

## مقاله علمی - پژوهشی:

## ارزیابی کیفیت محیطی رسوبات 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، نور، ایران

تاریخ پذیرش: دی ۱۳۹۹

تاریخ دریافت: مهر 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  $Zn$  ( $68.08 \pm 8.6$  ppm)،  $Pb$  ( $41.0 \pm 3.0/2$  ppm)،  $Cr$  ( $15.9 \pm 5.99$  ppm)،  $Ni$  ( $24.33 \pm 4.87$  ppm)،  $Fe$  ( $3.56 \pm 0.53$  %)،  $Al$  ( $7.35 \pm 1.99$  %)،  $Cu$  ( $41.0 \pm 3.0/2$  ppm)،  $As$  ( $8.0 \pm 1.2$  ppm)،  $V$  ( $88.9 \pm 23.3$  ppm)،  $TP$  ( $0.1 \pm 0.05$  %) و  $TN$  ( $0.42 \pm 0.07$  %) 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 ( $0.2 \pm 0.0$ ) و آهن ( $0.8 \pm 0.1$ ) در کلیه ایستگاه ها در حد فاقد غنی شدگی و سایر فلزات در اکثر ایستگاه ها در حد غنی شدگی کم و آرسنیک ( $4.9 \pm 1.1$ )، در حد غنی شدگی متوسط تا شدید محاسبه شده است. از نظر شاخص PLI ( $1.35-1.9$ ) کلیه ایستگاه ها بیشتر از یک و دارای آلودگی بودند.

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

\*نویسنده مسئول

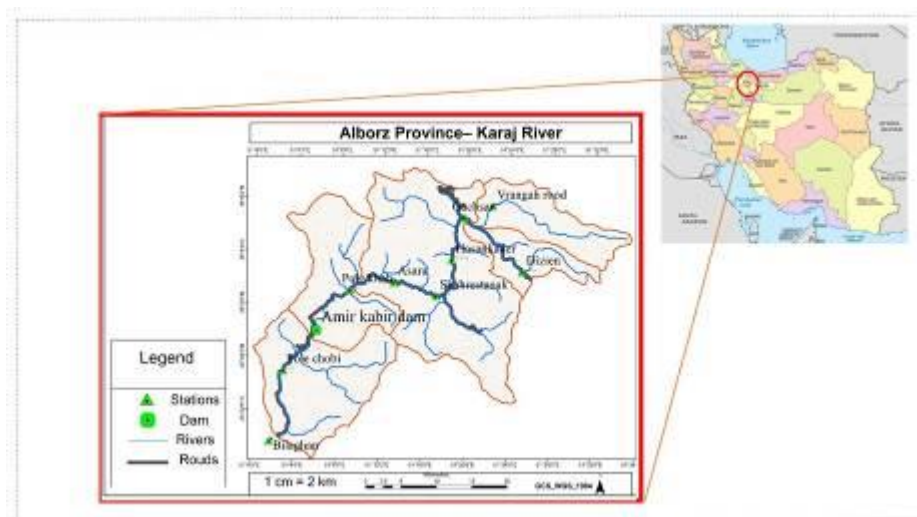
## مقدمه

افزایش بیش از حد جمعیت و صنعتی شدن جوامع 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 مغذی هستند (اتفاق دوست و نوپریان، 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; 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 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 منشأ 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 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 آبی و کنارآبی 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).

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  $EF < 1$ : غنی‌شدگی وجود ندارد؛  $EF < 3$ : غنی‌شدگی کم؛  $EF < 5$ : غنی‌شدگی متوسط؛  $EF < 10$ : غنی‌شدگی شدید؛  $EF < 25$ : غنی‌شدگی خیلی شدید و  $EF > 50$ : غنی‌شدگی بی نهایت شدید می‌باشد (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 موثرتر عوامل انسان‌ساخت در غنی‌شدگی 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 به کار برده شد.

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

$$PLI = (CF_1 * CF_2 * CF_3 \dots CF_n)^{1/n}$$

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

۵/۰ گرم از هر نمونه رسوب جهت آنالیز Fe و Al (٪) و عناصر V, Zn, Cu, Pb, Ni و As (ppm) در ۲/۴ 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 پلاسما یی 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 کج‌دال قرائت شد. بافت رسوب با روش هیدرومتری اندازه‌گیری شد. برای مقایسه آلاینده‌ها در رسوب رودخانه و ارزیابی ریسک بوم‌شناختی از استانداردهای جهانی طبق NOAA<sup>۱</sup> (۲۰۰۹)، استفاده شده است. برای محاسبه فاکتور غنی‌شدگی ( $EF^2$ ) فلزات سنگین از فرمول ذیل استفاده شد.

$$EF = (H_s / Al_s) / (H_c / Al_c)$$

$H_s$  و  $H_c$ : غلظت فلز مورد نظر به ترتیب در نمونه مورد مطالعه (s; sample) و در نمونه زمینه (c; crust; background)  $Al_s$  و  $Al_c$ : میزان آلومینیوم به ترتیب در نمونه مورد مطالعه و زمینه (Miller, 2007)

