست پل کیان‌پارس تا پل پنجم در شرایط خطرناک است، به طوری‌که غلظت آن‌ها همگی فراتر از تراز کمینه‌ی راهنمای کیفیت ISQG (۳۷ mg kg^{-1}) است، و در ۱۳ نمونه هم بیش‌تر از تراز(PEL (۹۰ mg kg^{-1} است. کروم در هر دو حالت کاتیونی و آنیونی و به‌ویژه در شرایط احیا ممکن است از ته‌نشست‌ها آزاد و وارد فاز محلول شود و شرایط سمی را برای بهره‌برداران آب ایجاد کند. مردم و جان داران با مصرف مواد غذایی و آب کروم دار مسموم می‌شوند. برخی از افراد به کاتیون‌های Cr (VI) یا Cr (III) بسیار حساس اند. واکنش‌های حساسیتی قرمزی شدید و تورم پوست است. افزایش تومورهای معده در انسان و جانورانی که در آب آشامیدنی شان کروم Cr (VI) بوده است، گزارش شده است. مصرف تصادفی یا عمدی اندازه‌های بسیار زیاد ترکیبات کروم Cr (VI) در انسان منجر به بیماری‌هایی در دستگاه تنفس، قلب و عروق، گوارش، خون‌سازی، کبد، کلیه و عصب‌ها خواهد شد (تیچون وو ۲۰۱۲).

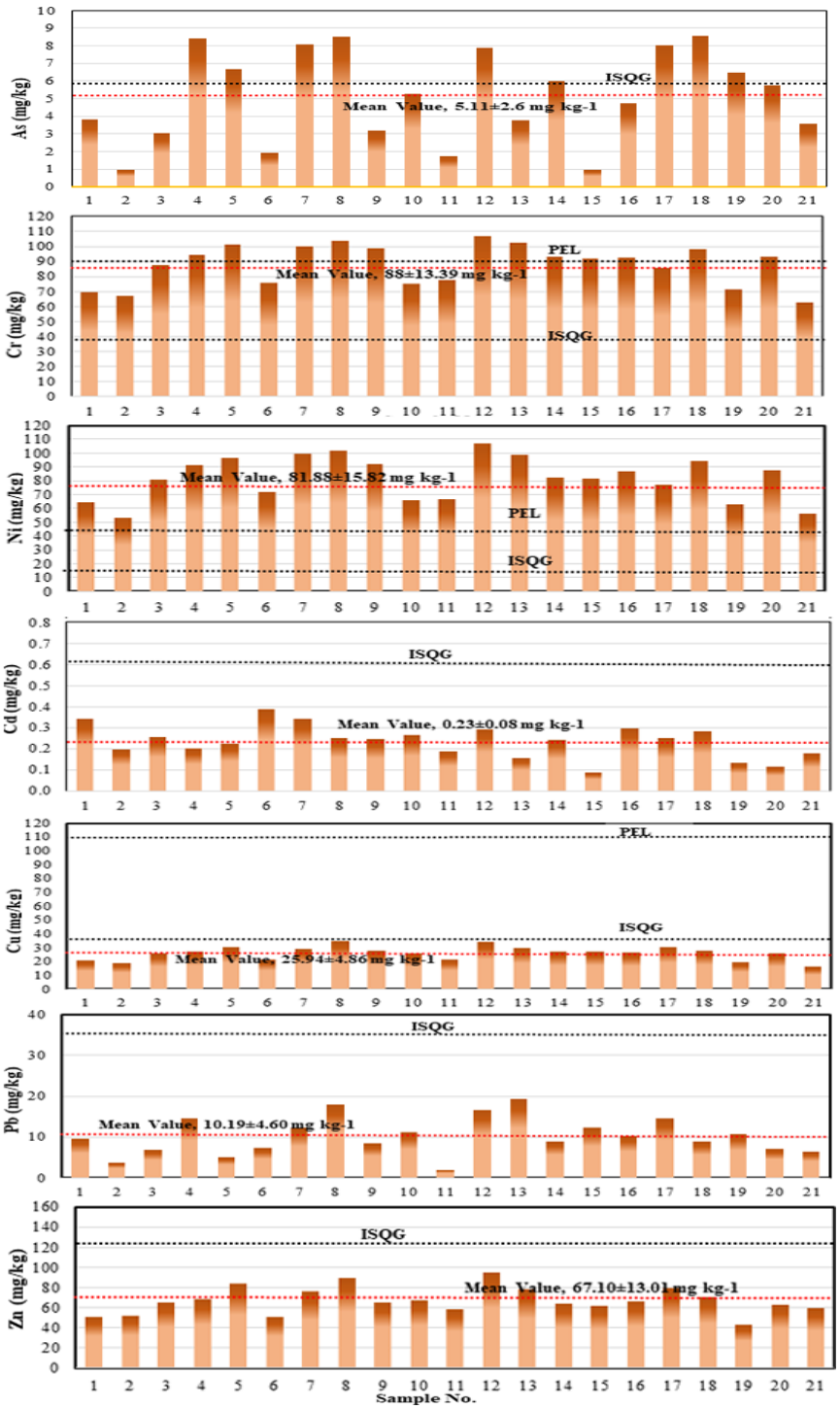
بر پایه‌ی نتیجه‌ی خوشه‌بندی و همبستگی مثبت معنی‌دار بین کروم و نیکل، انتظار می‌رفت که تراز خطرناک نیکل نیز فراوان باشد. در برازش مقدار غلظت کروم با ترازهای معیار راهنمای کیفیت مشخص شد که غلظت آن در ته‌نشست‌ها در طول این بازه فراتر از مقدار بمعیار PEL(۳۴ mg kg^{-1})، ISQG (۱۸ mg kg^{-1}) و SEL (۵۰ mg kg^{-1}) است، پس همه‌ی آبزیان و بهره‌برداران از رودخانه‌ی کارون در این بازه در برابر مسمومیت شدید نیکل اند. نیکل از جمله عنصرهای فلزی مشترک در بیش‌تر آلاینده‌ها به ویژه آلاینده‌های نفتی است که از سوخت ترکیب‌های نفتی و تجزیه‌ی آن‌ها وارد محیط می‌شود.

