مقاله علمی - پژوهشی:

ارزیابی کیفیت محیطی رسوبات رودخانه کرج (استان البرز)

سید قاسم قربان زاده زعفرانی*[۱]، فرهاد حسینی طایفه[۱]، سیده بهاره عظیمی[۱]، مهدی گندمکار[۲]،
مهدی غلامعلی فرد[۳]، جلیل بادام فیروز[۱]

*Ghorbanzadeh110@yahoo.com

۱. پژوهشکده محیط زیست و توسعه پایدار، سازمان حفاظت محیط زیست، تهران، ایران
۲. سازمان حفاظت محیط زیست، تهران، ایران
۳. دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

تاریخ دریافت: مهر ۱۳۹۹ تاریخ پذیرش: دی ۱۳۹۹

چکیده

در مطالعه حاضر، رسوبات سطحی در طول ۹ ایستگاه (از بیلقان تا سرشاخه های ولایت رود و وارنگه رود) به صورت فصلی در طول سال‌های ۹۷-۱۳۹۶ جمع آوری و کیفیت آب با استفاده از شاخص غنی شدگی (EF) و بارآلودگی (PLI) ارزیابی شد. درصد شن، سیلت و رس نمونه رسوب به ترتیب ۷۸، ۱۷ و ۵ تعیین شد. میانگین سالانه Zn (۶۸/۰۸ ± ۸/۶ ppm)، Pb (۱۵/۹ ± ۵/۹۹ ppm)، Ni (۲۴/۳۳±۴/۸۷ ppm)، Fe (۳/۵۶±۰/۵۳٪)، Al (۷/۳۵±۱/۹۹٪)، Cu (۴۱/۰±۳۰/۲ ppm)، Cr (۳۶/۰۸±۱۱/۴۵ppm)، V (۸۸/۹±۲۳/۳ ppm)، As (۸/۰±۱/۲ ppm)، TN (۰/۴۲±۰/۰۷٪) و TP (۰/۱±۰/۰۵٪) بوده است. بر اساس آنالیز خوشه ای، آسارا و شهرستانک (گروه ۱)، پل خواب و گچسر (گروه ۲)، بیلقان، وارنگه رود، حسنکدر و دیزین (گروه ۳) و پل چوبی (گروه ۴) دسته بندی شدند. میزان مواد مغذی و فلزات سنگین ایستگاه ها، از استانداردهای PEL و SEL کمتر بودند. شاخص غنی شدگی کروم (۰/۲±۰/۰) و آهن (۰/۸±۰/۱) در کلیه ایستگاه ها در حد فاقد غنی شدگی و سایر فلزات در اکثر ایستگاه ها در حد غنی شدگی کم و آرسنیک (۴/۹±۱/۱)، در حد غنی شدگی متوسط تا شدید محاسبه شده است. از نظر شاخص PLI (۱/۳۵-۱/۹) کلیه ایستگاه ها بیشتر از یک و دارای آلودگی بودند.

لغات کلیدی: رسوب، رودخانه کرج، فلزات سنگین، شاخص غنی شدگی، مواد مغذی

---

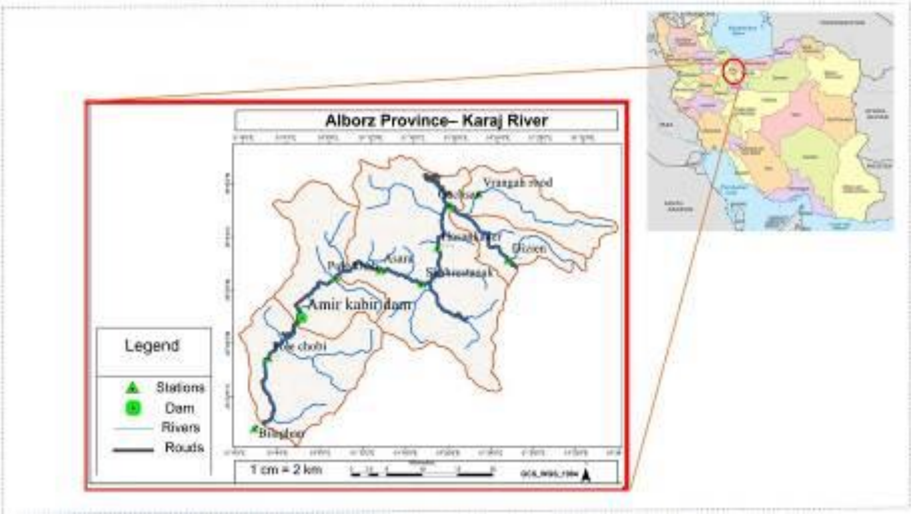
*نویسنده مسئول

مقدمه

افزایش بیش از حد جمعیت و صنعتی شدن جوامع به‌خصوص از نیمه دوم قرن بیستم سبب پیدایش مشکلات و مسائل جدید در آلودگی محیط زیست شده است. از جمله آلاینده‌هایی که در فاضلاب صنایع، معادن و رواناب‌های شهری و کشاورزی وجود دارند، فلزات سنگین و مواد مغذی هستند (اتفاق دوست و نویریان، ۱۳۹۷). این ترکیبات به صورت محلول به آب و خاک وارد می شوند و باعث آلودگی آبهای سطحی، زیرزمینی و خاک می‌گردند و در نهایت زنجیره غذایی را مورد تهدید قرار می‌دهند (دوستدار و همکاران، ۱۳۹۷). بنابراین، لازم است نسبت به کنترل و کاهش آلودگی در اکوسیستم های آبی اقدام شود (Imandel, 1999; Carballeira *et al*., 2000). از سوی دیگر، رسوبات محل نهایی تجمع فلزات سنگین در محیط آبی‌اند، اما تحت شرایطی می‌توانند به عنوان منبع آلودگی در آب عمل کنند (Yu *et al*., 2001). اگر چه ممکن است بخشی از آنها طی فرایند زیستی تجزیه گردند، ولی برخی از آنها در چرخه حیات آبی تثبیت می‌گردند و مشکلات بسیاری برای آبزیان و کفزیان به‌وجود می‌آورند (Imandel, 1999). لذا، بررسی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات برای ارزیابی احتمال آلودگی در یک منطقه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. یکی از روش‌های تشخیص دخالت‌های انسانی و ورود آلاینده‌هایی با منشاء انسانی به محیط‌های آبی، بررسی میزان غلظت فلزات سنگین در رسوبات می‌باشد (MacDonald *et al*., 2000). از این‌رو، مطالعات شیمیایی رسوبات موجود در محیط‌های آبی گام مؤثری برای یافتن منشأ رسوبات، الگوی پراکنش عناصر و ارزشیابی زیست محیطی وضعیت آلاینده‌ها، در طول مدت حضور در یک بوم سازگان باشد (Shajan, 2001). رودخانه کرج به عنوان شاهرگ حیاتی دو استان البرز و تهران، تأمین کننده آب شرب تهران، آب کشاورزی مناطق همجوار و منبع تأمین برق کشور است و با توجه به ساختار بستر و مشخصه های هیدرولوژیک و برخورداری از پتانسیل‌های بالقوه زیستی، نظیر قدرت خودپالایی چشمگیر و اکسیژن سرشار توانسته است از لحاظ بوم شناختی اکوسیستمی در خور زیست انواع پرندگان آبزی و کنارآبزی و آبزیانی که در نوع خود کم نظیر هستند، باشد (عبدلی، ۱۳۹۵). طول رودخانه حدود ۲۴۵ کیلومتر و مساحت حوضه آبریز آن حدود ۵۰۰۰ کیلومترمربع تخمین زده شده است (جوادی و همکاران، ۱۳۹۱). به طور کلی، عوامل تهدید به‌ترتیب شامل: ساخت و ساز در حریم رودخانه، آلودگی آب به دلیل ورود فاضلاب، تراکم گردشگر، پخش شدن زباله در محیط، آلودگی آب به دلیل وجود زباله در حاشیه و روی آب و توسعه فیزیکی تفرج متمرکز می‌باشد. در سال های اخیر عملیات راه‌سازی آزاد راه تهران–شمال که در حال انجام می باشد نیز می‌تواند بر کیفیت آب رودخانه تاثیرگذار باشد. قدرت خود پالایی رودخانه کرج موجب اشباع آب رودخانه از اکسیژن می‌شود و این ویژگی سبب گردیده است که با وجود بهره‌برداری بالا از آب رودخانه و قرار گرفتن در یکی از کانون‌های مهم تفرجی کشور، تاکنون آلودگی آن به حد غیر قابل تحمل در نیاید. اما واقعیت این است خطر آلودگی رودخانه با توجه به تأمین آب شرب تهران بسیار جدی است (عبدلی، ۱۳۹۵). بنابراین، بنا بر ضرورت بررسی کیفیت آب رودخانه کرج در قبل و بعد سازه سد که بیشترین تنش زیست محیطی را در سالهای اخیر داراست. همچنین به منظور تعیین مناطق آلوده این تحقیق انجام شد تا اقدامات زیست محیطی در آن به طور جدی‌تر پیگیری شود. در مقایسه با سوابق مطالعاتی در منطقه (راسخ محمدی، ۱۳۹۴؛ خدابخشی و همکاران، ۱۳۹۶)، مطالعه حاضر با هدف بررسی توزیع فلزات سنگین و مواد مغذی در طول رودخانه کرج در نمونه رسوب که تغییرات طولانی مدت را از لحاظ اثرات آلاینده ها بر موجودات بستری زی بهتر نشان می‌دهد، به درجه و میزان آلودگی این عناصر در بالادست و پایین دست سد امیرکبیر با استفاده از شاخص‌های زمین شیمیایی می‌پردازد که از لحاظ گستردگی نقاط نمونه‌برداری و تعداد آلاینده‌های مورد نظر از مطالعات پیشین متمایز می‌باشد.

مواد و روش کار

عملیات نمونه برداری به مدت یک‌سال از آبان و بهمن ۱۳۹۶ و اردیبهشت و مرداد ۱۳۹۷ از ۹ ایستگاه واقع در ولایت رود و وارنگه رود در بالادست سد امیرکبیر تا بیلقان (پایین دست سد امیرکبیر)، به طول حدود ۸۵ کیلومتر انجام شد (شکل ۱). ایستگاه های نمونه‌برداری مناسب بر اساس تمرکز مناطق مسکونی، کاربری‌های انسانی و امکان دسترسی محل تعیین و با GPS ثبت گردید. نمونه‌های رسوب (با سه تکرار در هر ایستگاه) جهت آنالیز فلزات سنگین، فسفر کل (TP)، نیتروژن کل (TN) و بافت رسوب جمع‌آوری گردید. جهت تعیین بافت رسوبات از روش هیدرومتری و ۵۰ گرم رسوب استفاده شد (Gee *et al*., 1986).



شکل ۱: نقشه ایستگاه های مورد مطالعه در مسیر رود خانه کرج (۹۷-۱۳۹۶)

Figure 1: Map of the study sites along Karaj River (2017-2018).