در مطالعه حاضر، برای V, Zn, Cu, Cr, Pb, Ni, As و ۵/۰، ۲۰، ۱۴، ۱۲۶، ۲۵، ۵۲ و 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

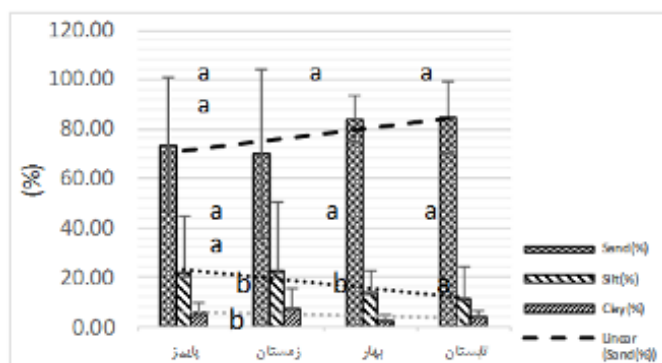
## نتایج

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 (۰/۵/۰)، فصل تابستان (۰/۱۱/۳) و سرانجام بیشینه مقدار رس در ایستگاه ۴ (۰/۹/۶)، فصل زمستان (۰/۷/۳۲) و کمینه مقدار آن در ایستگاه ۱ (۰/۱/۹) در فصل بهار (۰/۲/۱۹) مشاهده شد. آزمون کروسکال والیس اختلاف معنی داری بین درصد رس در فصول مختلف نشان می‌دهد ( $p = ۰/۰۰۱$ ).

n: تعداد عناصر فلزی مورد مطالعه

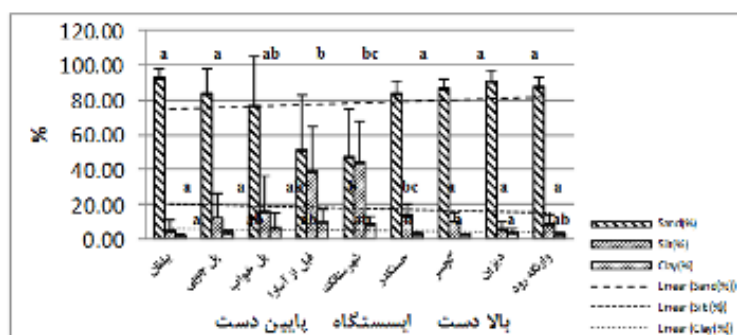
$$CF_{metals} = CH_{metal} / CH_{back}$$

برای تعیین میزان بار آلودگی در یک منطقه، اگر شاخص ۱  $PLI >$  باشد، نشان‌دهنده آلوده بودن و اگر  $PLI < ۱$  منطقه فاقد آلودگی می‌باشد (Seshan *et al.*, 2010). بر اساس نرمال بودن یا نرمال نبودن میانگین سالانه داده‌ها (به همراه انحراف استاندارد)، به ترتیب آنالیز واریانس یکطرفه و کروسکال والیس برای تعیین اختلاف بین گروه‌ها در سطح ( $p < ۰/۰۵$ ) 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 گتایی و صفری شالی، ۱۳۹۱).



شکل ۲: تغییرات فصلی (میانگین  $\pm$  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  $\alpha = 0.008$  Corrected برای درصد رس)

Figure 2: Seasonal variation (mean  $\pm$  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  $\alpha = 0.008$  for clay.); Dotted and Continuous lines show the trend of changes.



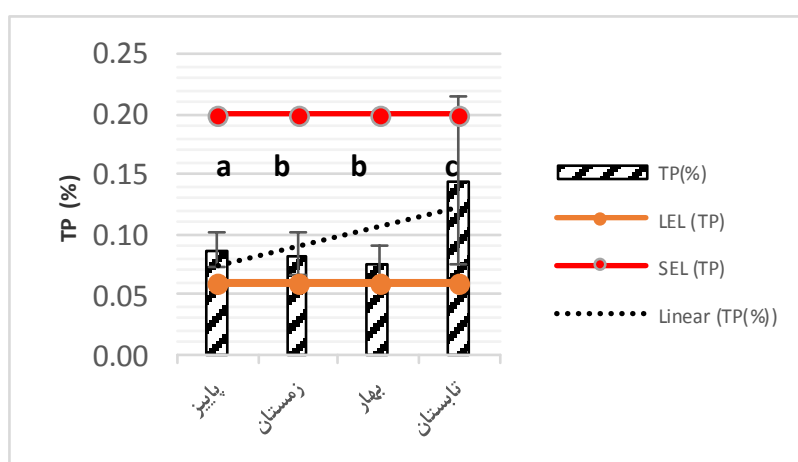
شکل ۳: تغییرات مکانی (میانگین  $\pm$  انحراف معیار) دانه بندی رسوب در رودخانه کرج، ۹۷-۱۳۹۶ (حروف متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی دار می باشد، آزمون توکی،  $p < ۰/۰۵$ )

Figure 3: Spatial variation (mean  $\pm$  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.

