



دانشگاه گیلان، دانشکده منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و سوم، شماره چهارم، ۱۳۹۵
<http://jwsc.gau.ac.ir>

تحلیل همبستگی کانونی: ارتباط پراسنجه‌های کیفی و فلزهای سنگین نمونه‌های آب شرب (استان گلستان - رامیان)

فهیمة خاندوزی^۱، عبدالحسین پیری‌زنگنه^۲ و عباسعلی زمانی^{۳*}

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم محیط زیست، دانشگاه زنجان، آستاد گروه علوم محیط زیست، دانشگاه زنجان،

^۲ استادیار گروه علوم محیط زیست، دانشگاه زنجان

تاریخ دریافت: ۹۴/۸/۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۲/۱۹

چکیده

سابقه و هدف: آلودگی آب توسط آلاینده‌های شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی در تمام دنیا به‌عنوان یکی از مشکل‌های مدیریت منابع آب در نظر گرفته می‌شود. یک موضوع مهم در پایش کیفیت منابع‌های آب تشخیص، تفکیک و منبع‌یابی پراسنجه‌های آلاینده فیزیکی و شیمیایی و وابستگی بین آن‌ها است. استفاده از روش‌های آماری برای تحلیل داده‌های به‌دست آمده از پایش کیفی آب می‌تواند برای رسیدن به این هدف مفید باشد. فلزهای سنگین به سبب تجزیه‌ناپذیری و ویژگی تجمع‌پذیری مهم‌ترین آلاینده در منابع آبی هستند. فلزهای سنگین از منابع انسان‌زاد و طبیعی وارد منابع آبی می‌شوند. **مواد و روش‌ها:** در این پژوهش از روش‌های آماری چندمتغیره برای ارزیابی کیفیت آب شرب استفاده شده است. از "تحلیل مؤلفه‌های اصلی" در نمایان ساختن ویژگی‌های اصلی آب و از "تحلیل آماری همبستگی کانونی" برای پیدا کردن وابستگی بین پراسنجه‌های کیفی و فلزهای سنگین استفاده شد. نمونه‌برداری از منابع آب زیرزمینی شهرستان رامیان در استان گلستان (۲۳ منبع آب شرب روستایی) در سال ۱۳۹۰ انجام گرفت. پراسنجه‌های مورد استفاده در این مطالعه شامل: دما، هدایت الکتریکی، پی‌اچ، آمونیاک، فلوراید، سولفات، نیترات، نیتريت، فسفات، بی‌کربنات و فلزهای سنگین روی، کادمیم، سرب، مس، نیکل و کبالت می‌باشند. مقدار فلزهای سنگین در نمونه‌های آب به روش ولتامتری در آزمایشگاه تحقیقاتی علوم محیط زیست دانشگاه زنجان اندازه‌گیری شد. دما، هدایت الکتریکی در محل نمونه‌برداری به‌وسیله دستگاه قابل حمل اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: نتایج به‌دست آمده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی، شش مؤلفه را مشخص کرد که ۷۹/۶۷ درصد واریانس کل را به خود اختصاص می‌دهند و بیانگر ویژگی‌های کیفی تأثیرگذار آب هستند. در تحلیل همبستگی کانونی نیز سه دسته کانونی با داشتن ضریب‌های همبستگی ۰/۹۷۳، ۰/۷۹۵ و ۰/۶۲۴ نشان‌دهنده وجود وابستگی بالایی بین متغیرهای مورد بررسی بودند. بنابراین از دسته "متغیرهای پیش‌بینی‌کننده" ویژگی‌های هدایت الکتریکی، بی‌کربنات، نیتريت، پی‌اچ، نیترات و فسفات و از دسته "متغیرهای پاسخ" فلزهای روی، کبالت، کادمیم و نیکل بیش‌ترین اهمیت را در بین سایر متغیرهای مورد بررسی برای ارزیابی کیفیت آب شرب در منطقه مورد مطالعه دارا می‌باشند.

* مسئول مکاتبه: zamani@znua.ac.ir

نتیجه‌گیری: نتایج تحلیل همبستگی کانونی نشان داد که بین دو گروه متغیرهای کیفی و فلزی مورد بررسی وابستگی معنی‌داری وجود دارد که ممکن است بتوان با توجه به پراسنجه‌های انتخاب شده به فعالیت‌های انسانی به‌ویژه فعالیت‌های کشاورزی در منطقه نسبت داد. اطلاعات به‌دست آمده می‌تواند برای بهینه‌سازی برنامه پایش و مدیریت کیفیت آب مورد استفاده قرار گیرد. با اندازه‌گیری پراسنجه‌های وابسته نیازی به اندازه‌گیری تمام ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب وجود ندارد.

واژه‌های کلیدی: کیفیت آب، تحلیل مؤلفه‌های اصلی، آنالیز چندمتغیره، همبستگی کانونی

مقدمه

در الگوهای اقتصاد کنونی جهان، توسعه پایدار اقتصادی و اجتماعی هر جامعه به حفظ آب در دسترس، وابسته می‌باشد (۳۰). افزایش جمعیت و نیازهای اجتماعی، گسترش صنعت و به‌ویژه کشاورزی صنعتی سبب افزایش تجمع آنیون‌ها، فلزهای سنگین و مواد سمی دیگر در آب و خاک شده است (۲۰). در کشورهای با اقلیم خشک و نیمه‌خشک مانند ایران آب‌های زیرزمینی به‌عنوان یک منبع مهم و قابل اعتماد برای مصرف‌های مختلف انسان مطرح می‌باشد. کیفیت آب‌های زیرزمینی تحت تأثیر عملکردهای طبیعی و فعالیت‌های انسانی قرار می‌گیرد، بنابراین ارزیابی مناسب آب‌های زیرزمینی برای کاربری‌های مختلف، نیازمند درک دقیق از ترکیب شیمیایی آن است (۱۲، ۱۸).

