

مقالات علمی - پژوهشی:

## ارزیابی کیفیت محیطی رسوابات رودخانه کرج (استان البرز)

سید قاسم قربان زاده زعفرانی<sup>\*</sup>, فرهاد حسینی طایفه<sup>۱</sup>, سیده بهاره عظیمی<sup>۱</sup>, مهدی گندمکار<sup>۲</sup>,  
مهدی غلامعلی فرد<sup>۳</sup>, جلیل بادام فیروز<sup>۱</sup>

\*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، فور، ایران

تاریخ پذیرش: دی ۱۳۹۹

تاریخ دریافت: مهر ۱۳۹۹

حکیمہ

در مطالعه حاضر، رسوبات سطحی در طول ۹ ایستگاه (از بیلقان تا سرشاخه های ولایت رود و وارنگه رود) به صورت فصلی در طول سال های ۹۷-۱۳۹۶ جمع آوری و کیفیت آب با استفاده از شاخص غنی شدگی (EF) و بارآوردگی (PLI) ارزیابی شد. درصد شن، سیلت و رس نمونه رسوب به ترتیب ۱۷، ۷۸ و ۵ تعیین شد. میانگین سالانه Zn (۶۸/۰۸ ± ۸/۶ ppm)، Pb (۶۸/۰۸ ± ۸/۶ ppm)، Cu (۴۱/۰ ± ۳۰/۲ ppm)، Al (۷/۳۵ ± ۱/۹۹٪)، Fe (۳/۵۶ ± ۰/۵۳٪)، Ni (۱۵/۹ ± ۵/۹۹٪)، Cr (۲۴/۳۳ ± ۴/۸۷ ppm)، TN (۸/۰ ± ۱/۲ ppm)، As (۸۸/۹ ± ۲۲/۳ ppm)، V (۳۶/۰۸ ± ۱۱/۴۵ ppm) و TP (۰/۰۴۲ ± ۰/۰۷٪) بوده است. بر اساس آنالیز خوشه ای، آسرا و شهرستانک (گروه ۱)، پل خواب و گچسر (گروه ۲)، بیلقان، وارنگه رود، حسنکرد و دیزین (گروه ۳) و پل چوبی (گروه ۴) دسته بندی شدند. میزان مواد مغذی و فلزات سنگین ایستگاه ها، از استانداردهای SEL و PEL کمتر بودند. شاخص غنی شدگی کروم (۰/۰۲ ± ۰/۰۱٪) و آهن (۱۰/۸ ± ۱/۰٪) در کلیه ایستگاه ها در حد فاقد غنی شدگی و سایر فلزات در اکثر ایستگاه ها در حد غنی شدگی کم و آرسنیک (۱/۱ ± ۰/۹٪)، در حد غنی شدگی متوسط تا شدید محاسبه شده است. از نظر شاخص PLI (۱/۹ ± ۱/۳۵)، کلیه ایستگاه ها پیشتر از یک و دارای آلدگی بودند.

**لغات کلیدی:** رسم، ودخانه کرج، فلزات سنگین، شاخص غنی، شدگه، مواد مغذی

نوه سندھ مسئوٰ

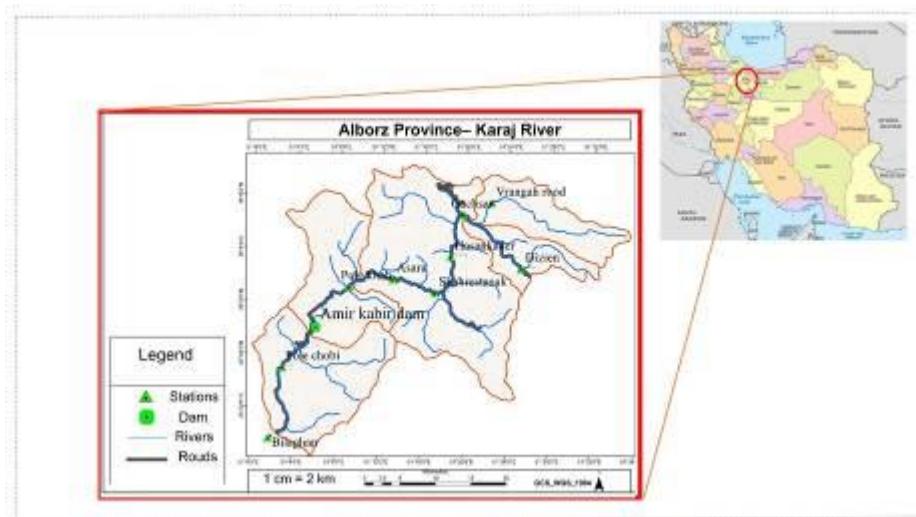
**مقدمه**

محیط، آلودگی آب به دلیل وجود زباله در حاشیه و روی آب و توسعه فیزیکی تفرق متمرکز می‌باشد. در سال‌های اخیر عملیات راهسازی آزاد راه تهران-شمال که در حال انجام می‌باشد 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 تأثیر آب شرب تهران بسیار جدی است (عبدی، ۱۳۹۵). بنابراین، بنا بر ضرورت بررسی کیفیت آب رودخانه کرج در قبل و بعد سازه سد که بیشترین تنفس زیست محیطی را در سالهای اخیر دارد. همچینی 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 معدنی در طول رودخانه کرج در نمونه رسووب که تغییرات طولانی مدت را از لحاظ اثرات آلاینده‌ها 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 نمونه‌برداری 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). ایستگاه‌های نمونه‌برداری مناسب بر اساس تمرکز مناطق مسکونی، کاربری‌های انسانی و امکان دسترسی محل تعیین و با GPS ثبت گردید. نمونه‌های رسووب (با سه تکرار در هر ایستگاه) جهم آنالیز فلزات سنگین، فسفر کل (TP)، نیتروژن کل (TN) و بافت رسووب جمع‌آوری گردید. جهم تعیین بافت رسوبات از روش هیدرومتری و ۵۰ گرم رسووب استفاده شد (Gee *et al.*, 1986)

افزایش بیش از حد جمعیت و صنعتی شدن جوامع به خصوص 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 معدنی هستند (اتفاق دوست و نویریان، ۱۳۹۷). این ترکیبات به صورت محلول به آب و خاک وارد می‌شوند 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 اکوسیستم‌های آبی اقدام شود (Imandel, 1999; Carballera *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 کفربیان به وجود 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 همچو رودخانه و منبع تأمین برق کشور است و با توجه به ساختار بستر و مشخصه‌های 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 (عبدی، 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 به ترتیب شامل: ساخت و ساز در حریم رودخانه، آلودگی آب به دلیل ورود فاضلاب، تراکم گردشگر، پخش شدن زباله در



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

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

ppm و همچنین از مقادیر ۰/۵٪ و ۰/۸٪ برای فلزات Fe و Al به عنوان غلظت زمینه استفاده شد (Miller, 2007). مقادیر فاکتور غنی شدگی در ایستگاه های مختلف؛ اگر  $EF < 1$ ؛ غنی شدگی وجود ندارد؛  $EF < 3$ -۵؛  $EF < 3$ -۵٪؛ غنی شدگی کم؛  $EF < 10$ -۵؛  $EF < 10$ -۵٪؛ غنی شدگی متواتر تا شدید؛  $EF < 25$ -۵۰٪؛ غنی شدگی خلیلی شدید و  $EF > 50$ ٪ غنی شدگی بی نهایت شدید (Grant and Middleton, 1990; Acevedo- Figueroa, 2006; Abraham 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 موثر عوامل انسان ساخت در غنی شدگی این فلزات در منطقه می باشد (باقی و همکاران، ۱۳۹۱). بنابراین، در این تحقیق نیز عنصر آلومینیوم به عنوان عنصر هنجارساز جهت جداسازی آلودگی های انسانی و طبیعی به کار برده شد.