۰/۵ گرم از هر نمونه رسوب جهت آنالیز Fe و Al (٪) و عناصر V، Zn، Cu، Pb، Ni و As (ppm) در 2/4 میلی لیتر تیزاب سلطانی در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت دو ساعت هضم شد (ASTM D4698-2013) و غلظت عناصر در نمونه‌های هضم و رقیق شده با آب یون زدوده، دستگاه پلاسمای القایی کوپل شده (ICP-AES, AGILENT735) اندازه‌گیری شد. مقادیر قرائت شده آلومینیوم و آهن بر حسب قسمت در میلیون با تقسیم بر عدد ۱۰۰۰۰ به درصد تبدیل گردید. فسفر کل با اسپکتروفتومتر و نیتروژن کل با دستگاه کجلدال قرائت شد. بافت رسوب با روش هیدرومتری اندازه گیری شد. برای مقایسه آلاینده‌ها در رسوب رودخانه و ارزیابی ریسک بوم شناختی از استانداردهای جهانی طبق NOAA[1] (۲۰۰۹)، استفاده شده است. برای محاسبه فاکتور غنی شدگی (EF[2]) فلزات سنگین از فرمول ذیل استفاده شد.

$$EF= (Hs/Als)/ (Hc/Alc)$$

H_s و H_c: غلظت فلز مورد نظر به‌ترتیب در نمونه مورد مطالعه (s; sample) و در نمونه زمینه (c;crust; background)

Al_s و Al_c: میزان آلومینیوم به‌ترتیب در نمونه مورد مطالعه و زمینه (Miller, 2007)

در مطالعه حاضر، برای As، Ni، Pb، Cr، Cu، Zn و V به‌ترتیب از مقادیر ۰/۵، ۲۰، ۱۴، ۱۲۶، ۲۵، ۵۲ و ۵۳ بر حسب ppm و همچنین از مقادیر ۵٪ و ۸٪ برای فلزات Fe و Al به عنوان غلظت زمینه استفاده شد (Miller, 2007).

مقادیر فاکتور غنی‌شدگی در ایستگاه های مختلف؛ اگر EF<۱ : غنی شدگی وجود ندارد؛ EF<۳: غنی شدگی کم؛ EF<۳-۵ : غنی شدگی متوسط؛ EF< ۵-۱۰ : غنی شدگی متوسط تا شدید؛ EF<۱۰-۲۵: غنی شدگی شدید؛ EF<۲۵-۵۰: غنی شدگی خیلی شدید و EF >۵۰ غنی شدگی بی نهایت شدید می‌باشد (Grant and Middleton, 1990; Acevedo-Figueroa, 2006; Abrahim and Parker, 2008). در صورتی که شاخص EF از ۳ کمتر باشد بیشتر عوامل طبیعی و فرایند هوازدگی تاثیرگذار بوده است و اگر میزان شاخص از ۳ بیشتر باشد، بیانگر نقش موثرتر عوامل انسان‌ساخت در غنی شدگی این فلزات در منطقه می‌باشد (باقری و همکاران، ۱۳۹۱). بنابراین، در این تحقیق نیز عنصر آلومینیوم به عنوان عنصر هنجارساز جهت جداسازی آلودگی‌های انسانی و طبیعی به‌کار برده شد.

برای ارزیابی کیفیت زیست محیطی رسوبات از فرمول شاخص بار آلودگی (PLI[3]) (Suresh *et al*., 2011) استفاده شد.

$$PLI = (CF1* CF2* CF3\ ...\ CFn)^{1/n}$$

CF[4]: فاکتور آلودگی برابر است با نسبت بین میزان هریک از فلزات در نمونه مورد مطالعه به میزان فلز در نمونه زمینه

---

[1] National Oceanic and Atmospheric Administration
[2] Enrichment Factor
[3] Pollution Load Index
[4] Contaminiation Factor

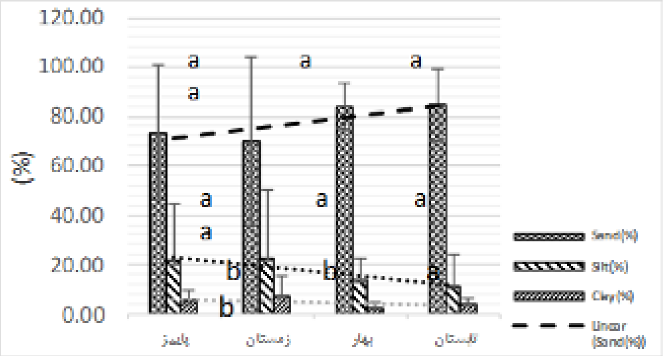
n: تعداد عناصر فلزی مورد مطالعه

CFmetals= CHmetal/CHback

برای تعیین میزان بار آلودگی در یک منطقه، اگر شاخص ۱ <PLIباشد، نشان‌دهنده آلوده بودن و اگر ۱ >PLI منطقه فاقد آلودگی می‌باشد (Seshan *et al.*, 2010). بر اساس نرمال بودن یا نرمال نبودن میانگین سالانه داده‌ها (به همراه انحراف استاندارد)، به‌ترتیب آنالیز واریانس یکطرفه وکروسکال والیس برای تعیین اختلاف بین گروه‌ها در سطح ($p<۰/۰۵$) با استفاده از نرم افزار SPSS23 انجام شد. همچنین برای تعین مولفه های اصلی و شباهت بین پارامترها، از PCA و برای دسته‌بندی ایستگاه ها از آنالیز خوشه‌ای استفاده گردید (حبیب پور گتابی و صفری شالی، ۱۳۹۱).

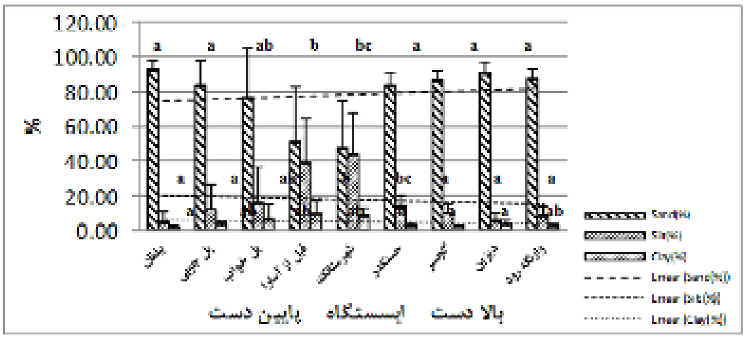
نتایج

مطابق با شکل‌های (۲ و ۳)، بیشینه مقدار میانگین شن در ایستگاه ۱ (۹۳/۰۰٪)، فصل تابستان (۸۴/۵٪) و کمینه مقدار آن در ایستگاه ۵ (۴۷/۰٪) و فصل زمستان (۶۹/۷٪)، بیشینه مقدار سیلت (۴۴/۴٪) در ایستگاه ۵، فصل زمستان (۲۲/۹٪) و کمینه مقدار آن در ایستگاه ۱ (۵/۰٪)، فصل تابستان (۱۱/۳٪) و سرانجام بیشینه مقدار رس در ایستگاه ۴ (۹/۶٪)، فصل زمستان (۷/۳۲٪) وکمینه مقدار آن در ایستگاه ۱ (۱/۹٪) در فصل بهار(۲/۱۹٪) مشاهده شد. آزمون کروسکال والیس اختلاف معنی داری بین درصد رس در فصول مختلف نشان می‌دهد ($p = ۰/۰۰۱$).



شکل ۲: تغییرات فصلی (میانگین± انحراف معیار) دانه بندی رسوب در رودخانه کرج، ۹۷–۱۳۹۶(خط نقطه چین نشان دهنده شیب تغییرات و حروف متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی دار می باشد، آزمون کروسکال والیس؛ من وینتی با Corrected α= 0.008 برای درصد رس)

Figure 2: Seasonal variation (mean± SD) of grain size in Karaj River sediment samples, 2017-2018. Different letters above the bars show significant difference (Kruskal- Wallis and Mann-Whitney test; p<0.05; Corrected α= 0.008 for clay.); Dotted and Continuous lines show the trend of changes.

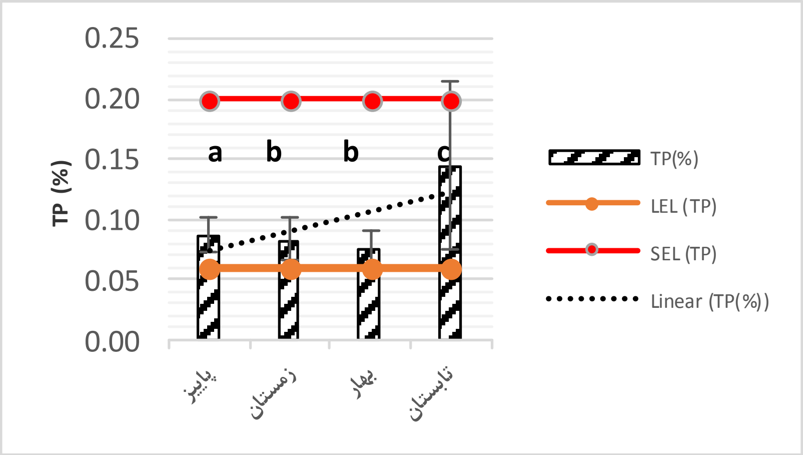


شکل ۳: تغییرات مکانی (میانگین± انحراف معیار) دانه بندی رسوب در رودخانه کرج، ۹۷–۱۳۹۶ (حروف متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی دار می باشد، آزمون توکی، p<۰/۰۵)

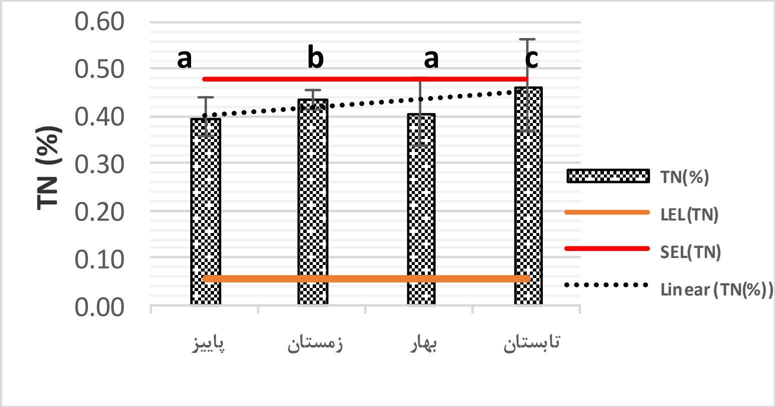
Figure 3: Spatial variation (mean± SD) of grain size in Karaj River sediment samples, 2017-2018. Different letters above the bars show significant difference (one way ANOVA and Test-Tukey; p<0.05); Dotted and Continuous lines show the trend of changes.

مطابق با شکل‌های (۴ و ۵) بیشینه مقدار میانگین فسفر کل در ایستگاه ۱ (۰/۱۳٪)، فصل تابستان (۰/۱۵٪) و کمینه مقدار آن در ایستگاه ۷ (۰/۰۸٪) و فصل بهار (۰/۰۷۷٪)، بیشینه مقدار نیتروژن کل (۰/۴۵٪) در ایستگاه ۹، فصل تابستان (۰/۴۶٪) و کمینه مقدار آن در ایستگاه ۸ (۰/۳۹٪) و فصل پاییز (۰/۳۹٪) مشاهده شد. آزمون کروسکال والیس نشان می‌دهد که بین درصد فسفر کل و درصد نیتروژن کل در فصول مختلف در رودخانه کرج، اختلاف معنی‌داری وجود دارد (p<۰/۰۵). میانگین کل میزان آلومینیوم در رسوب رودخانه کرج، ۶/۹ قسمت در صد، آرسنیک ۱۰/۵ ppm، مس ppm ۵۲/۳۵، آهن ۳/۶۷ قسمت در صد، نیکل ۲۴/۵ ppm، سرب ۲۴/۶ ppm، روی ۸۳/۹ ppm، وانادیوم ۹۶/۶ ppm و کروم ۳۸/۷ ppm به‌ثبت رسید. بنابراین، میزان فلزات سنگین در رسوب رودخانه کرج به‌ترتیب ذیل می باشد.

