دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

مطالعه پارامترهای کیفیت آب رودخانه تجن با استفاده از تکنیکهای آماری چند متغیره

س. فریادی[۱]، ک. شاهدی[۲] و م. نباتپور[۳]

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری نویسنده مسوول: saeed.faryadi@gmail.com
۲ و ۳- استادیار و دانش آموخته کارشناسی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

تاریخ دریافت: ۹۰/۴/۴ تاریخ پذیرش: ۹۱/۶/۱۹

چکیده

آلودگی آب در دهه های اخیر تهدیدی جدی برای انسان و اکوسیستم های طبیعی تلقی می‌شود به طوری که بررسی تغییرات کیفیت آب یکی از موضوعات مهم جهت استفاده بهینه از آن است. برای ارزیابی کیفیت آب، باید چند عنصر (پارامتر) در یک دوره زمانی خاص اندازه گیری و مطالعه شوند. در این تحقیق، اولویت بندی پارامترهای کیفیت آب، ارتباط بین آنها و همچنین موضوع معدنی یا غیرمعدنی بودن آنها در طول ۳ سال (۱۳۸۵-۱۳۸۲) در رودخانه تجن مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور آمار ماهانه ۱۰ پارامتر، شامل [TDS، EC، K^+، Na^+، Cl^-، SO_4^{2-}، Ca^{2+}، Mg^{2+}، SAR و HCO_3^-] در ۳ ایستگاه علی آباد، کرچا و سلیمان تنگه با روشهای آماری آنالیز مؤلفه های اصلی (PCA) و آنالیز خوشه ای (CA^{2+}) تجزیه و تحلیل گردید. با استفاده از نتایج PCA مشخص شد که به منظور کنترل کیفیت آب رودخانه، در علی آباد بجز [SAR و SO_4^{2-}]، در کرچا بجز [HCO_3^-] و در سلیمان تنگه بجز [Mg^{2+}، Ca^{2+} و HCO_3^-] همه پارامترها در اولویت قرار دارند. توسط CA نیز می توان دریافت که عامل عناصری مانند [Mg^{2+}، Ca^{2+} و HCO_3^-] سازندهای کربناتی یعنی آهک ها و دولومیت های منطقه می باشد، همچنین عامل [K^+ و Cl^-] شیست ها و عامل پارامتر های [SAR، Na^+ و SO_4^{2-}] رس، مارن، دیوریت و توف سبز می باشند.

واژه های کلیدی: کیفیت آب، آنالیز مؤلفه های اصلی (PCA)، آنالیز خوشه ای (CA)، رودخانه تجن

مقدمه

حفاظت و استفاده بهینه از منابع آب از اصول توسعه پایدار هر کشور می باشد. آبهای سطحی جاری یا رودخانه ها از مهمترین منابع آب هستند که نقش مهمی در تأمین آب مورد نیاز فعالیت های مختلف مانند کشاورزی،

صنعت، شرب و تولید برق دارند. بسیاری از برنامه ریزی های منابع آب در کشورها براساس پتانسیل بالقوه منابع آب سطحی می باشد. آگاهی از کیفیت منابع آب یکی از نیازمندی های مهم در برنامه ریزی و توسعه منابع آب و حفاظت و کنترل آنها می باشد (۱۱). مواردی از قبیل انتشار مواد مغذی کشاورزی و مواد زائد شهری (۲۱)، افزایش تقاضای آب، استانداردهای سطح بالای زندگی و کاهش منابع قابل قبول آب (۱۲) باعث ایجاد وضعیت نامناسب اجتماعی و زیست محیطی در سراسر جهان شده است. آلودگی آب در دهه های اخیر به یک تهدید جدی و در حال گسترش برای جامعه انسانی و اکوسیستم های طبیعی تبدیل شده است به طوری که برای مثال هر ساله ۲۵ میلیون نفر در کشورهای فقیر در اثر آلودگی آب از بین می روند. این موضوع ضرورت درک بهتری از تغییرات آلودگی سیستم های آبی را افزایش می دهد (۵ و ۲۱). با توجه به مطالب فوق، مطالعه در جهت آگاهی از روند تغییرات کیفیت آب برای مدیریت بهتر رودخانه ها ضروری به نظر می رسد.

اگرچه شاخص های کیفیت آب QWI[1] روش مفیدی را برای پیش بینی تغییرات کیفیت آب فراهم می کنند اما شواهدی از منابع آلودگی را بیان نمی کنند (۳۲). روش تک متغیره، تکنیک معمول بررسی کیفیت آب رودخانه است که همزمان تشابه یا اختلاف بین نمونه ها و متغیرها را نشان نمی دهد (۸). برای ارزیابی کیفیت آب رودخانه ها، باید همزمان چند عنصر (پارامتر) در یک دوره زمانی خاص به طور جداگانه اندازه گیری شده (۶) و نیز بایستی معلوم گردد که آلودگی های عناصر (مثلاً K^+) باید به منشاء طبیعی یعنی زمین شناسی نسبت داده شود یا به منشاء انسانی (۲۹). بررسی همزمان چند متغیره پارامترهای فیزیکی- شیمیایی و بیولوژیکی و همچنین موضوع انسانی یا طبیعی بودن منشا آلودگی می تواند با استفاده از روش های چند متغیره قوی و آنالیزهای کاوشی داده ها قابل حل باشد (۱۶ و ۳۹).

وگا و همکاران (۳۷) در ارزیابی تغییرات فصلی و اثرات آلوده کننده کیفیت آب رودخانه پیزورگا اسپانیا با استفاده از آنالیزهای آماری، متغیرهای فیزیکوشیمیایی آب را در طول ۲/۵ سال از ۳ ایستگاه را بررسی کردند. در این مطالعه PCA نشان داد که مقدار ماده معدنی، آلودگی انسانی و درجه حرارت کاهش یافته است.

آلبرتو و همکاران (۲) برای بررسی تغییرات مکانی و زمانی رود خانه سوکویا آرژانتین داده های مربوط به ۲۲ پارامتر رودخانه را در طول ۲ سال را با روش های آماری از قبیل CA و PCA مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج نشان داد که CA، نتایج خوب اما با جزئیات کمی درباره تغییرات مکانی و زمانی کیفیت آب ارائه می دهد، همچنین PCA به ۱۳ پارامتر نیاز دارد تا ۷۱ درصد تغییرات مکانی و زمانی را نشان دهد.

سیمونوف و همکاران (۳۴) به منظور ارزیابی کیفیت آب سطحی در شمال یونان داده های ۲۷ پارامتر مربوط به ۵ رودخانه را همراه با آبراهه ها و شاخه های آنها با استفاده

1- Water quality indices

از روشهای آماری ازجمله CA و PCA بررسی کردند. CA براساس خصوصیات فیزیکوشیمیایی و سطح آلودگی، کیفیت آب را در ۴ گروه طبقه بندی کرد. همچنین این مطالعه ضرورت و مفید بودن بررسی های آماری چند متغیره را به منظور دستیابی به اطلاعات بهتری درباره کیفیت آب سطحی، طراحی نمونه بردارها و مدیریت و کنترل موثر آلودگی آب سطحی نشان داد.

بو و همکاران (۵) در بررسی تغییرات مکانی و زمانی کیفیت آب رودخانه جینشوی چین تکنیک های آماری چند متغیره را برای بررسی تغییرات مکانی و زمانی کیفیت آب و تشخیص فاکتورهای اصلی آلودگی و منابع آنها استفاده کردند. نتایج آنالیزها نشان داد که آلودگی های اولیه آب از فاضلاب های خانگی و رواناب کشاورزی حاصل شده و اطلاعات حیاتی را برای حفاظت منابع آب در حوضه های کوهستانی چین فراهم می کند.

باردواج و همکاران (۴) در بررسی کیفیت آب رودخانه کتی گانداک هند با استفاده از PCA، فاکتورهایی از قبیل درجه شیب، ضعف زهکشی، تبادل یونی، شدت استفاده از مواد مغذی و آلودگی های خانگی را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج این مطالعه نشان داد که در بعضی مناطق، بدلیل افزایش قلیاییت، آب سخت شده و برای استفاده های شرب و آبیاری مناسب نمی باشد.