برای ارزیابی کیفیت زیست محیطی رسوبات از فرمول شاخص بار آلودگی<sup>۳</sup> (PLI) (Suresh et al., 2011) استفاده شد.

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

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

۰/۵ گرم از هر نمونه رسوب جهت آنالیز Fe و Al (٪) و عناصر سلطانی در دمای ۹۰ درجه سانتی گراد و به مدت دو ساعت هضم شد (ASTM D4698-2013) و غلظت عناصر در نمونه های هضم و رقیق شده با آب یون زدوده، دستگاه پلاسمای القایی کوپل شده (ICP-AES, AGILENT735) اندازه گیری شد. مقادیر قرائت شده آلومینیوم و آهن بر حسب قسمت در میلیون با تقسیم بر عدد ۱۰۰۰۰ به درصد تبدیل گردید. فسفر کل با اسپکتروفوتومتر و نیتروژن کل با دستگاه کجلدا ل قرائت شد. بافت رسوب با روش هیدرومتری اندازه گیری شد. برای مقایسه آلاینده ها در رسوب رودخانه و ارزیابی رسک بوم شناختی از استانداردهای جهانی طبق<sup>۱</sup> NOAA (۲۰۰۹) استفاده شده است. برای محاسبه فاکتور غنی شدگی (EF<sup>۲</sup>) فلزات سنگین از فرمول ذیل استفاده شد.

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

و  $H_c$  و  $H_s$  : غلظت فلز مورد نظر به ترتیب در نمونه مورد مطالعه (c;crust; background) و در نمونه زمینه (s; sample) و  $Al_c$  و  $Al_s$  : میزان آلومینیوم به ترتیب در نمونه مورد مطالعه و زمینه (Miller, 2007) در مطالعه حاضر، برای As ، Pb ، Ni ، Zn ، Cu ، Cr و V به ترتیب از مقادیر ۰/۵، ۰/۲۰، ۰/۲۵، ۰/۲۵، ۰/۵۲ و ۰/۵۳ بر حسب

<sup>3</sup> Pollution Load Index<sup>4</sup> Contamination Factor<sup>1</sup> National Oceanic and Atmospheric Administration<sup>2</sup> Enrichment Factor

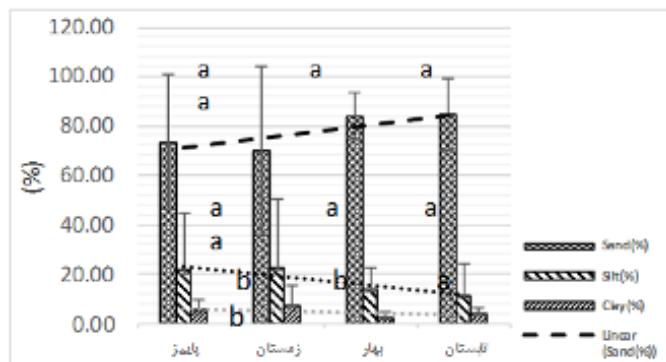
## نتایج

مطابق با شکل‌های (۲ و ۳)، بیشینه مقدار میانگین شن در ایستگاه ۱ (۰/۹۳/۰۰)، فصل تابستان (۰/۸۴/۵) و کمینه مقدار آن در ایستگاه ۵ (۰/۴۷/۰) و فصل زمستان (۰/۶۹/۷)، بیشینه مقدار سیلت (۰/۴۴/۴) در ایستگاه ۵، فصل زمستان (۰/۲۲/۹) و کمینه مقدار آن در ایستگاه ۱ (۰/۵۰/۰)، فصل تابستان (۰/۱۱/۳) و کمینه مقدار رس در ایستگاه ۴ (۰/۹۶/۰)، فصل زمستان (۰/۷۲/۲۲) و کمینه مقدار آن در ایستگاه ۱ (۰/۱۹/۰) در فصل بهار (۰/۲۱۹) مشاهده شد. آزمون کروسکال والیس اختلاف معنی داری بین درصد رس در فصول مختلف نشان می‌دهد ( $p = 0/001$ ).

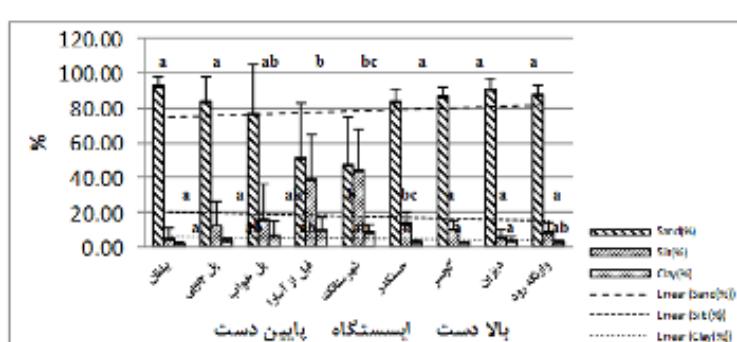
n: تعداد عناصر فلزی مورد مطالعه

$$CFmetals = \frac{CHmetal}{CHback}$$

برای تعیین میزان بار آلودگی در یک منطقه، اگر شاخص  $PLI < 1$  باشد، نشان‌دهنده آلوده بودن و اگر  $PLI > 1$  منطقه فاقد آلودگی می‌باشد (Seshan *et al.*, 2010). بر اساس نرمال بودن یا نرمال نبودن میانگین سالانه داده‌ها (به همراه انحراف استاندارد)، بهترتبی آنالیز واریانس یکطرفه و کروسکال والیس برای تعیین اختلاف بین گروه‌ها در سطح ( $p < 0/05$ ) با استفاده از نرم افزار SPSS23 انجام شد. همچنین برای تعیین مولفه‌های اصلی و شباهت بین پارامترها، از PCA و برای دسته‌بندی ایستگاه‌ها از آنالیز خوش‌های استفاده گردید (حبیب پور گتابی و صفری شالی، ۱۳۹۱).



شکل ۲: تغییرات فصلی (میانگین±انحراف معیار) دانه بندی رسوب در رودخانه کرج، ۱۳۹۶-۹۷ (خط نقطه چین نشان دهنده شبیه تغییرات و حروف متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی دار می باشد، آزمون کروسکال والیس؛ من وینتی با Corrected  $\alpha = 0.008$  برای درصد رس) (Corrected  $\alpha = 0.008$  for clay); Dotted and Continuous lines show the trend of changes.