Al > Fe>V> Zn > Cu> Cr> Pb> Ni> As



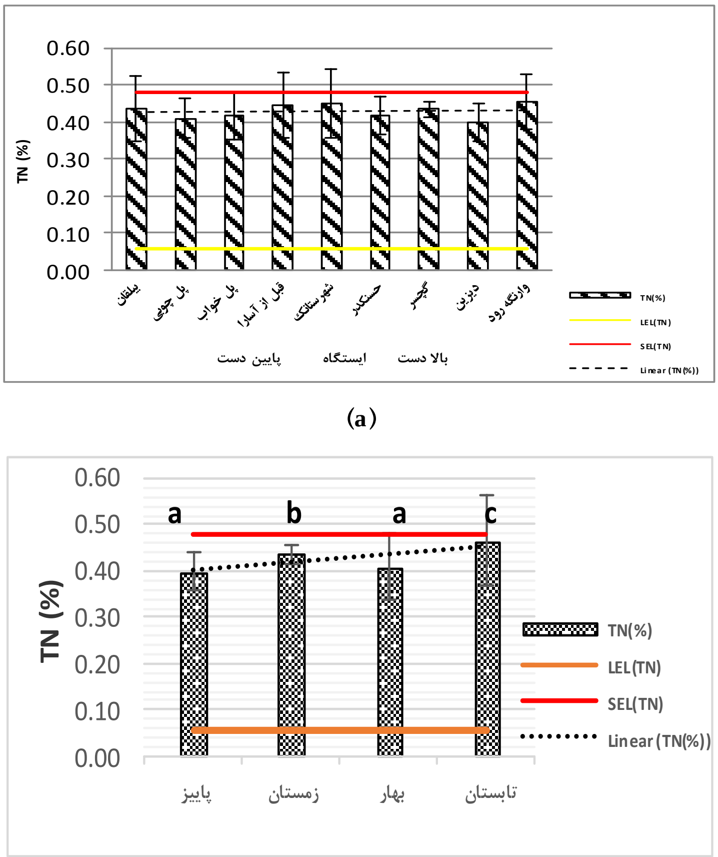
(a)



(b)

شکل ۴: تغییرات فصلی (میانگین± انحراف معیار) فسفر کل (a) و نیتروژن کل (b) در رودخانه کرج، ۹۷ – ۱۳۹۶ (خط نقطه چین نشان دهنده شیب تغییرات و حروف متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی دار می باشد، من ویتنی، Corrected α= 0.008)

Figure 4: Seasonal variation (mean± SD) of TP (a) & TN (b) in Karaj River sediment samples, 2017-2018. Different letters above the bars show significant difference (Mann-Whitney test; Corrected α= 0.008); Dotted and Continuous lines show the trend of changes



(a)

(b)

شکل ۵: تغییرات مکانی (میانگین ±انحراف معیار) نیتروژن کل (b) و فسفرکل (a) در رسوب رودخانه کرج، ۹۷ – ۱۳۹۶ (خط نقطه چین نشان دهنده شیب تغییرات و حروف متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی دار می باشد، آزمون کروسکال والیس، من ویتنی با ضریب بونفرنی،Corrected α= 0.001 برای فسفر کل)

Figure 5: spatial variation (mean± SD) of TP (a)& TN (b)in Karaj River sediment samples, 2017-2018. Different letters above the bars show significant difference (Kruskal- Wallis and Mann-Whitney test; Corrected α= 0.008 for TP); Dotted and Continuous lines show the trend of changes

مطابق با جدول ۱، بیشینه میانگین آلومینیوم در ایستگاه ۹ (۱۱/۴۳ قسمت درصد) و فصل بهار (۲ قسمت درصد) و کمینه مقدار آن ایستگاه ۳ (۴/۴۱ قسمت درصد) و فصل پاییز (۰/۴ قسمت درصد) مشاهده شد. آزمون من ویتنی اختلاف معنی‌داری (p<۰/۰۰۱) را بین میانگین غلظت این فلز در تابستان با سایر فصول نشان می‌دهد. همچنین روند تغییرات غلظت آلومینیم از بالادست به سمت پایین‌دست رودخانه، بدون تغییر به‌نظر می‌رسد که بیانگر توزیع یکنواخت این فلز را در سرتاسر رودخانه می‌باشد. بیشینه میانگین آرسنیک در ایستگاه ۶ (۱۴/۰ppm)، فصل پاییز (۱۳/۴ ppm) و کمینه مقدار آن در تابستان (۷/۶ ppm) و در ایستگاه ۹ (۸/۰ ppm) مشاهده شد. آزمون من ویتنی با احتساب ضریب تصحیح بونفرنی (Corrected α= 0.008) اختلاف معنی‌داری را بین میانگین غلظت این فلز در پاییز و بهار با زمستان و تابستان نشان می‌دهد. آزمون کروسکال والیس اختلاف معنی‌دار را بین میانگین مقادیر آرسنیک در ایستگاه‌های مختلف نشان می‌دهد (p<0.001).

جدول ۱: میانگین فصلی و مکانی فلزات سنگین (± SD) در رسوبات رودخانه کرج ، ۹۷-۱۳۹۶، حروف متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی دار (Mann-Whitney test and Test-Tukey; $p<0.05$) می باشد.

Table 1: Seasonal and spptial means of heavy metals (±SD) in the sediments of Karaj River, 2017-2018. Different letters above the bars show significant difference (Mann-Whitney test and Test-Tukey; $p<0.05$)

ایستگاه/ فصل	Al (قسمت در صد)	As(ppm)	Cu(ppm)	Fe (قسمت در صد)	Ni(ppm)	Pb(ppm)	Zn(ppm)	V (ppm)	Cr (ppm)
ST1	۷/۴۷^{a}±۱/۸۳ (۵/۸-۱۰/۵)	۸/۳^{a}±۱/۸ (۷/۵-۱۳/۰)	۵۶/۰^{ab}±۱۲/۶ (۴۰/۰-۸۳/۰)	۳/۸۲^{bc} ±۰/۴۷ (۳/۱۶-۴/۶)	۲۵/۳۳^{abc}±۹/۹۸ (۱۶/۰-۵۴/۰)	۱۷/۷^{a}±۹/۳ (۷/۵-۴۰/۰)	۷۵/۰^{abe}±۷/۳ (۶۳/۰-۹۰/۰)	۱۰۱/۹^{a}±۱۱/۶ (۸۷/۰-۱۲۰/۰)	۳۹/۸۳^{a}±۱۲/۳۴ (۱۶/۰-۶۲/۰)
ST2	۷/۷۲^{a} ±۱/۷۴ (۵/۴-۱۰/۶)	۹/۵^{ab}±۳/۳ (۷/۵-۱۷/۰)	۶۳/۰^{ac}±۲۱/۶ (۳۹/۰-۱۲۳/۰)	۶/۳۸^{b} ±۲/۶۵ (۳/۵۷-۱۲/۰۶)	۲۶/۶۷^{bc}±۴/۹۶ (۲۱/۰-۴۰/۰)	۲۳/۳^{ab}±۱۳/۲ (۷/۵-۴۷/۰)	۱۱۰/۰۸^{de} ± ۲۶/۰۴ (۷۰/۰-۱۵۶/۰)	۱۹۳/۸^{d}±۷۹/۶ (۱۰۰/۰-۳۵۷/۰)	۴۴/۵^{a}± ۱۶/۳۴ (۲۷/۰-۷۵/۰)
ST3	۶/۰^{a} ±۱/۵ (۴/۴-۸/۹۸)	۱۱/۳^{ab}±۳/۶ (۷/۵-۱۸/۰)	۷۹/۳^{abe}±۱۱۶/۵ (۲۴/۰-۴۲۸/۰)	۲/۹۲^{a} ±۰/۳۷ (۲/۲۲-۳/۵۲)	۲۱/۴۲^{a}±۳/۹ (۱۷/۰-۲۹/۰)	۲۸/۲^{ab}±۱۲/۹ (۷/۵-۵۰/۰)	۷۵/۲^{abe}±۱۴/۰۲ (۵۰/۰-۱۰۶/۰)	۶۵/۴^{e}±۹/۸ (۴۵/۰-۷۹/۰)	۳۵/۶۷^{a}±۱۰/۹۱ (۲۳/۰-۶۱/۰)
ST4	۶/۸۵^{a}±۱/۰۵ (۶/۰-۸/۷)	۱۱/۶^{ab}±۳/۲ (۷/۵-۱۵/۰)	۳۸/۳^{abe}±۱۵/۵ (۲۲/۰-۶۶/۰)	۳/۲۷^{ac} ±۰/۳۷ (۲/۴۷-۳/۷۵)	۲۴/۴^{abc}± ۳/۱۸ (۲۱/۰-۳۰/۰)	۳۶/۵^{ab}±۳۰/۹ (۷/۵-۱۲۷/۰)	۸۸/۸^{ce}±۱۳/۲ (۶۹/۰-۱۱۹/۰)	۷۶/۲^{be}±۷/۵ (۶۰/۰-۸۸/۰)	۳۹/۰^{a}±۸/۱۸ (۲۴/۰-۵۰/۰)
ST5	۶/۳۴^{a}±۱/۳ (۵/۲-۹/۱)	۱۱/۹۵^{ab}±۴/۱ (۷/۵-۱۵/۰)	۴۷/۸^{abe}±۲۷/۵ (۲۳/۰-۱۲۲/۰)	۳/۰۶^{a} ±۰/۳۷ (۲/۳۵-۳/۴۳)	۲۲/۳۳^{ab}±۳/۱۴ (۱۸/۰-۲۸/۰)	۲۵/۵^{ab}±۹/۹۹ (۱۴/۰-۴۵/۰)	۸۲/۲^{abe}±۱۱/۳ (۶۶/۰-۱۰۱/۰)	۷۳/۳^{be}±۱۱/۳ (۵۹/۰-۹۱/۰)	۳۹/۴۲^{a}±۷/۷۳ (۲۴/۰-۵۲/۰)
ST6	۶/۷۵^{a} ±۱/۳۶ (۵/۰-۹/۴)	۱۴/۹۵^{b}±۵/۶ (۷/۵-۲۴/۰)	۳۹/۲^{be}±۱۲/۶ (۲۳/۰-۶۱/۰)	۳/۴۸^{ac} ± ۰/۴۶ (۷۵۲-۴/۱۵)	۲۷/۲۵^{c}±۳/۳۳ (۲۳/۰-۳۲/۰)	۲۹/۰^{ab}±۱۴/۸ (۱۵/۰-۶۵/۰)	۸۴/۴^{abc}±۱۴/۵ (۷۰/۰-۱۲۷/۰)	۸۴/۱۷^{b}± ۹/۲۲ (۶۶/۰-۹۸/۰)	۴۱/۳۳^{a}±۱۲/۴۳ (۲۰/۰-۶۲/۰)
ST7	۶/۹۱^{a} ±۱/۴۹ (۵/۴-۹/۸)	۸/۸^{ab}± ۲/۳ (۷/۵-۱۳/۰)	۷۱/۸^{ad} ±۱۱۸/۱ (۲۰/۰-۴۴۱/۰)	۳/۴۱^{ac} ±۰/۵۹ (۲/۷۶-۴/۳۵)	۲۲/۰^{ab}±۳/۳۸ (۱۵/۰-۲۶/۰)	۱۷/۴^{a}±۷/۹ (۷/۵-۳۳/۰)	۷۲/۳^{ab}±۷/۸ (۶۱/۰-۸۳/۰)	۸۵/۳^{b}±۱۱/۳ (۶۵/۰-۱۱۰/۰)	۳۴/۹۲^{a}±۱۰/۴۱ (۲۲/۰-۵۶/۰)
ST8	۷/۲۵^{a}±۱/۵ (۵/۷-۱۱/۴)	۱۰/۲^{ab}±۳/۱ (۷/۵-۱۶/۰)	۳۴/۸^{de}±۲۱/۹ (۲۰/۰-۱۰۲/۰)	۳/۲۰^{ac}±۰/۷۶ (۲/۲۹-۴/۵۶)	۲۶/۵۸^{bc}± ۵/۰۲ (۲۱/۰-۳۵/۰)	۲۹/۲^{b}±۳/۵ (۲۴/۰-۳۴/۰)	۹۸/۷^{cd}± /۱ (۸۵/۰-۱۰۹/۰)	۱۰۰/۸^{a}±۱۳/۲ (۷۸/۰-۱۱۹/۰)	۳۷/۵^{a}±۹/۲۶ (۲۱/۰-۴۸/۰)
ST9	۷/۳۵^{a} ±۱/۹۹ (۴/۴-۱۱/۴)	۸/۰^{a} ±۱/۲ (۷/۵-۱۱/۰)	۴۱/۰^{be} ±۳۰/۲ (۱۹/۰-۱۳۳/۰)	۳/۵۶^{ac}±۰/۵۳ (۲/۶۶-۴/۴۶)	۲۴/۳۳^{abc} ±۴/۸۷ (۱۶/۰-۳۶/۰)	۱۵/۹^{a}± ۵/۹۹ (۷/۵-۲۶/۰)	۶۸/۰۸^{a}± ۸/۶ (۵۵/۰-۸۵/۰)	۸۸/۹^{ae}±۲۳/۳ (۴۸/۰-۱۳۱/۰)	۳۶/۰۸^{a}±۱۱/۴۵ (۱۲/۰-۵۳/۰)
پاییز	۶/۲۶^{a} ± ۱/۲۴ (۴/۴۵-۹/۷۷)	۱۳/۳۹^{a} ± ۴/۰۲ (۷/۵-۲۴/۰)	۸۹/۱۵^{a} ± ۱۰۲/۰۵ (۳۳/۰-۴۴۱/۰)	۳/۶۸^{a} ± ۰/۹۸ (۲/۲۹-۶/۷۴)	۲۶/۰۷^{a}± ۶/۲۲ (۲۰/۰-۵۴/۰)	۳۵/۰^{a}± ۶/۹۶ (۲۴/۰-۴۷/۰)	۸۹/۷^{a} ± ۲۰/۵۲ (۶۸/۰-۱۴۲/۰)	۱۰۵/۳۷^{a} ± ۴۹/۴ (۶۳/۰-۲۵۸/۰)	۳۹/۰۷^{a} ± ۱۱/۷ (۱۲/۰-۶۲/۰)
زمستان	۶/۰۹^{a} ± ۰/۶۵ (۴/۴۱-۷/۵۸)	۹/۱۷^{b} ± ۳/۰۹ (۷/۵-۲۰/۰)	۳۰/۹۳^{b} ± ۱۱/۶۷ (۱۹/۰-۶۲/۰)	۴/۳۵^{a} ± ۲/۲۷ (۲/۴۹-۱۲/۰۶)	۲۱/۳^{b} ± ۴/۶۱ (۱۵/۰-۴۰/۰)	۲۴/۱۱^{b} ± ۲۱/۸ (۱۵/۰-۱۲۷/۰)	۸۷/۷^{ab} ± ۲۲/۹۳ (۵۵/۰-۱۵۶/۰)	۹۸/۵۶^{a} ± ۷۰/۰۸ (۴۵/۰-۳۵۷/۰)	۳۶/۰۴^{a} ± ۱۵/۸۲ (۱۶/۰-۷۵/۰)
بهار	۶/۲۶^{a} ± ۰/۵۲ (۵/۴-۷/۲۳)	۱۱/۸۷^{a} ± ۳/۸۴ (۷/۵-۱۹/۰)	۴۹/۴۸^{abc} ± ۳۵/۶ (۲۲/۰-۱۶۴/۰)	۳/۶۹^{a} ± ۰/۷۳ (۲/۶۳-۵/۶۹)	۲۳/۰۷^{ab} ± ۳/۷۲ (۱۶/۰-۳۲/۰)	۱۹/۴۴^{b} ± ۵/۵۳ (۱۵/۰-۳۴/۰)	۸۱/۱۹^{ab} ± ۱۲/۳۶ (۶۰/۰-۱۰۸/۰)	۸۶/۸۹^{a} ± ۲۲/۰۶ (۵۹/۰-۱۵۳/۰)	۴۳/۲۶^{a} ± ۷/۲۱ (۲۷/۰-۶۲/۰)
تابستان	۹/۲۲^{b} ± ۰/۹۸ (۷/۲۷-۱۱/۴۳)	۷/۵۹^{b} ± ۰/۴۸ (۷/۵-۱۰/۰)	۳۹/۸۵^{c} ± ۸/۰۱ (۲۶/۰-۶۲/۰)	۲/۹۸^{b} ± ۰/۵۳ (۲/۲۲-۴/۵۲)	۲۷/۴۸^{c} ± ۴/۱۱ (۱۷/۰-۳۶/۰)	۱۹/۹۶^{b} ± ۱۴/۹۲ (۷/۵-۶۵/۰)	۷۶/۸۱^{b} ± ۱۳/۱ (۵۰/۰-۱۰۷/۰)	۹۵/۷۸^{a} ± ۲۵/۶۳ (۶۲/۰-۱۹۷/۰)	۳۶/۴۱^{a} ± ۶/۷ (۲۳/۰-۴۹/۰)