حضور فلزهای سنگین در آب یک چالش مهم محیط زیستی در سراسر جهان می‌باشد و تا حد زیادی در اثر شتاب فعالیت‌های بشری افزایش پیدا کرده است (۲۱). منبع این آلودگی‌ها سوخت‌های فسیلی، استخراج معادن، ذوب فلزها، فاضلاب‌های شهری و پساب‌های صنعتی و فعالیت‌های کشاورزی می‌باشد. این فلزها از راه زنجیره غذایی به بدن موجودات زنده و انسان وارد می‌شوند و خطرهای جدی برای سلامت آنان به همراه دارند (۷، ۱۱). برای درک بهتر کیفیت آب، ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی مختلف آن مانند دما، هدایت الکتریکی، پی‌اچ،

آمونیاک، فلوراید، سولفات، نترات، نیتريت، فسفات، بی‌کربنات سنجش می‌شوند. تحلیل این حجم از ویژگی‌ها بسیار وقت‌گیر و مشکل خواهد بود اما بسیاری از این ویژگی‌ها با هم وابستگی دارند و می‌توان ترکیبی از آن‌ها را به‌عنوان یک پراسنجه اصلی در نظر گرفت. یکی از مسایل مهم در پایش کیفیت آب، تشخیص پراسنجه‌های اصلی و تفکیک پراسنجه‌های فیزیکی و شیمیایی و وابستگی بین آن‌ها می‌باشد. این امر از آن سبب مهم است که پراسنجه‌های فیزیکی به‌طور معمول ناشی از شرایط طبیعی و اقلیم حوضه می‌باشند، در حالی که پراسنجه‌های شیمیایی بیش‌تر متأثر از منابع انسان ساخت می‌باشند. بنابراین اگر همبستگی بین این دو دسته از پراسنجه‌ها زیاد باشد، می‌توانند به‌طور طبیعی از منبع یکسانی ناشی شده باشند. استفاده از روش‌های آزمایشگاهی برای یافتن این ارتباط، وقت‌گیر و هزینه‌بر خواهد بود و استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره گزینه‌ی مناسبی برای این کار است (۲۴). متغیرهای فیزیکی کیفیت آب، آن دسته از ویژگی‌هایی هستند که به‌وسیله حس‌های بینایی، لامسه، چشایی و بویایی قابل تشخیص هستند. مواد معلق جامد، کدورت، رنگ، طعم، بو و درجه حرارت در این گروه قرار دارند. کیفیت شیمیایی آب در وابستگی مستقیم با ویژگی انحلال‌پذیری آن می‌باشد. مقدار کل جامدات محلول، قلیائیت، سختی، فلوراید‌ها، فلزهای سنگین، مواد آلی و مواد مغذی از متغیرهای شیمیایی مهم می‌باشد. استفاده از روش‌های

آماري چندمتغیره برای تجزیه و تحلیل داده‌های محیط زیستی در سال‌های اخیر بسیار فراگیر مورد توجه ویژه قرار گرفته است. به‌عنوان نمونه از روش‌های مختلف آماری مانند تحلیل مؤلفه‌های اصلی (Principle Component Analysis) و همبستگی کانونیک (Canonical Correlation Analysis) در تفسیر داده‌های پیچیده و جهت شناخت بهتر کیفیت آب و وضعیت محیط زیستی سیستم‌های مورد مطالعه، کمک گرفته شده و با شناسایی عامل‌های احتمالی زمانی و مکانی ناشی از منابع آلاینده انسانی و طبیعی ابزار ارزشمندی را برای مدیریت قابل اطمینان منابع آب فراهم آورده است (۱۴، ۳۲). استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره تحلیل همبستگی کانونیک (CCA)، تحلیل فاکتوری (Factor Analysis) و تحلیل خوشه‌ای (Cluster Analysis) به تفسیر بهتر داده‌های کیفیت آب کمک می‌کند (۸).

بارنتون و هی (۱۹۹۶)، تلاش کردند تا با استفاده از روش تحلیل همبستگی کانونی میانگین هوای سطحی در هاوایی و آلاسکا را پیش‌بینی کنند (۳). استاتروپولوس و همکاران (۱۹۹۸)، در پژوهشی جهت تخمین رابطه بین داده‌های مربوط به آلودگی هوا و هواشناسی در شهر آتن روش تحلیل همبستگی کانونی و تحلیل مؤلفه‌های اصلی را به‌کار بردند. نتایج نشان داد که وابستگی اصلی بین آلودگی و رطوبت بالا به همراه باد با سرعت کم بود (۲۵). لارسن و همکاران (۲۰۰۰)، در یک دوره زمانی ۱۱ ساله، از تحلیل همبستگی کانونی برای بررسی وابستگی بین پروفیل‌های ساحلی و امواج در منطقه داک در کارولینای شمالی استفاده نمودند (۱۳). متقی گلشن و همکاران (۲۰۰۹) الگوهای همبستگی دما، رطوبت و بارندگی را در ایران با استفاده از تحلیل همبستگی کانونی مورد بررسی قرار دادند. نتایج به‌دست آمده نشان داد که در بررسی رابطه بین دما و بارندگی نخستین عامل همبستگی ناشی از اقلیم آب و هوایی

ایستگاه‌ها و دومین عامل همبستگی ناشی از توپوگرافی آن‌ها می‌باشد (۱۷). وارول (۲۰۱۰) نیز روش‌های آماری چندمتغیره را برای ارزیابی آلودگی فلزهای سنگین در رسوبات مورد استفاده قرار داد (۲۷). رضانی و هاشمی (۲۰۱۱) از روش آماری تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای تعیین مهم‌ترین ویژگی‌های تأثیرگذار بر کیفیت آب رودخانهی زرینه‌رود و رتبه‌بندی کیفی ایستگاه‌های پایش استفاده نمودند. مقدارهای ویژه به‌دست آمده نشان داد که شش مؤلفه نخست ۷۴ درصد تغییرات بین ایستگاه‌ها را توجیه می‌کنند (۲۳). وصالی ناصح و همکاران (۲۰۱۲)، نیز از این روش برای بررسی وابستگی بین پراسنجه‌های آلاینده فیزیکی و شیمیایی تالاب انزلی در دو فصل کم‌آبی و پرآبی بهره گرفتند. نتایج بیانگر غلظت زیاد فلزهای سنگین به‌ویژه در نمونه‌های رسوب بودند. هم‌چنین یافته‌های حاصل از CCA نیز بیانگر وجود وابستگی قوی بین دو دسته میزان عناصر در آب و رسوب بود (۲۹). در پژوهشی دیگر عبدالآبادی و همکاران (۲۰۱۳)، با استفاده از روش‌های تحلیل آماری چندمتغیره پراسنجه‌های کیفی آب رودخانه اترک را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که وابستگی قوی بین دو مجموعه از پراسنجه‌های فیزیکی و شیمیایی برقرار است و از ۵ دسته کانونی حاصل شده تنها دو دسته نخست دارای اعتبار آماری بر مبنای p-Value می‌باشند (۱). میرزایی و همکاران (۲۰۱۳)، کیفیت فیزیکی و شیمیایی آب رودخانه‌های استان مازندران را با استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره مورد آنالیز قرار دادند. نتایج گروه‌بندی ایستگاه‌ها، کیفیت نسبی آب رودخانه‌ها در نواحی غربی استان را کم‌تر نمایش داد و وضعیت نسبی برخی از رودخانه‌ها را بحرانی برآورد کرد (۱۶). مطالعه چان و همکاران (۲۰۱۳) در استفاده از تحلیل همبستگی کانونی و مؤلفه‌های اصلی در پایش کیفیت آب مخزن سد نشان داد که میزان هدایت

