مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره دهم، شماره ۲۹، پاییز ۱۴۰۰
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۱/۱۱
تاریخ بازنگری نهایی مقاله: ۱۳۹۹/۰۵/۱۹
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۸/۲۴
صفحات: - - ۱۰۷

مقاله (علمی پژوهشی)

بررسی و پهنه‌بندی تأثیرپذیری آب رودخانه کر از آلودگی ناشی از صنایع مجاور

مرضیه مکرم[1]، سعید نگهبان[2*]، وحیده شیخی[3]

۱. دانشیار ژئومورفولوژی بخش مرتع و آبخیزداری دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز
۲*. استادیار ژئومورفولوژی بخش جغرافیا؛ دانشکده اقتصاد، مدیریت و علوم اجتماعی، دانشگاه شیراز
۳. کارشناس ارشد ژئوهیدرولوژی، بخش زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز

چکیده

آلودگی آب همواره یکی از مسائل و مشکلات محیط زیستی در سراسر کره زمین محسوب می‌شود. در بین آب‌های موجود در سطح و زیر زمین، آب‌های جاری و رودخانه‌ها به‌دلیل عبور از مناطق مختلف، همواره در معرض آلودگی بیشتری قرار دارند. هدف از این مطالعه، بررسی کیفیت آب رودخانه کر در جنوب ایران و تعیین منشأ آلودگی آن توسط کارخانه‌های مختلف مجاور آن می‌باشد. نمونه‌بردار ی در سال ۲۰۱۶ بر روی ۱۴ پارامتر فیزیکی و شیمیایی در ۳ ماه دسامبر، آپریل و سپتامبر در ۲۹ ایستگاه انجام شد. به کمک تجزیه مؤلفه‌های اصلی (PCA) مهمترین پارامترهای تأثیرگذار بر روی آلودگی آب و به کمک شاخص کیفیت آب (WQI) و شاخص ارزیابی فلزهای سنگین (HEI) وضعیت آلودگی هر یک از ایستگاه‌ها باتوجه به حدود مجاز عناصر در آب رودخانه مشخص شد و درنهایت با استفاده از روش کریجینیگ وضعیت پراکنش مکانی عناصر در کارخانه‌های مجاور بررسی شد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌ها بااستفاده از تجزیه مولفه‌های اصلی (PCA) نشان داد که ۱۳PCA مؤلفه را معرفی می‌کند. نتایج شاخص WQI نشان داد که میانگین کمترین مقدار این شاخص در ایستگاه ۱۷ با متوسط ۵±۹ ٪ با وضعیت غیرقابل‌آشامیدن ازنظر کیفیت و بالاترین مقدار شاخص در ایستگاه ۶ با متوسط ۲±۸۷/۳ با وضعیت خوب برای آشامیدن مشاهده شد. نتایج حاصل از HEI نشان داد که ایستگاه ۱۶ و ۱۷ دارای بیشترین مقادیر شاخص HEI هستند که نشان‌دهنده آلوده‌ترین ایستگاه‌ها می‌باشند. نتایج حاصل از شاخص HEI نشان داد که مقادیر کادمیوم و آرسنیک، نسبت به دیگر عناصر، دارای مقادیر خیلی بیشتری نسبت به حد مجاز در آب آشامیدنی است. درنهایت، نتایج حاصل از نقشه‌های پهنه-بندی فلزهای سنگین با استفاده از روش کریجینگ، نشان داد که بیشترین تجمع غلظت مربوط به قسمت‌های مرکز و جنوب در مجاورت کارخانه‌های منطقه موردمطالعه می‌باشد.

واژگان کلیدی: آلودگی آب، تجزیه مؤلفه‌های اصلی، شاخص WQI، شاخص HEI، کیفیت آب و عناصر سنگین.

* - سعید نگهبان (نویسنده مسئول)
Email: Snegahban@ shirazu.ac.ir

مقدمه

آلودگی آب به فلزهای سنگین یکی از نگرانی‌ها برای سلامت انسان می‌باشد (شاها[۱] و پایول[۲]، ۲۰۱۹). این عناصر به عنوان آلاینده وارد اکوسیستم می‌شوند که بسیار پایدار بوده و تجزیه نمی‌شوند (بورگیس[۳]، ۲۰۱۵). این آلایندها وارد اکوسیستم آبی می‌شوند و باعث آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی و بر هم زدن اکوسیستم می‌شوند. امروزه با افزایش نیاز به مصرف آب، کاهش ذخایر آب‌های طبیعی، آلودگی‌های محیط زیستی و افزایش نیاز آبی فعالیت‌های انسانی باعث شده تا ارزیابی کیفیت منابع آب از موضوع‌های مهم در سال‌های اخیر محسوب گردد. در این شرایط پایش تغییرات کیفی آب به‌خصوص آب‌های آشامیدنی در زمان‌های منظم ضروری به‌نظر می‌رسد (هوس[۴] و الیس[۵]، ۱۹۸۷).

این مسأله در مناطق خشک و نیمه‌خشک که بارش‌ها نامنظم، موقت همراه با نرخ بالای تبخیر است، بیشتر مشخص می‌باشد (اندراد[۶] و همکاران، ۲۰۱۰ و باقیاند[۷] و همکاران، ۲۰۱۰). رشد صنایع و رهاسازی فاضلاب‌های ناشی از آن، کاربرد گسترده کودها و آفت‌کش‌های شیمیایی در بخش کشاورزی نگرانی‌های جدی درباره کیفیت آب ایجاد کرده است (واروس[۸] و داوراز[۹]، ۲۰۱۵). به‌طورکلی تغییرات نزولی کیفیت آب تهدیدی برای سلامت انسان، توسعه اقتصادی و رفاه اجتماعی به‌شمار می‌آید (میلووانوویس[۱۰]، ۲۰۰۷). باتوجه به محدودیت آب‌های قابل مصرف برای آشامیدن و نیاز روزافزون بشر به منابع آبی، نظارت بر کیفیت آب دردسترس بیش‌ازپیش اهمیت پیدا می‌کند (پال[۱۱]، ۲۰۱۳).

برای تعیین کیفیت آب‌ها و مناسب‌بودن آن برای آشامیدن، می‌توان از شاخص کیفیت آب (WQI[۱۲]) استفاده نمود. میزان WQI برای کیفیت آب در یک محدوده صفر تا ۱۰۰ می‌باشد که ۱۰۰ بالاترین کیفیت آب را دارد (سانچیز[۱۳] و همکاران، ۲۰۰۷). این شاخص برای فهم موضوع‌های کیفی آب توسط یکپارچه‌سازی داده‌های پیچیده و ایجاد یک عدد که پیکره کلی کیفیت آب را توصیف می‌کند، بکار می‌رود (بهارگاوا[۱۴]، ۱۹۸۳). از خصوصیت‌های این شاخص قابلیت فهم ساده و آسان برای مدیران و تعیین شرایط استفاده از یک منبع آب برای آشامیدن می‌باشد (راا[۱۵]و ادموندس[۱۶]، ۲۰۰۲).

در مطالعه راماکریشنایا و همکاران شاخص کیفیت آب برای آب‌های واقع در کشور هند موردمطالعه قرار گرفت و جهت تعیین این شاخص از ۱۲ پارامترpH ، سختی، کلسیم، منزیم، بی‌کربنات، کلراید، نیترات، سولفات، کل مواد محلول، آهن، منگنز و فلوراید استفاده شد (راماکریشنایاه۱۷، ۲۰۰۹).

1- Saha
2- Paul
3- Burgess
4- House
5- Ellis
6- Andrade
7- Baghvand
8- Varol
9- Davraz
10- Milovanovic
11- Pal
12- Water Quality Index
13- Sánchez
14- Bhargava
15- Rao
16- Edmunds
[1] Ramakrishnaiah

یکی از روش‌ها در بررسی کیفیت منابع آب و تحلیل‌های زیست‌محیطی و کنترل متغیرهای کیفی جهت تعیین برنامه‌های مدیریت پایش کیفی رودخانه‌ها، روش‌های آماری چندمتغیره می‌باشد که در سال‌های اخیر به‌طور گسترده‌ای مورداستفاده قرار می‌گیرد (سینق[۱] و همکاران، ۲۰۰۵، شریسناها[۲] و کاضاما[۳]، ۲۰۰۷، استیل[۴] و همکاران، ۲۰۰۶)).

اخیراً، در تحلیل داده‌های کیفی آب، استفاده از تجزیه مؤلفه‌های اصلی (PCA) برای کاهش تعداد متغیرها و تفسیر بهتر نتایج به‌دست‌آمده از آنها توسعه یافته است (اُیوانگ، ۲۰۰۵). استفاده از این روش محققان را در شناسایی مهمترین فاکتورهای اثرگذار بر کیفیت سیستم‌های آبی یاری نموده و ابزار با ارزشی برای مدیریت مطمئن آب محسوب می‌گردد (ادامس[۵] و همکاران، ۲۰۰۱، وگا[۶] و همکاران، ۱۹۹۸، سینق و همکاران، ۲۰۰۵).