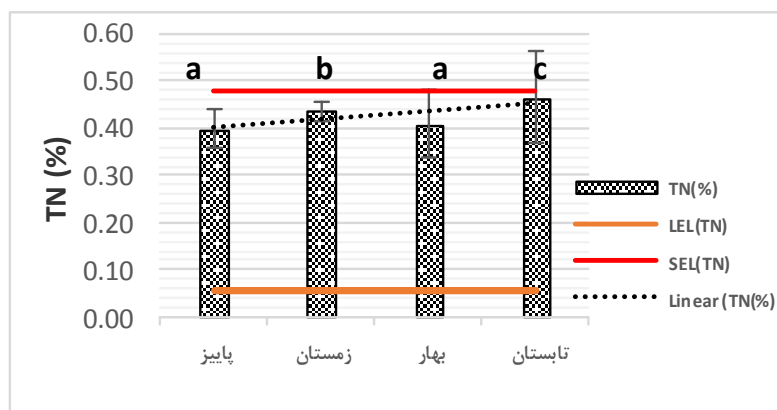
رودخانه کرج، اختلاف معنی‌داری وجود دارد ( $p < 0.05$ ). میانگین کل میزان آلومینیوم در رسوب رودخانه کرج، ۶/۹ قسمت در صد، آرسنیک ppm ۱۰/۵، مس ppm ۵۲/۳۵، آهن ۳/۶۷ قسمت در صد، نیکل ppm ۲۴/۵، سرب ppm ۲۴/۶، روی ppm ۸۳/۹، وانادیوم ppm ۹۶/۶ و کروم ppm ۳۸/۷ به‌ثبت رسید. بنابراین، میزان فلزات سنگین در رسوب رودخانه کرج به‌ترتیب ذیل می‌باشد.

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

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



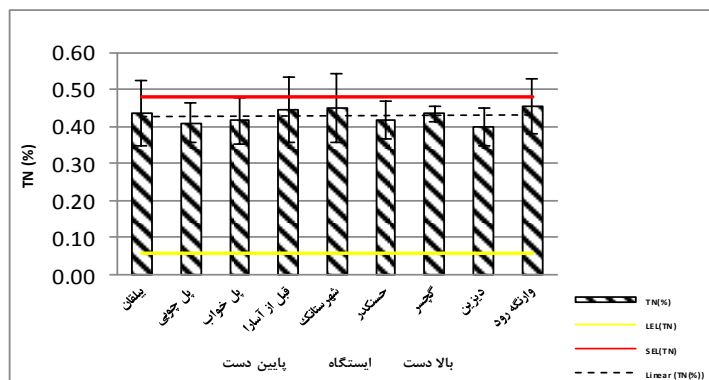
(a)



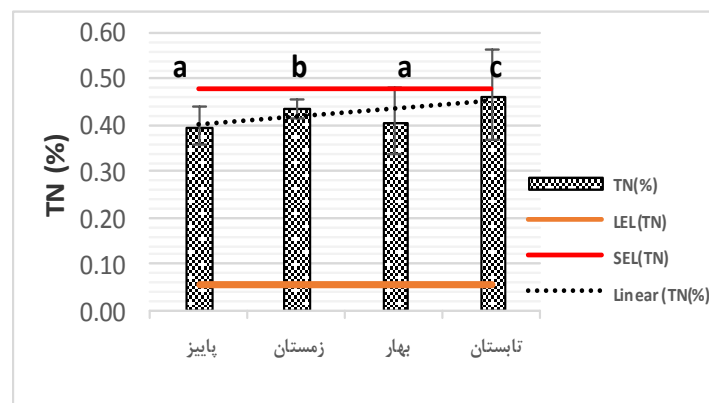
(b)

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 شیب تغییرات و حروف متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی دار می‌باشد، من ویتنی، Corrected  $\alpha = 0.008$ )

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



(a)



(b)

شکل ۵: تغییرات مکانی (میانگین  $\pm$  انحراف معیار) نیتروژن کل (b) و فسفر کل (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،  $\alpha = 0.001$  Corrected 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 (Corrected  $\alpha = 0.008$ ) اختلاف معنی داری را بین میانگین 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 ( $p < 0.001$ ) را بین میانگین غلظت این فلز در تابستان با سایر فصول نشان می دهد. همچنین روند تغییرات غلظت آلومینیوم 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، ۹۷-۱۳۹۶. 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 ( $\pm SD$ ) in the sediments of Karaj River, 2017-2018. Different letters above the bars show significant difference (Mann-Whitney test and Test-Tukey;  $p < 0.05$ )