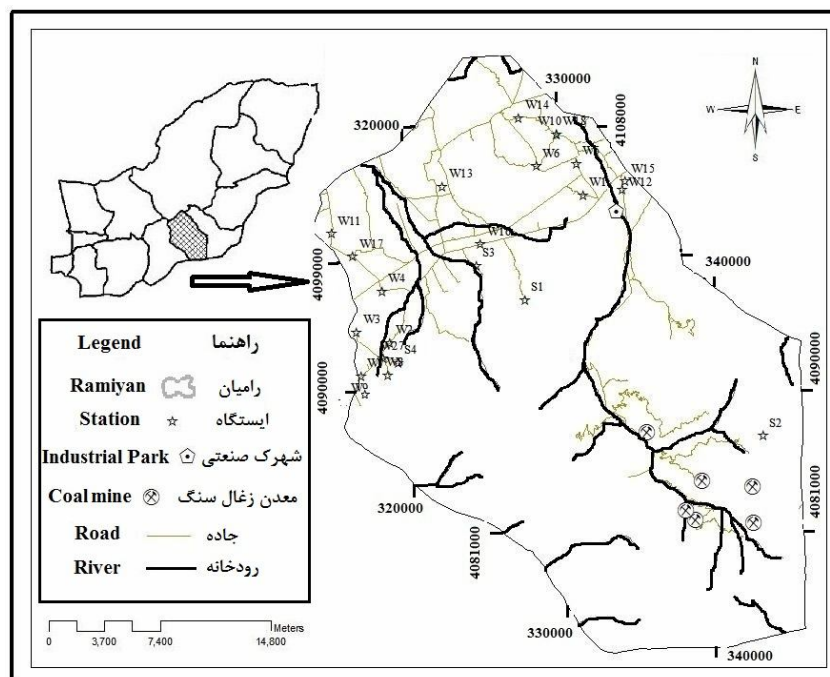
فلزهای سنگین و پراسنجه‌های کیفی آب ماتریس داده‌های ورودی را تشکیل می‌دهد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه: منطقه مورد مطالعه در شمال کشور و در یکی از شهرستان‌های استان گلستان به نام رامیان است که در فاصله ۷۵ کیلومتری شرق مرکز استان (گرگان) در محدوده‌ی جغرافیایی $53^{\circ}54'$ تا $55^{\circ}14'$ طول شرقی و $36^{\circ}46'$ تا $37^{\circ}8'$ عرض شمالی قرار گرفته است. این شهرستان از نظر طبیعی به دو قسمت جلگه‌ای و کوهستانی تقسیم می‌شود و وسعتی در حدود ۷۸۰ کیلومتر مربع دارد (شکل ۱) (۱۰). استان گلستان به دلیل بارش‌های جوی مناسب از سفره‌های آب زیرزمینی سرشاری بهره‌مند است. حجم آب‌های سطحی و زیرزمینی استان بیش از ۲۴۰۰ میلیون متر مکعب برآورد شده است که حدود نیمی از آن را آب‌های زیرزمینی تشکیل می‌دهد.

الکتریکی و ترکیب‌های کلر وابستگی زیادی در کیفیت آب دارند (۴).

در مدیریت کیفیت آب زیرزمینی چالش اصلی توزیع مکانی پراسنجه‌های شیمیایی در منابع مختلف آب می‌باشد. برای نمونه در پساب‌های ناشی از فعالیت‌های کشاورزی، حضور مقادیرهای زیاد نیترات و فسفات، با غلظت فلزهای سنگین وابستگی دارند. از آن‌جا که ترکیب ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب زیرزمینی شاخصی برای بررسی تناسب آن به عنوان یک منبع آب برای مصرف‌های مختلف شرب، کشاورزی، آبیاری و صنعت می‌باشد، در این مطالعه به منظور بررسی سلامت و کیفیت آب زیرزمینی و تعیین وابستگی بین پراسنجه‌های کیفی آب و غلظت فلزهای سنگین در آب و تشخیص منابع مشترک آلاینده آن از روش‌های تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تحلیل کانونی استفاده شده است. این تحلیل‌ها با استفاده از نرم‌افزار STATISTICA 8 و بر اساس ماتریس همبستگی انجام گرفت و میانگین غلظت



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های پایش.

Figure 1. Location of the study area and groundwater sampling stations.

جمع‌آوری و نگهداری نمونه‌ها: نمونه‌برداری از ۲۳ منبع آب شرب (چاه و چشمه) در منطقه مورد مطالعه انجام گرفت. برای نمونه‌برداری و سنجش فلزهای سنگین از ظروف پلی‌اتیلن که از پیش با نیتریک اسید غلیظ شستشو داده شده بودند استفاده گردید. به‌منظور جلوگیری از ترسیب فلزهای سنگین یک میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ به ۱۰۰ میلی‌لیتر نمونه آب اضافه گردید. روش نمونه‌برداری و نگهداری نمونه‌ها طبق توصیه‌های کتاب استاندارد آزمایش‌های آب و فاضلاب صورت گرفت (۲). تهیه استانداردهای هر فلز با رقیق‌سازی مواد تیترازول (مرک) با غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر انجام گرفت. اندازه‌گیری غلظت فلزهای سنگین به کمک دستگاه پلاروگراف Metrohm 797 و با استفاده از روش‌های موجود در دستگاه (Application Bulletin Metrohm) انجام گردید (۳۱). داده‌های مربوط به پراسنجه‌های کیفی آب شامل ۱۰ پراسنجه فیزیکی و شیمیایی، از سازمان آب و فاضلاب روستایی استان گلستان تهیه گردید.

روش اجرای پژوهش: کاربرد روش‌های آماری در رده‌بندی آب‌های زیرزمینی روز به روز گسترده‌تر می‌شود. روش‌های آماری مانند تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تحلیل همبستگی کانونی می‌توانند ابزارهای قدرتمندی برای تحلیل داده‌های هیدروشیمی باشند. در این پژوهش از این دو روش به‌منظور بررسی داده‌های کیفیت آب استفاده گردید و نمونه‌ها به گروه‌های متمایز و معنی‌دار از نظر آماری، تقسیم شدند. در این پژوهش از نرم‌افزار آماری STATISTICA 8 استفاده شده است (۲۲).