بیشینه میانگین مس در فصل پاییز (۸۹/۱ ppm) و ایستگاه ۳ (۷۹/۳ ppm) و کمینه مقدار آن در فصل زمستان (۳۰/۹ ppm) و ایستگاه ۸ (۳۴/۸ ppm) مشاهده شد. آنالیز کروسکال والیس وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین مقادیر مس در فصول و ایستگاه‌های مختلف رودخانه کرج را نشان می‌دهد ($p<۰/۰۰۱$). بیشینه مقدار میانگین نیکل در فصل تابستان (۲۷/۴۸ ppm) و ایستگاه ۶ (۲۷/۲۵ ppm) و کمینه مقدار آن در فصل زمستان (۲۱/۳ ppm) و ایستگاه ۳ (۲۱/۴۱ ppm) مشاهده شد. کروسکال والیس اختلاف معنی‌دار را بین میانگین فصلی مقادیر نیکل نشان داد ($p<۰/۰۰۱$). آنالیز واریانس یک طرفه اختلاف معنی‌دار را بین میانگین مقادیر نیکل در ایستگاه‌های مختلف نشان می‌دهد ($p<۰/۰۰۱$). بیشینه مقدار سرب در فصل پاییز (۳۵/۰ ppm) و ایستگاه ۴ (۳۶/۵ ppm) و کمینه مقدار آن در بهار (۱۹/۴ ppm) و ایستگاه ۹ (۱۵/۹ ppm) مشاهده شد. آزمون من ویتنی (Corrected $\alpha= 0.008$) اختلاف معنی‌داری را بین میانگین غلظت این فلز در فصل پاییز با سایر فصول نشان می‌دهد. آنالیز واریانس یک طرفه، وجود اختلاف معنی‌دار را بین میانگین مقادیر سرب در ایستگاه‌های مختلف نشان می‌دهد ($p<۰/۰۰۱$). بیشینه مقدار روی در فصل پاییز (۸۹/۷ ppm) و ایستگاه ۲ (۱۱۰/۱ ppm) و کمینه مقدار آن در تابستان (۷۶/۸ ppm) و ایستگاه ۹ (۶۸/۱ ppm) مشاهده شد. میانگین سالانه غلظت روی در کلیه ایستگاه‌های رودخانه، زیر حد استانداردهای مذکور می‌باشد. آنالیز واریانس یک طرفه، اختلاف معنی‌دار را بین میانگین مقادیر روی در فصول و ایستگاه‌های مختلف نشان می‌دهد ($p<۰/۰۵$). بیشینه مقدار آهن در فصل زمستان (۴/۴ قسمت درصد) و ایستگاه ۲ (۶/۴ قسمت درصد) و کمینه مقدار آن در تابستان (۲/۹ قسمت در صد) و ایستگاه ۳ (۲/۹ قسمت درصد) مشاهده شد. روند تغییرات فصلی این فلز از پاییز به تابستان کاهشی بود. همچنین آزمون من ویتنی اختلاف معنی‌دار را بین میانگین غلظت این فلز در تابستان با سایر فصول نشان می‌دهد ($p<۰/۰۰۱$). آنالیز واریانس یک طرفه اختلاف معنی‌دار را بین

میانگین مقادیر آهن در ایستگاه‌های مختلف نشان می‌دهد (p<۰/۰۰۱). بیشینه مقدار کروم در فصل بهار (۴۳/۳ ppm) و ایستگاه ۲ (۴۴/۵ ppm) و کمینه مقدار آن در تابستان (۳۶/۰ ppm) و ایستگاه ۷ (۳۴/۹ ppm) مشاهده شد.

بیشینه مقدار وانادیوم در فصل پاییز (۱۰۶/۴ ppm) و ایستگاه ۲ (۱۹۳/۸ ppm) و کمینه مقدار آن در بهار (۸۶/۹ ppm) و ایستگاه ۳ (۶۵/۴ ppm) مشاهده شد. آنالیز واریانس یک طرفه نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌دار بین میانگین غلظت این فلز در ایستگاه‌های مختلف وجود دارد (p<۰/۰۵).

در جدول ۲، مقادیر میانگین فلزات سنگین در مطالعه حاضر با مطالعات قبلی در منطقه و همچنین با استانداردهای جهانی مقایسه گردید. با انجام آزمون PCA (p<۰/۰۰۱، KMO=۰/۵۷، Eigenvalues≥۱) ، متغیرهای فلزات سنگین، مواد مغذی و دانه‌بندی رسوب رودخانه کرج بر اساس ایستگاه به صورت چهار مولفه اصلی (معادل٪۶۹/۸ کل واریانس ها) گروه‌بندی شدند (شکل ۶). مولفه اصلی اول (با پوشش ٪۲۵/۵ از کل واریانس‌ها) ارتباط مثبت و قوی با درصد سیلت، رس و ارتباط مثبت و متوسط با سرب و ارتباط منفی و قوی با درصد شن و مولفه اصلی دوم (با پوشش ٪۲۰/۵ از کل واریانس‌ها) ارتباط مثبت و قوی با Fe, Zn و V و ارتباط مثبت و متوسط با Cr نشان داده است. همچنین مولفه اصلی سوم (با پوشش ٪۱۴/۶ از کل واریانس‌ها) ارتباط مثبت و قوی Al و TP و ارتباط مثبت و متوسط با TN، در صورتی که مولفه چهارم ٪۹/۱ از کل واریانس‌ها، ارتباط مثبت و قوی با نیکل و ارتباط مثبت و متوسط را با As و Cu نشان داده است.