| 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 <sup>±۱/۸۳</sup><br>(۵/۸-۱۰/۵)   | ۸/۳ <sup>±۱/۸</sup><br>(۷/۵-۱۳/۰)    | ۵۶/۰ <sup>±۱/۲۶</sup><br>(۴۰/۰-۸۳/۰)     | ۳/۸۳ <sup>±۰/۴۷</sup><br>(۳/۱۶-۴/۶)   | ۲۵/۳۳ <sup>±۹/۹۸</sup><br>(۱۶/۰-۵۴/۰) | ۱۷/۷ <sup>±۹/۳</sup><br>(۷/۵-۴۰/۰)     | ۷۵/۰ <sup>±۷/۳</sup><br>(۶۳/۰-۹۰/۰)     | ۱۰۱/۹ <sup>±۱/۶</sup><br>(۸۷/۰-۱۲۰/۰)   | ۳۹/۸۳ <sup>±۱۲/۳۴</sup><br>(۱۶/۰-۶۲/۰) |
| ST2           | ۷/۷۳ <sup>±۱/۷۴</sup><br>(۵/۴-۱۰/۶)   | ۹/۵ <sup>±۳/۳</sup><br>(۷/۵-۱۷/۰)    | ۶۳/۰ <sup>±۲۱/۶</sup><br>(۳۹/۰-۱۲۳/۰)    | ۶/۳۸ <sup>±۲/۶۵</sup><br>(۳/۵۷-۱۲/۰۶) | ۲۶/۶۷ <sup>±۴/۹۶</sup><br>(۲۱/۰-۴۰/۰) | ۲۳/۸ <sup>±۱۳/۲</sup><br>(۷/۵-۴۷/۰)    | ۱۱۰/۰ <sup>±۲۶/۰۴</sup><br>(۷۰/۰-۱۵۶/۰) | ۱۹۳/۸ <sup>±۷۹/۶</sup><br>(۱۰۰/۰-۳۵۷/۰) | ۴۴/۵ <sup>±۱۶/۳۴</sup><br>(۳۷/۰-۷۵/۰)  |
| ST3           | ۶/۰ <sup>±۱/۵</sup><br>(۴/۴-۸/۸)      | ۱۱/۳ <sup>±۳/۶</sup><br>(۷/۵-۱۸/۰)   | ۷۹/۳ <sup>±۱۱/۵</sup><br>(۲۴/۰-۴۲۸/۰)    | ۲/۹۲ <sup>±۰/۳۷</sup><br>(۲/۲۲-۲/۵۲)  | ۲۱/۴۳ <sup>±۳/۹</sup><br>(۱۷/۰-۲۹/۰)  | ۲۸/۲ <sup>±۱۲/۹</sup><br>(۷/۵-۵۰/۰)    | ۷۵/۰ <sup>±۱۴/۰۲</sup><br>(۵۰/۰-۱۰۶/۰)  | ۶۵/۴ <sup>±۹/۸</sup><br>(۴۵/۰-۷۹/۰)     | ۳۵/۶۷ <sup>±۱۰/۹۱</sup><br>(۲۳/۰-۶۱/۰) |
| ST4           | ۶/۸۵ <sup>±۱/۵</sup><br>(۶/۰-۸/۷)     | ۱۱/۶ <sup>±۳/۲</sup><br>(۷/۵-۱۵/۰)   | ۳۸/۳ <sup>±۱۵/۵</sup><br>(۲۲/۰-۶۶/۰)     | ۳/۲۷ <sup>±۰/۳۷</sup><br>(۲/۴۷-۲/۷۵)  | ۲۴/۴ <sup>±۳/۱۸</sup><br>(۲۱/۰-۳۰/۰)  | ۳۶/۵ <sup>±۳۰/۹</sup><br>(۷/۵-۱۲۷/۰)   | ۸۸/۸ <sup>±۱۳/۲</sup><br>(۶۹/۰-۱۱۹/۰)   | ۷۶/۴ <sup>±۱/۵</sup><br>(۶۰/۰-۸۸/۰)     | ۳۹/۰ <sup>±۸/۱۸</sup><br>(۳۴/۰-۵۵/۰)   |
| ST5           | ۶/۳۴ <sup>±۱/۳</sup><br>(۵/۲-۹/۱)     | ۱۱/۹ <sup>±۴/۱</sup><br>(۷/۵-۱۵/۰)   | ۴۷/۸ <sup>±۲۷/۵</sup><br>(۲۳/۰-۱۲۲/۰)    | ۳/۰۶ <sup>±۰/۳۷</sup><br>(۲/۳۵-۲/۴۳)  | ۲۲/۳۳ <sup>±۳/۱۴</sup><br>(۱۸/۰-۲۸/۰) | ۲۵/۵ <sup>±۹/۹۹</sup><br>(۱۴/۰-۴۵/۰)   | ۸۲/۸ <sup>±۱۱/۳</sup><br>(۶۶/۰-۱۰۱/۰)   | ۷۳/۳ <sup>±۱۱/۳</sup><br>(۵۹/۰-۹۱/۰)    | ۳۹/۴۳ <sup>±۷/۷۳</sup><br>(۲۴/۰-۵۲/۰)  |
| ST6           | ۶/۷۵ <sup>±۱/۳۶</sup><br>(۵/۰-۹/۴)    | ۱۴/۹ <sup>±۵/۶</sup><br>(۷/۵-۲۴/۰)   | ۳۹/۳ <sup>±۱۲/۶</sup><br>(۲۳/۰-۶۱/۰)     | ۳/۴۸ <sup>±۰/۴۶</sup><br>(۷/۵۲-۴/۱۵)  | ۲۷/۲۵ <sup>±۳/۳۳</sup><br>(۲۳/۰-۳۲/۰) | ۲۹/۰ <sup>±۱۴/۸</sup><br>(۱۵/۰-۶۵/۰)   | ۸۴/۴ <sup>±۱۴/۵</sup><br>(۷۰/۰-۱۲۷/۰)   | ۸۴/۱۷ <sup>±۹/۲۲</sup><br>(۶۶/۰-۹۸/۰)   | ۴۱/۳۳ <sup>±۱۲/۴۳</sup><br>(۳۰/۰-۶۲/۰) |