سینق و همکاران (۲۰۰۵) در تحقیق خود تحت عنوان فن‌های آماری چندمتغیره برای ارزیابی متغیرهای زمانی و مکانی در کیفیت آب، با استفاده از ۲۴ پارامتر، آب رودخانه گمتی[۷] را به سه منطقه با آلودگی کم، متوسط و زیاد دسته‌بندی نمودند و شش 71%وEC، TSS، Mg، Ca، COD، BOD، DO، pH، Na، K ، Cl- پارامترهای تأثیر بیشترین اثر در اول مؤلفه تغییرات بین ایستگاه‌ها را توجیه نمودند. سینق و همکاران (۲۰۰۵) بیان نمودند که برای کاهش تعداد پا رامترهای پایش کیفی آب همراه با دستیابی به اطلاعات دقیق وضع کیفی آب رودخانه‌ها استفاده از روش‌های آماری نتایج مطلوبی را ارائه می نماید.

شریستا[۸] و همکاران (۲۰۰۷) نیز در انجام تحقیق خود تحت عنوان ارزیابی کیفیت آب سطحی با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره در رودخانه فوجی[۹] ژاپن، رودخانه موردمطالعه را به سه منطقه با آلودگی کم، متوسط و زیاد دسته‌بندی نمودند. بالاترین تأثیر در این گروه‌بندی را پارامترهایی مانند pH،BOD ، شوری، نیترات و آمونیوم عهده-دار بودند.

نتایج مطالعه بُیاسشگلو[۱۰] (۲۰۰۷) برای ارزیابی منابع آلاینده آب رودخانه تاهتالی در ترکیه نشان داد که روش‌های آماری چندمتغیره می‌توانند برای کاهش تعداد پارامترها و ایستگاه‌های پایش و پیش‌بینی کیفیت آب‌های سطحی مورداستفاده قرار گیرد. در این تحقیق با استفاده از پارامترهایBOD، COD،DO ، کلر، سختی کل، سدیم، نیترات، سولفات و کل فسفات رودخانه در دو گروه با آلودگی کم و آلودگی زیاد دسته‌بندی گردید که در گروه با آلودگی زیاد بیشترین تأثیر مربوط به پارامترهای سختی کل، کلر و سدیم بود. همچنین در تجزیه مؤلفه‌های اصلی دو مؤلفه اول ۵۴ درصد تغییرات را عهده‌دار بودند.

2- Singh
3- Shrestha
4- Kazama
5- Astel
6- Adams
7- Vega
8- Gomti
9- Shrestha
10- Fuji
11- Boyacioglu

تأثیر فلزهای سنگین در اراضی شهری بر روی کیفیت آب رودخانه توسط ویجیسیری[1] و همکارران (۲۰۱۹) در چین بررسی شد. نتایج نشان داد که رفتار فلزهای مختلف بر روی آب و رسوبات بستگی به مسیر اصلی حمل فلزها، نوع فلز و دوری و نزدیکی به منبع آلودگی دارد.

بررسی منابع آلودگی آب رودخانه کیانتانگ[2] در چین توسط هوانگ[3] و همکاران (۲۰۰۹) در چین با استفاده از روش‌های زمین آمار بررسی شد. نتایج نشان داد که بیشتر آلودگی رودخانه‌ها در سرشاخه‌های فرعی رخ می‌دهد؛ درحالی‌که سرشاخه‌های اصلی دارای آلودگی کمتری هستند. آلودگی صنعتی، فعالیت‌های کشاورزی و رواناب شهری منجر به آلودگی رودخانه‌ها در شاخه‌های فرعی منطقه گردیده است. در این مطالعه مشخص شد که با دانستن آلودگی بیشتر در سرشاخه‌های فرعی نسبت به سرشاخه‌های اصلی باید تدابیر متفاوتی را برای کنترل آلودگی اتخاذ نمود.

بنابراین، تعیین کیفیت آب در مناطق مختلف ازجمله مناطق خشک و نیمه‌خشک مهم می‌باشد. در مناطق خشک و نیمه‌خشک گرمسیری مثل ایران که رودخانه‌ها تنها در فصول سرد و پر بارش سال جاری می‌شوند، تنها منابع آب جهت مصارف مختلف (آشامیدن، صنعت، کشاورزی و غیره) می‌باشند (هاففار[4]و همکاران، ۲۰۱۰). هنگامی‌که یک آلاینده خطرناک شیمیایی و یا مواد آلی توسط واحدهای خانگی، صنعتی یا کشاورزی به یک رودخانه وارد گردد، اثرهای زیان‌آوری بر کیفیت آب پایین‌دست آن خواهد داشت. بنابراین مطالعه‌ای جامع در طول کل رودخانه و منابع آلوده‌کننده آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد.

باتوجه به‌اینکه رودخانه کر به‌عنوان زهکش اصلی شهرستان مرودشت در استان فارس، جنوب ایران بوده و آب کلیه رودخانه‌ها و مسیل‌های موجود در مرودشت را دریافت و از رودخانه‌های مهم داخلی استان فارس می‌باشد، آلودگی آن نه تنها تأثیر مخربی بر محیط‌زیست منطقه و حیات آبزیان رودخانه دارد، بلکه به خاطر آبیاری اراضی کشاورزی با این آب‌ها و مصرف گسترده محصولات کشاورزی آلوده به‌دست‌آمده از آب این رودخانه‌ها، بررسی کیفیت آب این رودخانه حائز اهمیت می‌باشد. بنابراین به‌لحاظ اهمیت رودخانه کر به‌عنوان یکی از مهمترین منابع تأمین آب آشامیدنی و کشاورزی منطقه و به‌دلیل قرار گرفتن کارخانجات متعدد ازجمله کارخانه گوشت، کارخانه چرم، پتروشیمی (تولید آمونیاک، اوره، نیتریک و نیترات آمونیوم)، کارخانه قند، لوازم خانگی، آرد، تولید شیرین‌بیان و همچنین فاضلاب در اطراف آن، تعیین کیفیت آب این رودخانه و تعیین مهمترین منابع آلوده‌کننده آن برای برنامه‌ریزی و کنترل پساب و رساندن آلاینده‌های موجود در آن به‌حد استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست مهم می‌باشد.

بنابراین در این مطالعه با استفاده از روش آماری منابع تولید آلاینده رودخانه کر مشخص شد. درواقع در این مطالعه مشخص شد که پساب کدام کارخانه‌های مجاور رودخانه منجر به آلودگی رودخانه می‌شود. حتی در این مطالعه مشخص شد که آلودگی هر یک از فلزهای سنگین مربوط به کدام پساب کارخانه هست که این کار با تهیه نقشه توزیع مکانی هر یک از فلزهای سنگین انجام شد. به‌طوری‌که فلزها با حداکثر آلودگی در مجاور هر یک از کارخانه‌ها

1- Wijesiri
2- Qiantang
3- Huang
4- Haffar

نشان‌دهنده آلودگی آب توسط آن کارخانه می‌باشد. بنابراین به‌راحتی می‌توان منابع تولید آلاینده رودخانه را مشخص نمود.

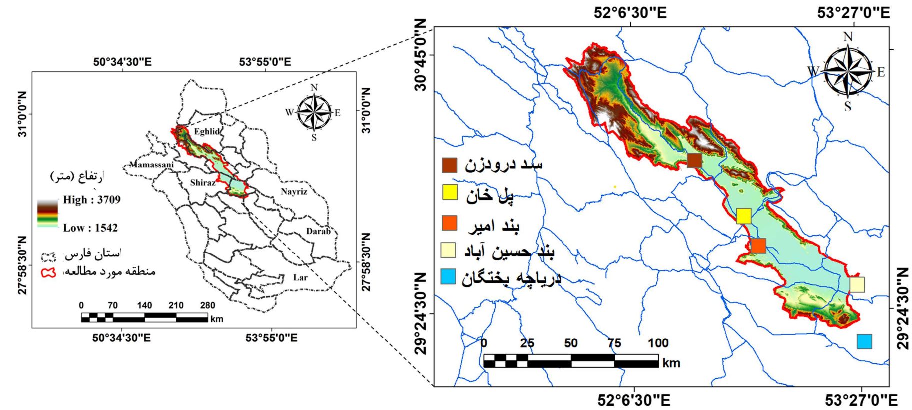
داده‌ها و روش‌ها

ویژگی منطقه موردمطالعه

منطقه موردمطالعه حوضه آبخیز رودخانه کر واقع در شهرستان مرودشت می‌باشد. منطقه موردمطالعه ازنظر موقعیت جغرافیایی در 18 °29 تا ´48 °30 و ´42 °51 تا ´24 °53 واقع شده است (شکل ۱). مساحت منطقه موردمطالعه ۶۰۳۵/۸۴ کیلومتر مربع می‌باشد. بیشترین و کمترین ارتفاع در منطقه موردمطالعه به‌ترتیب ۳۷۰۹ و ۱۵۴۲ متر می‌باشد. حوزه آبخیز موردمطالعه ازنظر کشاورزی، شهری، باغات و .. دارای اهمیت فراوانی می‌باشد.