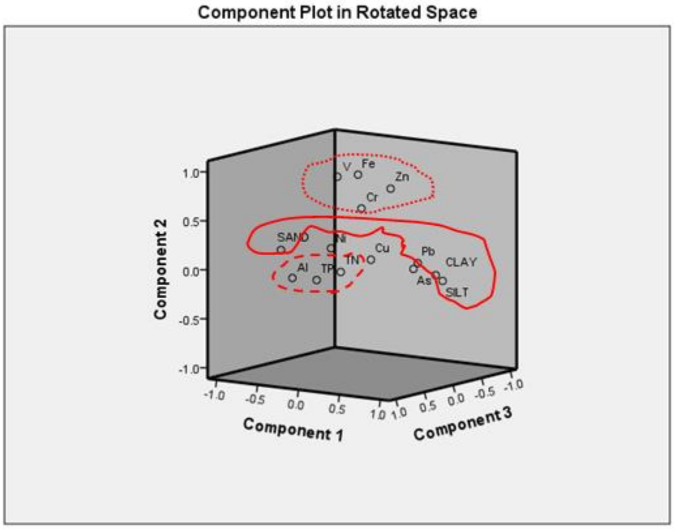
جدول۲. مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین در رسوب رودخانه کرج با مطالعات قبلی و استانداردهای جهانی-۹۷-۱۳۹۶

Table 2. Comparison of mean (±SD) or range of heavy metal concentrations (in ppm except Al and Fe which are in %) in the surface sediments from Karaj River and guidelines-(2017-2018)

منطقه/ استاندارد جهانی	Al(٪)	As (ppm)	Cu (ppm)	Fe (٪)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	V (ppm)	Cr (ppm)	مرجع
رودخانه کرج	۶/۹۵ ± ۱/۵۸ (۴/۴-۱۱/۴)	۱۰/۵ ± ۳/۹ (۷/۵-۲۴/۰)	۵۲/۴ ± ۵۸/۲ (۱۹/۰-۴۴۱/۰)	۳/۶۸ ± ۱/۳۹ (۱۲/۰۶-۲/۲۲)	۱۳/۶ ± ۴/۴ (۶/۲-۲۱/۵)	۲۴/۶۳ ± ۱۵/۱ (۷/۵-۱۲۷/۰)	۸۳/۸ ± ۱۸/۳ (۵۰/۰-۱۵۶/۰)	۹۶/۶ ± ۴۵/۹ (۴۵/۰-۳۵۷/۰)	۳۸/۶۹ ± ۱۱/۲ (۱۲/۰-۷۵/۰)	مطالعه حاضر
رودخانه کرج	--	--	۱۱/۵۵	۰/۴۴	۱۶/۱۰	۳۰/۷۴	۱۰/۳۵	--	--	راسخ محمدی،۱۳۹۴
رودخانه کرج (محدوده اسلامشهر)	--	۷/۴ ± ۳/۷ (۲/۸-۱۸/۹)	۵۲/۶ ± ۱۵/۹ (۳۵/۴-۸۴/۳)	۳/۸ ± ۰/۸ (۲/۶۵-۵/۵۵)	۳۰/۷± ۳/۹ (۲۳/۶-۳۶/۶)	۸۱/۵± ۲۱/۷ (۶۷/۱-۱۵۵/۹)	۱۴۶/۵± ۱۳۶/۳ (۷۳/۱-۴۴۶/۱)	--	۴۲/۶± ۱۰/۴ (۲۸/۱-۶۸/۴)	خدابخشی و همکاران،۱۳۹۶
LEL[1]	--	۵/۹	۱۶	۲	۱۶	۳۱	۱۲۰	--	۲۶	Persaud *et al* ,1993 NOAA , 2009
TEL[2]	--	۶	۳۵/۷	--	۱۸	۳۵	۱۲۳	--	۳۷/۳	NOAA , 2009
PEL[3]	--	۱۷	۱۹۷	--	۳۶	۹۱	۳۱۵	--	۹۰	NOAA, 2009
SEL[4]	--	۳۳	۱۱۰	۴	۷۵	۲۵۰	۸۲۰	--	۱۱۰	Persaud *et al* ,1993; NOAA, 2009
ARCS (H,azteca TEL)	۲/۵۵	--	--	۱۸/۸۴	--	--	--	--	--	
AET[5]	--	--	--	--	--	--	--	۵۷	--	NOAA, 2009

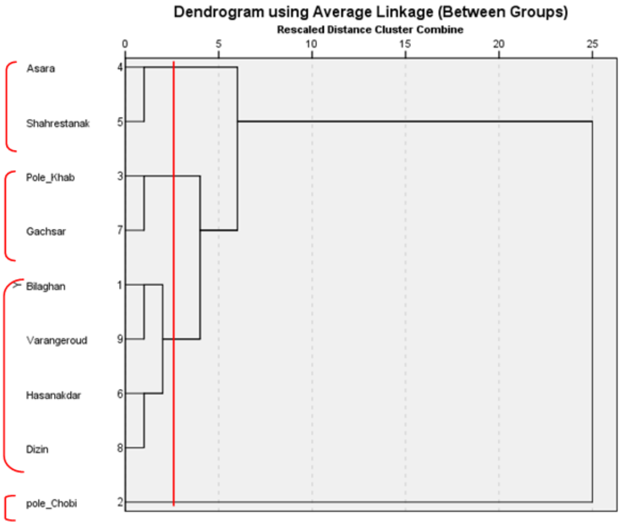
[1] lowest Effects level, [2] Threshold Effects Levels,[3] Probable Effects Levels, [4] Sever Effects Level,[5] Apparent Effects Threshold

با آزمون خوشه‌ای (Squared Euclidean distance, Between -Group linkage) ایستگاه‌ها به ۴ گروه عمده تفکیک شدند (شکل ۷) به‌طوری‌که ایستگاه‌های ۴و ۵، ایستگاه‌های ۳ و ۷، ایستگاه‌های ۱، ۹، ۶ و ۸ و نهایتاً ایستگاه ۲ در این چهار گروه مجزا قرار گرفتند.



شکل ۶: نمودار مولفه های اصلی فلزات سنگین (Al, As, Cu, Fe, Ni,V, Cr, Pb ,Zn)، مواد مغذی (TP, TN) و دانه بندی در رودخانه کرج، ۹۷– ۱۳۹۶

Figure 6: PCA diagram of heavy metals (Al, As, Cu, Fe, Ni,V, Cr, Pb and Zn), TP, TN and Grain size in sediment of Karaj River, 2017-2018.



شکل ۷: آنالیز خوشه ای ایستگاه های رودخانه کرج بر اساس فلزات سنگین، مواد مغذی و دانه بندی (۱۳۹۷-۱۳۹۶)

Figure 7: Cluster analysis of Karaj river stations based on heavy metals (Al, As, Cu, Fe, Ni,V, Cr, Pb and Zn), TP, TN and Grain size, 2017-2018

در جدول ۳ عامل غنی شدگی هشت فلز مورد نظر در فصول و ایستگاه‌های مختلف رودخانه کرج نشان داده شد. بیشینه و کمینه مقدار شاخص PLI به‌ترتیب در ایستگاه ۲ (۱/۹) و ایستگاه ۹ (۱/۳) محاسبه شده است (جدول ۴).

جدول۳: فاکتور غنی شدگی (EF) فصول (a) و ایستگاه های مختلف (b) در رسوبات رودخانه کرج (۹۷-۱۳۹۶)

Table 3: Enrichment factor of eight metals of different seasons (a) and stations (b) in the sediments of Karaj River, 2017-2018

فصل	As (ppm)	Cu (ppm)	Fe (%)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	V (ppm)	Cr (ppm)
پاییز	۶/۸	۴/۲	۰/۹	۱/۷	۳/۲	۰/۵	۲/۲	۰/۳
زمستان	۴/۸	۱/۵	۱/۱	۱/۴	۲/۲	۰/۴	۲/۲	۰/۳
بهار	۶/۱	۲/۳	۰/۹	۱/۵	۱/۸	۰/۴	۱/۸	۰/۳
تابستان	۲/۶	۱/۳	۰/۵	۱/۲	۱/۲	۰/۲	۱/۴	۰/۲

(a)

ایستگاه	As (ppm)	Cu (ppm)	Fe (%)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	V (ppm)	Cr (ppm)
ST1	۳/۵	۲/۲	۰/۸	۱/۴	۱/۴	۱/۰	۱/۸	۰/۲
ST2	۳/۹	۲/۴	۱/۳	۱/۴	۱/۷	۱/۴	۳/۳	۰/۲
ST3	۶/۰	۳/۹	۰/۸	۱/۴	۲/۷	۱/۳	۱/۵	۰/۳
ST4	۵/۴	۱/۷	۰/۸	۱/۴	۳/۰	۱/۳	۱/۵	۰/۲
ST5	۶/۰	۲/۲	۰/۸	۱/۴	۲/۳	۱/۳	۱/۵	۰/۳
ST6	۷/۱	۱/۷	۰/۸	۱/۶	۲/۵	۱/۳	۱/۷	۰/۳
ST7	۴/۱	۳/۱	۰/۸	۱/۳	۱/۴	۱/۰	۱/۶	۰/۲
ST8	۴/۵	۱/۴	۰/۷	۱/۵	۲/۳	۱/۴	۱/۹	۰/۲
ST9	۳/۵	۱/۷	۰/۸	۱/۳	۱/۲	۰/۸	۱/۶	۰/۲
میانگین (±SD)	۴/۹±۱/۱	۲/۳±۰/۶	۰/۸±۰/۱	۱/۴±۰/۱	۲/۱±۰/۶	۱/۲±۰/۱	۱/۸±۰/۳	۰/۲±۰/۰

(b)

جدول ۴: میزان PLI بر اساس غلظت فلزات سنگین در فصول و ایستگاه های مختلف در رودخانه کرج (۹۷-۱۳۹۶)

Table 4:. PLI of eight metals of different stations in the sediments from Karaj River, 2017-2018.

ایستگاه	ST۱	ST۲	ST۳	ST۴	ST۵	ST۶	ST۷	ST۸	ST۹
PLI	۱/۴۹	۱/۹	۱/۴۸	۱/۵۳	۱/۴۵	۱/۵۹	۱/۴۳	۱/۵۴	۱/۳۵
فصل	**پاییز**	**زمستان**	**بهار**	**تابستان**					
PLI	۱/۲۱	۰/۹۴	۱/۰	۰/۹					

بحث

با توجه به مشخصات بافت‌شناسی رسوب می‌توان اظهار نمود که تغییرات زمانی به صورت فصلی فقط در میزان رس در منطقه، آن هم در فصل بهار مشاهده شد که می تواند به دلیل افزایش دبی یا ورودی آب سطحی به رودخانه و در نتیجه افزایش فرسایش خاک و بالا رفتن کدورت در این فصل باشد. این موضوع باعث می‌شود که فقط ذرات بسیار ریز رس، تغییرات زمانی را نشان دهند. همچنین تغییرات مکانی از بالادست به سمت پایین دست رودخانه برای میزان شن کاهشی بود که رفتار معکوس میزان سیلت و رس را نشان می‌دهد. به عبارتی، بافت رسوبی بخش بالادست در نقاط نمونه‌برداری شده، از ذرات درشت‌تر (اغلب از شن) تشکیل شده است. میزان سیلت و رس از بالادست تا محل سد افزایش داشت و سپس در پایین دست سد به علت استقرار سازه سد میزانش کاهش یافت. به‌نظر می‌رسد در بالادست رودخانه جریانات آبی مانع از تجمع ذرات ریز می‌شود. ولی در بخش پایین دست، گرادیان بافت به سمت شن کمتر جابه‌جا شده است و به‌نظر می‌رسد، در اثر شدت جریان به‌وسیله دانه‌های سیلت غالب شده است.