بررسی‌ها نشان داد که غلظت بیشینه، میانگین و کمینه‌ی کادمیم در ته‌نشست‌های کارون در این بازه به‌ترتیب ۰/۳۹ ، ۰/۲۳ و ۰/۰۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم است، که نشان می‌دهد غلظت کادمیم در همه‌ی نمونه‌های اندازه‌گیری‌شده از تراز کمینه‌ی راهنمای کیفیت ISQG (۰/۶ mg kg^{-1}) کمتر است، و برای آبزیان و بهره‌برداران خطرناک نیست. بیشینه، میانگین و کمینه‌ی غلظت مس در ته نشست‌های کارون به‌ترتیب ۳۴/۸۹ ، ۲۵/۹۴ و ۱۶/۳۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که همگی از تراز کمینه‌ی راهنمای کیفیت ISQG (۳۵.۷ mg kg^{-1}) کم‌تر، و برای آب‌زیان و بهره‌برداران ایمن بود.

اگرچه بیش‌ترین ضریب تغییر به‌ترتیب با ۵۰ و ۴۰٪ برای سرب و روی پیدا شد، که تاثیر فعالیت‌های انسان بر افزایش غلظت آن‌ها در محیط ته‌نشستی رودخانه را نشان می‌دهد، غلظت تثبیت‌شده‌ی آن‌ها در حالت جامد (جذب‌شده در ته‌نشست‌ها) همگی کم‌تر از مقدار کمینه‌ی ISQGs آن‌ها در راهنمای کیفیت بود، و آب‌زیان و بهره‌برداران از منبع آب و ته‌نشست رودخانه‌ی کارون از این دو عنصر سمی فلزی تهدید نمی‌شوند.