| ST7           | ۶/۹۱ <sup>±۱/۴۹</sup><br>(۵/۴-۹/۸)    | ۸/۸ <sup>±۲/۳</sup><br>(۷/۵-۱۳/۰)    | ۷۱/۸ <sup>±۱۱/۸</sup><br>(۲۰/۰-۴۴/۰)     | ۳/۴۱ <sup>±۰/۵۹</sup><br>(۲/۷۶-۴/۳۵)  | ۲۲/۰ <sup>±۳/۲۸</sup><br>(۱۵/۰-۲۶/۰)  | ۱۷/۴ <sup>±۷/۹</sup><br>(۷/۵-۳۲/۰)     | ۷۳/۳ <sup>±۷/۸</sup><br>(۶۱/۰-۸۳/۰)     | ۸۵/۳ <sup>±۱۱/۳</sup><br>(۶۵/۰-۱۱۰/۰)   | ۳۴/۹۳ <sup>±۱۰/۴۱</sup><br>(۲۲/۰-۵۶/۰) |
| ST8           | ۷/۲۵ <sup>±۱/۵</sup><br>(۵/۷-۱۱/۴)    | ۱۰/۳ <sup>±۳/۱</sup><br>(۷/۵-۱۶/۰)   | ۳۴/۸ <sup>±۲۱/۹</sup><br>(۲۰/۰-۱۰۲/۰)    | ۳/۲۰ <sup>±۰/۷۶</sup><br>(۲/۲۹-۴/۵۶)  | ۲۶/۵ <sup>±۵/۰۲</sup><br>(۲۱/۰-۳۵/۰)  | ۲۹/۳ <sup>±۳/۵</sup><br>(۲۴/۰-۳۴/۰)    | ۹۸/۷ <sup>±۱/۱</sup><br>(۸۵/۰-۱۰۹/۰)    | ۱۰۰/۸ <sup>±۱۳/۲</sup><br>(۷۸/۰-۱۱۹/۰)  | ۳۷/۵۳ <sup>±۹/۲۶</sup><br>(۲۱/۰-۴۸/۰)  |
| ST9           | ۷/۳۵ <sup>±۱/۹۹</sup><br>(۴/۴-۱۱/۴)   | ۸/۰ <sup>±۱/۲</sup><br>(۷/۵-۱۱/۰)    | ۴۱/۰ <sup>±۳۰/۲</sup><br>(۱۹/۰-۱۳۳/۰)    | ۳/۵۶ <sup>±۰/۵۳</sup><br>(۲/۶۶-۴/۴۶)  | ۲۴/۳۳ <sup>±۴/۸۷</sup><br>(۱۶/۰-۳۶/۰) | ۱۵/۹ <sup>±۵/۹۹</sup><br>(۷/۵-۲۶/۰)    | ۶۸/۰ <sup>±۸/۶</sup><br>(۵۵/۰-۸۵/۰)     | ۸۸/۹ <sup>±۲۳/۳</sup><br>(۴۸/۰-۱۳۱/۰)   | ۳۶/۰ <sup>±۱۱/۴۵</sup><br>(۱۲/۰-۵۳/۰)  |
| پاییز         | ۶/۲۶ <sup>±۱/۲۴</sup><br>(۴/۴۵-۹/۷۷)  | ۱۳/۳ <sup>±۴/۰۲</sup><br>(۷/۵-۲۴/۰)  | ۸۹/۱۵ <sup>±۱۰/۲۰۵</sup><br>(۳۳/۰-۴۴۱/۰) | ۳/۶۸ <sup>±۰/۹۸</sup><br>(۲/۲۸-۶/۷۴)  | ۲۶/۰ <sup>±۶/۲۲</sup><br>(۲۰/۰-۵۴/۰)  | ۳۵/۰ <sup>±۶/۹۶</sup><br>(۲۴/۰-۴۷/۰)   | ۸۹/۷ <sup>±۲۰/۵۲</sup><br>(۶۸/۰-۱۴۲/۰)  | ۱۰۵/۳ <sup>±۴۹/۴</sup><br>(۶۳/۰-۲۵۸/۰)  | ۳۹/۰ <sup>±۱۱/۷</sup><br>(۱۲/۰-۶۲/۰)   |
| زمستان        | ۶/۰۹ <sup>±۰/۶۵</sup><br>(۴/۴۱-۷/۵۸)  | ۹/۱۷ <sup>±۳/۰۹</sup><br>(۷/۵-۲۰/۰)  | ۳۰/۹۳ <sup>±۱۱/۶۷</sup><br>(۱۹/۰-۶۲/۰)   | ۴/۳۵ <sup>±۲/۲۷</sup><br>(۲/۴۱-۱۲/۰۶) | ۲۱/۳ <sup>±۴/۶۱</sup><br>(۱۵/۰-۴۰/۰)  | ۲۴/۱۱ <sup>±۲۱/۸</sup><br>(۱۵/۰-۱۲۷/۰) | ۸۷/۷ <sup>±۲۲/۹۳</sup><br>(۵۵/۰-۱۵۶/۰)  | ۹۸/۵۶ <sup>±۷۰/۰۸</sup><br>(۴۵/۰-۳۵۷/۰) | ۳۶/۰ <sup>±۱۵/۸۲</sup><br>(۱۶/۰-۷۵/۰)  |
| بهار          | ۶/۲۶ <sup>±۰/۵۲</sup><br>(۵/۴-۹/۲۳)   | ۱۱/۸۷ <sup>±۲/۸۴</sup><br>(۷/۵-۱۹/۰) | ۴۹/۴۸ <sup>±۳۵/۶</sup><br>(۲۲/۰-۱۶۴/۰)   | ۳/۶۹ <sup>±۰/۷۳</sup><br>(۲/۶۳-۵/۶۹)  | ۲۳/۰ <sup>±۳/۷۲</sup><br>(۱۶/۰-۳۲/۰)  | ۱۹/۴۴ <sup>±۵/۵۳</sup><br>(۱۵/۰-۳۴/۰)  | ۸۱/۱۹ <sup>±۱۲/۳۶</sup><br>(۶۰/۰-۱۰۸/۰) | ۸۶/۸۹ <sup>±۲۲/۰۶</sup><br>(۵۹/۰-۱۵۳/۰) | ۴۳/۴۳ <sup>±۷/۲۱</sup><br>(۲۷/۰-۶۲/۰)  |
| تابستان       | ۹/۲۳ <sup>±۰/۹۸</sup><br>(۷/۲۷-۱۱/۴۳) | ۷/۵۹ <sup>±۰/۴۸</sup><br>(۷/۵-۱۰/۰)  | ۳۹/۸۵ <sup>±۸/۰۱</sup><br>(۲۶/۰-۶۲/۰)    | ۲/۹۸ <sup>±۰/۵۳</sup><br>(۲/۲۲-۴/۵۳)  | ۲۷/۴۴ <sup>±۴/۱۱</sup><br>(۱۷/۰-۳۶/۰) | ۱۹/۹۶ <sup>±۱۴/۹۲</sup><br>(۷/۵-۶۵/۰)  | ۷۶/۸۱ <sup>±۱۲/۱</sup><br>(۵۰/۰-۱۰۷/۰)  | ۹۵/۷۸ <sup>±۲۵/۶۳</sup><br>(۶۲/۰-۱۹۷/۰) | ۳۶/۴۱ <sup>±۶/۷</sup><br>(۲۳/۰-۴۹/۰)   |