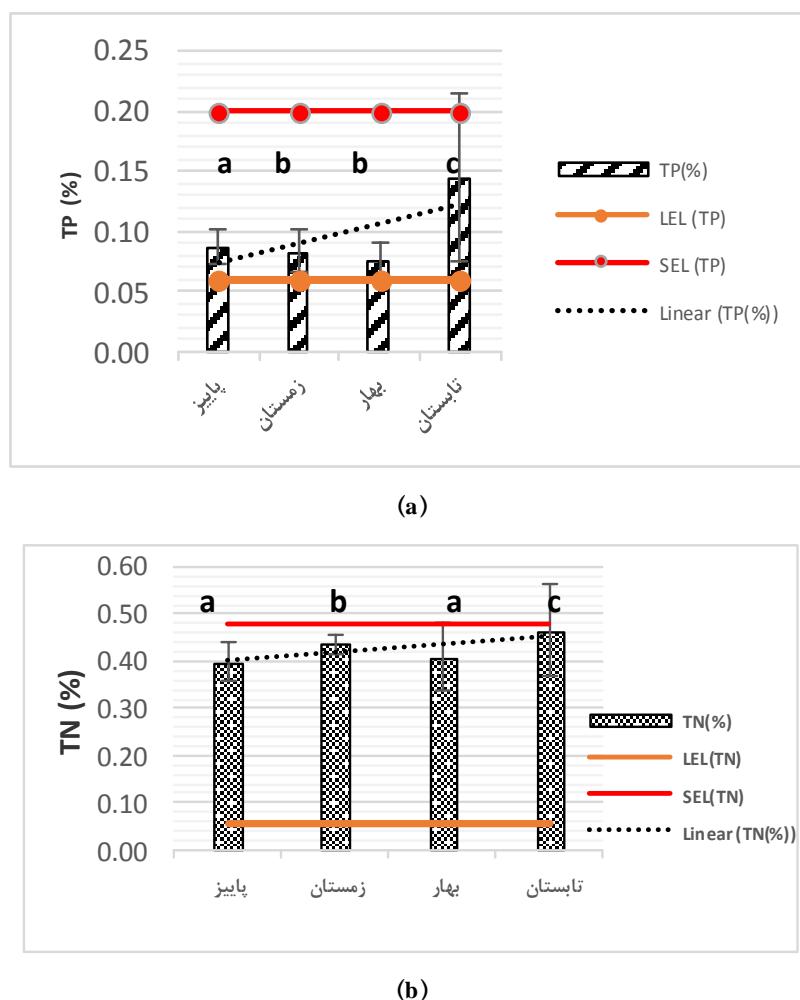
شکل ۳: تغییرات مکانی (میانگین±انحراف معیار) دانه بندی رسوب در رودخانه کرج، ۱۳۹۶-۹۷ (حروف متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی دار می باشد، آزمون توکی،  $p < 0/05$ )

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.

رودخانه کرج، اختلاف معنی‌داری وجود دارد ( $p<0.05$ ). میانگین کل میزان آلومینیوم در رسوب رودخانه کرج،  $6/9$  قسمت در صد، آرسنیک  $10/5$  ppm، مس  $52/35$  ppm، آهن  $3/67$  قسمت در صد، نیکل  $24/5$  ppm، سرب  $24/6$  ppm روی  $83/9$  ppm، وانادیوم  $96/6$  ppm و کروم  $38/7$  ppm بهثبت رسید. بنابراین، میزان فلزات سنگین در رسوب رودخانه کرج بهترتب ذیل می‌باشد.

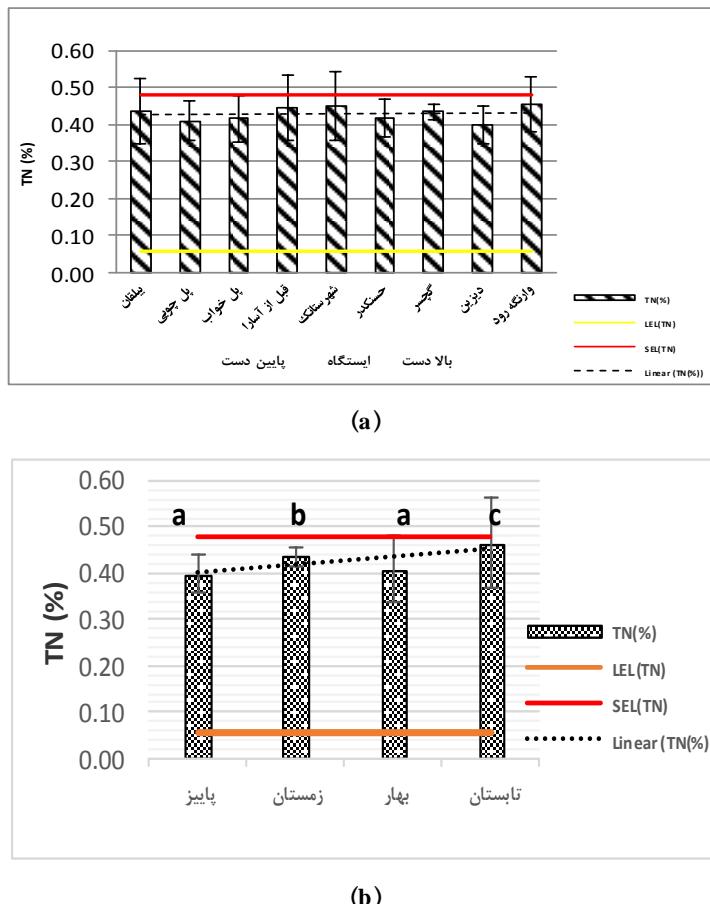


مطابق با شکل‌های (۴ و ۵) بیشینه مقدار میانگین فسفر کل در ایستگاه ۱ ( $13/0\%$ )، فصل تابستان ( $15/0\%$ ) و کمینه مقدار آن در ایستگاه ۷ ( $08/0\%$ ) و فصل بهار ( $77/0\%$ )، بیشینه مقدار نیتروژن کل ( $45/0\%$ ) در ایستگاه ۹، فصل تابستان ( $46/0\%$ ) و کمینه مقدار آن در ایستگاه ۸ ( $39/0\%$ ) و فصل پاییز ( $39/0\%$ ) مشاهده شد. آزمون کروسکال والیس نشان می‌دهد که بین درصد فسفر کل و درصد نیتروژن کل در فصول مختلف در



شکل ۴: تغییرات فصلی (میانگین  $\pm$  انحراف معیار) فسفر کل (a) و نیتروژن کل (b) در رودخانه کرج، ۹۷-۱۳۹۶ (خط نقطه چین نشان دهنده شبیه تغییرات و حروف متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی دار می‌باشد، من ویتنی، من ویتنی،  $\alpha=0.008$ ؛ خطوط پیوسته و نقطه‌زنی نشان دهنده تغییرات مکمل هستند).

Figure 4: Seasonal variation (mean  $\pm$  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  $\alpha=0.008$ ); Dotted and Continuous lines show the trend of changes



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

Figure 5: spatial variation (mean $\pm$  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  $\alpha = 0.008$  for TP); Dotted and Continuous lines show the trend of changes

تابستان (۷/۶ ppm) و در ایستگاه ۹ (۸/۰ ppm) مشاهده شد. آزمون من ویتنی با احتساب ضریب تصحیح بونفرنی غلظت این فلز در پاییز و بهار با زمستان و تابستان نشان می دهد. آزمون کروسکال والیس اختلاف معنی دار را بین میانگین مقادیر آرسنیک در ایستگاه های مختلف نشان می دهد ( $p < 0.001$ ).