خصوصیات متفاوت رسوبات در دو سوی رودخانه، بیانگر شرایط هیدرودینامیک مکانی و شرایط رسوبی منطقه می‌باشد. مشابه نتایج فعلی، نتایج مطالعه سرهنگی و همکاران (۱۳۹۳) بر دانه‌بندی نمونه‌های رسوبی در سد لتیان و سرشاخه‌های رودخانه‌ای، نشان داد که بیشترین رسوبات دریاچه را رس و سیلت تشکیل داده‌اند. در نتیجه، می واند سهم بالایی در ایجاد جذب فلزی داشته باشد در صورتی‌که رسوبات ایستگاه‌های رودخانه‌ای، ماسه‌ای بوده است. بنابراین، رودخانه ذرات درشت را در ابتدا برجای گذاشته و ذرات ریزتر را با خود حمل و در دریاچه سدلتیان ته‌نشین کرده است.

میزان نیتروژن کل و فسفر کل در رسوبات رودخانه کرج به رغم این‌که دارای تغییرات زمانی معنی‌داری بین فصل تابستان و سایر فصول می‌باشد که می‌تواند نشانگر کیفیت پایین آب در فصل تابستان باشد، ولی از لحاظ تغییرات مکانی، صرفاً میزان فسفر کل در بین ایستگاه‌های مختلف دارای اختلاف معنی‌دار بوده است به‌طوری‌که ایستگاه‌های بالادست به‌ویژه ایستگاه ۷ (گچسر) دارای وضعیت بهتری به لحاظ میزان فسفر کل می‌باشد. از سویی، در مقایسه با استانداردهای جهانی جهت ارزیابی ریسک بوم شناختی، مقادیر نیتروژن کل و فسفر کل در کلیه ایستگاه‌ها صرفاً از استاندارد LEL بالاتر می‌باشد که می‌تواند گویای این باشد که ممکن است برخی موجودات بسترزی تحت تاثیر قرار گیرند ولی با این وجود نمی‌تواند اثرات مهمی برجای بگذارند (Persaud *et al*, 1993).

مطابق با جدول ۱، روند تغییرات زمانی در اکثر فلزات سنگین مورد مطالعه مشهود می‌باشد به‌طوری‌که از فصل پاییز به سمت تابستان روند اکثر فلزات کاهشی ولی آلومینیوم و نیکل روند افزایشی بود و روی و کروم نیز تقریباً روند یکسانی در فصول مختلف نشان دادند. این موضوع می‌تواند به دلیل شرایط جوی و افزایش بارندگی‌ها در فصل پاییز و بهار و نیز نوع سازند و کانی‌های منطقه مرتبط باشد که متعاقباً باعث افزایش فرسایش و افزایش ورودی عناصر از اطراف به رودخانه باشد (سرهنگی و همکاران، ۱۳۹۳). نتایج Jinxi و همکاران (۲۰۱۵) در رودخانه Weihe (چین) بیانگر آن است که فلزات سنگین دارای تغییرات فصلی آشکار هستند به‌طوری‌که در فصل بهار و زمستان از تابستان بیشتر می‌باشند. با این حال، تغییرات قابل توجهی در پروفیل اندازه دانه نشان داده نشد. بنابراین، تغییر فصلی غلظت فلزات سنگین در رسوبات عمدتاً با اختلاف غلظت فلزات سنگین در آب رودخانه به‌وجود می‌آید. میانگین سالانه مقادیر اندازه‌گیری شده فلزات سنگین در رسوبات رودخانه کرج در مطالعه حاضر از نتایج خدابخشی و همکاران (۱۳۹۶) (که در اطراف اسلامشهر انجام شده)، از نظر آلودگی پایین‌تر بوده است. این موضوع می‌تواند به دلیل اختلاف موقعیت نمونه‌برداری دو مطالعه و همچنین ورودی‌های آلودگی ناشی از تمرکز بیشتر فعالیت‌های انسانی در منطقه پایین‌دست رودخانه در اطراف اسلامشهر باشد. بنابر گزارش مذکور، منبع احتمالی عناصر روی و مس، تخلیه زباله‌ها و نخاله‌های ساختمانی و فاضلاب‌های خانگی به رودخانه کرج و آفت‌کش‌های کشاورزی علت احتمالی افزایش غلظت آرسنیک در ایستگاه سالور و جاده ساوه و افزایش غلظت سرب در نتیجه رفت و آمد وسایل نقلیه اعلام شده است.

ارزیابی ریسک بوم‌شناختی بر اساس مقادیر استانداردهای جهانی بیانگر آن است که غلظت فلزات سنگین مورد نظر در این مطالعه و مطالعات قبلی از استاندارد سطح اثرات کم (LEL) و برخی از آنها از سطح اثرات آستانه (TEL) بیشتر بوده است ولی از میزان اثرات احتمالی (PEL) و بروز اثرات شدید (SEL) کمتر می‌باشد. میزان وانادیوم در کلیه فصول و کلیه ایستگاه‌ها از حد استاندارد AET بالاتر می‌باشد. غلظت آلومینیوم در کلیه ایستگاه‌ها از استاندارد ARCS بالاتر بوده است. همچنین غلظت مس علاوه بر این که در کلیه فصول بیشتر از حد استاندارد LEL بوده است، در فصول پاییز، بهار و تابستان بالاتر از استاندارد TEL می‌باشد در صورتی‌که میانگین سالانه غلظت مس در ایستگاه‌های مختلف از LEL و TEL بیشتر بوده است. میزان آرسینیک در کلیه فصول و ایستگاه‌ها از استاندارد LEL و TEL تجاوز می‌کند. میزان نیکل در کلیه فصول و کلیه ایستگاه‌ها بیشتر از استاندارد LEL وTEL می‌باشد در صورتی‌که ارزیابی ریسک بوم شناختی سرب از نظر فصلی شبیه به نیکل بوده است ولی فقط در ایستگاه ۴ از استاندارد های LEL و TEL بیشتر می‌باشد در صورتی‌که در کلیه فصول، میزان روی کمتر از حد کلیه استانداردهای مورد نظر بوده است. در کلیه فصول میزان آهن از حد استاندارد بیشتر بوده، LEL و فقط در زمستان از SEL بالاتر ثبت شده است. میانگین سالانه غلظت آهن در ایستگاه‌های مختلف با استاندارد LEL، SEL و ARCS مقایسه شده که غلظت این فلز در کلیه ایستگاه‌ها از LEL بالاتر و فقط ایستگاه ۲ از SEL تجاوز کرده است در حالی‌که در کلیه فصول میزان کروم از حد استاندارد LEL و در فصول پاییز و بهار از TEL بالاتر ثبت شده است. غلظت این فلز در کلیه ایستگاه‌ها از LEL و TEL (به‌جز

در ایستگاه ۳،۷ و ۹) بالاتر بوده است. بنابراین، با توجه به این‌که میزان آرسنیک، مس و کروم در مطالعه حاضر از حد آستانه (TEL) بیشتر و میزان نیکل، سرب و روی از حد کمترین اثر (LEL) نیز کمتر می باشد، این موضوع بیانگر آن است که احتمال مشاهده اثرات احتمالی و بروز اثرات شدید بیولوژیک بر اکثر موجودات بسترزی کم می باشد (Persaud *et al.*,1993; NOAA, 2009). مقادیر فلزات گزارش شده از مطالعات قبلی نیز مشابه مطالعه حاضر از میزان اثرات احتمالی (PEL) و بروز اثرات شدید (SEL) کمتر می‌باشد که با مطالعه حاضر همخوانی دارد. در این خصوص تنها میزان وانادیوم از حد اثراتی که منجر به بروز اثرات آشکار (AET) در موجودات بسترزی می‌شود (Persaud *et al*, 1993)، بیشتر است. در بررسی تغییرات مکانی میزان فلزات در رسوب، با توجه به این‌که غلظت آلومینیوم در ایستگاه‌های مختلف اختلاف معنی‌داری ندارد، نشانگر توزیع یکنواخت در کل مسیر رودخانه بوده است ولی با توجه به این‌که از استاندارد (ARCS H, azteca, TEL) در تمامی ایستگاه‌ها بالاتر می‌باشد، به‌نظر می‌رسد که اثرات بیولوژیک نامطلوب یا اثرات احتمالی جانبی بالاتر از آن، ممکن است دیده شود، ولی شدید نیست (NOAA, 2009). با توجه به این‌که تغییرات مکانی معنی‌دار در میزان آرسنیک نیز مشاهده شده و از استاندارد TEL بالاتر بوده است، به‌نظر می‌رسد اثرات نامطلوب بیولوژیک بر موجودات رودخانه در فصول و ایستگاه‌های مختلف به‌ویژه ایستگاه ۶ ممکن است دیده شود. چنین روند تغییرات مکانی را در میزان سایر فلزات مورد مطالعه هم کم و بیش دیده شده است. از آنجایی‌که اکثرا فلزات مورد مطالعه فقط از میزان کمترین اثر (LEL) و حد آستانه اثرات (TEL) در طول منطقه مطالعاتی بیشتر می‌باشد (به‌خصوص در بخش میانی و پایین دست رودخانه)، به‌نظر می‌رسد که اثرات مهمی بیولوژیک در موجودات بسترزی قابل مشاهده نبوده است. ولی به طور کلی می‌توان گفت، از نظر کیفیت رسوب، منطقه میانی و پایین دست دارای کیفیت پایین‌تری نسبت به ایستگاه‌های بالادست رودخانه باشد و اثرات منفی بیولوژیک در موجودات بسترزی ممکن است غالباً در حد کم و آستانه دیده شود (Persaud *et al*, 1993; NOAA, 2009). خدابخشی و همکاران (۱۳۹۶) گزارش نمودند که کادمیوم دارای درجه آلودگی بسیار بالا، عنصر کروم و نیکل دارای درجه آلودگی متوسط، عناصر مس، آرسنیک، سرب و روی دارای درجه آلودگی قابل توجه هستند، ولی غنی شدگی برای تمام عناصر در ایستگاه‌ها را (برخلاف نتایج مطالعه فعلی) گزارش ننموده است. نتایج مطالعه مذکور از لحاظ اعلام آلوده بودن منطقه بر اساس فلزات سنگین در رسوبات، با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد. مطالعه مشابه راسخ محمدی (۱۳۹۴) در رسوبات رودخانه کرج بیانگر آن است که از نظر مقدار زمین انباشتگی دو فلز کادمیوم با درجه آلودگی خیلی آلوده تا به‌شدت آلوده و فلز سرب با درجه آلودگی به‌شدت آلوده بوده است و آلودگی شاخص غنی شدگی مربوط به کادمیوم با درجه آلودگی شدید و کبالت با درجه آلودگی غنی شدگی با اهمیت به‌نظر می رسد. نتایج مشابه در خصوص احتمال میزان متفاوت ورودی این آلاینده‌ها در طول رودخانه کرج، در مطالعه حاضر نیز مشهود می‌باشد. بر اساس گزارش ضرغامی و همکاران (۱۳۹۶) اختلاف بار آلودگی محاسبه شده می‌تواند به علت تغییر در ارقام شاخص‌ها (ژئوشیمیایی مولر، کرباسی و غنی شدگی EF) باشد که برخی شاخص‌ها از غلظت شیل یا پوسته به عنوان غلظت اولیه استفاده می‌کنند که ممکن است زمین شناسی منطقه مورد مطالعه تابع این عامل نباشد. در مطالعه حاضر، از آلومینیوم به عنوان فلز مرجع در شاخص EF استفاده شد که به طور وسیع به صورت ترکیب سیلیکات آلومینیوم در نواحی ساحلی وجود دارد. شاخص EF ابزار مناسبی برای تعیین میزان رسوب‌گذاری عناصر به‌واسطه منبع ورودی انسانی یا طبیعی (Adamo *et al.*, 2005) و نیز تعیین میزان رسوب‌گذاری (Huang and Lin, 2003; Woitke *et al.*, 2003) می‌باشد. در مطالعه حاضر، محدوده میانگین سالانه عامل غنی شدگی برای کل مسیر مطالعه ۰/۲-۴/۹ متغیر می باشد. با توجه به بیشترین میزان غنی‌شدگی کلیه فلزات در پاییز و کم بودن این شاخص در تابستان می‌تواند به میزان کمتر بارندگی در فصل تابستان و افزایش بارندگی در پاییز مرتبط باشد که به‌نوبه خود باعث افزایش ورودی آب سطحی به رودخانه و در نتیجه فرسایش عناصر مذکور از خاک و کانی‌های منطقه به رودخانه در فصل پاییز شود. از آنجایی‌که نتایج شاخص غنی شدگی در فصول و اکثر ایستگاه‌ها برای اکثر فلزات مورد نظر از سه کمتر می‌باشد، می‌توان گفت که این فلزات بیشتر منشاء طبیعی دارند ولی آرسنیک چنین وضعی ندارد. میزان شاخص غنی شدگی آرسنیک از سه بیشتر بوده است، پس می‌تواند بیشتر منشاء انسان‌زاد داشته باشد (باقری و همکاران، ۱۳۹۱). از عوامل مهم دیگر در افزایش غلظت آرسنیک و سایر فلزات می‌توان به دانه‌بندی و بافت رسوب اشاره