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 ( $p < 0.01$ ). 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 ppm (۶۸/۱) مشاهده شد. میانگین سالانه غلظت روی در کلیه ایستگاه های رودخانه، زیر حد استانداردهای مذکور می باشد. آنالیز واریانس یک طرفه، اختلاف معنی دار را بین میانگین مقادیر روی در فصول و ایستگاه های مختلف نشان می دهد ( $p < 0.05$ ). 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 معنی دار را بین میانگین غلظت این فلز در تابستان با سایر فصول نشان می دهد ( $p < 0.01$ ). آنالیز واریانس یک طرفه اختلاف معنی دار را بین

بیشینه میانگین مس در فصل پاییز (۸۹/۱ ppm) و ایستگاه ۳ (۷۹/۳ ppm) و کمینه مقدار آن در فصل زمستان (۳۴/۸ ppm) و ایستگاه ۸ (۳۰/۹) و ایستگاه ۸ (۳۴/۸ ppm) مشاهده شد. آنالیز کروسکال والیس وجود اختلاف معنی دار بین میانگین مقادیر مس در فصول و ایستگاه های مختلف رودخانه کرج را نشان می دهد ( $p < 0.01$ ). 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 معنی دار را بین میانگین فصلی مقادیر نیکل نشان داد ( $p < 0.01$ ). آنالیز واریانس یک طرفه اختلاف معنی دار را بین میانگین مقادیر نیکل در ایستگاه های مختلف نشان می دهد ( $p < 0.01$ ). 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 ppm (۱۵/۹) مشاهده شد. آزمون من ویتنی ( $\alpha = \text{Corrected}$ ) 0.008 اختلاف معنی داری را بین میانگین غلظت این فلز در

میانگین مقادیر آهن در ایستگاه‌های مختلف نشان می‌دهد ( $p < 0.01$ ). 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 ( $p < 0.05$ ). 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 ( $p < 0.01$ ),  $KMO = 0.57$ ,  $Eigenvalues \geq 1$ ), متغیرهای فلزات سنگین،

مواد مغذی و دانه‌بندی رسوب رودخانه کرج بر اساس ایستگاه به صورت چهار مولفه اصلی (معادل ۶۹/۸٪ کل واریانس‌ها) 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 با 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.