رودخانه کر از شـــریان‌های حیاتی پرآب دائمی استان فارس است که از شمال‌غربی استان و از بلندی‌های سلسله-جبال زاگرس سرچشمه گرفته و به‌سمت جنوب‌شرقی جریان پیدا می‌کند. طول رودخانه از سرچشمه تا دریاچه بختگان ۲۸۰ کیلومتر است (هافقار و همکاران، ۲۰۱۰). در دهه چهل بر روی این رودخانه سد خاکی درودزن بـــه گنجایش عادی ۹۹۳ میلیون مترمکعب احداث گردیده اســـت. رودخانه بعد از سد در منطقه رامجرد جریان یافته و پس از پیوستن رودخانه مائین به آن با گذشتن حاشیه شهر مرودشت و یکی‌شدن با رودخانه سیوند در محل پل خان به‌سوی بند امیر پیش رفته و درنهایت به بختگان می‌ریزد.

رودخانه کر در ابتدای مسیر و سرشاخه‌ها دارای پهنای کم، بستر سنگی و گاه شنی و شیب تند است. در بعضی از شاخه‌های فرعی به‌علت کم‌شدن شیب، عرض بستر زیاد شده و گاه به ۷۰ متر می‌رسد. ولی در مجموع پهنای متوسط شاخه اصلی در بالادست سد درودزن حدود ۳۵ تا ۴۰ متر است. در فاصله بعد از سد تا بند امیر شیب بستر ملایم و رودخانه از اراضی هموار عبور می‌کند، بنابراین سرعت آب کم می‌باشد. بعد از پل خان به‌علت برداشت زیاد آب جهت آبیاری و تغییر مقطع، پهنای رودخانه حداکثر به ۳۰ متر می‌رسد. ترکیب دانه‌بندی بستر بعد از سد، از ماسه نرم شروع و بتدریج رسی می‌شود

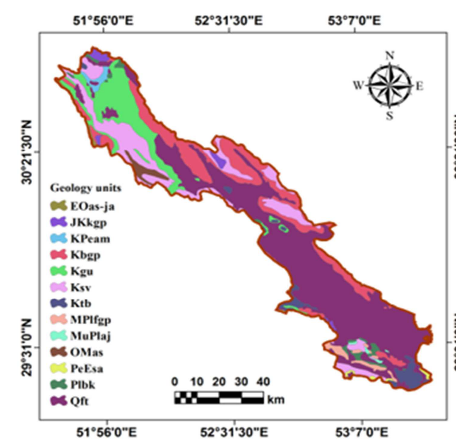


شکل ۱: موقعیت منطقه موردمطالعه

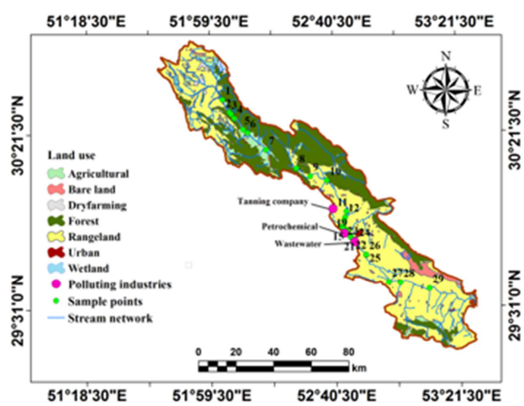
بارش سالانه محدوده موردمطالعه از حداقل ۳۰۰ میلی‌متر در جنوب شرق محدوده تا بیش از ۸۰۰ میلی‌متر در مناطق کوهستانی متغیر می‌باشد و متوسط وزنی بارش ۴۰۰ میلی‌متر در سال است (شرکت آب منطقه‌ای استان فارس، ایستگاه هواشناسی ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۰). دمای متوسط سالانه حدود ۱۶ درجه سانتی‌گراد است. همچنین میزان تبخیر متوسط سالانه ۲۲۵۲ میلی‌متر می‌باشد.

کارخانه‌های فعال در اطراف رودخانه کر شامل کارخانه پتروشیمی، قند، آزمایش، آرد، ریشمک، گوشت و چرمینه می‌باشد که سالانه مقادیر خیلی زیادی از پساب این کارخانه‌ها وارد رودخانه شده و منجر به آلودگی آب این رودخانه شده است. همچنین فاضلاب‌های شهری و روستایی وارد این رودخانه می‌شود که میزان آلودگی در این رودخانه را افزایش داده است.

محدوده موردمطالعه به‌لحاظ زمین‌شناسی شامل دو بخش کربناته و غیر کربناته می‌باشد. سنگ‌های کربناته ۴۰ درصد از محدوده را شامل سازندهای آسماری، سروک، ایلام، تاربور، دریان، فهلیلان و.. با شکستگی‌ها یا سیستم‌های کارستی می‌پوشانند. بخش میانی حوضه سازندهای غیر کربناته از آبرفت‌های کواترنری پوشیده شده است. نقشه زمین‌شناسی محدوده موردمطالعه در شکل ۲ نشان‌داده شده است.



شکل ۲: نقشه زمین‌شناسی منطقه موردمطالعه



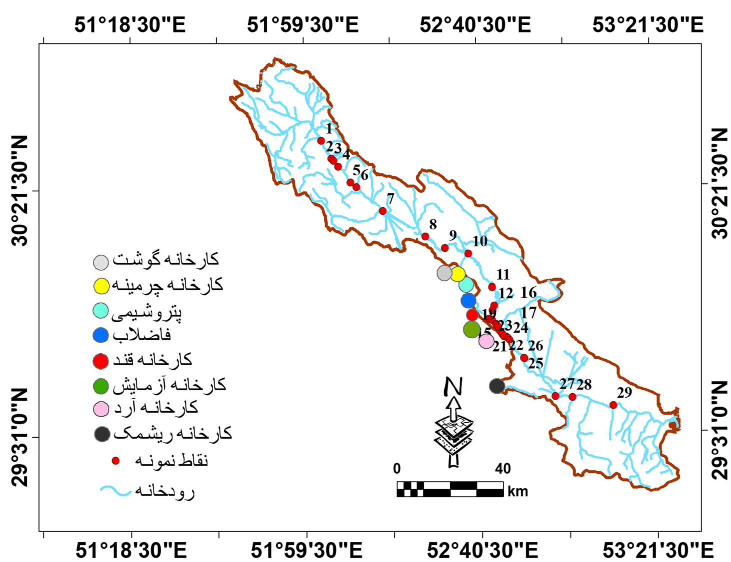
شکل ۳: نقشه کاربری اراضی منطقه موردمطالعه

نقشه کاربری اراضی منطقه مطالعاتی که به‌روش دسته‌بندی نظارت‌شده تهیه شده، در شکل ۳ نشان‌داده شده است. کل اراضی موردمطالعه ۶۰۳۵/۸۴ کیلومتر مربع می‌باشد که اراضی مرتعی با ۳۴۴۸/۳۷ کیلومتر مربع ۵۷ درصد بیشترین و اراضی باغی با سطحی معادل ۵/۰۲ کیلومتر مربع ۱ درصد از اراضی منطقه موردمطالعه را به خود اختصاص داده‌اند.

روش‌های نمونه‌برداری و داده‌های منطقه موردمطالعه

نمونه‌ها پس از آماده‌سازی لازم در شرایط مناسب دمایی و در حداقل زمان ممکن به آزمایشگاه منتقل شده و تا قبل از انجام آزمایش در یخچال نگهداری شدند. نمونه‌برداری و آنالیز برای ۱۹ پارامتر فیزیکی و شیمیایی شامل دما، روی، سرب، نیکل، مولیبدن، سختی کل، نیترات، جیوه، سولفات، فسفات، شوری، مس، کروم، کلر، کادمیوم، کربنات کلسیم، آرسنیک، pH که در ۴ ماه (دسامبر، آپریل و سپتامبر) انجام گرفت. شوری با شوری‌سنج[1]، pH با pHسنج، نیترات، سولفات، فسفات و کلر با طیف‌سنج[2]، سختی کل با Hoch۱۵۶Sension ، روی، مس، کادمیوم و آلومنیوم با دستگاه جذب اتمی[3] و کروم با شاخص SDI[4] اندازه‌گیری شد.

در شکل ۴ موقعیت ۲۹ محل نمونه‌برداری برای تعیین ارتباط بین صنعت و میزان آلودگی آب نشان‌داده شده است. نقاط نمونه‌برداری همان‌طورکه در شکل هم نشان‌داده‌شده، در جهت جریان آب بر روی رودخانه اصلی تهیه شده است. شایان‌ذکر است که از هر نقطه سه نمونه آب تهیه و بعد از تجزیه‌وتحلیل در ازمایشگاه، میانگین آنالیزها برای هر یک از پارامترها درنظر گرفته شد.