تحلیل مؤلفه‌های اصلی: برای تشخیص و گروه‌بندی ویژگی‌های مختلف آب از تحلیل آماری مؤلفه‌های اصلی استفاده شد. تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی یک روش بسیار قدرتمند به‌منظور کاهش ابعاد داده‌ها و استخراج تعداد کم‌تری از عامل‌های پنهان برای

تحلیل وابستگی بین متغیرها می‌باشد (۲۶). این کاهش با تبدیل مجموعه داده‌ها به یک مجموعه جدید از متغیرها (مؤلفه‌های اصلی)، به‌دست می‌آید که با هم همبستگی قابل‌توجهی دارند و موضوع آن‌ها به هم نزدیک است. در نتیجه کل متغیرها به چند گروه خلاصه می‌شوند و هر گروه یک مؤلفه اصلی در نظر گرفته می‌شود (۵، ۱۵). رابطه زیر روش تعیین مؤلفه‌های اصلی را نشان می‌دهد:

$$PC_{ij} = \sum_{k=1}^m w_{ik} x_{kj} \quad (1)$$

که در آن، PC_{ij} مؤلفه i ام برای جزء j ام است. w_{ik} بار متغیر k ام در جزء i ام می‌باشد و x_{kj} ارزش استاندارد شده متغیر k ام برای مشاهده j ام است (۲۸). قضاوت نهایی در مورد متغیرهای مورد استفاده در این قسمت و نقش آن‌ها در عامل‌ها، از طریق مقدار کل واریانس تبیین‌شده متغیرها مشخص می‌شود. مقدار ویژه هر عامل نسبتی از واریانس کل متغیرهاست که توسط آن عامل تبیین می‌شود. بنابراین مقدارهای ویژه اهمیت اکتشافی عامل‌ها را در وابستگی با متغیرها نشان می‌دهند (۹).

تحلیل همبستگی کانونی: تحلیل همبستگی کانونی یکی از متداول‌ترین روش‌های تحلیل چندمتغیره بوده و هدف آن تعیین ارتباط خطی بین متغیرهای چندبعدی است. در بسیاری از مطالعه‌های آماری، متغیرها را می‌توان به دو دسته متغیرهای پیش‌بینی‌کننده (مستقل) و متغیرهای پاسخ (وابسته) طبقه‌بندی نمود. تحلیل همبستگی کانونی روشی است که برای بررسی وابستگی بین دو گروه متغیر شامل ماتریس X و Y مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای نمونه ماتریس همبستگی کانونی برای تفسیر ارتباط بین این دو گروه متغیرهای پاسخ (پراسنجه‌های فیزیکی) و متغیرهای پیش‌بینی (پراسنجه‌های شیمیایی) به‌کار گرفته شده است و از این روش به‌عنوان ابزاری برای کاهش

در این حالت مقادیرهای ویژه $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3 > \dots > \lambda_r$ عبارت از مربع مقادیرهای همبستگی بین دسته متغیرهای کانونی می‌باشند. بردارهای ویژه f_i ضریب متغیرهای Y را برای دسته متغیرهای کانونی به دست می‌دهد. ضریب U_i متغیر کانونی i ام برای متغیرهای X ، توسط رابطه زیر به دست می‌آیند:

$$g_i = R_{xx}^{-1} R_{xy} f_i \quad (5)$$

با داشتن f_i و g_i می‌توان U و V را به دست آورد (۶، ۱۹).

نتایج و بحث

تعیین پراسنجه‌های اصلی: ۱۶ پراسنجه کیفی آب در این پژوهش با استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای تعیین پراسنجه‌های مهم مورد بررسی قرار گرفتند. نخست لازم است که همبستگی بین پراسنجه‌ها بررسی گردد (جدول ۱).

در استخراج مؤلفه‌های اصلی از یک مجموعه P متغیری که از طریق دوران به دست می‌آید، نخستین مؤلفه اصلی بیش‌ترین افراد جامعه را از نظر P متغیر نشان می‌دهد. به عبارت دیگر اگر این تابع دارای بزرگ‌ترین واریانس باشد آن را مؤلفه اصلی می‌نامند. در این مطالعه به منظور ساده‌سازی این ماتریس، از روش وریمکس نرمال‌شده در تحلیل فاکتوری بر اساس سه مقدار ویژه بزرگ‌تر از یک استفاده شد. همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، واریانس مطابق با عامل‌های جدیدی است که به طور متوالی استخراج شده‌اند. همچنین این نتایج به عنوان درصدی از واریانس کل بیان می‌شوند. نتایج به دست آمده از تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی نشان می‌دهد که شش مؤلفه با داشتن مقدار ویژه بیش از یک به عنوان مهم‌ترین مؤلفه‌های توجیه‌کننده واریانس در نظر گرفته شده‌اند و در مجموع ۷۹/۶۷ درصد از واریانس کل را تبیین می‌کنند.

حجم اطلاعات مورد بررسی در محاسبات، استفاده می‌شود (۱). تحلیل همبستگی کانونی، مجموعه‌ای از متغیرهای کانونی a را برای دسته متغیرهای X و مجموعه‌ای از متغیرهای کانونی b را برای دسته متغیرهای Y ، مشابه با تحلیل عاملی ایجاد می‌کند. هدف اصلی CCA ساختن دو گروه جدید از مؤلفه‌ها به صورت $U=aX$ و $V=bY$ است که ترکیبی خطی از متغیرهای اولیه می‌باشند. در این روش مقادیرهای a و b طوری انتخاب می‌شوند که U و V بیش‌ترین همبستگی را با یکدیگر داشته باشند. این روش تا به دست آوردن m مجموعه دسته از متغیرهای کانونی ادامه پیدا می‌کند که m کمینه تعداد متغیرهای گروه‌های مورد بررسی است. برای یافتن a و b باید ماتریس همبستگی بین متغیرهای X و Y تشکیل گردد. فرض کنید که ماتریس همبستگی $(p+q) \times (p+q)$ بین متغیرهای X_1 تا X_p مطابق شکل ۲ برقرار باشد که از نمونه‌گیری مورد بررسی p پراسنجه فیزیکی و q پراسنجه شیمیایی به دست آمده است:

$$XY = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1mx} & y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1my} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2mx} & y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2my} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nmx} & y_{n1} & y_{n2} & \dots & y_{nmy} \end{pmatrix} \quad (2)$$

ماتریس همبستگی از ماتریس زیر تشکیل شده است:

$$R(xy) = \begin{pmatrix} R_{xx} & R_{xy} \\ R_{yx} & R_{yy} \end{pmatrix} \quad (3)$$

در واقع این ماتریس از روی نمونه‌ای که در آن متغیرها اندازه‌گیری شده‌اند محاسبه می‌گردد و با حل رابطه زیر می‌توان مقدار ویژه آن را محاسبه کرد:

$$(R_{yx} R_{yy}^{-1} R_{xy} R_{xx}^{-1} - \lambda I) f_i = 0 \quad (4)$$

جدول ۱- ماتریس همبستگی غلظت ویژگی های کیفی و فلزهای سنگین در نمونه های آب.