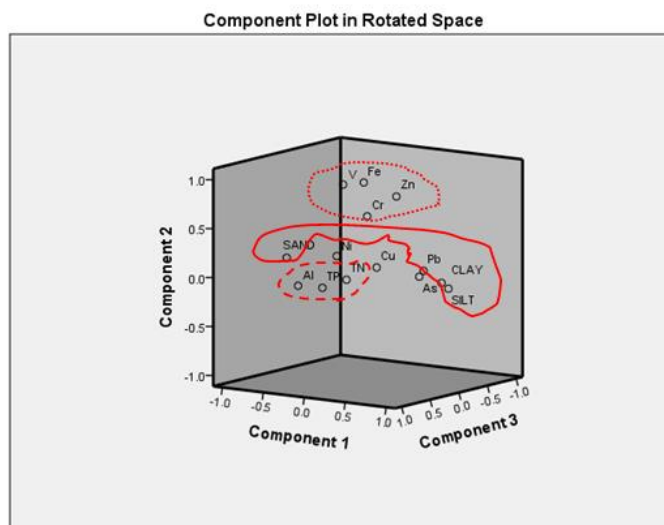
جدول ۲. مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین در رسوب رودخانه کرج با مطالعات قبلی و استانداردهای جهانی-۹۷-۱۳۹۶  
Table 2. Comparison of mean ( $\pm$ SD) or range of heavy metal concentrations (in ppm except Al and Fe which are in %) in the surface sediments from Karaj River and guidelines-(2017-2018)

| منطقه / استاندارد جهانی       | Al (%)                     | As (ppm)                  | Cu (ppm)                     | Fe (%)                       | Ni (ppm)                   | Pb (ppm)                     | Zn (ppm)                       | V (ppm)                      | Cr (ppm)                     | مرجع                            |
|-------------------------------|----------------------------|---------------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| رودخانه کرج                   | ۶/۹۵ $\pm$ ۱/۵۸ (۴/۴-۱۱/۴) | ۱۰/۵ $\pm$ ۲/۹ (۷/۵-۲۴/۰) | ۵۲/۴ $\pm$ ۵۸/۲ (۱۹/۰-۴۴۱/۰) | ۳/۶۸ $\pm$ ۱/۳۹ (۱۲/۰۶-۲/۲۲) | ۱۲/۶ $\pm$ ۴/۴ (۶/۲-۲۱/۵)  | ۲۴/۳ $\pm$ ۱۵/۱ (۷/۵-۱۲۷/۰)  | ۸۳/۸ $\pm$ ۱۸/۳ (۵۰/۰-۱۵۶/۰)   | ۹۶/۶ $\pm$ ۴۵/۹ (۴۵/۰-۳۵۷/۰) | ۲۸/۶۹ $\pm$ 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 $\pm$ ۳/۷ (۲/۸-۱۸/۹)  | ۵۲/۶ $\pm$ ۱۵/۹ (۳۵/۴-۸۴/۳)  | ۳/۸ $\pm$ ۰/۸ (۲/۶۵-۵/۵۵)    | ۳۰/۷ $\pm$ ۳/۹ (۲۳/۶-۳۶/۶) | ۸۱/۵ $\pm$ ۲۱/۷ (۶۷/۱-۱۵۵/۹) | ۱۴۶/۵ $\pm$ ۱۳۶/۳ (۷۳/۱-۴۴۶/۱) | ---                          | ۴۲/۶ $\pm$ ۱۰/۴ (۲۸/۱-۶۸/۴)  | خداپاشی و همکاران، ۱۳۹۶         |
| LEL <sup>1</sup>              | ---                        | ۵/۹                       | ۱۶                           | ۲                            | ۱۶                         | ۳۱                           | ۱۲۰                            | ---                          | ۲۶                           | Persaud et al, 1993, NOAA, 2009 |
| TEL <sup>2</sup>              | ---                        | ۶                         | ۳۵/۷                         | ---                          | ۱۸                         | ۳۵                           | ۱۲۳                            | ---                          | ۳۷/۳                         | NOAA, 2009                      |
| PEL <sup>3</sup>              | ---                        | ۱۷                        | ۱۹۷                          | ---                          | ۳۶                         | ۹۱                           | ۳۱۵                            | ---                          | ۹۰                           | NOAA, 2009                      |
| SEL <sup>4</sup>              | ---                        | ۳۳                        | ۱۱۰                          | ۴                            | ۷۵                         | ۲۵۰                          | ۸۲۰                            | ---                          | ۱۱۰                          | Persaud et al, 1993; NOAA, 2009 |
| ARCS (Hazardous TEL)          | ۲/۵۵                       | ---                       | ---                          | ۱۸/۸۴                        | ---                        | ---                          | ---                            | ---                          | ---                          | NOAA, 2009                      |
| AET <sup>5</sup>              | ---                        | ---                       | ---                          | ---                          | ---                        | ---                          | ---                            | ۵۷                           | ---                          | NOAA, 2009                      |

<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

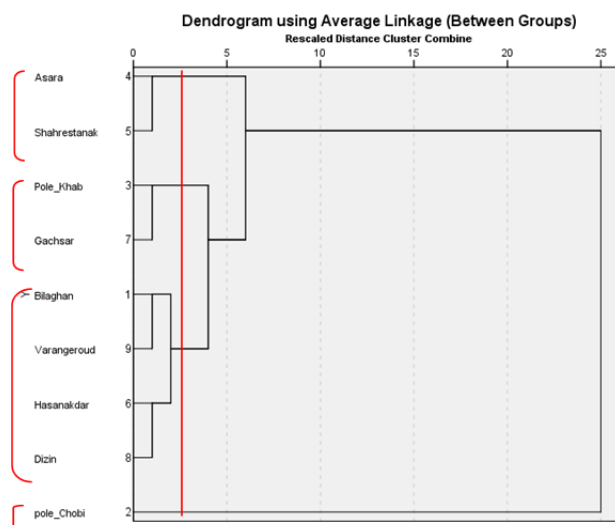
ایستگاه‌های ۳ و ۷، ایستگاه‌های ۱، ۹، ۶ و ۸ و نهایتاً ایستگاه ۲ در این چهار گروه مجزا قرار گرفتند.