شکل ۴: موقعیت نقاط نمونه‌برداری به‌همراه موقعیت کارخانجات و فاضلاب‌های اطراف رودخانه کر

1- Conductometer
2- Spectrophotometric
3- Atomic absorption
4- Silt Density Index

روش کار

قبل از انجام تجزیه‌های آماری، ابتدا داده‌های حاصل از ارزیابی پارامترهای موردمطالعه بااستفاده از شاخص کلمگروف – اسمیروف ازنظر نرمال و تناسب داده‌ها موردبررسی قرار گرفت. براین‌اساس یک تست برازش نرمال‌بودن به روش‌های پارامتری انجام گردید. سپس با اطمینان از توزیع نرمال داده‌ها جهت تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای تعیین سهم هر پارامتر در دسته‌بندی میزان آلودگی ایستگاه‌های پایش، کاهش حجم پارامترها و تفسیر بهتر روابط و روش WQI برای تعیین میزان آلودگی هر ایستگاه به‌شرح زیر استفاده شد. همچنین در ادامه با استفاده از روش زمین آمار توزیع مکانی میزان آلودگی هر یک از پارامترها در رودخانه کر بررسی شد. تمامی محاسبات آماری و ریاضی از طریق نرم‌افزارهای، SPSS ۲۲ و MINITAB14 انجام گردید.

شاخص کیفیت آب (WQI)

پارامترهای موردنیاز و حدود بحرانی هر یک از عناصر برای تعیین شاخص کیفیت آب (WQI) در جدول ۱ گزارش شده است. از رابطه ۱ برای تعیین شاخص WQI استفاده شد (هورتون[1] و همکاران، ۱۹۶۵، بروون[2] و همکاران، ۱۹۷۰). در این رابطه qi رتبه کیفیت آب را باتوجه به غلظت پارامتر I نشان می‌دهد و WI فاکتور وزن می‌باشد که بستگی به اهمیت پارامتر کیفی ازنظر بهداشت و سلامتی دارد. باتوجه به مقدار به‌دست‌آمده برای شاخص WQI و ارجاع به جدول ۱، کیفیت آب ازنظر آشامیدن مشخص شد. طبق جدول ۲، کیفیت آب را می‌توان به کلاس‌های بسیار خوب، خوب، فقیر، بسیار فقیر و نامناسب برای نوشیدن باتوجه به مقادیر WQI در محدوده ۳۱ -۰، ۳۱ -۱۶، ۶۱ -۳۱، ۶۱ -۹۱ و بالاتر از ۹۱ به‌ترتیب دسته‌بندی نمود (هورتون و همکاران، ۱۹۶۵، بروون و همکاران، ۱۹۷۰).

$$WQI=\frac{\sum_{i=1}^{n} q_i \times w_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i} \qquad (۱)$$

برای تعیین qi از رابطه ۲ استفاده شد. Va مقدار پارامتر i در زمان نمونه‌برداری، Vi مقدار پارامتر i در حالت ایده‌آل و Si مقدار پارامتر i در حالت استاندارد است. همچنین جهت محاسبه پارامتر Wi از رابطه ۳ استفاده شد. مقدار K از رابطه ۴ حاصل مـی‌گـردد (اسدی[3]، ۲۰۰۷).

$$q_i=\frac{v_a-v_i}{s_i-v_i} \qquad (۲)$$

$$w_i=\frac{k}{s_i} \qquad (۳)$$

$$k=1/\Sigma(1/s_i) \qquad (۴)$$

1- Horton
2- Brown
3- Asadi

جدول ۱: مقادیر استاندارد خصوصیات کیفی ورودی به شاخص (WHO، ۲۰۱۱)

ردیف	پارامتر	حد مجاز
1	(pH unit) pH	6.5-8.5
2	NO31- (mg L-1)	50
3	PO43-(mg L-1)	0.03
4	Ni (mg L-1)	0.07
5	Cl1- (mg L-1)	400
6	Mo (mg L-1)	0.07
7	Cd (µg L-1)	3
8	Cu (mg L-1)	1
9	Zn (mg L-1)	5
10	As (µg L-1)	10
11	Cr III (µg L-1)	50
12	Cr IV (µg L-1)	50

جدول ۲: دسته‌بندی کیفیت منابع آب باتوجه به شاخص WQI (ابراهو[1] و همکاران، ۲۰۰۷)

Qualitative corresponding result	WQI range
Good	$91 \leq WQI \leq 100$
Acceptable	$61 \leq WQI < 91$
Regular	$31 \leq WQI < 61$
Bad	$16 \leq WQIx < 31$
Very bad	$0 \leq WQI < 16$

شاخص ارزیابی فلزهای سنگین (HEI)

برای ارزیابی درجه آلودگی آب به فلزهای سنگین جهت مصارف شرب از شاخص ارزیابی فلزهای سنگین (HEI) استفاده شد. شاخص HEI باتوجه به غلظت سنجش‌شده فلزهای سنگین در منطقه نسبت به حداکثر غلظت مجاز تعیین‌شده برای مصارف شرب، کیفیت کلی آب را ارائه می‌دهند (پراساننا[2] و همکاران ۲۰۱۲). با محاسبه شاخص HEI می‌توان نسبت به رتبه‌بندی کلی کیفیت آب براساس آلودگی فلزهای سنگین و درک بهتر از شرایط کیفی آب اقدام کرد. شاخص HEI طبق رابطه ۵ به‌دست می‌آید (نایک[3] و همکاران، ۲۰۱۳):

$$HEI=\sum_{i=1}^{n}\frac{H_{ci}}{H_{\max}} \qquad (۵)$$

که در آن HC مقدار اندازه گیری‌شده پارامتر i ام و Hmax حداکثر غلظت مجاز پارامتر i ام است.

برای این منظور هر یک از عناصر آرسنیک، مس، کادمیوم، کروم، مولیبدن، نیکل و روی در سه ماه برای هر یک از ایستگاه‌های با آلودگی زیاد میانگین‌گیری شده و بر حد بحرانی هر یک از عناصر که در جدول ۱ آمده است، تقسیم

1- Abraho
2- Prasanna
3- Nayek

شده و مقادیر این شاخص برای هر یک از پارامترها محاسبه گردید. درصورتی‌که HEI کمتر از ۱۰ باشد درجه آلودگی کم، بین ۱۰ تا ۲۰ باشد درجه آلودگی متوسط و بیشتر از ۲۰ باشد درجه آلودگی زیاد است (WHO، ۲۰۱۱).

بررسی داده‌ها ازنظر مکانی

برای بررسی توزیع مکانی هر یک از پارامترها از روش کریجینگ که یکی از روش‌های زمین آمار می‌باشد، استفاده شد. در این روش مقادیر مجهول با استفاده از مقادیر معلوم و واریوگرام برآورد می‌شود. واریوگرام، مدلی ریاضی است که برای تشریح پیوستگی مکانی یک متغیر بکار می‌رود. رابطه ۶ نحوه محاسبه یک واریوگرام را نشان می‌دهد.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)}\sum_{i=1}^{n(h)}[z(x_i) - z(x_i + \mathrm{h})]^2 \qquad (۶)$$

که در آن h (γ) مقدار نیم تغییرنما برای جفت نقاطی که به فاصله h از هم قرار دارند، n تعداد نقاط اندازه‌گیری و Z (xi) مقدار اندازه‌گیری‌شده متغیر در مکان xi و z (xi+h) مقدار اندازه‌گیری‌شده متغیری که به فاصله h از x قرار دارد. اگر نقاط در شبکه‌های منظم و با فواصل مساوی قرار داشته باشند، نیم تغییرنما بر اساس میانگین حسابی فواصل محاسبه و برآورد می‌گردد.

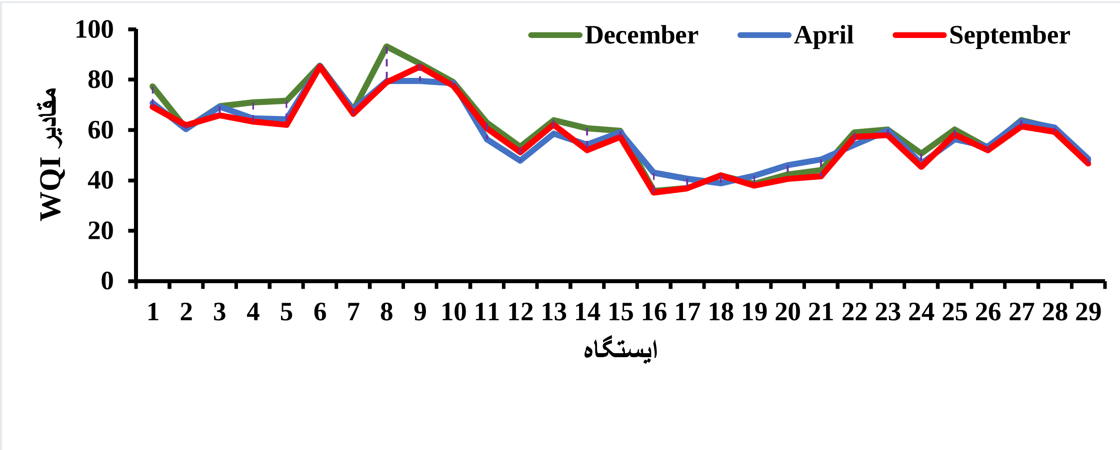
یکی از روش‌های معروف درون‌یابی کریجینگ است که بهترین تخمین‌گر خطی ناااریب نام گرفته است. این روش، یک روش تخمین زمین آماری است که بااستفاده از مقادیر معلوم و یک نیم تغییرنما، مقادیر مجهول را برآورد می‌کند و بر منطق میانگین متحرک وزن‌دار استوار است و به‌صورت رابطه ۷ تعریف می‌شود:

$$z^*(x_o) = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i\, z(x) \qquad (۷)$$

که در آن Z* (x0) مقدار تخمین‌زده‌شده متغیر در نقطه‌ی x0 و z (x) مقدار مشاهده‌شده متغیر در نقطه x0 و λi وزن آماری است که به متغیر در نقطه x نسبت داده می‌شود. این پارامتر λi نشان‌دهنده مقدار اهمیت و تأثیر نقطه‌ی iام بر مقدار تخمین‌زده‌شده متغیر در نقطه x0 است و n تعداد نقاطی است که متغیر در آن اندازه‌گیری شده است.