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 معنی داری (۰/۰۰۱) ( $p < 0.001$ ) را بین میانگین غلظت این فلز در تابستان با سایر فصول نشان می دهد. همچنین روند تغییرات غلظت آلومینیم از بالادست به سمت پایین دست رودخانه، بدون تغییر به نظر می رسد که بیانگر توزیع یکنواخت این فلز را در سرتاسر رودخانه می باشد. بیشینه میانگین آرسنیک در ایستگاه ۶ (۱۴/۰ ppm)، فصل پاییز (۱۳/۴ ppm) و کمینه مقدار آن در

جدول ۱: میانگین فصلی و مکانی فلزات سنگین ( $\pm$ SD) در رسوبات رودخانه کرج ، ۹۷-۹۶، حروف متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی دار (Mann-Whitney test and Test-Tukey;  $p<0.05$ ) می باشد.

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

Cr (ppm)	V (ppm)	Zn(ppm)	Pb(ppm)	Ni(ppm)	قسمت Fe در صد (%)	Cu(ppm)	As(ppm)	قسمت Al در صد (%)	ایستگاه / فصل
۳۹/۸۳ <sup>a</sup> $\pm$ ۱۲/۱۴	۱۰/۱/۹ <sup>a</sup> $\pm$ ۱۱/۶	۷۵/۱ <sup>a,b</sup> $\pm$ ۷/۳	۱۷/۷ <sup>a</sup> $\pm$ ۹/۳	۲۵/۳۳ <sup>a,b</sup> $\pm$ ۹/۹۸	۳/۸۲ <sup>a</sup> $\pm$ ۰/۴۷	۵۶/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۱۲/۶	۸/۴ <sup>a</sup> $\pm$ ۱/۱۸	۷/۴۷ <sup>a</sup> $\pm$ ۱/۸۳	ST1
(۱۶/۰-۶۷/۰)	(۸۷/۰-۱۲۰/۰)	(۶۷/۰-۹۰/۰)	(۷/۵-۴/۰)	(۱۶/۰-۵۴/۰)	(۳/۱۶-۴/۶)	(۴/۰-۸۳/۰)	(۷/۰-۱۳/۰)	(۵/۸-۱۰/۵)	
۴۴/۵ <sup>a</sup> $\pm$ ۱۶/۳۴	۱۹۳/۸ <sup>a</sup> $\pm$ ۷۹/۶	۱۱۰/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۲۶/۰۴	۲۲/۴ <sup>a,b</sup> $\pm$ ۱۲/۲	۲۶/۶۸ <sup>a</sup> $\pm$ ۴/۹۶	۶/۳۲ <sup>a</sup> $\pm$ ۲۶/۵	۶۳/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۱۲/۶	۹/۵ <sup>a</sup> $\pm$ ۲۳/۳	۷/۷۳ <sup>a</sup> $\pm$ ۱/۷۴	ST2
(۳۷/۰-۷۵/۰)	(۱۰۰/۰-۳۵۷/۰)	(۷۰/۰-۱۵۶/۰)	(۷/۰-۴۷/۰)	(۳۱/۰-۴۰/۰)	(۳/۳۷-۱۲/۶)	(۳/۹/۰-۱۳۳/۰)	(۷/۰-۱۷/۰)	(۵/۴-۱۰/۶)	
۳۵/۶۷ <sup>a</sup> $\pm$ ۱۰/۹۱	۶۵/۴ <sup>a</sup> $\pm$ ۹/۸	۷۵/۰ <sup>a,b</sup> $\pm$ ۱۴/۰۲	۲۸/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۱۲/۹	۲۱/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۱۳/۹	۲/۹۳ <sup>a</sup> $\pm$ ۰/۳۷	۷۹/۰ <sup>a,b</sup> $\pm$ ۱۱۶/۵	۱۱/۱ <sup>a</sup> $\pm$ ۳/۶	۶/۱ <sup>a</sup> $\pm$ ۱/۵	ST3
(۳۳/۰-۶۱/۰)	(۴۰/۰-۷۹/۰)	(۵/۰-۱۰۶/۰)	(۷/۰-۵۰/۰)	(۱۷/۰-۴۹/۰)	(۲/۲۲-۳/۵۲)	(۳/۴-۰-۴۲۸/۰)	(۷/۰-۱۸/۰)	(۴/۴-۰/۹۸)	
۳۹/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۱۸/۱۸	۷۶/۶۳ <sup>a</sup> $\pm$ ۷۸/۵	۸۸/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۱۳/۲	۳۹/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۳/۹	۲۴/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۲/۱۸	۳/۲۲ <sup>a</sup> $\pm$ ۰/۱۷	۲۸/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۱۵/۵	۱۱/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۳/۴	۶/۸۵ <sup>a</sup> $\pm$ ۱/۵	ST4
(۳۴/۰-۵۰/۰)	(۳۰/۰-۱۸۸/۰)	(۳۹/۰-۱۱۹/۰)	(۷/۰-۱۲۷/۰)	(۳۱/۰-۳۰/۰)	(۲/۲۴-۳/۷۵)	(۲۲/۰-۶۶/۰)	(۷/۰-۱۵/۰)	(۶/۰-۰/۸۷)	
۳۹/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۷۷/۷۷	۷۳/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۱۱/۳	۸۲/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۱۱/۳	۲۰/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۹/۹۹	۲۲/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۲/۱۴	۳/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۰/۳۷	۴۷/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۲۷/۵	۱۱/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۲/۱	۶/۱۴ <sup>a</sup> $\pm$ ۱/۳	ST5
(۳۴/۰-۵۲/۰)	(۵۹/۰-۹۱/۰)	(۵۶/۰-۱۰۱/۰)	(۱۰/۰-۳۵/۰)	(۱۸/۰-۲۸/۰)	(۲/۳۳-۳/۴۳)	(۳/۳-۰-۱۲۲/۰)	(۷/۰-۱۵/۰)	(۵/۰-۰/۹۱)	
۴۱/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۱۲/۴۳	۸۴/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۹/۲۲	۸۴/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۱۲/۵	۲۹/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۱۴/۸	۲۷/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۲/۳۳	۳/۴۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۰/۴۶	۳۹/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۱۲/۶	۱۴/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۵/۶	۶/۷۵ <sup>a</sup> $\pm$ ۱/۳۶	ST6
(۳۰/۰-۶۷/۰)	(۵۶/۰-۹۸/۰)	(۷۰/۰-۱۲۷/۰)	(۱۰/۰-۴۵/۰)	(۳۰/۰-۲۲/۰)	(۷۵/۰-۴۱/۰)	(۳۳/۰-۶۱/۰)	(۷/۰-۲۴/۰)	(۵/۰-۰/۹۴)	
۳۴/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۱۰/۴۱	۸۰/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۱۱/۳	۷۲/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۷/۸	۱۷/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۷/۹	۲۲/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۳/۸	۳/۴۱ <sup>a</sup> $\pm$ ۰/۵۹	۷۱/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۱۱۰/۱	۸/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۲/۳	۶/۹۱ <sup>a</sup> $\pm$ ۱/۴۹	ST7
(۳۲/۰-۵۶/۰)	(۴۵/۰-۱۱۰/۰)	(۶۱/۰-۸۳/۰)	(۷/۰-۳۳/۰)	(۱۰/۰-۲۶/۰)	(۳/۰/۰-۴۳/۰)	(۳/۰-۰-۴۱/۰)	(۷/۰-۱۳/۰)	(۵/۰-۰/۹۸)	
۳۷/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۷/۶۵	۱۰۰/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۱۳/۳	۹۸/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۱/۱	۲۹/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۲۳/۵	۲۶/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۰/۱۰	۳/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۰/۱۶	۳۴/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۲۱/۹	۱-۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۳/۱	۷/۳۵ <sup>a</sup> $\pm$ ۱/۵	ST8
(۳۱/۰-۴۸/۰)	(۷۸/۰-۱۱۹/۰)	(۸۰/۰-۱۰۹/۰)	(۳۴/۰-۳۴/۰)	(۱۰/۰-۳۰/۰)	(۳/۱/۰-۴۵/۰)	(۱۰/۰-۰-۱۰۰/۰)	(۷/۰-۱۶/۰)	(۵/۰-۰/۱۱۰)	
۳۶/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۱۱/۴۵	۸۸/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۲۳/۳	۶۸/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۸/۶	۱۵/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۵/۹۹	۲۴/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۰/۱۷	۳/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۰/۵۳	۴۱/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۰/۲	۸/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۱/۲	۷/۳۵ <sup>a</sup> $\pm$ ۱/۹۹	ST9
(۱۲/۰-۵۳/۰)	(۴۸/۰-۱۳۱/۰)	(۵۵/۰-۸۵/۰)	(۷/۰-۲۶/۰)	(۱۰/۰-۳۶/۰)	(۳/۰/۰-۴۶/۰)	(۱۰/۰-۰-۱۳۰/۰)	(۷/۰-۱۱/۰)	(۴/۰-۰/۱۱۰)	
۳۹/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۱۱/۱۷	۱۰۵/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۴۹/۴	۸۹/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۲-۰/۵۲	۳۵/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۶/۹۶	۲۶/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۰/۲۲	۳/۶۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۰/۹۸	۸۹/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۱۲/۰۵	۱۳/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۰/۱۰۲	۶/۲۶ <sup>a</sup> $\pm$ ۱/۲۴	پاییز
(۱۲/۰-۶۷/۰)	(۶۳/۰-۴۵۸/۰)	(۶۸/۰-۱۲۴/۰)	(۳۴/۰-۴۷/۰)	(۱۰/۰-۰-۵۷/۰)	(۷/۰-۰-۶۷/۰)	(۳/۰-۰-۴۱/۰)	(۷/۰-۲۴/۰)	(۴/۰-۰/۷۷)	
۳۶/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۱۰/۸۲	۹۸/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۷۰/۰	۸۷/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۲۲/۹۳	۲۴/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۲۱/۸	۲۱/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۴/۶	۴/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۰/۲۷	۳۰/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۱۱۶/۷	۹/۱۷ <sup>a</sup> $\pm$ ۰/۹	۶/۱۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۰/۶۵	زمستان
(۱۶/۰-۷۵/۰)	(۴۵/۰-۳۵۷/۰)	(۵۵/۰-۱۵۶/۰)	(۱۰/۰-۱۲۷/۰)	(۱۰/۰-۰-۴۰/۰)	(۲/۰/۰-۱۲۰/۰)	(۱۰/۰-۰-۶۲/۰)	(۷/۰-۰-۲۰/۰)	(۴/۰-۰/۷۸)	
۴۳/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۷/۲۱	۸۶/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۲۲/۰	۸۱/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۱۲/۳۶	۱۹/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۰/۵۳	۲۳/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۰/۳۷	۳/۶۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۰/۱۳	۴۹/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۲۵/۶	۱۱/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۰/۱۸/۴	۶/۲۶ <sup>a</sup> $\pm$ ۰/۰۲	بهار
(۳۷/۰-۶۷/۰)	(۵۹/۰-۱۵۳/۰)	(۶۰/۰-۱۰۸/۰)	(۱۰/۰-۳۴/۰)	(۱۰/۰-۳۰/۰)	(۲/۰-۰-۵۶/۰)	(۲/۰-۰-۱۶۴/۰)	(۷/۰-۱۰/۰)	(۵/۰-۰/۷۳)	
۳۶/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۷/۶۷	۹۵/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۲۵/۶۳	۷۶/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۱۲/۱	۱۹/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۰/۹۲	۲۷/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۰/۱۱	۲/۹۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۰/۵۳	۳۹/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۰/۰۱	۷/۰ <sup>a</sup> $\pm$ ۰/۴۸	۹/۲۲ <sup>a</sup> $\pm$ ۰/۹۸	تابستان
(۳۳/۰-۴۹/۰)	(۶۲/۰-۱۹۷/۰)	(۵۰/۰-۰-۱۰۷/۰)	(۷/۰-۰-۵۶/۰)	(۱۰/۰-۰-۳۶/۰)	(۲/۰-۰-۴۵/۰)	(۲/۰-۰-۶۲/۰)	(۷/۰-۰-۱۰/۰)	(۷/۰-۰-۱۱/۰۴۳)	