Table 1. Correlation matrix of the quality parameters and heavy metal concentrations.

Co	Ni	Cu	Pb	Cd	Zn	PO ₄ ³⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	F ⁻	NH ₃	EC	pH	T	دما
																Temperature (T)
															1	pH
														1	0.836**	هدایت الکتریکی
													1	0.540**	0.287	EC
													1	-0.453*	-0.241*	آمونیاک
													1	0.147	-0.283	NH ₃
													1	0.003	-0.283	فلوراید
													1	0.326	-0.281	F ⁻
													1	0.553**	0.281	سولفات
													1	0.366	0.131	SO ₄ ²⁻
													1	-0.060	0.447*	بی کربنات
													1	0.240	-0.01	HCO ₃ ⁻
													1	0.125	0.044	نیترات
													1	0.646**	0.106	NO ₃ ⁻
													1	0.470*	0.265	نیتریت
													1	0.000	0.220	NO ₂ ⁻
													1	0.021	0.365	فسفات
													1	0.263	0.220	PO ₄ ³⁻
													1	-0.114	-0.312	روی
													1	0.297	-0.312	Zn
													1	-0.246	0.257	کادمیوم
													1	0.082	0.257	Cd
													1	-0.060	0.309	سرب
													1	0.216	0.309	Pb
													1	0.291	-0.061	مس
													1	0.027	-0.061	Cu
													1	-0.172	0.027	نیکل
													1	-0.311	0.027	Ni
													1	-0.011	-0.152	کبالت
													1	0.247	-0.009	Co
													1	-0.160	-0.086	Co

* , ** Significant at P<0.05 and P<0.01, Respectively. * و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال 5 و 1 درصد.

جدول ۲- مقادارهای ویژه و ویژگی‌های تعیین شده در رابطه با هر مؤلفه در نمونه‌های آب.

Table 2. Loadings of experimental variables on the first six rotated PCs for complete data set.

مؤلفه ششم PC6	مؤلفه پنجم PC5	مؤلفه چهارم PC4	مؤلفه سوم PC3	مؤلفه دوم PC2	مؤلفه اول PC1	پراسنجه‌های کیفی Quality Parameters
0.022	0.439	-0.279	0.653	0.352	0.123	دما Temperature
0.010	0.533	-0.240	0.518	0.277	0.438	اسیدیته pH
0.242	0.269	0.034	0.027	0.147	0.860	هدایت الکتریکی Electricity current
-0.364	0.038	0.392	-0.342	-0.203	-0.400	آمونیاک Ammonia
0.048	0.203	-0.302	-0.776	-0.166	0.099	فلوراید Fluoride
0.221	0.732	-0.038	-0.199	0.025	0.377	سولفات Sulphate
0.174	0.152	0.072	0.058	0.029	0.878	بی‌کربنات Bicarbonate
0.906	-0.077	-0.037	-0.091	-0.017	0.107	نترات Nitrate
0.755	0.174	0.231	0.134	-0.065	0.426	نیتريت Nitrite
-0.122	0.840	0.169	0.046	-0.046	0.048	فسفات Phosphate
-0.331	-0.308	0.157	-0.595	0.510	0.014	روی Zinc
-0.049	-0.076	-0.117	0.078	0.878	0.002	کادمیوم Cadmium
0.037	0.137	0.229	0.052	0.796	0.159	سرب Lead
0.039	-0.044	0.756	0.143	-0.145	0.428	مس Copper
-0.092	-0.173	0.019	0.611	-0.342	0.428	نیکل Nickel
-0.091	-0.166	-0.757	0.047	-0.398	0.156	کبالت Cobalt
1.032	1.472	1.654	2.010	2.301	4.277	مقدار ویژه Eigenvalue
6.45	9.20	10.34	12.56	14.38	26.73	واریانس کل (%) % Total variance
79.67	73.22	64.01	53.67	41.11	26.73	واریانس تجمعی % Cumulative variance

از شش مؤلفه ذکر شده ویژگی‌های هدایت الکتریکی و بی‌کربنات مربوط به مؤلفه اول با ۲۶/۷۳ درصد واریانس، کادمیم مربوط به مؤلفه دوم با ۱۴/۳۸ درصد واریانس، آمونیاک مربوط به مؤلفه سوم با ۱۲/۵۶ درصد واریانس، مس و کبالت مربوط به مؤلفه چهارم با ۱۰/۳۴ درصد واریانس، سولفات و فسفات مربوط به مؤلفه پنجم با ۹/۲۰ درصد واریانس کل و در نهایت نیترات و نیتريت مربوط به مؤلفه ششم را با ۶/۴۵ درصد واریانس کل، به‌عنوان مهم‌ترین ویژگی‌های تأثیرگذار بر کیفیت آب شناخته شدند.

وابستگی بین پراسنجه‌های کیفی آب و فلزهای سنگین: در این پژوهش از تحلیل همبستگی کانونی به‌منظور تشخیص وابستگی بین گروه متغیرهای پیش‌بینی‌کننده که شامل پراسنجه‌های دما، پی‌اچ، هدایت الکتریکی، آمونیاک، فلوراید، سولفات، فسفات، بی‌کربنات، نیتريت و نیترات و دسته متغیرهای پاسخ شامل فلزهای سنگین روی، کادمیم، سرب، مس، نیکل و کبالت، استفاده گردید. گروه‌بندی پراسنجه‌هایی مورد مطالعه در کار حاضر بر اساس نوع ویژگی فیزیکی و آنیون‌های موجود در آب (گروه پیش‌بینی‌کننده) و کاتیون‌های فلزی سنگین (پاسخ) انجام شد. اندازه‌گیری ویژگی‌های گروه پیش‌بینی‌کننده در بیش‌تر پایش‌های کیفیت آب روزانه انجام می‌شود اما پایش گروه انتخاب شده به‌عنوان پاسخ به‌صورت اتفاقی و سفارشی انجام می‌گیرد. خروجی حاصل از این تحلیل شامل مقدار همبستگی بین متغیرهای کانونی (R)، مقدار سطح معنی‌دار، ضریب تأثیر هر پراسنجه و نتایج آزمون مربع‌خی^۱ را به ما می‌دهد که بر اساس آن می‌توان در مورد فرض صفر یا عدم وابستگی بین متغیرهای کانونی، بحث کرد. تعداد دسته‌های کانونی برابر با تعداد متغیرهای پاسخ (متغیرهای کمینه) می‌باشد. برای بررسی وابستگی بین

متغیرهای پیش‌بینی‌کننده و پاسخ از ضریب همبستگی استفاده گردید. نتایج (جدول ۳) نشان می‌دهد که از میان ۶ گروه کانونی به‌دست آمده از این تحلیل تنها گروه‌های کانونی اول، دوم و سوم به‌ترتیب با ضریب‌های همبستگی ۰/۹۷۳، ۰/۷۹۵ و ۰/۶۲۴ مورد بحث قرار می‌گیرند.