نتایج و بحث

باتوجه به شکل ۵ مشاهده شد که بیشتر مناطق موردمطالعه ازنظر میانگین شاخص WQI و فاصله اطمینان با سطح اطمینان ۹۵ ٪ در محدود کیفیت آب بد قرار گرفته است. به‌طور متوسط ۲۲/۷ درصد از مناطق دارای کیفیت آب در محدوده خوب، ۴۵/۵ درصد از مناطق دارای کیفیت آب در محدوده بد، ۲۲/۷ از مناطق دارای کیفیت خیلی بد و ۹/۱ درصد از مناطق دارای آب غیرقابل‌آشامیدن می‌باشند.



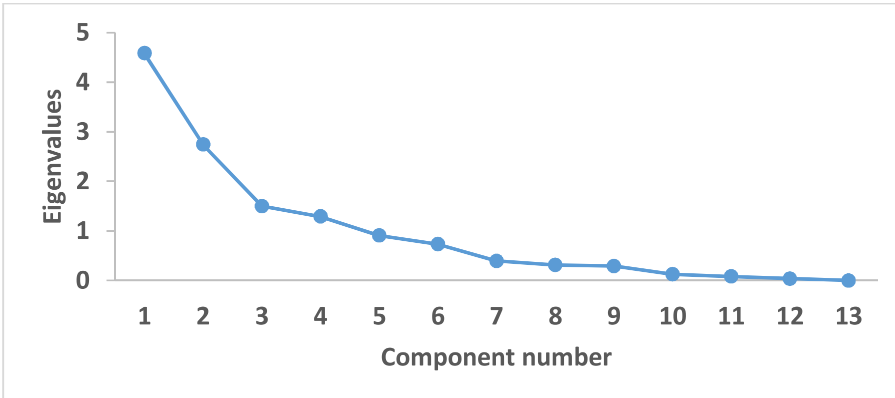
شکل ۵: مقادیر WQI برای هر یک از ایستگاه‌ها در ماه های مختلف

در منطقه موردمطالعه، مناطقی که شاخص WQI در وضعیت بد، خیلی بد و غیرقابل‌آشامیدن قرار دارد، تصفیه آب جهت آشامیدن بسیار ضروری می‌باشد. راماکریشنایاه و همکاران (۲۰۰۹) تصفیه آب در مناطقی که دارای مقادیر کم شاخص WQI و غیرقابل‌آشامیدن بودند را یک امر ضروری معرفی کردند. در مطالعه‌ای رضا[۱] و سینق[۲] (۲۰۱۰) شاخص WQI برای فصل تابستان و فصل پس از باران‌های موسمی به‌ترتیب مقادیر ۵۷-۱۴ و ۱۹-۶۷ به‌دست آوردند که علت این تفاوت در شاخص WQI بالابودن میزان جامدات محلول در طی فصل باران‌های موسمی نسبت به تابستان گزارش گردید و همچنین در این مطالعه تصفیه برای منابع آبی با شاخص WQI بالاتر از ۵۰ را ضروری دانستند.

نتایج PCA

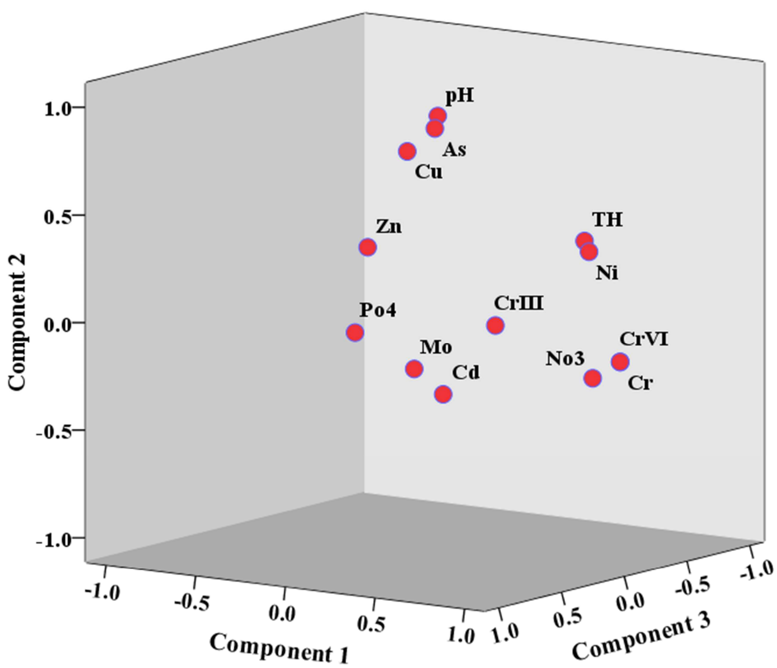
نتایج نشان داد که PCA ۱۳ مؤلفه را معرفی می‌کند که مؤلفه‌های اول و دوم مؤلفه‌های اصلی بوده و در مجموع ۵۶/۳۷ % تغییرات ویژه را بیان می‌کنند. مؤلفه اول ۳۵/۲۸٪ تغییرات را نشان می‌دهد و شامل کروم ۵ و کروم کل می‌باشد، مؤلفه دوم نیز ۲۱/۱۰٪ تغییرات را نشان می‌دهد و شامل مس و pH است. درصد تغییرات بیان‌شده برای ایستگاه‌های مختلف که در شکل ۶ نشان‌داده شده است.

---
[1] Reza
[2] Singh



شکل ۶: درصد تغییرات بیان شده توسط ۱۳ مولفه

توزیع شماتیک وزن عناصر مختلف در مؤلفه‌های اول و دوم در شکل ۷ آمده است. همان‌طورکه در شکل ۷ مشاهده می‌شود عناصر کروم ۵ و کروم کل که در بیشترین فاصله از این خط قرار دارند، دارای بیشترین وزن در مؤلفه اول بوده و بیشترین تغییرپذیری عناصر آلوده در منطقه را توجیه می‌نمایند. در مقابل عناصر روی و فسفات که دارای نزدیک‌ترین فاصله به خط مزبور هستند کمترین تغییرپذیری را در مؤلفه اول توجیه کرده که در جدول ۳ نیز لحاظ شده‌اند.



شکل ۷: توزیع شماتیک وزن عناصر مختلف در مولفه‌های اول و دوم و سوم

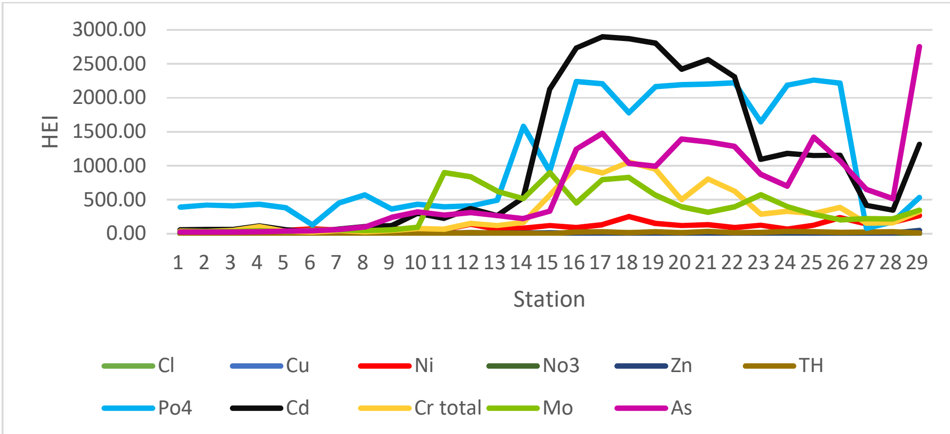
جدول ۳: مقادیر مولفه‌های اول تا چهارم

Parameters	Component			
	1	2	3	4
pH	-.016	.891	-.126	-.005
Po4	-.413	-.141	-.034	.591
No3	.884	-.230	-.075	.163
As	.089	.867	.047	.033
Cd	.590	-.222	.696	.054
Cr total	.917	-.175	-.246	.102
CrIII	.278	-.057	-.165	.698
CrVI	.917	-.175	-.245	.096
Cu	.140	.809	.340	.119
Mo	.491	-.102	.786	-.053
Ni	.857	.354	-.084	-.014
Zn	-.212	.301	.152	.575
TH	.692	.359	-.284	-.241

نتایج شاخص HEI

شکل ۸ مقادیر HEI را برای ایستگاه‌های مختلف نشان می‌دهد. باتوجه به شکل ۸ مشخص می‌شود که ایستگاه ۱۶ و ۱۷ (همان‌طورکه در شکل ۴ موقعیت این ایستگاه‌ها نشان‌داده شده است) دارای بیشترین مقادیر شاخص HEI هستند که نشان‌دهنده آلودگی بیشتر می‌باشد. همچنین مشخص می‌شود که مقادیر آرسنیک و کادمیوم نسبت به دیگر عناصر دارای مقادیر خیلی بیشتری نسبت به حد مجاز در آب آشامیدنی است که بیانگر آلودگی آب توسط این دو عنصر خصوصاً در ایستگاه‌های مجاور با کارخانه‌ها (ایستگاه‌های ۱۶-۲۵) است. منشاء اصلی ورود این عناصر به آب رودخانه و آلودگی آن از کارخانه‌های مجاور می‌باشد. همان‌طورکه در شکل ۴ نشان‌داده شده است، کارخانه پتروشیمی، قند، آزمایش و آرد در مجاور ایستگاه‌های ۱۶ تا ۲۵ می‌باشند که منجر به آلودگی شدید آب در این نواحی از رودخانه شده‌اند.