نمود. بر اساس مطالعات قبلی، اگر جنس رسوب ماسه‌ای و ماسه‌ای- گلی باشد، آرسنیک در رسوب افزایش می‌یابد ولی برخی دیگر از جمله کادمیوم در رسوبات گلی بیشتر انباشته می‌شوند (Kaki *et al*., 2011; Ghorbanzadeh Zaferani, *et al*., 2016). در مطالعه حاضر نیز نشان داده شد که میزان این فلز در ایستگاه‌هایی که ریزدانه‌ها (سیلت و رس) بیشتر بوده و جنس رسوب نیز ماسه‌ای بوده، میزان آرسنیک بیشتر بوده است. بنابراین، در ایستگاه‌هایی که فعالیت‌های انسانی از جمله تخریب کوه و جاده سازی در زمان مطالعه در آن مشاهده شده (ایستگاه ۳، ۴ ۵ و ۶)، آرسنیک بیشترین غنی شدگی را به‌واسطه فعالیت‌های انسانی و افزایش فرسایش، نشان داده است. نتایج شاخص بار آلودگی (PLI)، نشان دهنده آن است که کلیه ایستگاه‌ها دارای آلودگی می‌باشند. بر اساس این شاخص، رودخانه کرج در فصول پاییز و بهار دارای آلودگی و فصول زمستان و تابستان فاقد آلودگی می‌باشد. بار آلودگی بیشتر فصول پاییز و بهار به افزایش بارش و ورودی بیشتر آنها می‌باشد. به طور کلی، وجود حداقل دو منبع متفاوت برای ورود عناصر فلزی و مواد مغذی به رسوب رودخانه پیشنهاد می‌گردد. این دو منبع شامل منشاء زمین زادی ناشی از فرسایش سنگ‌های بالادست حوضه (به‌ویژه سنگ‌های آذرین) به عنوان منشأ اصلی عناصر آهن، نیکل، کروم و روی و منشاء انسان‌زاد (فاضلاب‌های خانگی و صنعتی و زهکشی زمین‌های کشاورزی) به عنوان منبع تأمین عناصر آرسنیک، سرب، مس و وانادیوم و مواد مغذی است (Loska, 2003). هدف از روش تحلیل مؤلفه اصلی آن تعیین حداقل تعداد متغیرهایی است که بیشترین تغییرات را بین داده‌ها نشان می‌دهند. ویژگی‌هایی یونی، میزان تحرک، میزان ارتباط رفتاری عناصر با اجزاء رسوب (مواد آلی و کانی‌های رسی) و وجود منابع مشترک از جمله مواردی هستند که توزیع متفاوت عناصر در مؤلفه‌های اصلی را رقم می‌زنند (خدابخشی و همکاران، ۱۳۹۶). نتایج آنالیز PCA بیانگر آن است با توجه به همبستگی بین درصد سیلت، رس، شن و سرب به عنوان مولفه اول، فلزات آهن، روی، وانادیوم وکروم به عنوان مولفه اصلی دوم (غالباً با منشاء طبیعی)، مولفه اصلی سوم (با پوشش ۱۴/۶٪ از کل واریانس‌ها) شامل آلومینیوم، فسفر کل و نیتروژن کل و سرانجام مولفه چهارم شامل نیکل و آرسنیک و مس (غالباً با منشاء انسانی) می‌تواند دارای منبع ورودی متفاوت در طول رودخانه کرج باشد. گزارش خدابخشی و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از نتایج PCA فلزات سنگین رسوبات (از عمق ۲۰ سانتی‌متری) رودخانه کرج (در اطراف اسلامشهر) نشان داد که برخی فلزات از جمله نیکل، کروم و آهن همانند نتایج مطالعه حاضر، از عوامل اصلی با منشاء زمین‌زاد و آرسنیک و مس با منشاء انسان‌زاد از عوامل موثر بعدی معرفی شدند. بر اساس نتایج سرهنگی و همکاران (۱۳۹۳) که در اطراف سد لتیان انجام شد، Cr و Fe و V ارتباط نزدیکی می‌توانند داشته باشند. زیرا محصول سازندهای بالادست به‌ویژه سنگ‌های بازیک حاوی پیروکسن و مگنتیت موجود در سازندهای آتشفشانی منطقه مانند توفیت‌های سازند کرج می‌باشند. این موضوع می‌تواند قرار گرفتن آهن، وانادیوم و کروم در مولفه اول و منشاء مشترک آنها را در مطالعه حاضر توجیه نماید. منابع جداگانه برای انواع فلزات سنگین در رودخانه کرج، با توجه به موقعیت ایستگاه‌ها (بالادست، بخش میانی و پایین‌دست رودخانه) و وجود عوامل محیطی از جمله سازندهای اطراف و کاربری‌های متفاوت در طول منطقه مورد مطالعه، دور از انتظار نیست. از کاربری‌های مهم می‌تواند به وجود روستاهای زیاد و باغات در اطراف رودخانه‌های منتهی به سد کرج اشاره داشت. از سویی، به‌نظر می‌رسد با توجه به میزان شباهت مولفه اول و دوم از نظر میزان تاثیر، احتمالاً متغیرهای شن، سیلت و رس، سرب، آهن، روی، وانادیوم و کروم دارای منبع مشترک باشند که با منابع ورودی مولفه‌های سوم و چهارم متفاوت خواهند بود. خدابخشی و همکاران (۱۳۹۶) نتایج مشابهی را در منطقه گزارش کردند که بر اساس آن می‌توان گفت که آهن، نیکل، کروم و روی به عنوان مولفه اول، منبع یکسانی داشته‌اند (زمین زاد) و مس و آرسنیک (به عنوان مولفه دوم) دارای منبع مشترک (انسان‌زاد) مجزا می‌باشند. بر اساس نقش تجمعی ویژگی‌های محیطی مهم و تاثیرگذار رسوب و شباهت یا عدم شباهت بین ایستگاه‌های مختلف، می‌توان ایستگاه‌های مورد مطالعه را در ۴ گروه تقسیم نمود به‌طوری‌که ایستگاه‌های ۴و ۵، ایستگاه‌های ۳ و ۷، ایستگاه‌های ۱، ۹، ۶ و ۸ و نهایتاً ایستگاه ۲ در این چهار گروه مجزا قرار گرفتند. با این حال، با افزایش میزان فاصله از عدد ۵ به سمت فاصله ۱۰ تعداد گروه‌ها کمتر و گروه‌هایی که با هم فاصله بیشتری دارند یا شباهت آنها کمتر است، در دو گره عمده قرار می‌گیرند. ایستگاه ۲ (پل چوبی) بعد از سازه سد به لحاظ ویژگی رسوب از سایر ایستگاه‌ها، تفاوت بیشتری نشان می‌دهد. این موضوع می‌تواند متاثر از وجود فعالیت‌های تفرجی و مجاورت این ایستگاه با باغ‌های تفریحی و نیز تحت تاثیر سازه سد و در نتیجه جریان و دبی بیشتر آب

باشد. همچنین ایستگاه ۴ و ۵ نیز شباهت بسیاری با هم از نظر کیفیت دارند که می‌تواند متاثر از فعالیت‌های انسانی به‌ویژه ساخت و ساز جاده‌ای در بالادست و در مجاورت این ایستگاه‌ها باشد. Fataei و همکاران (۲۰۱۳) بر اساس تحلیل چند متغیره خوشه‌ای بر مقادیر ده پارامتر کیفی آب (BOD, COD, pH,TDS, EC, Cd, Zn, Hg, Pb,Se) مربوط به هفت ایستگاه در رودخانه کرج اعلام نمودند که ایستگاه‌هایی که از نظر بار آلودگی به یکدیگر نزدیک بودند، در یک گروه قرار گرفتند. این نشان‌دهنده تفاوت در منابع آلاینده و میزان آلودگی در مناطق مختلف رودخانه است که با نتایج این مطالعه همخوانی دارد. دسته‌بندی مطالعه حاضر با نتایج طبقه‌بندی پهنه‌ها از نظر میزان پتانسیل آلوده‌کنندگی آنها در آلودگی آبهای حوضه آبخیز رودخانه کرج که قاسمی زیارانی و فریادی (۱۳۸۸) با در نظر گرفتن ۱۶ مسئله اصلی در مورد آلودگی حوضه آبخیز مذکور انجام دادند، نیز مشابه می‌باشد. بر اساس مطالعه مذکور پهنه گسیل نساء، آزادبر و سیرا دارای شدت اثر بسیار زیاد بوده‌اند که به همراه سایر پهنه‌های دارای شدت اثر متوسط و زیاد در بخش میانی رودخانه واقع شده‌اند در صورتی‌که پهنه وارنگه رود دارای شدت اثر کم و پهنه ولایت رود در پهنه دارای شدت اثر زیاد طبقه‌بندی شده است.

بر اساس نتایج این مطالعه، به طور کلی می‌توان گفت که فقط آرسنیک دارای غنی شدگی بالا در اکثر ایستگاه‌ها (به‌ویژه ایستگاه‌های میانی که در معرض فعالیت‌های انسانی بیشتر به‌ویژه جاده‌سازی و وجود باغات و فعالیت‌های کشاورزی هستند) می‌باشد. بنابراین، بیشتر دارای منشاء انسان‌زاد بوده‌اند و سایر فلزات نیز احتمالاً زمین‌زاد هستند. با این وجود، از لحاظ شاخص بار آلودگی، فلزات سنگین رودخانه کرج (در محدوده مورد مطالعه) در حد آلوده معرفی شده است. بنابراین، با توجه به افزایش فعالیت‌های انسانی از جمله ساخت و سازهای جاده‌ای، تردد وسائط نقلیه، تمرکز نقاط مسکونی و تفرجی و باغات در منطقه برنامه مدون پایشی (شیمیایی و زیستی) در سرشاخه ها و شاخه اصلی آن به‌ویژه در سرشاخه ولایت رود، حسنکدر، شهرستانک، آسارا و پل چوبی با استفاده از رسوبات ضروری می‌باشد.