فصل پاییز با سایر فصول نشان می دهد. آنالیز واریانس یک طرفه، وجود اختلاف معنی دار را بین میانگین مقادیر سرب در ایستگاه های مختلف نشان می دهد ( $p<0.001$ ). بیشینه مقادیر روی در فصل پاییز ( $۸۹/۰$  ppm) و ایستگاه (۸) میانگین مقدار میانگین مقادیر سرب در ایستگاه های مختلف نشان دارد ( $p<0.001$ ). آنالیز واریانس یک طرفه، وجود اختلاف معنی دار را بین میانگین مقادیر سرب در فصل پاییز مقدار میانگین نیکل در فصل تابستان ( $۳۴/۰$  ppm) و ایستگاه (۸) میانگین مقادیر میانگین مقادیر سرب در فصل زمستان ( $۲۱/۰$  ppm) و ایستگاه (۳) میانگین مقادیر سرب در ایستگاه های مختلف نشان دارد ( $p<0.001$ ). آنالیز واریانس یک طرفه اختلاف معنی دار را بین میانگین مقادیر نیکل در ایستگاه های مختلف نشان می دهد ( $p<0.001$ ). بیشینه مقادیر سرب در فصل پاییز ( $۳۵/۰$  ppm) و ایستگاه (۴) میانگین مقادیر سرب در ایستگاه (۰) مشاهده شد. آزمون من ویتنی Corrected  $\alpha=0.008$  اختلاف معنی داری را بین میانگین غلظت این فلز در کاهشی بود. همچنین آزمون من ویتنی اختلاف معنی دار را بین میانگین غلظت این فلز در تابستان با سایر فصول نشان می دهد ( $p<0.001$ ). آنالیز واریانس یک طرفه اختلاف معنی دار را بین