رزمخواه و همکاران (۳۲) برای ارزیابی تغییرات مکانی و زمانی آب رودخانه جاجرود ایران نمونه های آب را در یک دوره سه ساله برای هر ماه در ۱۸ ایستگاه با آنالیزهای آماری PCA و CA بررسی کردند. CA و PCA به نتایج یکسانی منجر شد، باکس پلاتها نشان داد که PCA می تواند به طور تقریبی تغییرات زمانی و مکانی را نشان دهد. CA نیز مسائل و نیازهای طبقه بندی بهتر برای PCA را ارائه می کند.

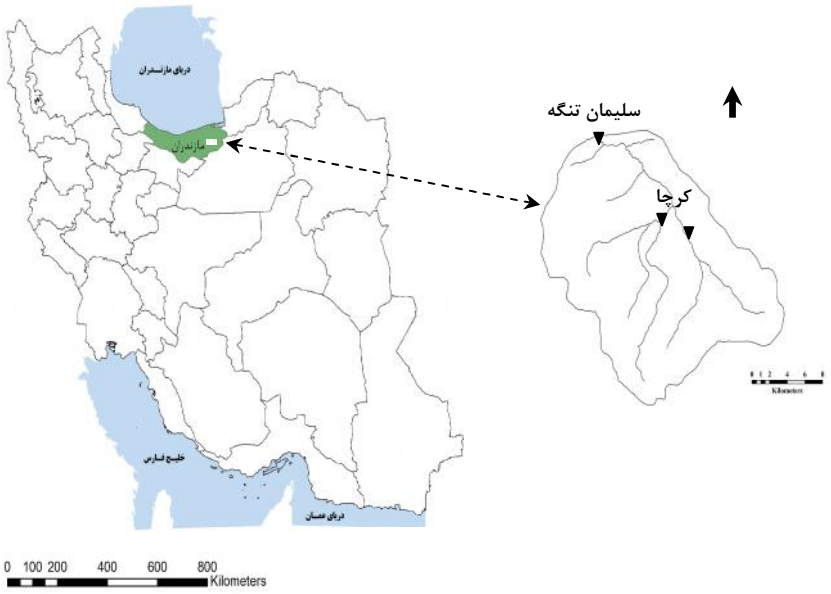
فان و همکاران (۹) آنالیزهای آماری CA و PCA را برای مشخص کردن خصوصیات آب و ارزیابی الگوی مکانی کیفیت آب استفاده کردند. PCA به ترتیب ۸۵/۲۵ و ۸۹/۲۵ درصد کل واریانس کل داده های شمال و غرب رودخانه را نشان داد. CA نیز ایستگاه های شمال، شرق و غرب رودخانه را براساس شدت آلودگی به ترتیب به ۴، ۳ و ۴ خوشه دسته بندی کرد.

در این تحقیق بنا بر اهمیت بررسی متغیرهای مختلف رودخانه تجن و نقش آنها در تغییر کیفیت آب، از روش های چند متغیره مانند آنالیز مؤلفه های اصلی (PCA) و آنالیز خوشه ای (CA) استفاده گردید. این روش ها بدلیل اینکه قادر به تشخیص شباهت ها و تفاوت های بین متغیرها و پارامترها می باشند امروزه به صورت گسترده ای استفاده می گردند (۱۰، ۳۷، ۳۴، ۳۵، ۳۳، ۲۳، ۳۰ و ۳۲).

مواد و روش ها

موقعیت منطقه

حوزه آبخیز تجن در دامنه شمالی البرز مرکزی در استان مازندران واقع شده و دارای جهت تقریبا جنوبی- شمالی بوده که آب آن به دریای خزر می ریزد. منطقه مورد مطالعه دارای مساحت ۴۱۰۰۰ هکتار و طول جغرافیایی "۱۷ '۰۹ °۵۳ غربی تا "۳۴ '۲۷ °۵۳ شرقی و عرض جغرافیایی "۴۵ '۰۱ °۳۶ جنوبی تا "۲۷ '۱۵ °۳۶ شمالی می باشد شکل (۱).



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان مازندران.

زمین شناسی

همانطور که در شکل (۲) نشان داده شده است منطقه از نظر زمین شناسی دارای سازندها و سنگهای زیر است:

سازند لشکرک O_L: در بالای منطقه مورد مطالعه در دو نقطه رخنمون دارد. در بخش پایین بوسیله سنگ آهک های سازند مبارک پوشیده شده است. سازند درود P_l: این سازند در بخش های مرکزی وجود دارد. از ویژگی های آن ستبرای زیاد (بیش از ۵۰۰ متر) و تنوع رخساره سنگی آن است.

سازند الیکا Tr_e: الیکا از سه رخساره ناهمسان پدید آمده که به صورت سه واحد جداگانه تفکیک پذیر است. ستبرای الیکا در منطقه از ۱۵۰ تا ۳۵۰ متر متغیر است شکل (۱)

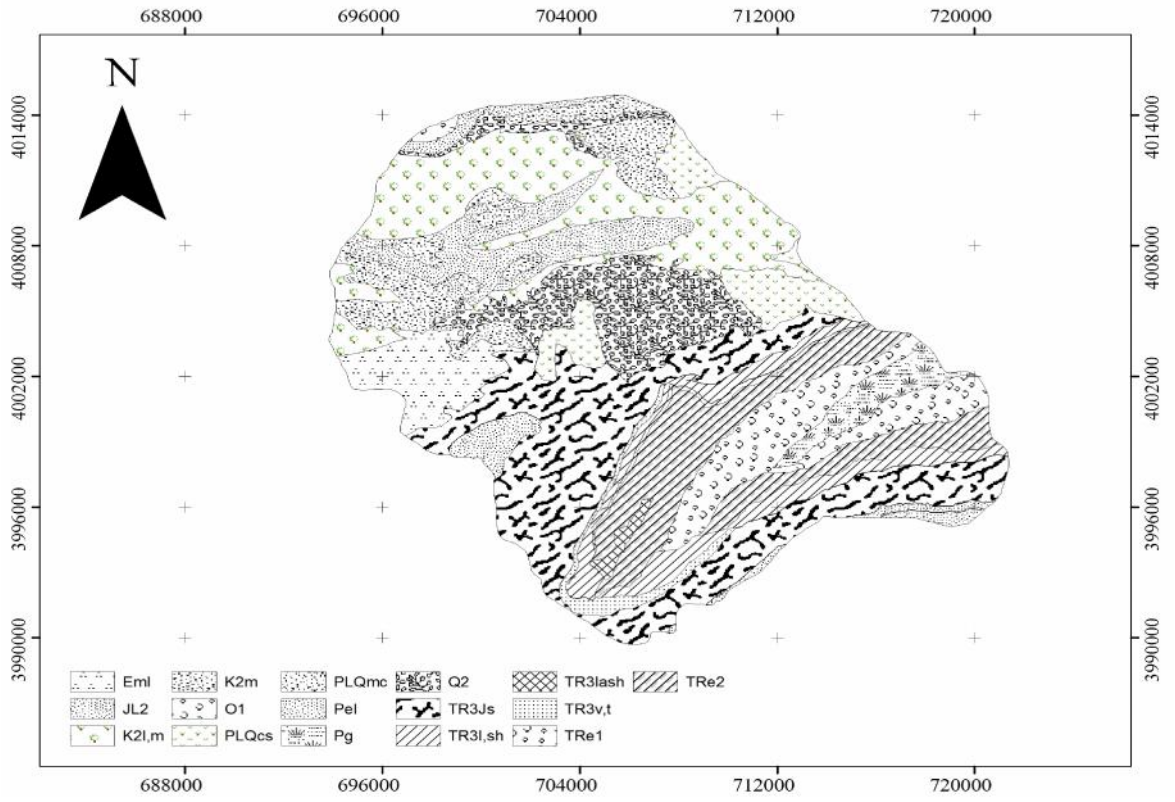
۱- واحد آهکی پایه سازند الیکا شامل ۱۰۰ تا ۲۸۰ متر سنگ آهک رس دار نازک لایه است.

۲- Tr_e^{dl}: عضو میانی سازند الیکا شامل یک ردیف سنگ آهک دولومیتی خاکستری رنگ با لایه بندی خوب، دولومیت ستبر لایه و توده ای است.

۳- Tr_z^{l2}: عضو رویی سازند الیکا که از سنگ آهک ها و سنگ آهک های دولومیتی ستبر لایه و سخت تشکیل شده است.