باتوجه به رده‌بندی کیفیت آب براساس شاخص HEI طبق شکل ۸ مشخص می‌شود که همه پارامترها بجز سختی کل، کلر، روی، نیکل مقادیری بیشتر از حد مجاز دارند و نشان‌دهنده آلودگی آب توسط این پارامترها می‌باشد و توسط آزمون PCA نیز مشخص شد که سختی کل، کلر، روی، نیکل دارای تأثیر کمتری در آلودگی آب هستند.



شکل ۸: مقادیر شاخص HEI برای هر یک از ایستگاه‌ها

بررسی ویژگی‌های مکانی به‌روش کریجینگ

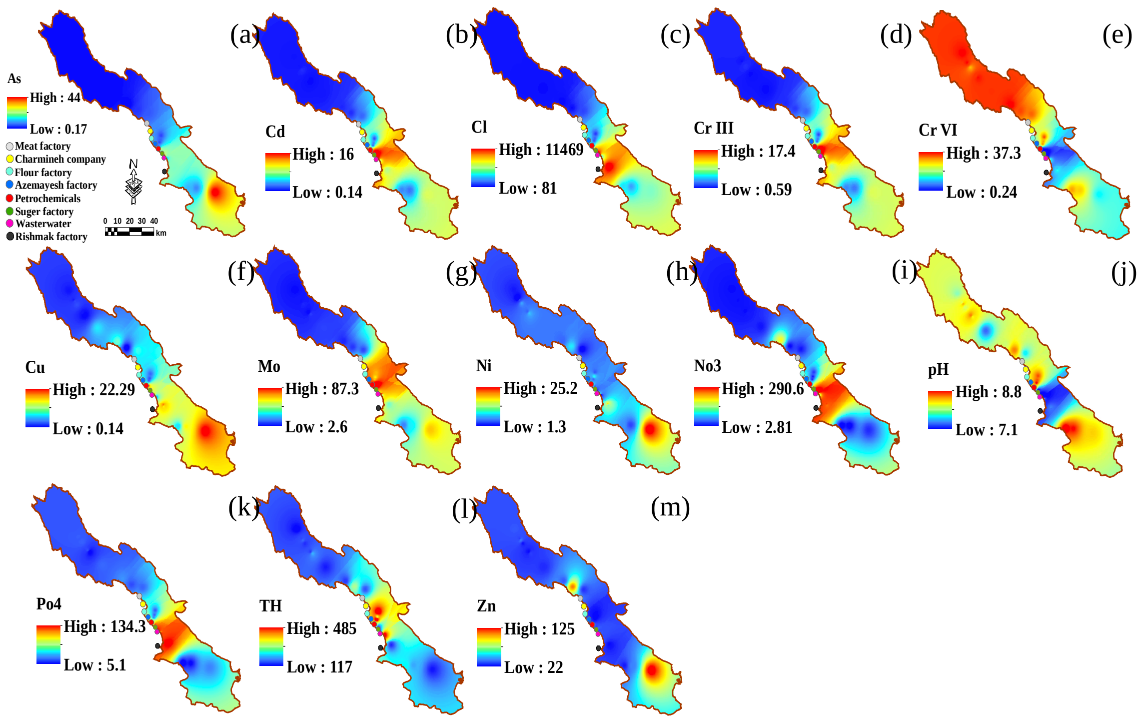
برای برازش بهترین مدل بر روی واریوگرام تجربی از میزان RSS کمتر و استحکام ساختار فضایی قوی‌تر استفاده شد. همچنین جدول ۴ الگو مناسب برازش داده‌شده بر روی واریوگرام و عامل‌های مربوطه را نشان می‌دهد. نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه را می‌توان برای ارزیابی ساختار مکانی داده‌ها موردبررسی قرار داد. ولی این نسبت اگر کمتر از ۰/۲۵ باشد متغیر موردنظر دارای ساختار مکانی قوی می‌باشد. بین ۰/۲۵ تا ۰/۷۵ساختار مکانی متوسط و بزرگ‌تر از ۰/۷۵ساختار فضایی ضعیف است. باتوجه به جدول ۴، نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه[1] به‌عنوان مهمترین معیار برای تعیین بهترین الگو برای تعیین نقشه پهنه‌بندی استفاده شد.

جدول ۴: بهترین الگو برازش داده‌شده به واریوگرام و عامل‌های مربوط به آن

Parameter	الگو	C0	C0+C	C0/C0+C	R2	RSS
Ph	Spherical	0.38	0.61	0.623	0.71	0.01
No3	Spherical	0.001	0.41	0.002	0.53	0.13
Po4	Spherical	0.23	0.81	0.284	0.81	0.17
Ni	Circular	0.35	1.04	0.337	0.82	0.13
Cl	Exponential	0.31	1.27	0.244	0.71	0.19
Mo	Circular	0.12	0.83	0.145	0.83	0.17
Th	Circular	0.27	1.27	0.213	0.78	0.13
Cd	Circular	0.01	0.78	0.013	0.79	0.18
Cu	Circular	0.07	1.13	0.062	0.98	0.01
Zn	Circular	0.01	0.87	0.011	0.78	0.19
As	Spherical	0.21	0.63	0.333	0.76	0.06
Cr III	Spherical	0.34	0.99	0.343	0.93	0.015
Cr VI	Spherical	0.21	0.74	0.284	0.85	0.2
Cr Total	Spherical	0.01	0.67	0.015	0.74	0.26

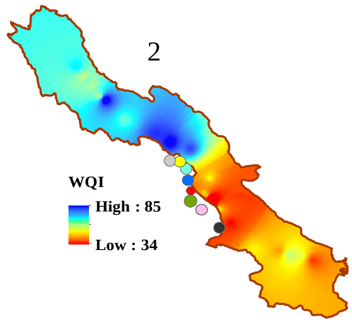
[1] C0/C0+C

برای برآورد کیفیت آب از بین روش‌های زمین آمار از روش کوکریجینگ به‌علت دقت بالاتر استفاده شد. باتوجه به شکل ۹ مشخص می‌شود که روند تغییرات عامل‌های مؤثر در کیفیت آب تقریباً مشابه است. بیشترین تجمع غلظت مربوط به قسمت‌های مرکز و جنوب در مجاورت کارخانه‌های منطقه موردمطالعه می‌باشد. همان‌طورکه در شکل ۹ نشان‌داده شده است، مقادیر کروم، کلر، کادمیوم، مولیبدن، نیترات، فسفات و سختی کل در نزدیکی ایستگاه‌های ۱۶ تا ۲۵ بیشتر از دیگر مناطق می‌باشد که نشان‌دهنده آلودگی آب با این عناصر توسط کارخانه‌های مجاور می‌باشد.



شکل. ۹: نقشه پهنه‌بندی هر یک از عناصر سنگین

درنهایت نقشه پهنه‌بندی آلودگی برای هر یک از پارامترها تهیه شد که در شکل ۱۰ نشان‌داده شده است. در انتها نقشه پهنه‌بندی برای WQI تهیه گردید که در شکل ۱۰ نشان‌داده شده است. باتوجه به شکل ۱۰ مشخص می‌شود که مناطق پایین‌دست (مجاور کارخانه‌ها) دارای مقادیر WQI کمتری نسبت به مناطق بالادست دارد که نشان‌دهنده آلودگی بیشتری می‌باشد. در کل مناطق بالادست منطقه موردمطالعه دارای مقادیر بیشتری نسبت به مناطق پایین‌دست است و در نتیجه دارای آلودگی کمتری می‌باشد.



