فصلنامه انسان و محیط زیست، شماره ۴۸، بهار ۹۸

بررسی روند تغییرات پارامترهای شیمیایی کیفیت آب رودخانه تجن با استفاده از تحلیل مؤلفه‌اصلی و نرم افزار Aqua Chem

سمیرا رهنما[۱] *

samira.rahnama1369@gmail.com

نسرین سیاری [۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۵/۱۶ **تاریخ پذیرش:۱۳۹۶/۱۲/۱۶**

چکیده

رودخانه‌ها از مهم‌ترین منابع آبی هستند که نقش مهمی در تأمین آب مورد نیاز فعالیت‌های مختلف نظیر کشاورزی، صنعت و شرب دارند، لذا حفاظت و استفاده بهینه از منابع آبی یکی از اصول توسعه پایدار هر کشور محسوب می‌گردد. در این پژوهش، داده‌های کیفی آب رودخانه تجن که یکی از مهم‌ترین منابع آبی استان مازندران به شمار می‌آید، طی سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۲ در دو ایستگاه کردخیل و سلیمان تنگه مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. جهت بررسی ساختار همبستگی و ارتباط میان متغیرها از تحلیل فاکتور اصلی بر مبنای روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA) و برای ارزیابی کیفیت آب و روند تغییرات پارامترهای کیفی آب رودخانه از نمودارهای پایپر و شولر استفاده شد. بر اساس نتایج حاصل از PCA مشخص شد که برای کنترل کیفیت آب رودخانه، در ایستگاه کردخیل در ۶ ماه اول سال به جز pH و در ۶ ماه دوم سال به جز (SO_4^{2-}، Q و pH) تمامی پارامترها در اولویت قرار دارند. در ایستگاه سلیمان تنگه در ۶ ماه اول سال پارامترهای (EC، TDS، K^+، HCO_3^- و Ca^{2+}) و در ۶ ماه دوم سال پارامترهای (TDS، Cl^-، Na^+ و SAR) در اولویت قرار دارند. با توجه به نمودار پایپر تیپ کیفی شیمیایی آب رودخانه تجن در ایستگاه کردخیل و سلیمان تنگه از نوع بی‌کربنات- منیزیم-کلسیم می‌باشد. هم‌چنین بر اساس نتایج حاصل از دیاگرام شولر مشخص شد که آب این رودخانه در هر دو ایستگاه دارای کیفیت خوب بوده و برای شرب مناسب می‌باشد.

کلمات کلیدی: پایپر، رودخانه تجن، شولر، کیفیت آب، PCA.

۱- کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. *(مسوول مکاتبات)

۲- استادیار بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

Human & Environment., No. 48, Spring 2019

Survey and Trends of Chemical Water Quality Parameters of Tajan River Water Quality Using Principal Component Analysis and Aqua Chem Software

Samira Rahnama [1*] *(Corresponding Author)*
samira.rahnama1369@gmail.com
Nasrin Sayari [۲]

Abstract

Rivers are the most important water resources that play an important role in providing the water needed for various activities such as agriculture, industry and drinking, so the conservation and optimal use of water resources is one of the principles of sustainable development in each country. In this research, water quality data of Tajan River, one of the most important water resources of Mazandaran province, was studied during two years from 2003 to 2013 in two stations of of Kordkheil and Soleyman Tangeh. To study of the correlation between variables, the Principal Component Analysis (PCA) and to investigate the water quality and the water qualitative parameters variation Piper and Schoeller diagram were used. Based on the results of the PCA, it was determined that for controlling river water quality, at the Kordkheil station in the first 6 months of the year except for pH and in the 6 months of the second year except for (SO_4^{2-}, Q and pH), all parameters were prioritized. At the Soleyman Tangeh station, parameters (EC, TDS, K^+, HCO_3^- and Ca^{2+}) in the first six months of the year and the parameters (TDS, Cl^-, Na^+ and SAR) in the second 6 months of the year are the priorities. According to the Piper diagram, the chemical type of Tajan River water at Kordkheil and Soleyman Tangeh stations is Bicarbonate-Magnesium-Calcium. Also, based on the results of the Schuler diagram, it was found that the river water is good at both stations and is suitable for drinking.

Key Words: Piper, Tajan River, Schoeller, Water Quality, PCA.

1- MSc of Water Resources Management, Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. **(Corresponding Author)*
2- Assistant Professor, Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.