سازند دلیچای J_l: در شمال حوزه سازند دلیچای با آهک های ماسه ای آغاز می شود و سپس با مارن و سنگ آهک های رس دار ادامه می یابد و در بخش پسین از سنگ آهک های رس دار پدید می آید. در جنوب حوزه نیز سازند دلیچای دارای رخساره آهکی و آهک رسی سبز است.

سازند لار J: دارای دو واحد J_{l1} و J_{l2} است. واحد J_{l1} از سنگ آهک های رس دار نازک تا متوسط لایه دارای نوارهای چرتی سفید رنگ است. واحد J_{l2} چهره ای صخره ساز و توده ای است و از سنگ آهک های کرم تا خاکستری همراه چرت و دارای آمونیت تشکیل شده است.



شکل ۲- نقشه زمین شناسی و سازندهای منطقه.

سازند فجن P_g: سنگ های فجن در منطقه قابل تفکیک به دو زیر واحدند. بخش زیر که از لایه های ستبر ماسه سنگی و کنگلومرایی ریزدانه تشکیل شده، P_{gf}^{s} نام دارد و بخش دیگر که شامل ماسه سنگ های درشت دانه با سیمان آهکی و فرسایش پذیر است، P_{gf}^{c} می باشد.

سازند کرج: این سازند دارای رخساره سنگی فراوان، چه از نوع سنگ های رسوبی و چه از نوع آذرین است:

E_k^{tsh}: در نقاطی که واحد سنگ آهکی سازند زیارت همراه توف و شیل های توفی سبز خاکستری رنگ پایه سازند کرج روی آن به گونه هم شیب جای می گیرند.

E_k^{v}: این واحد ولکانیکی پدید آمده از آندزیت و آندزیت های بازالتی به رنگ سیاه و با هوازدگی زیاد است.

E_k^{gt}: گسترده است و سبزترین بخش سازند کرج وابسته به توف های آن می باشد (۳۸).

آزمون آماری

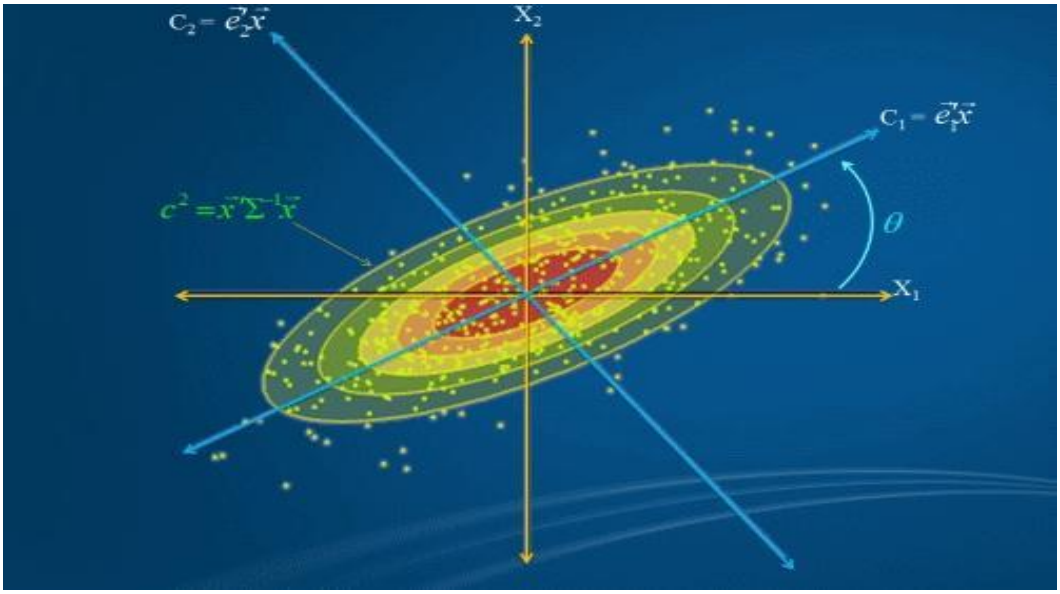
در یک آزمون آماری مراحل زیر انجام می گیرد: (الف) تصمیم گیری برای اینکه بسته به موضوعات، چه نوع سری ها و متغیر هایی برای آزمون مورد بررسی قرار گیرد (مثلا سری داده های ماهانه برای عنصر کلسیم)، (ب)- تصمیم گیری برای اینکه چه نوع تغییراتی مورد نظر باشد (مثلا تغییرات مکانی یا زمانی) انتخاب آزمون آماری (مثلا آنالیز مولفه های اصلی و آنالیز خوشه ای).
و (ج) تحقیق و تفسیر نتایج (۲۴).

آنالیز مؤلفه های اصلی

(Principal component analysis)

PCA روش تقسیم یک ماتریس تشابه به یک مجموعه محورها یا مؤلفه های متعامد (عمودی) است که هر کدام از این محورها یک PC نامیده می شود. این روش مولفه ها را وزن دهی کرده و برای هر کدام یک مقدار ویژه (Eigenvalue) بیان می کند، مقدار ویژه هر محور برابر واریانس محاسبه شده برای آن محور است (۳۰، ۱۸، ۱۷ و ۳۸). در PCA مقادیر ویژه ماتریس تشابه براساس روند نزولی استخراج می شود بطوری که محورهای (مؤلفه های) متناظر PCA به طور متوالی مقادیر تغییرات را از بزرگتر تا کوچکتر در ماتریس نشان می دهند.

بنابراین نخستین محورهای PCA که واحدهای نمونه برداری روی آنها مکان یابی خواهد شد، بیشترین درصد مجموع تغییرات قابل تعریف را نشان خواهند داد. این آنالیز بعنوان یک تکنیک برای مواردی از جمله کاهش متغیرها، روندهای دوره ای داده ها، کیفیت آب و فاکتورهای موثر در آن و نیز استخراج پارامترهای مهم در آلودگی استفاده می شود (۷). آنالیز مؤلفه های اصلی در مطالعات مختلف در زمینه بررسی و آنالیز کیفیت آب (۲۷، ۳۶، ۲۸، ۴۰ و ۴) استفاده شده است بطوری که مثلا با داشتن ۲ مؤلفه ابتدایی از ۱۳ مؤلفه و نیز ۹ پارامتر از میان ۱۳ پارامتر، بیشترین درصد تغییرات بیان شده است. شکل (۳) دو مولفه اصلی را برای یک بردار تصادفی نرمال دو متغیره نشان می دهد.



شکل ۳- مولفه های اصلی C_1 و C_2 برای یک بردار تصادفی نرمال دو متغیره.

آنالیز خوشه ای (Cluster Analysis)

آنالیز خوشه ای یک روش طبقه بندی برای قرار دادن موجودیت ها یا اشیاء مشابه در گروه ها یا خوشه ها است. اگر یک مجموعه از اشیاء و برخی از مقادیر شباهت آنها نسبت به یکدیگر را در نظر بگیریم رده بندی این اشیاء در گروه ها یا خوشه ها را طبقه بندی تعریف می کنیم. آنالیز خوشه ای روشی است که این رده بندی را انجام می دهد. در حقیقت آنالیز خوشه ای یک اصطلاح کلی است که به تعداد زیادی از الگوریتم ها اشاره می کند که عمدتاً طرز رفتارشان از نظر تشکیل خوشه فرق می کند (۳۱). در طبقه بندی خوشه ای هیچ فرضی در مورد تعداد گروه ها یا ساختمان آنها در نظر گرفته نمی شود (۲۵). این مدلها با یک مجموعه ای از N فرد از واحد های نمونه برداری شروع می شوند و بتدریج گروه ها یا خوشه هایی از واحدهای نمونه برداری مشابه را تشکیل می دهند. در طی هر چرخه خوشه بندی فقط یک جفت از موجودیت ها ممکن است با هم ترکیب شوند و یک خوشه جدید را تشکیل دهند. این جفت ممکن است (۳۶) یک واحد نمونه برداری با واحد نمونه برداری دیگر، (۲۷) یک فرد با یک خوشه موجود از واحد های نمونه برداری یا (۱۳) یک خوشه با یک خوشه دیگر باشد (۳۱). از بین آلگوریتم هایی که برای آنالیز خوشه ای پیشنهاد شده است می توان به روش های طبقاتی(تجمعی و تقسیم) اشاره کرد. در روش تجمعی، هر فرد در ابتدا یک گروه مجزا را تشکیل می دهد سپس گروه های نزدیک به هم بتدریج ترکیب شده تا در نهایت همه افراد در یک گروه واقع شوند. در روش تقسیم ابتدا همه افراد در یک گروه قرار گرفته سپس این گروه به دو گروه و دو گروه به چند گروه به نحوی تقسیم می شوند

که در نهایت هر فرد در گروه خود قرار گیرد (۲۰). تجربه نشان داده که اگر در روش تقسیم، خوشه بندی را تا سطح سوم پیش ببریم نتایج مناسبی حاصل می شود بنابراین در این مطالعه از همین روش استفاده شده است. محققین مختلفی (۳، ۹، ۱۴ و ۱۹) آنالیز خوشه ای را برای بررسی کیفیت آب به کار برده اند بدین صورت که مثلاً کیفیت آب ایستگاه ها را در سه خوشه خوب، متوسط و بد و یا عناصر را در دو دسته آلی و معدنی خوشه بندی کرده اند.