با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان بیان نمود که گروه پراسنجه‌های کیفی آب از همسانی بالایی با گروه فلزهای سنگین برخوردار هستند. در واقع این بدان معناست که بین دو دسته از پراسنجه‌های کیفی و فلزهای سنگین وابستگی قوی وجود دارد. بنابراین قضاوت بر مبنای سه دسته متغیرهای کانونیک فوق بیانگر شباهت بالای دو دسته پراسنجه‌های مورد بررسی دارد و می‌تواند مبنای این نتیجه‌گیری باشد که به احتمال زیاد این دو دسته پراسنجه از منابع یکسانی سرچشمه می‌گیرند. سه دسته دیگر با توجه به ضریب‌های همبستگی پایین از اهمیت کم‌تری برخوردار هستند و از بحث بیش‌تر در مورد آن‌ها صرف‌نظر می‌گردد. بررسی بیش‌تر نتایج به‌دست آمده از تحلیل همبستگی کانونی نشان می‌دهد که گروه پراسنجه‌های کیفی آب در دسته کانونی نخست بیش‌تر تحت تأثیر هدایت الکتریکی، بی‌کربنات، نیتريت و فلز سنگین روی می‌باشند. در دسته دوم پی‌اچ و هدایت الکتریکی از دسته متغیرهای پیش‌بینی‌کننده و کبالت از دسته متغیرهای پاسخ، بیش‌ترین میزان تأثیر را دارند و به همین ترتیب برای دسته کانونی سوم پراسنجه‌های نیترات، فسفات و فلزهای کادمیم، نیکل و کبالت این دسته را بیش‌تر تحت تأثیر قرار می‌دهند. بقیه پراسنجه‌ها در دسته‌های کانونی وابستگی مهمی را نشان ندادند.

در مطالعه‌ای که توسط راثی‌نظامی و همکاران بر روی رودخانه کرخه انجام شد تحلیل مؤلفه‌های اصلی نشان داد که تمام ویژگی‌های مورد مطالعه مهم می‌باشند. تحلیل همبستگی کانونی نشان داد که سه

1- Chi-square

متغیر فیزیکی کدورت، اکسیژن محلول و کل ذرات
معلق از ویژگی‌های فیزیکی و اکسیژن‌خواهی
بیولوژیکی، اکسیژن‌خواهی شیمیایی، فسفر و نیتروژن
کل از ویژگی‌های شیمیایی دارای بیش‌ترین امتیاز در
کل متغیرهای کانونی می‌باشند (۲۴).

جدول ۳- نتایج به‌دست آمده از تحلیل همبستگی کانونیک.

Table 3. The results of Canonical Correlation.

6	5	4	3	2	1	متغیرهای کانونیک Canonical Variable
0.258	0.390	0.456	0.624	0.795	0.973	همبستگی کانونی Canonical correlation
0.93	3.16	6.32	12.99	26.52	66.18	مربع خی Chi-square
5	12	21	32	45	60	درجه آزادی Degree of freedom
0.967	0.994	0.999	0.998	0.987	0.272	سطح معنی‌داری Significant level
-0.206	-0.730	1.260	0.812	-0.448	-0.427	دما (T)
-0.084	1.289	-1.122	-0.336	0.985	-0.253	بی‌اچ (pH)
-2.553	0.878	-0.522	-0.846	-0.997	1.322	هدایت الکتریکی (EC)
-0.357	-0.204	-0.432	0.375	-0.397	0.133	آمونیاک (NH_3^-)
-0.394	-0.455	0.323	0.443	0.897	0.127	فلوراید (F^-)
0.865	-0.236	0.220	0.413	-0.609	0.100	سولفات (SO_4^{2-})
1.712	-1.105	-0.060	0.673	0.819	-0.993	بی‌کربنات (HCO_3^-)
0.076	0.396	0.021	-0.984	0.040	-0.542	نیترات (NO_3^-)
0.078	-0.854	0.009	0.652	-0.056	-1.067	نیتريت (NO_2^-)
-0.509	-0.275	0.497	-0.961	0.087	0.051	فسفات (PO_4^{3-})
-0.227	0.099	-0.504	0.788	0.143	0.696	روی (Zn)
0.085	0.986	-0.359	-1.00	-0.496	-0.182	کادمیوم (Cd)
-0.809	-0.352	0.382	0.630	0.771	-0.472	سرب (Pb)
-0.036	-0.235	-0.946	-1.021	0.086	-0.025	مس (Cu)
0.207	0.219	-0.214	1.062	-0.246	-0.548	نیکل (Ni)
0.148	0.201	-0.350	-0.367	1.114	0.120	کبالت (Co)

براساسجهای کیفی
Quality parameters

فلزهای سنگین
Heavy metals

جهت بررسی صحت نتایج به دست آمده از آزمون آماری مربع خی استفاده گردید. نتایج این بررسی سطح معنی داری را برای هر دسته کانونی نشان می دهد (جدول ۳). قابل ذکر است که مقدار کوچک تر پراسنجه سطح اطمینان، بیانگر رد فرض صفر و معنی عدم وجود ارتباط بین دو دسته پراسنجه های کیفی و غلظت فلزهای سنگین در آب می باشد. با توجه به نتایج به دست آمده با قبول سطح معنی داری ۰/۰۵ مشاهده می شود که هیچ یک از دسته های کانونی از اعتبار آماری قابل توجهی برخوردار نیستند. آزمون مربع خی نیز بیانگر عدم اهمیت ضریب های همبستگی متغیرهای کانونی می باشد هر چند همبستگی قابل توجهی بین متغیرهای اول، دوم و سوم با توجه به ضریب همبستگی مشاهده گردید. دلیل این امر را می توان این طور توضیح داد که به طور معمول در مواردی که تعداد مشاهدات اندک باشد، این مشکل در تحلیل همبستگی کانونی ظاهر می شود و می توان از آن صرف نظر کرد.

نتیجه گیری کلی

در این مطالعه به کمک روش های آماری چندمتغیره اهمیت پراسنجه های کیفی آب و ارتباط بین آنها مورد بررسی قرار گرفت. بررسی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی کیفیت آب و هم چنین فلزهای سنگین در ایستگاه های مورد پایش، گویای وجود وابستگی بین این پراسنجه ها می باشد. با توجه به وابستگی بین پراسنجه های فیزیکی و فلزهای سنگین می توان پیشنهاد کرد منبع هر دو نوع آلاینده یکسان است. مطالعه عبدالآبادی و همکاران نیز که به بررسی ویژگی های رودخانه اترک پرداختند به این نتیجه رسید که منبع انسان ساخت منبع هر دو ویژگی فیزیکی و شیمیایی آب رودخانه است (۱). مطالعه وصالی ناصح و همکاران در بررسی وابستگی مقدار

فلزهای سنگین آب و رسوب تالاب انزلی نشان داد که وابستگی قوی بین فلزهای سنگین در آب و رسوب وجود دارد که می تواند به سبب منبع مشترک در هر دو بخش محیط زیستی باشد (۲۹).