مقایسه‌ی نتیجه‌ی این پژوهش با نتیجه‌های راست‌منش و همکاران (۲۰۱۵) که بیش‌ترین هم‌پوشانی با این پژوهش و عنصرهای بررسی‌شده دارد، نشان‌دهنده‌ی صحت دست‌آوردهای آن و آشکار شدن دانسته‌های بیش‌تری از وضعیت آلودگی محیط ته‌نشستی رود کارون است. هر دو پژوهش تأکید بر خطرناک بودن نیکل و روی برای آب‌زیان و بهره‌برداران دارد. تراکم و تعداد نمونه‌برداری از ته نشست‌ها در بازه‌ی شهری در این پژوهش به مراتب هدفمندتر بود، که به موجب آن بازه‌ی آلوده‌ی شهری به‌درستی از پل کیان‌پارس

تا پل هشتم به ویژه نسبت به نیکل و کروم ثابت شد. سرانجام از دید بررسی غلظت عنصرهای سنگین، نتیجه‌ی این پژوهش منطبــق بر نتیجه‌ی غفــاری (۲۰۰۲)، انصــاری و همکاران (۲۰۰۶)، و شهنواز و همکاران (۲۰۰۹) است که بر رود کارون به انجام رسید.



شکل ۶- برازش غلظت فلزهای سمی با مقدار معیار آن‌ها در راهنمای کیفیت تەنشست (CCME, 1999)، PEL: The Probably Effective Level: تراز احتمالی اثرگزار آلودگی وISQG معادل LEL: The Lowest Effective Level: تراز کمینه‌ی آلودگی اثرگزار.

نتیجه‌گیری

رود کارون به ویژه در بازه‌ی شـــهری اهـــواز از دیرباز میزبان آلودگی‌هـــای گوناگونی از جمله آلودگی‌های نفتی ناشـــی از رهاشـــدن ترکیب های نفتی از صنعت نفت، آلودگی از زه‌کش شـــدن فاضلاب‌های صنعتی-شـــهری، آلودگی‌های ناشـــی از ســـوخت فلرهای گاز، ریزش گردوغبار آلـــوده، و آلودگی‌های ناشـــی از زه‌کش شدن پس‌آب کشـــاورزی در بالادست است. از طرفـــی، رود کارون توان خودپالایـــی و انتقال آلاینده را به ویژه در ترســـالی‌ها نشان داده اســـت، که وارسی کمّی دقیق آن نیازمند اجرای مدل‌های عددی به همراه تحلیل‌های کمّی مفصل است. جداکردن سهم انواع آلاینده‌ها نیز به‌دلیل ترکیب آن‌ها و شـــرایط فیزیکو-شـــیمیایی گوناگـــون رود، آب‌گذری متفاوت، ریخت‌شناســـی و جزیره‌های پرشـــمارِ جداکننده‌ی جریان‌ها بسیار دشوار است.

در این پژوهش، با فرض تثبیت‌شـــدن آلاینده‌ی فلزهای سمی در ته‌نشست‌ها در شـــرایط فیزیکو-شیمیایی روش هضم کل فلزها به‌کارگرفته شد، و نتیجه‌ی غلظت آن‌ها پایه‌ی مقایسه با مقدار بمعیار در راهنمای کیفیت ته‌نشست، برای دانستن تراز آلودگی در بازه‌های رود کارون شد. نتیجه گرفته شد که غلظت آرســـنیک، مس، سرب، روی، کادمیوم، کروم و نیکل از غلظت آن‌هـــا در مقدار مبنای رود کارون از عمق مغزه‌ی ته‌نشســـتی برداشـــته در این پژوهش، بیش‌تر است. فاضلاب‌های واردشده به رود کارون به‌ویژه در بازه‌ی پل کیان‌پارس تا پل سیاه، و بازه پل نادری تا پل هشـــتم بیش‌ترین نقش در انتقال پس‌آب‌های آلوده‌کننده‌ی آب و ته‌نشســـت دارد. اگرچه غنی‌شدگی روی متوسط تا فراوان است، نیکل و کروم است که در این بازه برای آب‌زیان، انسان، دام و دیگر بهره‌برداران پرخطر است، و اجرای کنش‌های خنثاسازی یا حذف ساختاری یا شیمیایی اثر آن‌ها بسیار الزامی است.