پارامترهای مورد استفاده

غلظت املاح محلول [TDS] عامل بسیار مهمی در کیفیت آب بوده و تاثیر زیادی در جابجایی و تبدیل شیمیایی و یونیزه شدن مواد دارد. همچنین، غلظت املاح محلول، نقش زیادی در تعیین جوامع آبزی جانوری و گیاهی داشته، بسیاری از گیاهان و جانوران آبزی به آبهای شیرین یا شور عادت دارد. بیکربنات [HCO_3^-] مهمترین آنیون موجود در آب های طبیعی است، از دیگر آنیون هایی که در تمام آبهای سطحی یافت می شود کلر [Cl^-] می باشد، در صورتی که غلظت کلر در آب زیاد باشد به لحاظ رشد گیاه سمی خواهد بود. سولفات [SO_4^{2-}] در تمام آبهای طبیعی به مقدار فراوان وجود دارد، در صورت وجود یون سولفات در آب، سازه های آبی باید با مصالح ضد سولفات ساخته شود (۱۵). برای طبقه بندی آب از نظر شرب باید مقادیر کاتیون ها [Ca^{2+}، Mg^{2+}، K^+ و Na^+]، آنیون ها [Cl^-، SO_4^{2-} و HCO_3^-] نیاز است (۱). همچنین در طبقه بندی آب ها از نظر کشاورزی دو عامل هدایت الکتریکی [EC] و نسبت جذب سدیم [SAR] در نظر گرفته می شود (عناصر Ca^{2+}، Mg^{2+} و Na^+ در محاسبهSAR نقش دارند).

طول دوره آماری و نرم افزارهای مورد استفاده

با توجه به مطالب گفته شده، به منظور بررسی فاکتور های مؤثر در کیفیت آب، آمار ماهانه مربوط به ۱۰پارامتر شامل TDS، EC، K^+، SAR، HCO_3^-، Cl^-، SO_4^{2-}، Ca^{2+}، Mg^{2+} و Na^+ در طول ۳ سال (۱۳۸۵-۱۳۸۲) برای ۳ ایستگاه علی آباد، کرچا و سلیمان تنگه توسط آنالیزهای آماری در نرم افزار های MINITAB و SAS مورد تجزیه و تحلیل قرارگرفتند.

نتایج و بحث

در این بخش نتایج مربوط به آنالیزهای مولفه های اصلی و خوشه ای تشریح می گردد.

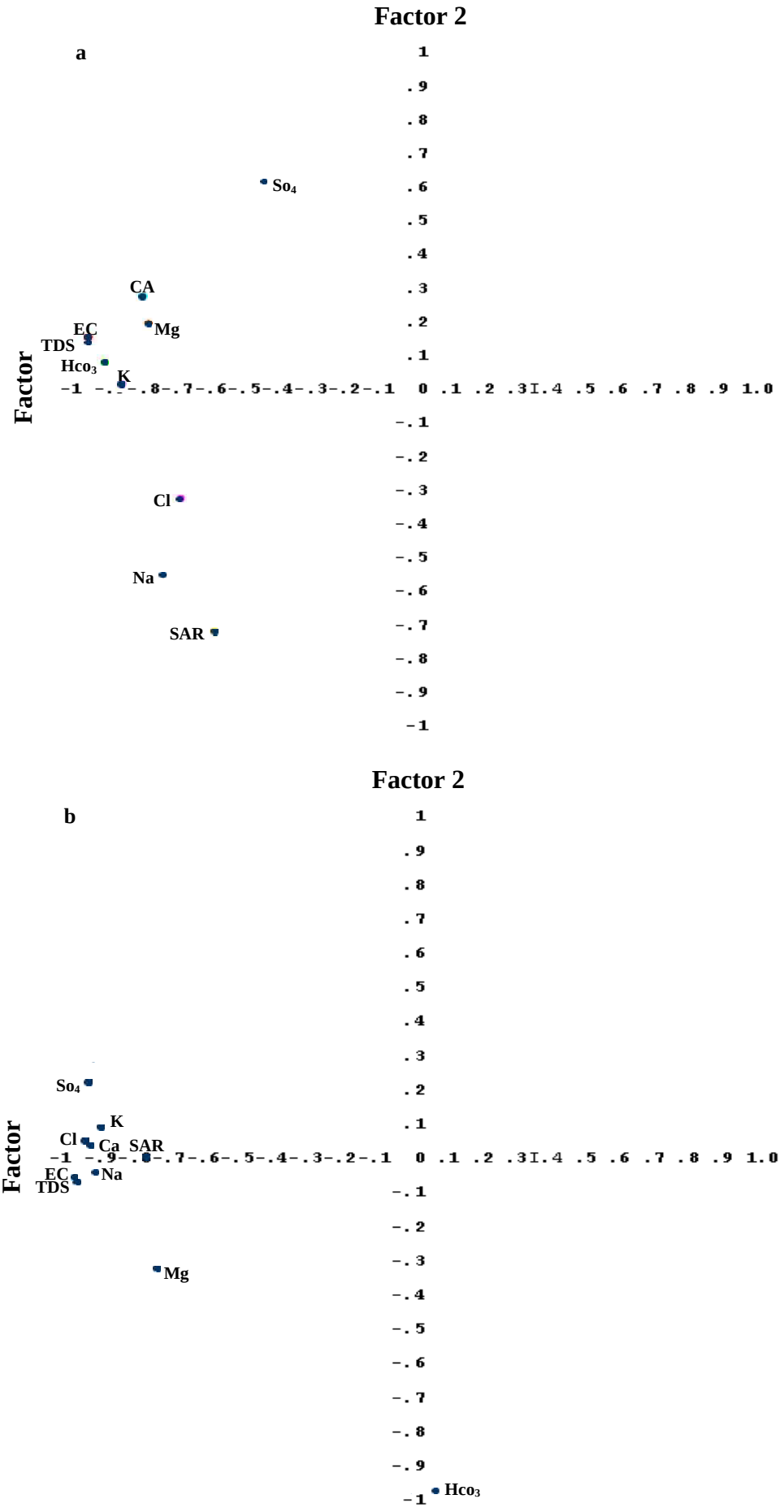
آنالیز مولفه های اصلی

با توجه به جدول ۱ و اشکال ۴ و ۵ باید گفت که PCA در ایستگاه علی آباد ۱۰ مؤلفه را معرفی می کند که مؤلفه های اول و دوم مؤلفه های اصلی بوده و در مجموع ٪۸۱/۸۲ تغییرات ویژه (Eeigenvalue) را بیان می کنند. مولفه اول ٪۶۷/۰۹ تغییرات را نشان می دهد و شامل پارامتر هایی [TDS، EC، HCO_3^-، Cl^-، Ca^{2+}، Mg^{2+}، Na^+ و K^+] می باشد، مولفه دوم نیز ٪۱۴/۷۳ تغییرات رانشان می دهد و شامل پارامتر هایی [SO_4^{2-} و SAR] است.