بیشینه میانگین مس در فصل پاییز ( $۸۹/۰$  ppm) و ایستگاه (۷) ppm و کمینه مقادیر آن در فصل زمستان ( $۳۰/۰$  ppm) و ایستگاه (۸) ppm مشاهده شد. آنالیز کروسکال والیس وجود اختلاف معنی دار بین میانگین مقادیر مس در فصل پاییز مقدار میانگین نیکل در فصل تابستان ( $۳۴/۰$  ppm) و ایستگاه (۶) ppm و کمینه مقادیر آن در فصل زمستان ( $۲۷/۰$  ppm) و ایستگاه (۴) ppm و کمینه مقادیر آن در فصل زمستان ( $۲۱/۰$  ppm) و ایستگاه (۳) ppm مشاهده شد. کروسکال والیس اختلاف معنی دار را بین میانگین مقادیر مس در ایستگاه های مختلف نشان داد ( $p<0.001$ ). آنالیز واریانس یک طرفه اختلاف معنی دار را بین میانگین مقادیر نیکل در ایستگاه های مختلف نشان می دهد ( $p<0.001$ ). بیشینه مقادیر سرب در فصل پاییز ( $۳۵/۰$  ppm) و ایستگاه (۴) میانگین مقادیر سرب در ایستگاه (۰) مشاهده شد. آزمون من ویتنی Corrected  $\alpha=0.008$  اختلاف معنی داری را بین میانگین غلظت این فلز در

مواد معدنی و دانه‌بندی رسوب رودخانه کرج بر اساس ایستگاه به صورت چهار مولفه اصلی (معادل ۶۹٪ کل واریانس ها) گروه‌بندی شدند (شکل ۶). مولفه اصلی اول (با پوشش ۲۵٪) از کل واریانس ها) 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٪) از کل واریانس ها) 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٪) از کل واریانس ها) ارتباط مثبت و قوی Al و TP و ارتباط مثبت و متوسط با TN، در صورتی که مولفه چهارم ۹٪ از کل واریانس ها، ارتباط مثبت و قوی با نیکل و ارتباط مثبت و متوسط را با As و Cu نشان داده است.

میانگین مقادیر آهن در ایستگاه های مختلف نشان می‌دهد (p<0.001). بیشینه مقدار کروم در فصل بهار (۴۳/۳ ppm) و ایستگاه ۲ (۴۴/۵ ppm) و کمینه مقدار آن در تابستان (۴۰/۰ ppm) و ایستگاه ۷ (۳۶/۹ 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 ایستگاه های مختلف وجود دارد (p<0.05).

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<0.001)، KMO=0.57، Eigenvalues $\geq 1$ ، متغیرهای فلزات سنگین،

جدول ۲. مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین در رسوب رودخانه کرج با مطالعات قبلی و استانداردهای جهانی-۹۷-۱۳۹۶

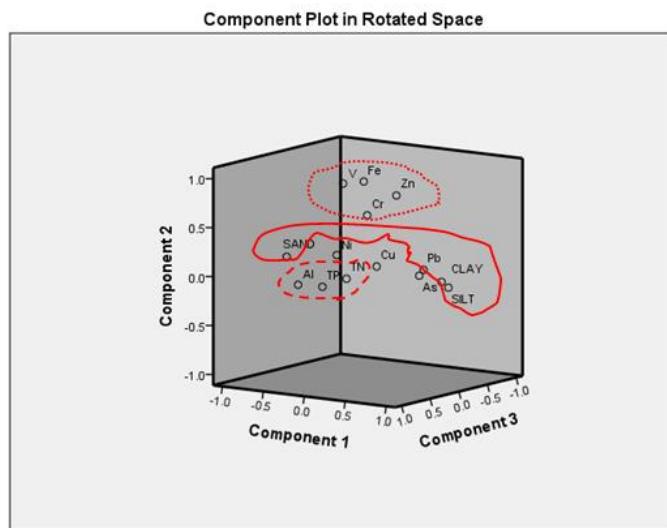
Table 2. Comparison of mean ( $\pm SD$ ) or range of heavy metal concentrations (in ppm except Al and Fe which are in %) in the surface sediments from Karaj River and guidelines-(2017-2018)

مرجع	منطقه / استاندارد جهانی									
	Cr (ppm)	V (ppm)	Zn (ppm)	Pb (ppm)	Ni (ppm)	Fe (%)	Cu (ppm)	As (ppm)	Al(%)	
مطالعه حاضر	۳۸/۶۹ $\pm$ ۱۱/۲ (۱۲/-۰-۷۵/-۰)	۹۶/۶ $\pm$ ۴۵/۹ (۴۵/-۰-۴۵/۷-۰)	۸۳/۸ $\pm$ ۱۸/۳ (۵۰/-۰-۱۵۶/-۰)	۲۴/۶۳ $\pm$ ۱۵/۱ (۷/۵-۱۲۷/-۰)	۱۳/۶ $\pm$ ۴/۴ (۶/۲-۲۱/۵)	۳/۶۸ $\pm$ ۱/۲۹ (۱۲/-۰-۴۴/۱-۰)	۵۲/۴ $\pm$ ۵۸/۲ (۱۹/-۰-۴۴/۰-۰)	۱۰/۵ $\pm$ ۳/۹ (۷/۵-۲۴/-۰)	۶/۹۵ $\pm$ ۱/۵۸ (۴۴/-۱۱/۴)	رودخانه کرج
راسخ	--	--	۱۰/۳۵	۳۰/۷۴	۱۶/۱۰	۰/۴۴	۱۱/۵۵	--	--	رودخانه کرج
محمدی، ۱۳۹۴، همکاران	--	--	۱۰/۳۵	۳۰/۷۴	۱۶/۱۰	۰/۴۴	۱۱/۵۵	--	--	رودخانه کرج
خدابخشی و همکاران، ۱۳۹۶،	۴۲/۶ $\pm$ ۱۰/۴ (۲۸/۱-۶۸/۴)	--	۱۴۶/۵ $\pm$ ۱۳۶/۳ (۷۳/۱-۴۴۶/۱)	۸۱/۵ $\pm$ ۲۱/۷ (۶۷/۱-۱۵۵/۹)	۳۰/۷ $\pm$ ۳/۹ (۲۲/۶-۳۶/۶)	۳/۸ $\pm$ ۰/۸ (۲/۶۵-۵/۵۵)	۵۲/۶ $\pm$ ۱۵/۹ (۳۵/۴-۸۴/۳)	۷/۴ $\pm$ ۳/۷ (۲/۸-۱۸/۹)	--	رودخانه کرج (محدوده اسلامشهر)
Persaud <i>et al</i> , 1993	۲۶	--	۱۲۰	۳۱	۱۶	۲	۱۶	۵/۹	--	LEL <sup>۱</sup>
NOAA, 2009	۳۷/۳	--	۱۲۲	۳۵	۱۸	--	۳۵/۷	۶	--	TEL <sup>۲</sup>
NOAA, 2009	۹۰	--	۳۱۵	۹۱	۳۶	--	۱۹۷	۱۷	--	PEL <sup>۳</sup>
Persaud <i>et al</i> , 1993; NOAA, 2009	۱۱۰	--	۸۲۰	۲۵۰	۷۵	۴	۱۱۰	۳۳	--	SEL <sup>۴</sup>
	--	--	--	--	--	۱۸/۸۴	--	--	۲/۵۵	ARCS (H.azteca TEL)
NOAA, 2009	--	۵۷	--	--	--	--	--	--	--	AET <sup>۵</sup>