منابع

اتفاق دوست، م. و نویریان، ع. ح.، ۱۳۹۷. ارزیابی و مقایسه غلظت فلزات سنگین در بافت عضله میگوی رودخانه ای شرق (*Macrobrachium nipponense* De Haan, 1849) در رودخانه سیاه درویشان استان گیلان، مجله علمی شیلات ایران، ۲۷ (۵): ۵۹-۴۹. DOI: 10.22092/ISFJ.2018.117995

باقری، ح.، درویش بسطامی،ک.، شارمد، ت. و باقری، ز.، ۱۳۹۱. ارزیابی پراکنش آلودگی فلزات سنگین در خلیج گرگان، اقیانوس شناسی، ۱۱(۳): ۷۲-۶۵.

جوادی، س.م.ا.، بدلیانس قلی کندی گ. و غلامی آ.، ۱۳۹۱. ارزیابی کیفیت آب رودخانه کرج برمبنای شاخص ساپروبی، نهمین سمیناربین المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران، بهمن ۱۳۹۱، اهواز.

حبیب پور گتابی، ک. و صفری شالی، ر.، ۱۳۹۱. راهنمای جامع کاربرد SPSS در تحقیقات پیمایشی (تحلیل داده های کمی). نشر لویه. ۸۶۶ ص.

خدابخشی، خ.، کریم زاده، ف.، خوش منش، ب. و ضیاء ظریفی ، ا.، ۱۳۹۶. بررسی مقادیرعناصرآلوده کننده رسوب رودخانه کرج در محدوده اسلامشهر (جنوب تهران) و اثرات سوءآن بر محیط زیست پیرامون، فصلنامه علمی پژوهشی زمین شناسی محیط زیست، ۱۱(۸۳): ۱۰۳-۸۵.

راسخ محمدی،ر.، ۱۳۹۴. بررسی غلظت و منشاء فلزات سمی شاخص موجود در رسوبات رودخانه کرج، دانشگاه تهران، دانشکده محیط زیست، کارشناسی ارشد علوم محیط زیست.

سرهنگی، ا.، مدبری، س.، حرمی، س.ر. و زیبایی،م.،۱۳۹۳. بررسی آلودگی عناصر بالقوه سمی در مخزن سد لتیان، با نگرشی به نقش رسوبات در کنترل آلاینده ها، زمین شناسی مهندسی و محیط زیست، ۲۴(۹۴): ۱۴۶-۱۳۹.

ضرغامی، ف.، بیاتی، آ. و کرباسی، ع.، ۱۳۹۶. تعیین میزان حضور عناصر در فازهای مختلف رسوبی در رودخانه بهشهر و سد عباس آباد، علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۱۹(۵): ۲۹۷-۲۸۷. Doi: 10.22034/JEST.2017.11302 .

عبدلی، ا.، ۱۳۹۵. ارزیابی ذخایر آبزیان پشت سد کرج و رودخانه های منهی به آن، سازمان حفاظت محیط زیست، اداره کل حفاظت محیط زیست استان البرز.

قاسمی زیارانی، ا. و فریادی، ش.، ۱۳۸۸، پهنه بندی پتانسیل آلوده کنندگی حوضه آبخیز سد کرج با تلفیق

روش های ارزیابی توان اکولوزیک، تحلیل پارامترهای کیفی آب و SWOT. علوم محیطی، ۲(۷): ۲۱-۴۰.

مسطوره دوستدار، م.، رامین، م. ، نصرالله زاده ساوری، ح.، افرایی، م.ع. و رحمتی، ر.، ۱۳۹۷. بررسی و تعیین میزان برخی عناصر فلزی درماهیان رودخانه ارس در محدوده استان آذربایجان شرقی (۹۵-۱۳۹۴)، مجله علمی شیلات ایران، ۲۷(۳): ۴۱-۴۹. DOI: 10.22092/ISFJ.2018.117007

Abrahim, G.M.S. and Parker, R.J., 2008. Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. Estuarine. *Coastal and Shelf Science*, 136: 227-238. DOI:10.1007/s10661-007-9678-2

Acevedo-Figueroa, D., Jimenez, B.D. and Rodriguez-Sierra, C.J., 2006. “Trace metals in sediments of two estuarine lagoons form Puerto Rico”. *Journal of Environmental Pollution*, 141: 336-342. DOI: 10.1016/j.envpol.2005.08.037.

Adamo, P., Arienzo, M., Imperato, M., Naimo, D., Nardi, G. and Stanzione, D., 2005. Distribution and partition of heavy metals in surface and sub-surface sediments of Naples City port. *Chemosphere*, 61: 800–809. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2005.04.001

Carballeira, A., Carral, E., Puente, X. and Villares, R., 2000. Regionalscale monitoring of coastal contamination, Nutrients and heavy metals in estuarine sediments and organisms on the coast of Galicia, Northwest Spain. *International Journal of Environment and Pollution*, 13: 534-572. DOI: 10.1504/IJEP.2000.002333.

Fataei, E., Tolou, I., Nasehi, F. and Imani, A., 2013. Qualitative classification and determination of Karaj River pollutant sources using multivariate statistical methods. *Advances in Environmental Biology*, 7(11):3517-3521.

Gee, G.W., Bauder, J.W. and Klute, A., 1986. Particle-size analysis." Methods of soil analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods, pp. 383-411.

Ghorbanzadeh Zaferani, S.Gh., Machinchian Moradi, A., Mousavi Nadushan, R., Sari A.R. and Fatemi S.M.R., 2016. Distribution pattern of heavy metals in the surficial sediment of Gorgan Bay (South Caspian Sea, Iran), *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 15(3): 1144-1166.

Grant, A. and Middleton, R., 1990. An assessment of metal contamination of sediments in the Humber Estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 31: 71–85. DOI:10.1016/0272-7714(90)90029-Q.

Huang, K.M. and Lin, S., 2003. Consequences and implication of heavy metal spatial variations in sediments of the Keelung River drainage basin, Taiwan. *Chemosphere*, 53: 1113–1121. DOI: 10.1016/s0045-6535(03)00592-7.

Imandel, K., 1999. Survey of organic matter granulation and determination of heavy metals accumulation in Chalous River sediments. *Journal of Science and Technology*, 54:22-25.

Jinxi, S., Xiaogang, Y., Junlong, Z.,, Yongqing, L., Yan, Z. and Taifan, Z., 2015. *Assessing the* Variability of Heavy Metal Concentrations in Liquid-Solid Two-Phase and Related Environ*mental* Risks *in* the Weihe River of Shaanxi Province, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12: 8243-8262. DOI:10.3390, ijerph120708243.

Kaki, C., Guedenon, P., Kelome, N., Edorh, P.A. and Adechina, R., 2011. Evaluation of heavy metals pollution of Nokoue Lake. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 5(3): 255-261.

Loska, K. and Wiechula, D., 2003. Application of principal component analysis for the estimation of Sources of heavy metal contamination in surface sediments form the Rybnik Reservori. *Chemosphere*, 51: 723-733. DOI: 10.1016/S0045-6535(03)00187-5.

MacDonald, D.D., Ingersoll, C.G. and Berger, T.A., 2000. Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems. *Archives of Environment Contamination and Toxicology*, 39: 20- 31. DOI: 10.1007/s002440010075.

Miller, J., 2007. Contaminated rivers, springer verlag, 418P.

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), 2009. Screening quick reference tables (SquiRTs), http:// response.restoration.noaa.gov/cpr/sediment/squirt/squirt.html.

Persaud, D., Jaagumagi, R. and Hayton, A., 1993. Guidelines for the protection and management of aquatic sediment quality in Ontario, Ministry of Environment and Energy, Queen's Printer for Ontario. Ontario, Canada,39P.

Seshan, B.R.R., Natesan, U. and Deepthi, K., 2010. Geochemical and statistical approach for evaluation of heavy metal pollution in core sediments in southeast coast of India. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 7 (2): 291–306.

Shajan, K.P., 2001. Geochemistry of bottom sediments from a river-estuary-shelf mixing zone on the tropical southwest coast of India. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, 52(8): 371-382. DOI: 10.9795/bullgsj.52.371.

Suresh, G., Ramasamy, V., Meenakshisundaram, V., Venkatachalapathy, R. and Ponnusamy, V., 2011. Influence of mineralogical and heavy metal composition on natural radionuclide concentrations in the river sediments**.** *Applied Radiation and Isotopes: Including Data, Instrumentation and Methods for Use in Agriculture, Industry and Medicine*, 69(10):1466-74, DOI:10.1016/j.apradiso.2011.05.020**.**

Woitke, P., Wellmitz, J., Helm, D., Kube, P., Lepom, P. and Litheraty, P., 2003. Analysis and assessment of heavy metal pollution in suspended solids and sediments of the river Danube. *Chemosphere*, 51: 633–642. 2. DOI: 10.1016/S0045-6535(03)00217-0.

Yu, K.C., Tsal, L.J., Chen, S.H. and Ho, S.T., 2001. Chemical binding of heavy metals in anionic river sediments. *Water Research*, 35(17): 4086-4096.

Environmental qualitative assessment of Karaj River sediments (Alborz Province)

Ghorbanzadeh Zafarani S.Gh.[1]*; Hoseani Tayefeh F.[1]; Azimi S.B.[1]; Gandomkar M.[2]; Gholamalifard M.[3]; Badamfirooz J.[1]

*Ghorbanzadeh110@yahoo.com

1-Research Center for Environment and Sustainable Development (RCESD), Department Of Environment, Tehran, Iran.
2-Department Of Environment, Tehran, Iran.
3-Tarbiat Modares University, Noor, Iran.

Abstract

In this study, surficial sediments along 9 stations (from Bilqan to Dizin and Varangeh_e Rood) were collected seasonally along 2017-2018 and water quality was assessed using enrichment index (EF) and Pollution load index (PLI).The percentages of sand, silt, clay in the sediment samples were determined (78, 17 and 5 respectively). The mean of Al, As, Cu, Fe, Ni, Pb, Cr, Zn, V, TP and TN in the sediment samples were 7.35±1.99%, 8.0±1.2 ppm, 41.0±30.2ppm, 3.56±0.53% , 24.33±4.87 ppm, 5.9-13.6 ppm and 21.8-28.8 ppm, 15.9±5.99 ppm, 36.08±11.45 ppm , 68.08±08.6 ppm, 88.9±23.3 ppm, 0.1±0.05% and 0.42±0.07% respectively. Based on cluster analysis, Asara and Shahrestanak (group1); Pool-e Khab and Gachsar(group2), Bilqhan, Varangh_e Rood, Hassankader and Dizin (group3); and Pool_e Choobi (group4) categorized into separate groups. In general, the concentration of nutrients and heavy metals in the stations did not exceed the PEL and SEL. The enrichment index for both chromium (0.2) and iron (0.8) showed a degree of non-enrichment at all stations. Other metals showed a low degree of enrichment and have low enrichment levels and, in terms of arsenic concentration, EF have been moderate to severe (4.9±1.1). According to the PLI index (1.35-1.9), all stations were more than one, so it can be concluded that all of them were polluted.

Keywords: EF, Heavy metals, Karaj River, Nutrients, Sediment.

---

*Corresponding author