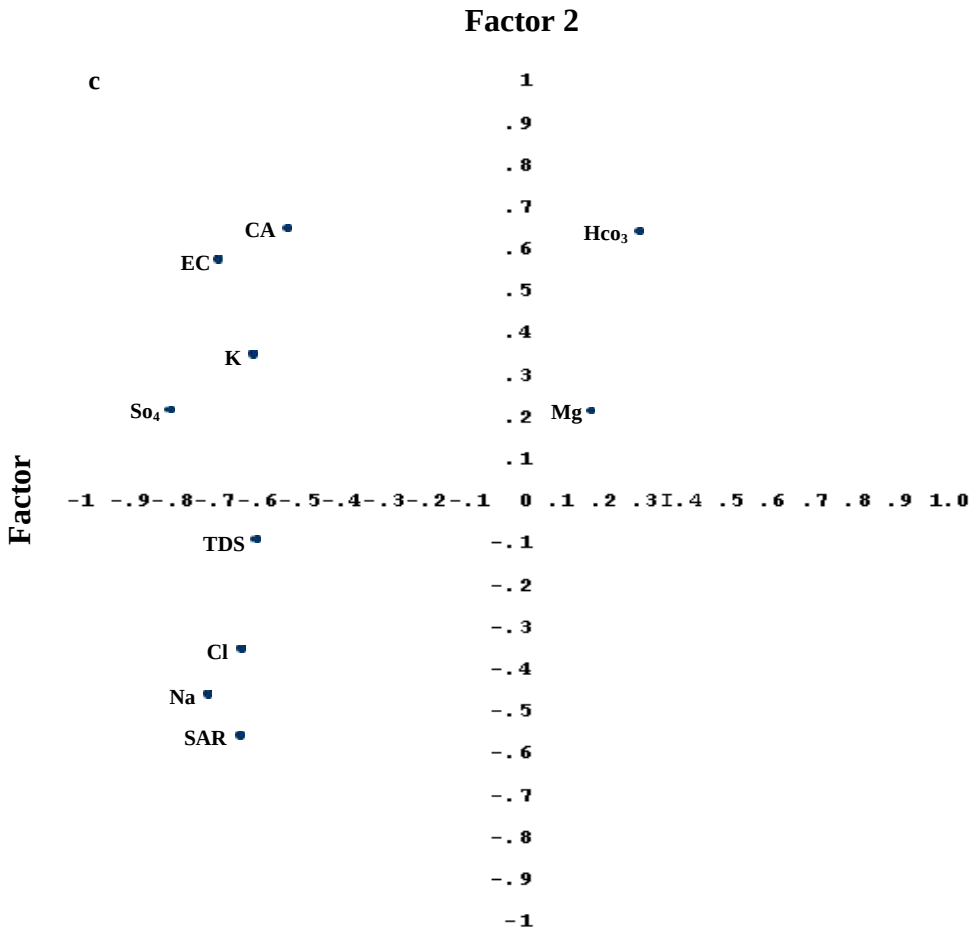
در ایستگاه کرچا نیز PCA ۱۰ مؤلفه را معرفی می کند که دو مؤلفه اول آن مؤلفه های اصلی بوده و در مجموع ٪۸۷/۶۲ تغییرات ویژه (Eeigenvalue) را بیان می کنند. مولفه اول ٪۷۶/۲۱ تغییرات را نشان می دهد و شامل پارامتر هایی [TDS، EC، Cl^-، SO_4^{2-}، Ca^{2+}، Mg^{2+}، Na^+، K^+ و SAR] می باشد. مولفه دوم نیز ٪۱۱/۴۱ تغییرات را نشان می دهد و شامل پارامتر [HCO_3^-] است. در رابطه با ایستگاه سلیمان تنگه نیز آنالیز مؤلفه های اصلی ۱۰ مؤلفه را معرفی می کند که سه مؤلفه اول آن مؤلفه اصلی بوده و ٪۷۸/۰۵ تغییرات ویژه (Eeigenvalue) را نشان می.دهد. مولفه اول ٪۳۹/۵۰ تغییرات را نشان می دهد و شامل پارامتر هایی [TDS، EC، Cl^-، SO_4^{2-}، Na^+، K^+ و SAR] می باشد، مولفه دوم ٪۲۰/۶۷ تغییرات را نشان می دهد و شامل پارامتر های [Ca^{2+} و HCO_3^-] است و مولفه سوم نیز ٪۱۷/۸۸ تغییرات را نشان می دهد و شامل پارامتر [Mg^{2+}] است.

جدول ۱- درصد تغییرات بیان شده برای پارامترها

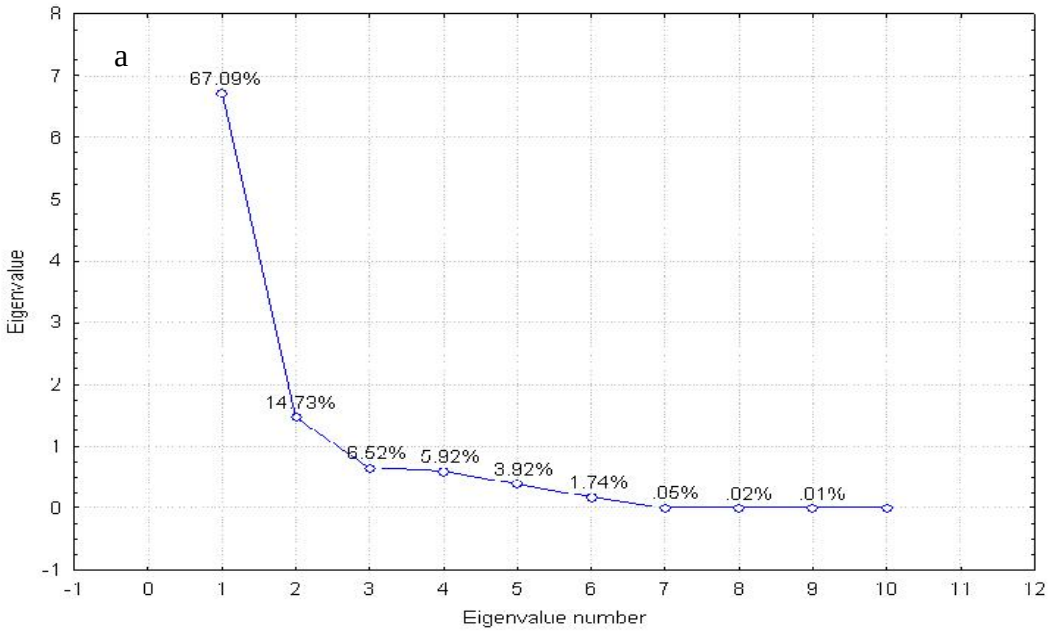
پارامترها	علی آباد		کرچا		سلیمان تنگه		
	مولفه اول	مولفه دوم	مولفه اول	مولفه دوم	مولفه اول	مولفه دوم	مولفه سوم
TDS	-۰/۹۸	۰/۱۵	-۰/۹۸	-۰/۰۷	-۰/۶۳	-۰/۰۹	۰/۱۵
EC	-۰/۹۸	۰/۱۷	-۰/۹۹	-۰/۰۶	-۰/۷۲	۰/۵۹	۰/۲۸
HCO_3^-	-۰/۹۲	۰/۰۹	۰/۰۳	-۰/۹۸	۰/۲۸	۰/۶۵	۰/۶۲
Cl^-	-۰/۷۱	-۰/۳۱	-۰/۹۶	۰/۰۵	-۰/۶۸	-۰/۳۴	-۰/۱۶
SO_4^{2-}	-۰/۴۹	-۰/۶۲	-۰/۹۵	۰/۲۲	-۰/۸۳	۰/۲۲	-۰/۳۳
Ca^{2+}	-۰/۸۳	۰/۲۹	-۰/۹۴	۰/۳۰	-۰/۵۷	۰/۶۶	-۰/۴۴
Mg^{2+}	-۰/۸۱	۰/۲۰	-۰/۷۸	-۰/۳۱	۰/۱۶	۰/۲۲	۰/۸۸
Na^+	-۰/۷۹	-۰/۵۵	-۰/۹۳	-۰/۰۳	-۰/۷۵	-۰/۴۵	۰/۳۲
K^+	-۰/۹۰	-۰/۰۱	-۰/۹۱	۰/۱۰	-۰/۶۴	۰/۳۶	-۰/۰۵
SAR	-۰/۶۲	-۰/۷۱	-۰/۸۰	۰/۰۰	-۰/۶۸	-۰/۵۵	۰/۳۰