نتایج تحلیل عاملی بر اساس تجزیه به عامل های اصلی نشان داد که در مجموع میزان کل توجیه واریانس با شش فاکتور برابر با ۷۹/۶۷ درصد می باشد. ویژگی های هدایت الکتریکی، بی کربنات، آمونیاک، فسفات، سولفات، نترات، نیتريت و فلزهای کادمیم، سرب، مس و کبالت مهم ترین پراسنجه ها در توجیه تغییر ویژگی های کیفی آب می باشند. نتایج به دست آمده از تحلیل همبستگی کانونی نیز نشان داد که بین دو دسته متغیرهای کیفی و فلزی مورد بررسی وابستگی معنی داری وجود دارد که می تواند با توجه به پراسنجه های انتخاب شده به فعالیت های انسانی در منطقه نسبت داده شود. آلاینده هایی چون فسفات، نترات و آمونیاک بیش تر از فعالیت های انسانی مانند پساب های شهری، کشاورزی و صنعتی منبع می گیرند. منبع فلزهای سنگین می تواند هم به سبب زمین شناسی و هم انسان ساخت باشد. بنابراین بر اساس نتایج به دست آمده از همبستگی تحلیل کانونی برای داده های مورد مطالعه مشخص می شود که هر دو گروه ویژگی های پیش بینی کننده و پاسخ انسان ساخت می باشند. اطلاعات به دست آمده می تواند برای بهینه سازی برنامه پایش و مدیریت کیفیت آب مورد استفاده قرار گیرد.

با توجه به داده های نتیجه حاضر و مطالعه های مشابه (۲۴) می توان پیشنهاد کرد که روش های مورد استفاده آماری تحلیل مؤلفه های اصلی و کانونی راه حل مناسبی برای مدیریت کیفیت و منبع یابی آلاینده های آب خواهد بود.

سپاسگزاری

سپاسگزاری می‌نمایند. امید است تا نتیجه این مطالعه راه‌گشایی برای بهبود کیفیت آب آشامیدنی کشور باشد.

نویسندگان این مقاله از سازمان آب و فاضلاب روستایی استان گلستان به‌خاطر جمع‌آوری و در اختیار قرار دادن داده‌های مربوط در این پژوهش

منابع

1. Abdolabadi, H., Ardestani, M., and Hasanlou, H. 2013. Evaluation of Water Quality Parameters Using Multivariate Statistical Analysis (Case study – Atrak River). *Water Waste Water J.* 3: 110-117.
2. APHA, AWWA, WEF. 2004. *Standard Methods for the Examination Water and Wastewater*. 21th Ed.
3. Barnston, A.G., and He, Y. 1996. Skill of canonical correlation analysis forecasts of 3-month mean surface climate in Hawaii and Alaska. *J. Clim. Res.* 9: 2579-2605.
4. Chan, M.C., Lou, I., Kin Ung, W., and Meng Mok, K. 2013. Integrating Principle Component Analysis and Canonical Correlation Analysis for Monitoring Water Quality in Storage Reservoir. *Applied Mechanics and Materials*. 284: 287. 1458-1462.
5. Chandra Panda, U., Kumar Sundaray, S., Rath, P., Nayak, B.B., and Bhatta, D. 2006. Application of factor and cluster analysis for characterization of river and estuarine water systems, A case study– Mahanadi River (India). *Hydrol. J.* 331: 434-445.
6. Einax, J.W., Zwanziger, H.W., and Geib, S. 1997. *Chemotrics in environmental analysis*. Wiley-VCH verlag GmbH.
7. Esalah, J., and Husein, M.M. 2008. Removal of heavy metals from aqueous solution by precipitation –filtration using novel organo-phosphorus ligands. *Separation and Purification Technology*. 43: 3461-3475.
8. Florence, L., Paul Raj, A., and Ramachandra moorthy, T. 2013. Ground water quality assessment of Gangavalli Taluk, Salem District, Tamil Nadu, India using multivariate statistical techniques. *Engineering Science and Technology, Inter. J.* 3: 1. 80-88.
9. Hashemi, S.H., Ranjkesh, Y., Ramezani, S., and Ghasemi Ziarani, E. 2012. A comparative analysis on water quality of Karaj River through Statistical Technique (Factor Analysis) and QUAL2K model. *National Conference on Water Flow and Pollution, University of Tehran*. (In Persian)
10. Hormozi, B., Hejazinezhad, F., and Abtahi, F. 2007. Golestan experience in controlling the quality of rural potable water. *Water Environ. J.* 67: 9-13.
11. Igwe, J.C., and Abia, A.A. 2006. Review A bioseparation process for removing heavy metals from waste water using biosorbents. *African, J. Biotechnol.* 5: 1167-1179.
12. Khodapanah, L., Sulaiman, W.N.A., and Khodapanah, N. 2009. Groundwater Quality Assessment for Different Purposes in Eshtehard District, Tehran, Iran. *Europ. J. Sci. Res.* 36: 4. 543-553.
13. Larsen, M., Capobianco, M., and Hanson, H. 1999. Relationship between beach profiles & wave at duck, north Arolina, determined by CCA. *Mar. Geol. J.* 163: 275-288.
14. Liu, W.C.H., Yu, W.L., and Chung, C.E. 2011. Assessment of Water Quality in a Subtropical Alpine Lake Using Multivariate Statistical Techniques and Geostatistical Mapping- A Case Study. *Inter. J. Environ. Res. Pub. Health.* 8: 1126-1140.
15. Marengo, E., Carla Gennaro, M., Elisa, R., Maiocchi, A., Pavese, G., Indaco, A., and Rainero, A. 2008. Statistical analysis of groundwater distribution in Alessandria Province (Piedmont-Italy). *Microchem. J.* 88: 167-177.
16. Mirzaei, M., Riahi-Bakhtiari, A.R., Salman-Mahini, A.R., and Gholamalifard, M. 2014. Analysis of the physical and chemical quality of Mazandaran province (Iran) rivers using multivariate statistical methods. *Mazandaran Univresity, J. Med. Sci.* 23: 108. 41-52. (In Persian)