شکل ۱۰: توزیع مکانی مقادیر WQI در منطقه مورد مطالعه

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که کیفیت آب رودخانه کر به‌شدت تحت تأثیر صنایع مختلفی که در اطراف آن قرار دارند می‌باشد. به‌طوری‌که در بخش‌های مرکزی و جنوبی میزان آلودگی زیاد است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که آلودگی این رودخانه در سال ۲۰۱۶ افزایش چشمگیری در محدوده کارخانه‌ها داشته است؛ به‌طوری‌که مقادیر کلر، کادمیوم، کروم ۳، مس، مولیبدن، فسفات، آرسنیک و نیکل افزایش یافته است که علت آن را می‌توان تراکم مراکز صنعتی ازجمله پتروشیمی، مجتمع گوشت، کارخانه چرمینه، اراضی کشاورزی حاشیه رودخانه، زهکش‌های کشاورزی شبکه آبیاری دانست که منجر به آلودگی بیشتر رودخانه گردیده است. همچنین تخلیه فاضلاب‌های شهری و روستایی منجر به آلودگی رودخانه کر مخصوصاً در ایستگاه‌های ۱۶ تا ۲۵ شده است. همچنین بر اثر مشخص‌نبودن بستر و حریم قانونی این رودخانه، کشت در محدوده حریم رودخانه منجر به افزایش املاح و یون‌های فسفات و نیترات در این رودخانه شده است. شایان‌ذکر است که باتوجه به‌اینکه طبق نتایج تجزیه مؤلفه‌های اصلی عناصر کادمیوم، کلر، نیترات، کروم ۵، کروم کل، فسفات و کروم ۳ مهمترین عناصر آلودگی آب انتخاب شدند. می‌توان نتیجه گرفت که استفاده بیش‌ازحد از کودهای شیمیایی برای اراضی کشاورزی و فعالیت کارخانه‌های پتروشیمی، فاضلاب، کارخانه قند منجر به آلودگی آب منطقه موردمطالعه شده‌اند. بنابراین با تعریف حریم قانونی برای رودخانه و جلوگیری از کشت در این حریم و همچنین جلوگیری از واردشدن پساب این کارخانه‌ها در رودخانه کر می‌توان از آلودگی آب و ازبین‌رفتن آبزیان در منطقه جلوگیری نمود.

منابع

Abrahão, R., Carvalho, M., Da Silva Jr, W. R., Machado, T., Gadelha, C., & Hernandez, M. (2007). Use of index analysis to evaluate the water quality of a stream receiving industrial effluents. Water SA, 33(4). DOI: 10.4314/wsa.v33i4.52940.

Adams, S., Titus, R., Pietersen, K., Tredoux, G., & Harris, C. (2001). Hydrochemical characteristics of aquifers near Sutherland in the Western Karoo, South Africa. Journal of hydrology, 241(1-2), 91-103. https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00370-X .

Andrade, E. M. D., Lopes, F. B., Palácio, H. A. Q., Aquino, D. D. N., & Alexandre, D. M. B. (2010). Land use and groundwater quality: the case of Baixo Acaraú Irrigated Perimeter, Brazil. Revista Ciência Agronômica, 41(2), 208-215. https://doi.org/10.1590/S1806-66902010000200006.

Asadi, S. S., Vuppala, P., & Reddy, M. A. (2007). Remote sensing and GIS techniques for evaluation of groundwater quality in municipal corporation of Hyderabad (Zone-V), India. International journal of environmental research and public health, 4(1), 45-52. https://doi.org/10.3390/ijerph2007010008.

Astel, A., Biziuk, M., Przyjazny, A., & Namieśnik, J. (2006). Chemometrics in monitoring spatial and temporal variations in drinking water quality. Water Research, 40(8), 1706-1716. https://doi.org/10.1016/j.watres.2006.02.018.

Baghvand, A., Nasrabadi, T., Bidhendi, G. N., Vosoogh, A., Karbassi, A., & Mehrdadi, N. (2010). Groundwater quality degradation of an aquifer in Iran central desert. Desalination, 260(1-3), 264-275. https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.02.038.
Bhargava, D. S. (1983). Use of water quality index for river classification and zoning of Ganga River. Environmental Pollution Series B, Chemical and Physical, 6(1), 51-67. https://doi.org/10.1016/0143-148X(83)90029-0.
Boyacioglu, H., & Boyacioglu, H. (2008). Water pollution sources assessment by multivariate statistical methods in the Tahtali Basin, Turkey. Environmental Geology, 54(2), 275-282. https://doi.org/10.1007/s00254-007-0815-6.
Brown, R. M., McClelland, N. I., Deininger, R. A., & Tozer, R. G. (1970). A WATER QUALITY INDEX- DO WE DARE. Works 117, 339–343.
Burgess, G. L. (2015). Effects of Heavy Metals on Benthic Macroinvertebrates in the Cordillera Blanca, Peru., WWU Master Thesis Collection, 414 pp.
Edmunds, W. M., Carrillo-Rivera, J. J., & Cardona, A. (2002). Geochemical evolution of groundwater beneath Mexico City. Journal of Hydrology, 258(1-4), 1-24. https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00461-9.
Haffar, M., Ahmadi, M. R., & Yahyavi, M. (2010). Bioassessment of Kor river (Fars province) in different seasons by use Community Structure Macrobenthic. JOURNAL OF AQUATIC ANIMALS & FISHERIES. 21-34.
Horton, R. K. (1965). An index number system for rating water quality. Journal of Water Pollution Control Federation, 37(3), 300-306.
House, M. A., & Ellis, J. B. (1987). The development of water quality indices for operational management. Water Science and Technology, 19(9), 145-154. https://doi.org/10.2166/wst.1987.0076.
Huang, F., Wang, X., Lou, L., Zhou, Z., & Wu, J. (2010). Spatial variation and source apportionment of water pollution in Qiantang River (China) using statistical techniques. Water research, 44(5), 1562-1572. https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.11.003.
Milovanovic, M. (2007). Water quality assessment and determination of pollution sources along the Axios/Vardar River, Southeastern Europe. Desalination, 213(1-3), 159-173. https://doi.org/10.1016/j.desal.2006.06.022.
Nayek, S., Gupta, S., & Saha, R. N. (2013). Heavy metal distribution and chemical fractionation in water, suspended solids and bed sediments of industrial discharge channel: an implication to ecological risk. Res J Chem Environ, 17(6), 26-33.
Pal, A., Ri, A. K., & Zaidi, J. (2013). Water quality index (WQI) of three historical lakes in Mahoba District of Bundelkhand Region, Uttar Pradesh, India. Asian Journal of Science and Technology, 4(10), 048-053.
Prasanna, M. V., Praveena, S. M., Chidambaram, S., Nagarajan, R., & Elayaraja, A. (2012). Evaluation of water quality pollution indices for heavy metal contamination monitoring: a case study from Curtin Lake, Miri City, East Malaysia. Environmental Earth Sciences, 67(7), 1987-2001. DOI: 10.1007/s12665-012-1639-6.
Ramakrishnaiah, C. R., Sadashivaiah, C., & Ranganna, G. (2009). Assessment of water quality index for the groundwater in Tumkur Taluk, Karnataka State, India. Journal of Chemistry, 6(2), 523-530. https://doi.org/10.1155/2009/757424.
Rao, N. S. (2006). Seasonal variation of groundwater quality in a part of Guntur District, Andhra Pradesh, India. Environmental Geology, 49(3), 413-429. https://doi.org/10.1007/s00254-005-0089-9.
Reza, R., & Singh, G. (2010). Assessment of ground water quality status by using water quality index method in Orissa, India. World Applied Sciences Journal, 9(12), 1392-1397.
Saha, P., & Paul, B. (2019). Assessment of heavy metal toxicity related with human health risk in the surface water of an industrialized area by a novel technique. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, 25(4), 966-987. https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1458595.
Sánchez, E., Colmenarejo, M. F., Vicente, J., Rubio, A., García, M. G., Travieso, L., & Borja, R. (2007). Use of the water quality index and dissolved oxygen deficit as simple indicators of watersheds pollution. Ecological indicators, 7(2), 315-328. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2006.02.005.
Shrestha, S., & Kazama, F. (2007). Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan. Environmental Modelling & Software, 22(4), 464-475. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2006.02.001.
Singh, K. P., Malik, A., & Sinha, S. (2005). Water quality assessment and apportionment of pollution sources of Gomti river (India) using multivariate statistical techniques—a case study. Analytica Chimica Acta, 538(1-2), 355-374. https://doi.org/10.1016/j.aca.2005.02.006.
Varol, S., & Davraz, A. (2015). Evaluation of the groundwater quality with WQI (Water Quality Index) and multivariate analysis: a case study of the Tefenni plain (Burdur/Turkey). Environmental Earth Sciences, 73(4), 1725-1744. DOI: 10.1007/s12665-014-3531-z.
Vega, M., Pardo, R., Barrado, E., & Debán, L. (1998). Assessment of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis. Water research, 32(12), 3581-3592. https://doi.org/10.1016/S0043-1354(98)00138-9.
WHO. Guidelines for Drinking-water Quality. 4th ed. Geneva: World Health Organization; 2011.
Wijesiri, B., Liu, A., He, B., Yang, B., Zhao, X., Ayoko, G., & Goonetilleke, A. (2019). Behaviour of metals in an urban river and the pollution of estuarine environment. Water research, 164, 114911. https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.114911.