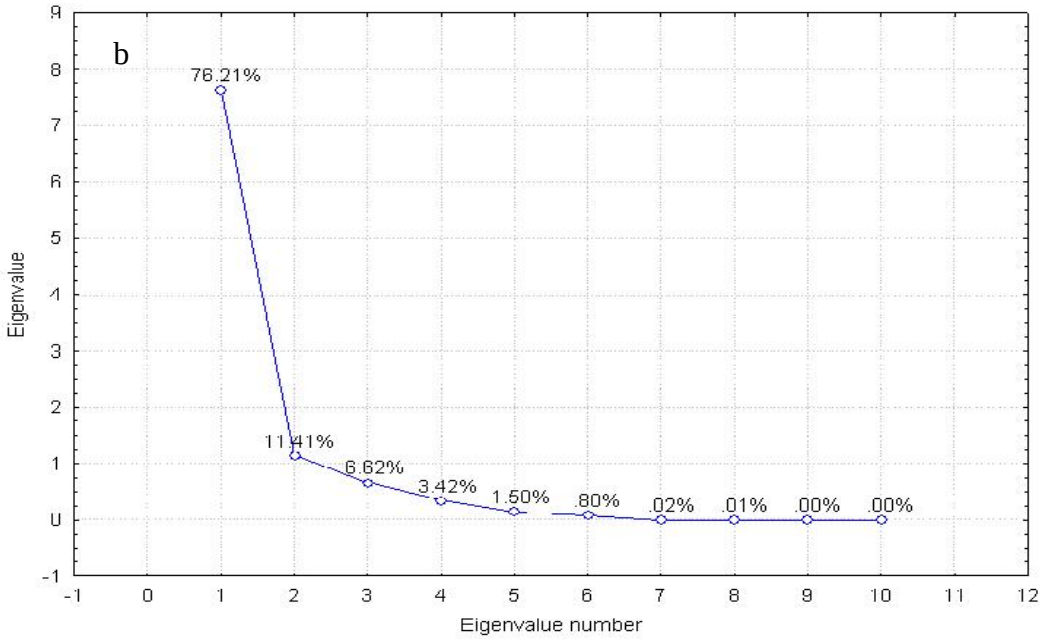
شکل ۴- آنالیز مولفه های اصلی (a علی آباد، b کرچا).

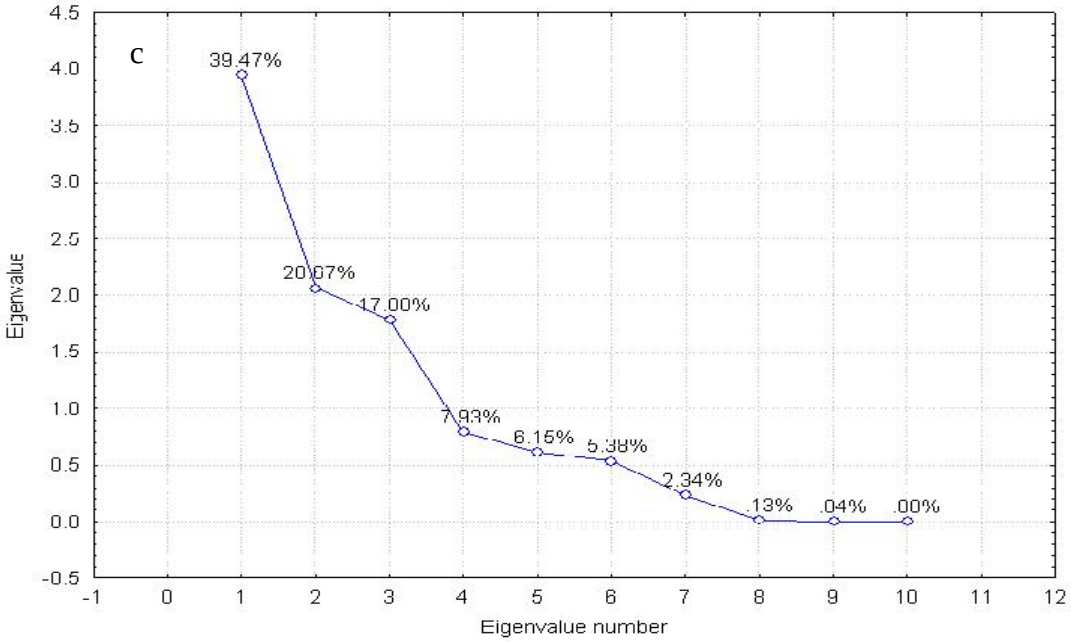


ادامه شکل ۴- آنالیز مولفه های اصلی (C سلیمان تنگه).



شکل ۵- درصد تغییرات بیان شده توسط ۱۰ مؤلفه (a علی آباد).





ادامه شکل ۵- درصد تغییرات بیان شده توسط ۱۰ مؤلفه (b کرچا، c سلیمانگه).

آنالیز خوشه ای

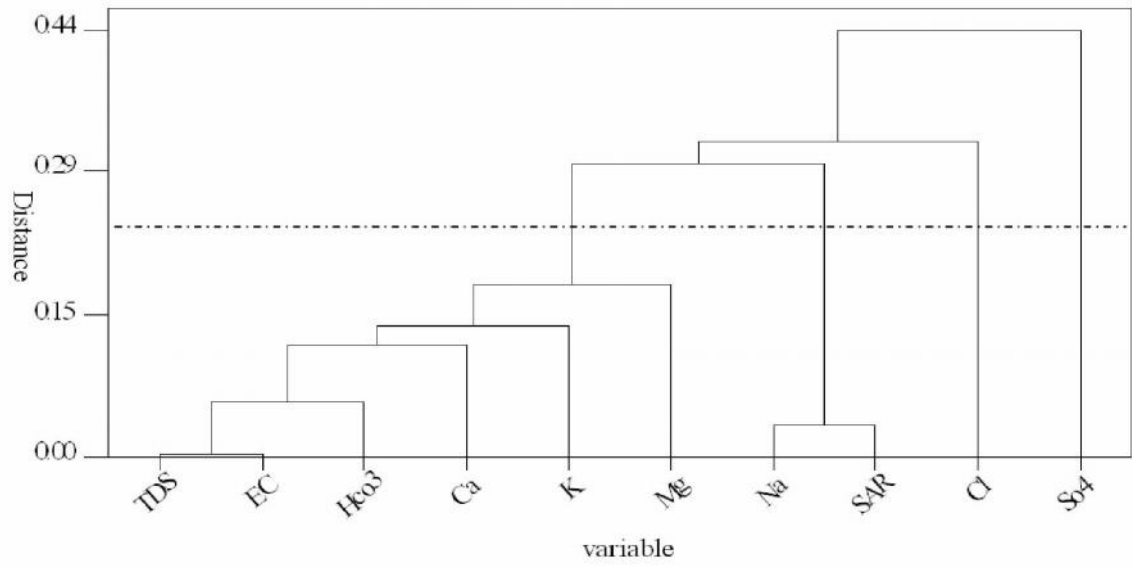
با توجه به شکل ۶ می توان عنوان کرد که اگرخوشه بندی ایستگاه علی آباد را تا سطح سوم پیش برود پارامتر ها در چهار خوشه: $[SO_4^{2-}]$ بعنوان خوشه اول، $[Cl^-]$ خوشه دوم، [SAR و Na^+] خوشه سوم و [TDS، EC،

HCO_3^-، Ca^{2+}، K^+ و Mg^{2+}] خوشه چهارم قرار می گیرند. اختلاف ۴ خوشه در CA به عواملی مثل جنس سازند و سنگ بر می گردد که خوشه های اول و سوم مربوط به رس، مارن، دیوریت و توف های سبز، خوشه دوم مربوط به شیست و خوشه چهارم مربوط به سنگ های کربناته، مارنی و رسی است. در ضمن قرار گرفتن TDS و EC در یک خوشه (خوشه چهارم) ارتباط نزدیک این دو را تأیید می کند. چرا که با توجه به فرمول داریم (۱۵):