برخی پیشنهادها و راه‌کارهای عملی به این شرح است: جلوگیری از ورود پس‌آب‌های خانگی، بیمارســـتانی، کشاورزی و صنعتی به درون رود و بردن آن‌ها به حوضچه‌های ازپیش طراحی‌شده برای تصفیه و کاربرد دوباره، کاربرد جذب‌کننده‌های زیســـتی برای حذف کردن عنصرهای ســـنگین مانند کروم و کادمیم، ته‌نشـــاندن شیمیایی و خنثاســـازی با نانوذره‌ها، تصفیه‌کردن فاضلاب‌های خانگی و بیمارســـتانی به روش بی‌هوازی و درجا، و یا بردن فاضلاب به تصفیه‌خانه (خارج از محل)، به‌کار بردن پس‌ماندهای کشاورزی برای حذف‌کردن برخی فلزی سمی، و بازچرخانیدن پس‌آب‌های کشاورزی و پس‌آب‌های دیگر برای آبیاری، و درنتیجه کاستن از ورود پس‌آب به رود.

فهرست منابع

Adab F, Karami H, Mousavi SF, Farzin S. 2018. Analysis of Karun river flow in three scales: daily, monthly, and seasonal using turbulence theory indicators. Journal of Geographical Research, 50(3): 443–457. (In Persian).

Akhigbe GE, Adebiyi FM, Torimiro N. 2019. Analysis and hazard assessment of potentially toxic metals in petroleum hydrocarbon-contaminated soils around transformer installation areas. Journal of Health &Pollution, 9(24): 191213[18p]. https://doi.org/10.5696/2156-9614-9.24.191213.

Algül F, Beyhan M. 2020. Concentrations and sources of heavy metals in shallow sediments in Lake Bafa. Turkey. Scientific Reports, 10(1): 1–12.

Alibeigi H, Mirzaei R, Mahmoodi R. 2017. Investigation of heavy metals concentration in surface sediments of Choghakhor wetland. Journal of Environmental Studies. 43(1): 149–161. (In Persian).

Ansari M, Chorom M, Shafaei bajestan M, Mahmoudi kordestani SA. 2007. Investigation of pollution status of Karun river sediments with heavy pollutants, Bande Gheer to the south of Ahvaz. 7th International River Engineering Conference. Shahid Chamran University. Ahvaz. Iran. (In Persian).

Ashraf MA, Sarfaraz M, Rizwana N, Gharibreza M. 2015. Environmental impacts of metallic elements. Springer, Singapore. 434 p.

CCME. (Canadian Council of Ministers of the Environment). 1995. Protocol for the derivation of Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life. CCME PN 1176. Prepared by Environment Canada, Guidelines Division, Technical Secretariat of the CCME Task Group on Water Quality Guidelines, Ottawa.

Cheraghi Z, Mortazavi S, Ildoromi A. 2018. Geochemical speciation and Risk Assessment of Heavy Metals (Pb, Cu and Zn) in Surface Sediments of Shadegan Wetland. Journal of Environmental Science and Technology. In press. doi:10.22034/JEST.2018.12939.2148. (In Persian).

Einax JW. Zwanziger HW. Geib S. 2007. Chemometrics in environmental analysis. Wiley-VCH, Weinheim, Germany.

Ernst TW. 1970. Geochemical facies analysis. Volume 11, 1st Edition, Elsevier. 158 p.

Ghafari F. 2002. Chemical, mineralogical and pollutant elements of Karun river sediments (Ahvaz). MSc. Thesis. Faculty of Agriculture. Shahid Chamran University. (In Persian).

Gharibreza MR. Ashraf MA. 2014. Applied Limnology: Comprehensive View from Watershed to Lake. Springer, Japan.

Gharibreza MR. Ashraf MA.2014. Applied Limnology. Tokyo, Heidelborg, New York, Dordrecht, London. Springer. 199 p.

Gharibreza MR. Masoumi H. Jafari Gorzin B. Rahimzadeh H. Asgharipour N. 2020. Assessing the Quality of Surface Sediments in the Tajan River and Determining the Level of Ecological Pollution. Environment and Water Engineering. 6(4): 485–500. (In Persian).