با آزمون خوشه‌ای (Squared Euclidean distance, ) (Between-Group linkage) ایستگاه‌ها به ۴ گروه عمده تفکیک شدند (شکل ۷) به‌طوری‌که ایستگاه‌های ۴ و ۵،



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 (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 (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           | ۲/۵      | 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 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

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 درشت تر (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. به نظر می رسد در بالادست رودخانه جریانات آبی مانع از تجمع ذرات ریز می شود. ولی در بخش پایین دست، گردآیان 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.

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 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 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 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 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 صورتی که میانگین سالانه غلظت مس در ایستگاه‌های مختلف از LEL و TEL بیشتر بوده است. میزان آرسنیک در کلیه فصول و ایستگاه‌ها از استاندارد LEL و TEL تجاوز می‌کند. میزان نیکل در کلیه فصول 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 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 حالی که 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 می‌باشد، این موضوع بیانگر آن است که احتمال مشاهده اثرات احتمالی و بروز اثرات شدید بیولوژیک بر اکثر موجودات بسترزی کم می‌باشد (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 (H, azteca, ARCS (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 اکثراً 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 غنی‌شدگی

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 زمین‌انباشتگی دو فلز کادمیوم با درجه آلودگی خیلی آلوده تا به‌شدت آلوده و فلز سرب با درجه آلودگی به‌شدت آلوده بوده است و آلودگی شاخص غنی‌شدگی مربوط به کادمیوم با درجه آلودگی شدید و کبالت با درجه آلودگی غنی‌شدگی 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 غنی‌شدگی EF) باشد که برخی شاخص‌ها از غلظت شیل یا پوسته به عنوان غلظت اولیه استفاده می‌کنند که ممکن است زمین‌شناسی 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; Wotke et al., 2003) می‌باشد. در مطالعه حاضر، محدوده میانگین سالانه عامل غنی‌شدگی برای کل مسیر مطالعه ۴/۹-۰/۲ متغیر می‌باشد. 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 غنی‌شدگی در فصول و اکثر ایستگاه‌ها برای اکثر فلزات مورد نظر از سه کمتر می‌باشد، می‌توان گفت که این فلزات بیشتر منشأ طبیعی دارند ولی آرسنیک چنین وضعی ندارد. میزان شاخص غنی‌شدگی آرسنیک از سه بیشتر بوده است، پس می‌تواند بیشتر منشأ 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 به واسطه 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 مؤلفه اول، فلزات آهن، روی، وانادیوم و کروم به عنوان مؤلفه اصلی دوم (غالباً با منشاء طبیعی)، مؤلفه اصلی سوم (با پوشش ۱۴/۶٪ از کل واریانس‌ها) شامل آلومینیوم، فسفر کل و نیتروژن کل و سرانجام مؤلفه 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، به نظر 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 مؤلفه‌های 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 مؤلفه اول، منبع یکسانی داشته‌اند (زمین زاد) و مس و آرسنیک (به عنوان مؤلفه 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 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 گروه 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 سرشاخه‌ها 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 نویربان، ع. ح.، ۱۳۹۷. ارزیابی و مقایسه غلظت فلزات سنگین در بافت عضله میگوی رودخانه ای

شرق (Macrobrychium nipponense De Haan, 1849) در رودخانه سیاه درویشان استان گیلان، مجله علمی شیلات ایران، ۲۷ (۵): ۴۹-۵۹. 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): ۶۵-۷۲.

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

حبیب پور گتایی، 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 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): 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 زبایی، 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 آزیان پشت سد کرج و رودخانه های منتهی 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

- 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): 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 در ماهیان رودخانه ارس در محدوده استان آذربایجان شرقی (۹۵-۱۳۹۴)، مجله علمی شیلات ایران، ۲۷(۳): ۴۹-۴۱. DOI: 10.22092/ISFJ.2018.117007
- Abraham, 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 from 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 Litherty, 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 Varangh\_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  $7.35 \pm 1.99\%$ ,  $8.0 \pm 1.2$  ppm,  $41.0 \pm 30.2$  ppm,  $3.56 \pm 0.53\%$ ,  $24.33 \pm 4.87$  ppm, 5.9-13.6 ppm and 21.8-28.8 ppm,  $15.9 \pm 5.99$  ppm,  $36.08 \pm 11.45$  ppm,  $68.08 \pm 08.6$  ppm,  $88.9 \pm 23.3$  ppm,  $0.1 \pm 0.05\%$  and  $0.42 \pm 0.07\%$  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 ( $4.9 \pm 1.1$ ). 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