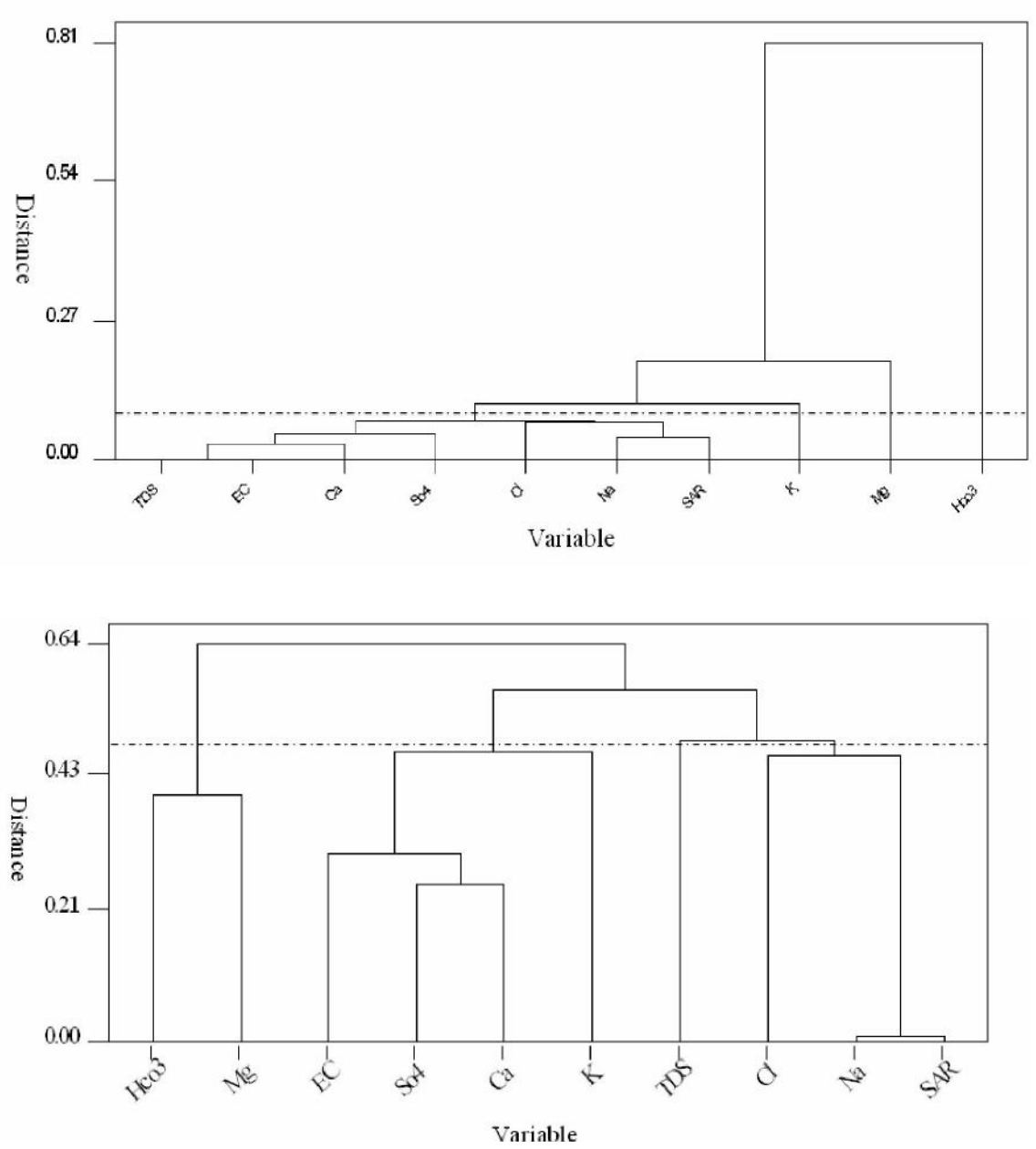
TDS = ۰/۶۴ EC

اگر خوشه بندی ایستگاه کرچا تا سطح سوم ادامه یابد پارامتر ها در چهار خوشه [HCO_3^-] بعنوان خوشه اول، [Mg^{2+}] خوشه دوم، [K^+] خوشه سوم و [TDS، EC، Ca^{2+}، SO_4^{2-}، Cl^-، SAR و Na^+] خوشه چهارم قرار می گیرند که نشان دهنده اختلاف در عامل این پارامتر ها است. می توان گفت که عامل خوشه اول و دوم، دولومیت، خوشه سوم شیست و خوشه چهارم سنگ های کربناته، رس، مارن، دیوریت و توف های سبز است. در این ایستگاه نیز قرار گرفتن EC و TDS در یک خوشه ارتباط نزدیک این دو پارامتر را تأیید می کند.

اگر آنالیز خوشه ای ایستگاه سلیمان تنگه تا سطح سوم دسته بندی گردد پارامتر ها درچهار خوشه [SAR، Na^+ و Cl^-] بعنوان خوشه اول، [TDS] خوشه دوم، [K^+، Ca^{2+}، $S0_4$ و EC] خوشه سوم و [Mg^{2+} و HCO_3^-] خوشه چهارم قرار می گیرند. خوشه های اول، دوم و سوم مربوط به سنگ های کربناته، رس، مارن، شیست، دیوریت و توف های سبز و خوشه چهارم مربوط به دولومیت است.



شکل ۶- نتایج آنالیز خوشه ای (a علی آباد).



ادامه شکل ۶- نتایج آنالیز خوشه ای (b کرچا، c سلیمان تنگه).

این پژوهش نشان داد که همه پارامترهای بررسی شده تحت تاثیر سازندهای زمین شناسی حوضه آبخیز تجن می باشند. آنالیز مولفه های اصلی (PCA) در اولویت بندی اهمیت هر کدام از پارامترها در آلودگی نقش مثبتی ایفا می کند به طوری که پارامترهای مهم تر را در مولفه اول و پارامترهای کم اهمیت تر را به ترتیب در مولفه های بعدی قرار می دهد، برای مثال در ایستگاه علی آباد مولفه اول که شامل پارامتر هایی [TDS، EC، HCO_3^-، Cl^-، Ca^{2+}، Mg^{2+}، Na^+ و K^+] می باشد ۶۷/۰۹ درصد تغییرات را نشان

مـی دهـد و مولفـه دوم نیـز ۱۴/۷۳ درصـد تغییـرات را نشـان مـی دهـد کـه شـامل پارامتر های [SO_4^{2-} و SAR] اسـت. ایـن امـر بدین معنی است که به منظور کنترل کیفیـت آب رودخانـه، پـارامتر هـای [SO_4^{2-} و SAR] نسـبت بـه پارامترهـای مولفـه اول از اهمیـت کمتری برخوردارند.

آنالیز خوشه ای (CA) ابزار مناسبی بـرای دسته بندی پارامترها و نشان دادن ارتباط بین آنهاسـت، بـه طـوری کـه مـی تـوان گفـت پارامترهایی که در یک خوشه قرار مـی گیرنـد وابستگی بیشتری به یکدیگر داشته و مربوط به یک نوع سنگ بوده که در اثر فرسایش مقـدار مشخصی از هر پارامتر در آب رودخانـه وجـود دارد. بـا توجـه بـه مطلـب فـوق و رخ نمـون سازندهای زمین شناسی منطقه می توان گفت کـه عناصـر معـدنی ماننـد [Mg^{2+}، Ca^{2+} و HCO_3^-] به سازندهای کربناتی یعنی آهک هـا و دولومیت های حوزه آبخیز مربوط می باشـد، همچنین عامـل [K^+ و Cl^-] بـه شیسـت هـا و عامل پـارامتر هـای [SAR، Na^+ و SO_4^{2-}] بـه رس، مارن، دیوریت و توف سبز ارتباط دارنـد. در ایستگاه علی آباد ارتباط نزدیکی بین TDS و EC نشـان داده شـده و وابسـتگی ایـن دو پـارامتر بـا مطالعـات نـوری و همکـاران (۲۶) مطابقت دارد. آنالیز خوشه ای پارامترها حـاکی از معدنی بودن (زمین شناسی و خاکشناسـی) آنها می باشد.

منابع

1. Alizadeh, A. 2008. Principal of Applied Hydrology. Emam Reza Publications, 870 pp.
2. Alberto, W.D., D.M. Del Pilar, A.M. Valeria, P.S. Fabiana, H.A. Cecilia and B.M. de los A´ ngeles. 2000. Pattern recognition techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality. A case study: Suqui´a river basin (Co´ rdoba-Argentina). Water Research. 35: 2881-2894.
3. Astel, S., P. Tsakovski., V. Barbieri and B. Simeonov. 2007. Comparison of self-organizing maps classification approach with cluster and principal components analysis for larg environmental data sets. Water Research. 41: 4566-4578.
4. Bhardwaj, V., D.S. Singh and A.K. Singh. 2010. Water quality of the Chhoti Gandak River using principal component analysis, Ganga Plain, India. Journal of Earth System Science, 119: 117-127.
5. Bu, H., X. Tan, S. Li and Q. Zhang. 2010. Temporal and spatial variations of water quality in the Jinshui River of the South Qinling Mts., China. Ecotoxicology and Environmental Safety. 73: 907-913.
6. Chapman, D. 1992. Water Quality Assessment, ed. D. Chapman on behalf of UNESCO, WHO and UNEP, Chapman and Hall, London, 585 pp.
7. Dillon, W.R. and R. Goldstein. 1984. Multivariate Analysis Methods and Application. John Wiley and Sons. 453 pp.
8. Dixon, W. and B. Chiswell. 1996. Review of aquatic monitoring program design. Water Research. 30: 1935-1948.