Gharibreza MR. Yusoff I. Raj JK. Ashraf M.A. 2010. Heavy metal concentration in Bera Lake (Tasek Bera) sediments. The 6th Mathematics and Physical Sciences Graduate Congress; Kuala Lumpur: MPSGC.

Hakanson L. 1994. A Review on effect-dose-sensitivity models for aquatic ecosystems. International Review of Hydrobiology. 79(4): 661–667.

Hakanson L.1980. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. 14(8): 975–1001.

Jiao X, Teng Y, Zhan Y, Wu J, Lin X. 2015. Soil heavy metal pollution and risk assessment in Shenyang industrial district, Northeast China. PLOS ONE, 10(5): e0127736. https://doi.

org/10.1371/journal.pone.0127736.

Karbasi A, Bayati I. 2017. Environmental geochemistry. Kavosh Qalam Publications. 256p. (In Persian).

Karimi Sh. 2016. Determining the index of severity of heavy element pollution in Karun river sediments (Ahvaz to Khorramshahr). MSc. Thesis. Faculty of Agriculture. Islamic Azad University- Ahvaz Branch. (In Persian).

Loring DL, Naes K, Dahle S, Matishov GG, Illind D. 1995. Arsenic, trace metals, and organic micro contaminants in sediments from the Pechora Sea, Russia. Marine Geology. 128(3–4): 153–167.

Mir Mohammad A, Mohammad Lokman A, Md. Saiful Islam, Md Zillur Rahman. 2016. Preliminary assessment of heavy metals in water and sediment of Karnaphuli River, Bangladesh, Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management. 5: 27–35.

Mustafa AD, Juahir H, Yunus K, Amran MA, Hasnam CN, Azaman F, Zainal-Abidin I, Azmee SH, Sulaiman NH. 2015. Oil spill related heavy metal: A Review. Malaysian Journal of Analytical Sciences. 19(6): 1348–1360.

Saeidi P, Aslani N, Nouri R, Nazariha M. 2012. Evaluation of ecological discharge flow of Karun river by three methods of the Tenant, flow continuity curve and Smachin. 5th Conference and Exhibition On Environmental Engineering. University of Tehran, Tehran. (In Persian).

Radtke DB. 2005. Bottom-Material Samples. U.S. Geological Survey, U.S. Department of the Interior. 65 p.

Rastmanesh F, Zarasvandi A, Moslem F. 2015. Contamination assesment of heavy metals in Karoon river surface sediments, Ahvaz City. Journal of Advanced Applied Geology. 5(3): 11–22. (In Persian).

Rezaei M, Mehdinia A, Saleh A, Modabberi S. 2017. Comparison of the ecological risk index of heavy metals in the North of Persian Gulf: Hormozgan and Bushehr Provinces. Journal of Oceanography. 8(30): 37–45. (In Persian).

Rezvani M, Ghorbanian A, Nojavan M, Sahba M. 2014. Evaluation of heavy metal pollution (Cd, Co, Pb, Zn and Mn) in Eshtehard aquifer. Journal of Environmental Science and Engineering. 1(1): 13–21. (In Persian).

Ryahi A, Esmaeeli A, Savari A. 1999. Determination of heavy metals (Cd, Co, Pb, Ni, Zn & Cu) in water, sediments and fish from the Karun river. Iranian Journal of Natural Resources. 52(2): 37–46. (In Persian).

Saeki K, Okazaki M, Matsumoto S. 1993. The Chemical Phase changes in heavy metals with drying and oxidation of the lake sediments. Water Research. 27(7): 1243–1251.

Shahnavaz M, Chorom M, Hasonizadeh H. 2009. Study of the physicochemical characteristics and heavy metal of concentrations sediments of the Karoon river for their application in agriculture. Journal of Water & Wastewater. 20(3): 94–98. (In Persian).

Sutherland RA, Tolosa CA. 2000. Multi-element analysis of road-deposited sediment in an urban drainage basin, Honolulu, Hawaii. Environmental Pollution. 110(3): 483–495.