<sup>1</sup> lowest Effects level, <sup>2</sup> Threshold Effects Levels, <sup>3</sup> Probable Effects Levels, <sup>4</sup> Sever Effects Level, <sup>5</sup> Apparent Effects Threshold

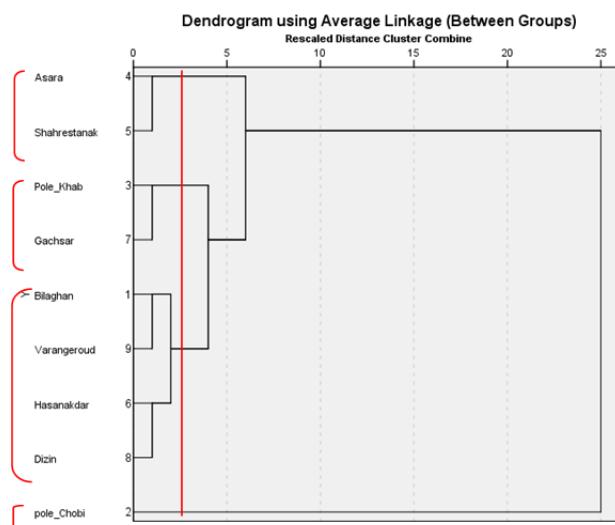
ایستگاه های ۳ و ۷، ایستگاه های ۱، ۹، ۶ و ۸ و نهایتاً ایستگاه ۲ در این چهار گروه مجزا قرار گرفتند.

با آزمون خوشه ای (Squared Euclidean distance, Between -Group linkage) ایستگاه ها به ۴ گروه عمده تقسیک شدند (شکل ۷) به طوری که ایستگاه های ۴ و ۵



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

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 (۱۳۹۶-۱۳۹۷)

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

کمینه مقدار شاخص PLI به ترتیب در ایستگاه ۲ (۱/۹) و ایستگاه ۹ (۱/۳) محاسبه شده است (جدول ۴).

در جدول ۳ عامل غنی شدگی هشت فلز مورد نظر در فصول و ایستگاه های مختلف رودخانه کرج نشان داده شد. بیشینه و

جدول ۳: فاکتور غنی شدگی (EF) فصول (a) و ایستگاه های مختلف (b) در رسوبات رودخانه کرج (۱۳۹۶-۹۷)

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 (۱۳۹۶-۹۷)

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

ایستگاه	ST1	ST2	ST3	ST4	ST5	ST6	ST7	ST8	ST9
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					

بود که رفتار معکوس میزان سیلت و رس را نشان می دهد. به عبارتی، بافت رسوبی بخش بالادست در نقاط نمونه برداری شده، از ذرات درشتتر (غلب 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. به نظر می رسد در بالادست رودخانه جریانات آبی مانع از تجمع ذرات ریز می شود. ولی در بخش پایین دست، گرادیان بافت به سمت شن کمتر جابه جا شده است و به نظر می رسد، در اثر شدت جریان به وسیله دانه های سیلت غالب شده است.

**بحث**  
با توجه به مشخصات بافت شناسی رسوب می توان 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 می شود 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

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 نخلالهای 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 (TEL) 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 واندیوم در کلیه فضول 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 فضول بیشتر از حد استاندارد LEL بوده است، در فضول پاییز، بهار و تابستان بالاتر از استاندارد TEL می‌باشد در صورتی که میانگین سالانه غلظت مس در ایستگاه‌های مختلف از LEL و TEL بیشتر بوده است. میزان آرسنیک در کلیه فضول و ایستگاه‌ها از استاندارد LEL و TEL تجاوز می‌کند. میزان نیکل در کلیه فضول و کلیه ایستگاه‌ها بیشتر از استاندارد LEL و TEL می‌باشد در صورتی که ارزیابی ریسک بوم‌شناختی سرب از نظر فصلی شبیه به نیکل بوده است ولی فقط در ایستگاه ۴ از استاندارد های LEL و TEL بیشتر می‌باشد در صورتی که در کلیه فضول، میزان روی کمتر از حد کلیه استانداردهای مورد نظر بوده است. در کلیه فضول 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 ARCS، SEL و LEL مقایسه شده که غلظت این SEL در کلیه ایستگاه‌ها از LEL بالاتر و فقط ایستگاه ۲ از تجاوز کرده است در حالی که در کلیه فضول میزان کروم از حد استاندارد LEL و در فضول پاییز و بهار از TEL بالاتر ثبت شده است. غلظت این فلز در کلیه ایستگاه‌ها از LEL و TEL (به جز

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، می‌واند سهم بالایی در ایجاد جذب فلزی داشته باشد در صورتی که رسوبات ایستگاه‌های رودخانه‌ای، ماسه‌ای بوده است. بنابراین، رودخانه ذرات درشت را در ابتدا بر جای گذاشته و ذرات ریزتر را با خود حمل و در دریاچه سدلتیان تهشین کرده است.

میزان نیتروژن کل و فسفر کل در رسوبات رودخانه کرج به رغم این که 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 بهطوری که 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 بوم‌شناختی، 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 بستری تحت تاثیر قرار گیرند ولی با این وجود نمی‌تواند اثرات مهمی بر جای بگذارند (Persaud *et al.*, 1993).

مطابق با جدول ۱، روند تغییرات زمانی در اکثر فلزات سنگین مورد مطالعه مشهود می‌باشد بهطوری که 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 فضول 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 بهطوری که 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 عمدهاً با اختلاف غلظت فلزات سنگین در آب رودخانه به وجود می‌آید. میانگین سالانه

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 بهشت آلوده و فلز سرب با درجه آلودگی بهشت 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 می‌رسد. 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 غلط شیل یا پوسته به عنوان غلط 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 سیلیکات‌آلومینیوم 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 Huang and Lin, 2003; Woitke *et al.*, (2003) می‌باشد. در مطالعه حاضر، محدوده میانگین سالانه ۰/۴-۰/۲ کم می‌باشد. با توجه به بیشترین میزان غنی شدگی 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. با توجه به بهنویه 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 آنجایی که 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 انسان‌زad داشته باشد (باقری و همکاران، ۱۳۹۱). از عوامل مهم دیگر در افزایش غلط آرسنیک و سایر فلزات می‌توان به دانه‌بندی و بافت رسوب اشاره

در ایستگاه ۳،۷ و ۹ بالاتر بوده است. بنابراین، با توجه به این که 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 می‌باشد، این موضوع بیانگر آن است که احتمال مشاهده اثرات احتمالی و بروز اثرات شدید بیولوژیک بر اکثر موجودات بستری کم می‌باشد (Persaud *et al.*, 1993; NOAA, 2009) 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 واتادیوم از حد اثراتی که منجر به بروز اثرات آشکار (AET) در موجودات بستری می‌شود (Persaud *et al.*, 1993)، بیشتر است. در بررسی تغییرات مکانی میزان فلزات در رسوب، با توجه به این که غلط آلومینیوم در ایستگاه‌های مختلف معنی‌داری ندارد، نشانگر توزیع یکنواخت در کل مسیر رودخانه بوده است ولی با توجه به این که از استاندارد (H, azteca, ARCS TEL) در تمامی ایستگاه‌ها بالاتر می‌باشد، بهنظر می‌رسد که اثرات بیولوژیک نامطلوب یا اثرات احتمالی جانی(NOAA, 2009). با توجه به این که 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 آنجایی که اکثر 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 بستری 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 بستری 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