17. Motaghi Golshan, A., Hosseini Nasab, S.M.E., and Rohani, F. 2009. Assessment of correlation patterns of temperature, humidity and rainfall in using canonical correlation analysis. *Iran, J. Stat. Res.* 6: 1. 93-119. (In Persian)
18. Napacho, Z.A., and Manyele, S.V. 2010. Quality assessment of drinking water in Temeke District (part II): Characterization of chemical parameters. *Afric. J. Environ. Sci. Technol.* 4: 11. 775-789.
19. Noori, R., Sahabi, M.S., Karbasi, A.R., Baghvand, A., and Taati-Zadeh, H. 2010. Multivariate statistical analysis of surface water quality based on correlation & variations in the data set. *Desalination.* 260: 129-136.
20. Papaioannou, A., Plageras, P., Dovriki, E., Minas, A., Krikelis, V., Nastos, P.Th., Kakavas, K., and Paliatsos, A.G. 2007. Ground waters quality and location of productive activities in the region of Thessaly (Greece). *Desalination J.* 213: 209-217.
21. Parizanganeh, A.H., Bijnavand, V., Zamani, A.A., and Haj Abolfath, A. 2010. Assessment of heavy metal pollution in surficial soils surrounding Zinc Industrial complex in Zanjan- Iran. *Procedia Environ. Sci. J.* 2: 162-166.
22. Rahimi, M.H., Kalantari, N., and Mazarei, F. 2005. Application of statistical method in the monitoring points of hydrochemical. 9th Symposium of Geological Society of Iran. Tehran. (In Persian)
23. Ramezani, S., and Hashemi, S.H. 2011. Analysis on Water quality of Zarineh river with principle components analysis technique. 4th Iran Water Resources Management Conference. University of Amir Kabir. Tehran. (In Persian)
24. Rasi Nezami, S., Nazariha, M., Baghvand, A., and Moridi, A. 2013. Karkheh River Water Quality Using Multivariate Statistical Analysis and Qualitative Data Variations. *Health System Research.* 8: 7. 1280-1292.
25. Statheropoulos, M., Vassiliadis, N., and Pappa, A. 1998. Principal Component and Canonical Correlation Analysis for Examining Air Pollution and Meteorological Data. *Atm. Environ. J.* 32: 6. 1087-1095.
26. Tokaliog̃lu, S., and Kartal, S. 2006. Multivariate analysis of the data and speciation of heavy metals in street dust samples from the Organized Industrial District in Kayseri (Turkey). *Atmospheric Environment.* 40: 2797-2805.
27. Varol, M. 2011. Assessment of heavy metal contamination in sediments of the Tigris River (Turkey) using pollution indices and multivariate statistical techniques. *J. Hazardous Mater.* 195: 355-364.
28. Verbeke, J.S., Hartog, J.C.D., Dekker, W.H., Coomans, D., Buydens, L., and Massart, D.L. 1984. The use of principal components analysis for the investigation of an organic air pollutants data set. *Atm. Environ. J.* 18: 1. 2471-2478.
29. Vesali Naseh, M.R., Karbassi, A.R., Ghazban, F., and Baghvand, A. 2012. Analysis of correlation between heavy metals in water and sediment samples of Anzaly. *J. Health Syst. Res.* 8: 1. 114-122. (In Persian)
30. Yidana, S.M., Ophori, D., and Banoeng-Yakubo, B. 2008. A multivariate statistical analysis of surface water chemistry data—The Ankobra Basin, Ghan. *J. Environ. Manage.* 86: 80-87.
31. Zamani, A.A., Yaftian, M.R., and Parizanganeh, A.H. 2012. Multivariate statistical assessment of heavy metal pollution sources of groundwater around a lead and zinc plant. *Iranian, J. Environ. Health Sci. Engin.* 9: 29. 1-18.
32. Zhang, Q., Li, Z., Zeng, G., Li, J., Fang, Y., Yuan, Q., Wang, Y., and Ye, F. 2009. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques in red soil hilly region: a case study of Xiangjiang watershed, China. *Environ. Monitor. Assess. J.* 152: 123-131.



Canonical correlation analysis: the relationship between water quality parameters and heavy metals in water samples (Ramian-Golestan province)

F. Khanduzi¹, A.H. Parizanganeh² and *A.A. Zamani³

¹M.Sc. Graduate, Dept. of Environmental Sciences, University of Zanjan,

²Professor, Dept. of Environmental Sciences, University of Zanjan,

³Assistant Prof., Dept. of Environmental Sciences, University of Zanjan

Received: 10/23/2015; Accepted: 03/09/2016

Abstract

Background and Objectives: Water is essential for all forms of life and its pollution is generally considered more critical than soil or air. Distinguishing and correlating among physical and chemical parameters and finding source of water contamination are major issues in monitoring water quality. Application of statistical methods in water quality monitoring can be useful to achieve this goal. Heavy metals are important water pollutants especially due to their bioaccumulation nature and toxicity. Anthropogenic and natural sources are the main entrance ways of heavy metals into water.

Materials and Methods: Water quality assessment with multivariate statistical methods is the main objective of this study. Statistical Principal Component Analysis (PCA) method was used to determine the major water quality parameters and Canonical Correlation Analysis (CCA) was employed to find the relationship between water quality parameters and heavy metal contents. Water samples from twenty three wells in Ramiyan district (Golestan province) were collected in 2012. Water quality parameters, such as; temperature (T), electrical conductivity (EC), pH, Ammonia (NH₃), Fluoride (F⁻), Sulfate (SO₄²⁻), Nitrate (NO₃⁻), Nitrite (NO₂⁻), Phosphate (PO₄³⁻), Bicarbonate (HCO₃⁻) and heavy metal contents including Zn, Cd, Pb, Cu, Ni and Co were used in this research. Heavy metal contents in water samples were determined by voltammetry method in Environmental Science Research Laboratory of University of Zanjan. Temperature, electrical conductivity in the samples was measured by a portable device in sampling sites.

Results: Principle Component Analysis identified six factors explaining 79.67% of total variance affecting water quality in the studied area. CCA also identified three canonic classes with correlation coefficients; 0.973, 0.795 and 0.624, respectively, suggesting that predictor variables (EC, HCO₃⁻, NO₂⁻, NO₃⁻, pH & PO₄³⁻) and response variables (Zn, Co, Cd & Ni), were highly scored among all parameters in water quality assessment.

Conclusion: The results of canonical correlation analysis also show a significant correlation between the two categories of variables. The studied metals can be selected based on the main human activities in the area (agricultural activities in this region). The information obtained can be used to improve water quality monitoring and management program. By measuring relevant parameters, there is no need to measure all the physical and chemical properties of water, reducing considerable costs of water analysis.

Keywords: Water quality, Principle component analysis, Multivariate analysis, Canonical correlation analysis

* Corresponding Author; Email: zamani@znua.ac.ir