Tchounwou PB, Yedjou CG, Patlolla AK, Sutton DJ. 2012. Heavy metals toxicity and the environment. Exp Suppl. 101: 133–164.

Varol M. 2012. Assessment of heavy metal contamination in sediments of the Tigris river (Turkey) using pollution indices and multivariate statistical techniques. Journal of Hazardous Materials. 195:355–364.

Walkley A, Black IA. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining organic carbon in soils: effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. Soil Sci. 37(1): 29–38.

Wang Y, Chen P, Cui R, Si W, Zhang Y, Ji W. 2010. Heavy metal concentrations in water, sediment, and tissues of two fish species (Triplohysa pap-

penheimi, Gobio hwanghensis) from the Lanzhou section of the Yellow River, China. Environ Monit Assess. 165(1–4): 97–102.

Wegscheider W. 1994. Standardization, quality control and education in analytical chemistry. Fresenius› Journal of Analytical Chemistry. 349: 784–793.

Wuana RA, Okieimen FE. 2011. Heavy metals in contaminated soils: A review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation. International Scholarly Research Notices. 20 p. doi:10.5402/2011/402647.

Watershed Management Research
VOL. 34, No.4, Ser. No: 133, Winter 2022, pp. 118-134
DOI: 10.22092/WMRJ.2021.354478.1410
Research Paper

Determination of the Quality and the Pollution Level of the Surface Sediments of the Karun River in part of the Ahvaz Urban Area

Freidoon Soleimani
(Corresponding Author)* Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ahvaz, Iran
Mohammadreza Gharibreza
Associate Professor, Research Department of River and Shore Engineering, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran
Fariborz Soozangar
Research Expert, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources (AREEO), Ahvaz, Iran

*Corresponding Author: Email: frsolaimani@gmail.com
Received: 09 May 2021 Accepted: 20 September 2021

Abstract
The Karun River provides an important sedimentary environment for the Great Karun Watershed, which receives large amounts of oil, industrial and municipal sewage, and agricultural wastes. The dominant physico-chemical conditions, which are controlled by water discharge rate and the river morphology, determine the conditions for the absorption of toxic metal and levels of pollution for aquatic creatures and utilizers; in other words, the food chain. Therefore, the study range limited the urban area of Ahvaz between the Fifth Bridge and the Sayyed Khalaf Alley. The research objectives were to determine the concentration of seven toxic metals, namely: Cu, Cr, Cd, Zn, Pb, Ni, and As, and their consequences on the levels of pollution. A deterministic strategy of sampling was chosen based on the identified and surveyed contamination points. In total, twenty-one superficial sediments (0-10 cm) samples were collected using an undisturbed core sampler. The analytical procedure was carried out using the ICP-MS equipment following the Geological Survey procedures. The research method was designed to compare the concentration of toxic metals to their standard levels (ISQGs, PEL, SEL) of sediment quality guidelines of freshwater sediments to find out the level of pollution risk, and the high-risk ranges along the river reach. In addition, the enrichment factor was calculated to determine the rate at which the concentration of toxic metal bias from their background levels. The coefficient of variation of the predominant concentration of elements indicates the contribution of human pollutants in increasing their concentration in sediments and the order of enrichment of elements is Zn> Cu> Ni> As> Cr = Pb> Cd respectively in the surface sediments. The Karun River superficial sediments, especially from the Kianpars Bridge to the Fifth Bridge, were in a harmful condition for Cr, while the concentration was higher than the PEL level (90 mg kg^{-1}). The study concluded that the Ni concentration of the sediments along the studied range was higher than the ISQG, PEL, and SEL (50 mg kg^{-1}) standard level. Thus, aquatic bodies and the users of the Karun River water in such a range are exposed to severe poisoning due to nickel pollution. This situation has occurred while the drained sewage along the districts of the Kianpars Bridge to the Black Bridge and the Naderi Bridge to the Eighth Bridge has played a critical role in releasing pollutants. Thus, preventive measures to control pollutants from the source and methods of neutralizing and removing pollutants from the Karun River sediments are firmly recommended.

Keywords: **Contamination sources, Karun River, pollution level, sediment quality indices, xic metals**