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 لطیان انجام شد، Cr و Fe و V ارتباط نزدیکی می‌توانند داشته باشند. زیرا محصول سازندهای بالادست به‌ویژه سنگ‌های بازیک حاوی پیروکسین و مگنتیت موجود در سازندهای آتشفتشانی 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) 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 خواهد 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 (زمین‌زاد) 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 به‌طوری که ایستگاه‌های ۴ و ۵، ایستگاه‌های ۳ و ۷، ایستگاه‌های ۱، ۶، ۹ 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 متأثر 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

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 انباسته Kaki *et al.*, 2011; Ghorbanzadeh Zaferani, *et al.*, 2016 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 و ۵)، 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 زمین‌زاد 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 (موادآلی 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 و کروم 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

- (*Macrobrachium nipponense* De Haan, شرق ۱۸۴۹) در رودخانه سیاه درویشان استان گیلان، مجله علمی شیلات ایران، ۲۷ (۵): ۴۹-۵۹. DOI: 10.22092/ISFJ.2018.117995 باقري، ح.، درويش بسطامي، ك.، شارمد، ت. و باقري، ز.، ۱۳۹۱. ارزیابی پراکنش آلودگی فلزات سنگین در خلیج گرگان، اقیانوس شناسی، ۱۱ (۳): ۶۵-۷۲.
- جوادی، س.م.ا.، بدليانس قلی کندی گ. و غلامی آ.، ۱۳۹۱. ارزیابی کیفیت آب رودخانه کرج برمبنای شاخص ساپروبی، نهمین سمیناریون 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 طریفی، ا.، ۱۳۹۶. بررسی مقادیر عناصر آلوده کننده رسوب رودخانه کرج در محدوده اسلامشهر (جنوب تهران) و اثرات سوء آن بر محیط زیست پیرامون، فصلنامه علمی پژوهشی زمین شناسی محیط زیست، ۱۱ (۸۳): ۸۵-۱۰۳.
- 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 لتيان، با تغريش به نقش رسوبات در کنترل آلاینده ها، زمین شناسی مهندسی و محیط زیست، ۹۴ (۹۴): ۱۴۶-۱۴۹.
- ضرغامی، ف.، بياتی، 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.
- عبدلي، ا.، ۱۳۹۵. ارزیابی ذخایر آبیان پشت سد کرج و رودخانه های منتهی به آن، سازمان حفاظت محیط زیست، اداره کل حفاظت محیط زیست استان البرز.
- قاسمی زیارانی، ا. و فریادي، ش.، ۱۳۸۸، پهنه بندی پتانسیل آلوده کننده کوپه آبخیز سد کرج با تلفیق

باشد. همچنین ایستگاه ۴ و ۵ نیز شباهت بسیاری با هم از نظر کیفیت دارند که می تواند متاثر از فعالیت های انسانی بهویژه ساخت و ساز جاده ای در بالادست و در مجاورت این ایستگاهها باشد. Fataei و همکاران (۲۰۱۳) بر اساس تحلیل چند متغیره خوشبایی 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 ایستگاه هایی که از نظر بار آلودگی به یکدیگر نزدیک بودند، در یک گروه قرار گرفتند. این نشان دهنده تقاضا در منابع آلاینده و میزان آلودگی در مناطق مختلف رودخانه است که با نتایج این مطالعه همخوانی دارد. دسته بندی مطالعه حاضر با نتایج طبقه بندی پهنه ها از نظر میزان پتانسیل آلوده کننده آنها در آلودگی آبهای حوضه آبخیز رودخانه کرج که قاسمی زیارانی و فریادي (۱۳۸۸) با در نظر گرفتن ۱۶ مسئله اصلی در مورد آلودگی حوضه آبخیز مذکور انجام دادند، نیز مشابه می باشد. بر اساس مطالعه مذکور پهنه گسیل نسae، آزادبر و سیرا دارای شدت اثر پسیار زیاد بوده اند که به همراه سایر پهنه های دارای شدت اثر متوسط و زیاد در بخش میانی رودخانه واقع شده اند در صورتی که پهنه وارنگه رود دارای شدت اثر کم و پهنه ولایت رود در پهنه دارای شدت اثر زیاد طبقه بندی شده است. بر اساس نتایج این مطالعه، به طور کلی می توان گفت که فقط آرسنیک دارای غنی شدگی بالا در اکثر ایستگاهها (بهویژه ایستگاه های میانی) که در معرض فعالیت های انسانی بیشتر بهویژه جاده سازی و وجود باغات و فعالیت های کشاورزی هستند) می باشد. بنابراین، بیشتر دارای منشاء انسان زاد بوده اند و سایر فلزات نیز احتمالاً زمین زاد 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 فعالیت های انسانی از جمله ساخت و ساز های جاده ای، تردد و سائط نقلیه، تمرکز نقاط مسکونی و تفرجی و باغات در منطقه برنامه مدون پاییشی (شمیمیابی 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 می باشد.

## منابع

- اتفاق دوست، م. و نویریان، ع. ح.، ۱۳۹۷. ارزیابی و مقایسه غلظت فلزات سنگین در بافت عضله میگوی رودخانه ای

- 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 Environmental Risks in the Weihe River of Shaanxi Province, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12: 8243-8262. DOI:10.3390, ijerph120708243.
- روش های ارزیابی توان اکولوژیک، تحلیل پارامترهای کیفی آب و SWOT. علوم محیطی، ۲(۷): ۴۰-۲۱.
- مسطوره دوستدار, م., رامین, م. ، نصرالله زاده ساوری, ح., افرایی, م.ع. و رحمتی, ر..** بررسی و تعیین میزان برخی عناصر فلزی در ماهیان رودخانه ارس در محدوده استان آذربایجان شرقی (۹۵-۹۴)، مجله علمی شیلات ایران، ۴۱-۴۹: ۲۷(۳). 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

- 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 Reservoir. *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.<sup>1\*</sup>; Hoseani Tayefeh F.<sup>1</sup>; Azimi S.B.<sup>1</sup>; Gandomkar M.<sup>2</sup>;  
Gholamalifard M.<sup>3</sup>; Badamfirooz J.<sup>1</sup>

\*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  $7.35\pm1.99\%$ ,  $8.0\pm1.2$  ppm,  $41.0\pm30.2$  ppm,  $3.56\pm0.53\%$  ,  $24.33\pm4.87$  ppm,  $5.9\text{--}13.6$  ppm and  $21.8\text{--}28.8$  ppm,  $15.9\pm5.99$  ppm,  $36.08\pm11.45$  ppm ,  $68.08\pm08.6$  ppm,  $88.9\pm23.3$  ppm,  $0.1\pm0.05\%$  and  $0.42\pm0.07\%$  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 ( $4.9\pm1.1$ ). 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