9. Fan, X., B. Cui, H. Zhao, Z. Zhang and H. Zhang. 2010. Assessment of river water quality in Pearl River Delta using multivariate statistical techniques. Procedia Environmental Sciences. 2: 1220-1234.
10. Gotz, R., B. Steiner, P. Friesel, K. Roch, F. Walkow, V. Maab, H. Reincke and B. Stachel. 1998. Dioxin (PCDD/F) in the River Elbe investigations of their origin by multivariate statistical methods. Pergamon. 37: 1987-2002.
11. Jabari, E. and N. Nader. 2006. Instruction for surface water quality monitoring. Vice presidency for strategic planning and supervision. Ministry of Energy publishing. 222 pp.
12. Kerachian, R. and M. Karamouz. 2007. A stochastic conflict resolution model for water quality management in reservoir-river systems. Advances in Water Resources. 30: 866-882.
13. Loukas, A. 2010. Surface water quantity and quality assessment in Poinos River. Thessally.Greece. Desalination. 250: 266-273.
14. Mahbub, H., A. Syed Munaf and A. Walid. 2008. Cluster analysis and quality assessment of logged water at an irrigation project, Eastern Saudi Arabia. Journal of Environmental Management. 86(1): 297-307.
15. Mahdavi, M. 2008. Applied Hydrology. 2nd Vol., Tehran University Press, 441 pp.
16. Massart, D.L., B.G.M. Vandeginste, S.N. Deming, Y. Michotte and L. Kaufman. 1988. Chemometrics: Textbook. Elsevier, Amsterdam. 320pp.
17. Meglen, R.R. 1992. Examining large databases: a chemometric approach using principal component analysis. Marine Chemistry. 39: 217-237.
18. Mellinger, M. 1987. Multivariate data analysis: its methods. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems. 2: 29-36.
19. Mendiguchia, C., C. Moreno and M. Garcia-Vargas. 2007. Evaluation of natural and anthropogenic influences on the Guadalquiver River (Spain) by dissolved heavy metals and nutrients.Chemsophere 69(10): 1509-1517.
20. Moghadam, M., S.A. Mohamady-Shoti and M. Aghaie-Sarbarzeh. 2003. Multivariable Statistical Methods. Parivar Publishing. 208 pp.
21. Mossadegh, A. 2003. Global Destruction of invironment and future of the world. Agricultural Sciences Publishing. 198 pp.
22. Müller, B., M. Berg, Z.P. Yao, X.F. Zhang, D. Wang and A. Pfluger. 2008. How polluted is the Yangtze river? Water quality downstream from the Three Gorges Dam. Science of the Total Environment. 402: 232-247.
23. Nakano, T., I. Tayasu, Y. Yamada, T. Hosono, A. Igeta, F. Hyodo, A. Ando, Y. Saitoh, E. Wada and S. Yachi. 2008. Effect of agriculture on water quality of Lake Biwa tributaries, Japan. Science of the Total Environment. 389: 132-148.
24. Nikzad, E. 2008. The effects of landuse changes on stream hydrology responses (Case study: Neka river). M.Sc. Thesis of Watershed Management, Natural Resources Faculty, Mazandaran University. 62 pp.
25. Niroomand, H.A. 2007. Applied multivariate statistical analysis. Ferdowsi University poblishing. 740 pp.
26. Noori, R., M.S. Sabahi, A.R. Karbassi, A. Baghvand and H. Tatti Zadeh. 2010. Multivariate statistical analysis of surface water quality based on correlations and variations in the data set. Desalination. 260: 129-136.
27. Olı´as, M., J.M. Nieto, A.M. Sarmiento, J.C. Cero´n and C.R. Ca´novas. 2004. Seasonal water quality variations in a river affected by acid mine drainage: the Odiel River (South West Spain). Science of the Total Environment. 333: 267-281.

28. Parinet, B., A. Lhote and B. Legube. 2004. Principal component analysis: an appropriate tool for water quality evaluation and management-application to a tropical lake system. Ecological Modeling. 178: 295-311.
29. Pesce, S.F. and D.A. Wunderlin. 2000. Use of water quality indices to verify the impact of Cordoba City (Argentina) on Sucuia River. Water Research. 34: 15 -29.
30. Pezhman, H.A., GH.R. Nabi Bidhendi, A.R. Karbasi, N. Mehrdadi and M.E. Bidhendi. 2009. Evaluation of spatial and seasonal variations in surface water quality using multivariate statistical techniques, International Journal of Environmental Science and Technology (IJEST). 6: 467-476.
31. Pourbabaie, H. 2004. Applied Statistics in ecology. Guilan University Publishing. 427 pp.
32. Razmkhah, H., A. Abrishamchi and A. Torkian. 2010. Evaluation of spatial and temporal variation in water quality by pattern recognition techniques: A case study on Jajrood River (Tehran, Iran). Journal of Environmental Management. 91: 852-860.
33. Shrestha, S. and F. Kazama. 2007. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan, Environmental Modeling & Software. 22: 464-475.
34. Simeonov, V., J.A. Stratis, C. Samara, G. Zachariadis, D. Voutsa, A. Anthemidis, M. Sofoniou and Th. Kouimtzis. 2003. Assessment of the surface water quality in Northern Greece, Water Research. 37: 4119-4124.
35. Singh, K.P., A. Malik, D. Mohan and S. Sinha. 2004. Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India)-a case study. Water Research. 38: 3980-3992.
36. Taleb, A., N. Belaidi and J. Gagneur. 2004. Water quality before and after dam building on a heavily polluted river in semi-arid Algeria. River Research and Applications, 20: 943-956.
37. Vega, M., R. Pardo, E. Barrado and L. Deban. 1998. Assessment of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis. Pergamon. 32: 3581-3592.
38. Vakil, F. 1971. Geological map of the Sari, Scale 1:100000 Geological survey and mineral exploration of Iran.1 pp.
39. Wenning, R.J. and G.A. Erickson. 1994. Interpretation and analysis of complex environmental data using chemometric methods. Trends in Analytical Chemistry. 13: 446-457.
40. Wu, M.L. and Y.S. Wang. 2007. Using chemometrics to evaluate anthropogenic effects in Daya Bay, China. Estuarine. Coastal and Shelf Science. 72: 732-742.

Investigation of Water Quality Parameters in Tadjan River using Multivariate Statistical Techniques

S. Faryadi[1], K. Shahedi[2] and M. Nabatpoor[3]

1- Former M.Sc. student, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (Corresponding author: saeed.faryadi@gmail.com)
2 and 3- Assistant Professor and Former B.Sc. Student, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
Received: June 25, 2011 Accepted: September 09, 2012

Abstract

Water pollution is one of the crucial issues which affect human and environmental ecosystems in the world. This necessitates investigation on water quality to do better management over water resources. To evaluate water quality some parameters should be measured in a specific temporal period. In this study focus is on prioritization of water quality parameters, finding relationship between them and also to explore their mineral or non-mineral origin. To do this study, period of 3 years (2003-2006) data were selected in Tadjan river. In this period, monthly data of 10 parameters including TDS, EC, K^+, Na^+, Cl^-, SO_4^{2-}, Ca^{2+}, Mg^{2+}, SAR and HCO_3^- were analyzed in 3 stations (Aliabad, Korcha and Soleiman tange) using principal component analysis (PCA) and cluster analysis (CA) techniques. The results of PCA technique show that all parameters play important role in river's water quality except SAR and SO_4^{2-} in Aliabad, HCO_3^- in Korcha and Mg^{2+}, Ca^{2+} and HCO_3^- in Soleiman tange. CA technique represents that source of Mg^{2+}, Ca^{2+} and HCO_3^- can be attributed to karstic formations in the region like Carbonate Rock (Lime stone and Dolomite). Source of K^+ and Cl^- can be related to Schists and SAR, Na^+ and SO_4^{2-} might be related to Clay, Marl, Diorite and green Tuff.

Keywords: Water Quality, Principal Component Analysis, Cluster Analysis, Tadjan River