Research Article

Investigation and zoning of pollution impact of contaminated water of Kor River

Marziyeh mokarram[1], Saeed Negahban[*2], Vahideh shaykhi[3]

1. Associate Professor of Geomorphology, Faculty of agricultural, Shiraz University, Shiraz, Iran.
2*. Assistant Professor of Geomorphology, Department of Geography, Shiraz University, Shiraz, Iran.
3. M.A in Geohydrology, Department of Earth Sciences, Shiraz University, Shiraz, Iran

Received: 30-03-2020 Final Revised: 09-08-2020 Accepted: 14-11-2020

Abstract

Water pollution has always been one of the environmental issues around the globe. Among the surface and underground waters, running water and rivers are constantly exposed to more pollution due to the crossing of different areas. The purpose of this study was to evaluate the water quality of Kor River in south of Iran and determine the source of contamination by different factories located nearby. Maternal sample in 2016 on 14 physical and chemical parameters, December 3, April and September). 29 stations completed. Principal Component Analysis (PCA) determined the most important parameters affecting water pollution, and WQI and HEI indices determined the contamination status of each site according to the permissible limits in the river water, and finally, using Karjing method. The spatial distribution of elements in adjacent factories was investigated. The results of the measurements using Principal Component Analysis (PCA) showed that PCA introduces 13 components. The average of the lowest WQI index at station 17 was 0.9 ± 5.0 with non-food quality and highest value at station 6 with mean 87.3 ± 2.0 with good drinking status. Results from HEI showed that stations 16 and 17 had the highest values of HEI index indicating the most polluted stations. The results of the HEI showed that the values of As, Cd were much higher than the permissible limit in drinking water. Finally, the results of heavy metal zoning maps using Kriging method showed that the highest concentration accumulation was related to the central and southern parts adjacent to the factories in the study area.

Keywords: Water pollution, principal component analysis, WQI index, HEI index, water quality and heavy elements.

[*] Corresponding Author Email: Snegahban@ shirazu.ac.ir

References

Abrahão, R., Carvalho, M., Da Silva Jr, W. R., Machado, T., Gadelha, C., & Hernandez, M. (2007). Use of index analysis to evaluate the water quality of a stream receiving industrial effluents. Water SA, 33(4). DOI: 10.4314/wsa.v33i4.52940.

Adams, S., Titus, R., Pietersen, K., Tredoux, G., & Harris, C. (2001). Hydrochemical characteristics of aquifers near Sutherland in the Western Karoo, South Africa. Journal of hydrology, 241(1-2), 91-103. https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00370-X .

Andrade, E. M. D., Lopes, F. B., Palácio, H. A. Q., Aquino, D. D. N., & Alexandre, D. M. B. (2010). Land use and groundwater quality: the case of Baixo Acaraú Irrigated Perimeter, Brazil. Revista Ciência Agronômica, 41(2), 208-215. https://doi.org/10.1590/S1806-66902010000200006.

Asadi, S. S., Vuppala, P., & Reddy, M. A. (2007). Remote sensing and GIS techniques for evaluation of groundwater quality in municipal corporation of Hyderabad (Zone-V), India. International journal of environmental research and public health, 4(1), 45-52. https://doi.org/10.3390/ijerph2007010008.

Astel, A., Biziuk, M., Przyjazny, A., & Namieśnik, J. (2006). Chemometrics in monitoring spatial and temporal variations in drinking water quality. Water Research, 40(8), 1706-1716. https://doi.org/10.1016/j.watres.2006.02.018.

Baghvand, A., Nasrabadi, T., Bidhendi, G. N., Vosoogh, A., Karbassi, A., & Mehrdadi, N. (2010). Groundwater quality degradation of an aquifer in Iran central desert. Desalination, 260(1-3), 264-275. https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.02.038.

Bhargava, D. S. (1983). Use of water quality index for river classification and zoning of Ganga River. Environmental Pollution Series B, Chemical and Physical, 6(1), 51-67. https://doi.org/10.1016/0143-148X(83)90029-0.

Boyacioglu, H., & Boyacioglu, H. (2008). Water pollution sources assessment by multivariate statistical methods in the Tahtali Basin, Turkey. Environmental Geology, 54(2), 275-282. https://doi.org/10.1007/s00254-007-0815-6.

Brown, R. M., McClelland, N. I., Deininger, R. A., & Tozer, R. G. (1970). A WATER QUALITY INDEX- DO WE DARE. Works 117, 339–343.

Burgess, G. L. (2015). Effects of Heavy Metals on Benthic Macroinvertebrates in the Cordillera Blanca, Peru., WWU Master Thesis Collection, 414 pp.

Edmunds, W. M., Carrillo-Rivera, J. J., & Cardona, A. (2002). Geochemical evolution of groundwater beneath Mexico City. Journal of Hydrology, 258(1-4), 1-24. https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00461-9.

Haffar, M., Ahmadi, M. R., & Yahyavi, M. (2010). Bioassessment of Kor river (Fars province) in different seasons by use Community Structure Macrobenthic. JOURNAL OF AQUATIC ANIMALS & FISHERIES. 21-34.

Horton, R. K. (1965). An index number system for rating water quality. Journal of Water Pollution Control Federation, 37(3), 300-306.

House, M. A., & Ellis, J. B. (1987). The development of water quality indices for operational management. Water Science and Technology, 19(9), 145-154. https://doi.org/10.2166/wst.1987.0076.

Huang, F., Wang, X., Lou, L., Zhou, Z., & Wu, J. (2010). Spatial variation and source apportionment of water pollution in Qiantang River (China) using statistical techniques. Water research, 44(5), 1562-1572. https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.11.003.

Milovanovic, M. (2007). Water quality assessment and determination of pollution sources along the Axios/Vardar River, Southeastern Europe. Desalination, 213(1-3), 159-173. https://doi.org/10.1016/j.desal.2006.06.022.

Nayek, S., Gupta, S., & Saha, R. N. (2013). Heavy metal distribution and chemical fractionation in water, suspended solids and bed sediments of industrial discharge channel: an implication to ecological risk. Res J Chem Environ, 17(6), 26-33.

Pal, A., Ri, A. K., & Zaidi, J. (2013). Water quality index (WQI) of three historical lakes in Mahoba District of Bundelkhand Region, Uttar Pradesh, India. Asian Journal of Science and Technology, 4(10), 048-053.

Prasanna, M. V., Praveena, S. M., Chidambaram, S., Nagarajan, R., & Elayaraja, A. (2012). Evaluation of water quality pollution indices for heavy metal contamination monitoring: a case study from Curtin Lake, Miri City, East Malaysia. Environmental Earth Sciences, 67(7), 1987-2001. DOI: 10.1007/s12665-012-1639-6.

Ramakrishnaiah, C. R., Sadashivaiah, C., & Ranganna, G. (2009). Assessment of water quality index for the groundwater in Tumkur Taluk, Karnataka State, India. Journal of Chemistry, 6(2), 523-530. https://doi.org/10.1155/2009/757424.

Rao, N. S. (2006). Seasonal variation of groundwater quality in a part of Guntur District, Andhra Pradesh, India. Environmental Geology, 49(3), 413-429. https://doi.org/10.1007/s00254-005-0089-9.

Reza, R., & Singh, G. (2010). Assessment of ground water quality status by using water quality index method in Orissa, India. World Applied Sciences Journal, 9(12), 1392-1397.

Saha, P., & Paul, B. (2019). Assessment of heavy metal toxicity related with human health risk in the surface water of an industrialized area by a novel technique. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, 25(4), 966-987. https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1458595.

Sánchez, E., Colmenarejo, M. F., Vicente, J., Rubio, A., García, M. G., Travieso, L., & Borja, R. (2007). Use of the water quality index and dissolved oxygen deficit as simple indicators of watersheds pollution. Ecological indicators, 7(2), 315-328. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2006.02.005.

Shrestha, S., & Kazama, F. (2007). Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan. Environmental Modelling & Software, 22(4), 464-475. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2006.02.001.

Singh, K. P., Malik, A., & Sinha, S. (2005). Water quality assessment and apportionment of pollution sources of Gomti river (India) using multivariate statistical techniques—a case study. Analytica Chimica Acta, 538(1-2), 355-374. https://doi.org/10.1016/j.aca.2005.02.006.

Varol, S., & Davraz, A. (2015). Evaluation of the groundwater quality with WQI (Water Quality Index) and multivariate analysis: a case study of the Tefenni plain (Burdur/Turkey). Environmental Earth Sciences, 73(4), 1725-1744. DOI: 10.1007/s12665-014-3531-z.

Vega, M., Pardo, R., Barrado, E., & Debán, L. (1998). Assessment of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis. Water research, 32(12), 3581-3592. https://doi.org/10.1016/S0043-1354(98)00138-9.

WHO. Guidelines for Drinking-water Quality. 4th ed. Geneva: World Health Organization; 2011.

Wijesiri, B., Liu, A., He, B., Yang, B., Zhao, X., Ayoko, G., & Goonetilleke, A. (2019). Behaviour of metals in an urban river and the pollution of estuarine environment. Water research, 164, 114911. https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.114911.