مقدمه

امروزه آب به عنوان یکی از عوامل بهبود و رشد اقتصادی جوامع به‌شمار می‌آید، لذا حفاظت و استفاده بهینه از منابع آب از اصول توسعه پایدار هر کشور می‌باشند. آب‌های سطحی جاری یا رودخانه‌ها از مهم‌ترین منابعی آب هستند که نقش مهمی در تأمین آب مورد نیاز فعالیت‌های مختلف نظیر کشاورزی، صنعت و شرب دارند. اساس بسیاری از برنامه‌ریزی‌های منابع آب در کشورها پتانسیل بالقوه منابع آب‌های سطحی می‌باشد.

آگاهی از کیفیت منابع آب یکی از نیازمندی‌های مهم در برنامه‌ریزی و توسعه منابع آب و حفاظت و کنترل آن‌ها می‌باشد.

یکی از مهم‌ترین عواملی که همواره کیفیت آب رودخانه را تهدید می‌کند، تخلیه پساب‌های تصفیه نشده مراکز شهری، صنعتی و کشاورزی در آن‌ها می‌باشد. تخلیه انواع مختلف آلاینده‌های کشاورزی، صنعتی و پساب‌های شهری به رودخانه‌ها باعث شده که در حال حاضر رودخانه‌ها به عنوان یکی از کانون‌های بحرانی از نقطه نظر آلودگی‌ها مطرح باشند. هم‌چنین می‌توان بیان نمود که کاربری‌های شهری و کشاورزی برکیفیت آب رودخانه تأثیر به‌سزایی دارند، به طوری که در حوضه‌هایی با کاربری کشاورزی و شهری بالا، نسبت به حوضه‌هایی که این کاربری در آن‌ها کم‌تر است؛ میزان اسیدیته (pH) و شوری بالاتر است (۱).

کیفیت آب‌های سطحی در مناطق مختلف به دلیل تنوع سازندها و ساختارهای زمین‌شناسی و عوامل هیدروژئولوژیکی متفاوت می‌باشند، به همین منظور، شناخت و بررسی کیفیت منابع آب در مدیریت و استفاده بهینه از آن از اهمیت بالایی برخوردار است. با توجه به اهمیت موضوع تاکنون مطالعات متعددی در راستای بررسی کیفیت منابع آب و روند پارامترهای کیفی آب صورت گرفته که در ادامه به ذکر برخی از آن‌ها پرداخته شده است.

کاشفی‌اصل و همکاران (۲) به مدت ۶ ماه از ابتدای تیر ماه تا پایان آذر سال ۱۳۸۳ با بررسی و مدیریت کیفیت آب رودخانه جاجرود نشان دادند که غلظت املاح و آلودگی رودخانه در طی سال‌های متوالی افزایش یافته است.

آن‌ها هم‌چنین منبع آلودگی فاضلاب خانگی و زراعی را نیز در این منطقه مشخص نمودند. نخعی و همکاران (۳) کیفیت آب رودخانه و سرشاخه‌های کارون در استان چهارمحال بختیاری را با استفاده از استانداردهای کنترل کیفیت آب نظیر دیاگرام ویلکاکس و شولر مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که کیفیت آب جهت مصارف شرب و کشاورزی مناسب و تیپ آب در هر ایستگاه بی‌کربنات کلسیم است. سلیمانی ساردو و همکاران (۴) کیفیت آب و روند تغییرات پارامترهای کیفی آب رودخانه چم‌انجیر خرم آباد توسط روش‌های گرافیکی از قبیل نمودارهای ویلکاکس، شولر و پایپر را مورد ارزیابی و بررسی قرار دادند. آن‌ها نشان دادند که بر اساس نمودار پایپر تیپ کیفی آب کلسیمی منیزیمی و براساس دیاگرام شولر تمام نمونه‌های مربوط به آب رودخانه چم‌انجیر در دسته خوب و قابل قبول از نظر شرب قرار داشته و مانعی از نظر شرب ندارند. هم چنین نمودار ویلکاکس نشان داد که اکثر نمونه‌ها در کلاس کمی شور قرار گرفته و برای کشاورزی تقریباً مناسب می‌باشند.

فرید گیگلو و همکاران (۵) کیفیت آب رودخانه زرین‌گل استان گلستان را با استفاده از نمودارهای پایپر، شولر، ویلکاکس، درووو، گیبس و استیف طی سال‌های آماری ۱۳۷۷ تا ۱۳۸۶ مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که آب رودخانه زرین‌گل جزو به تیپ آب‌های شورمزه بوده و یون‌های کلسیم و منیزیم نیز نقش مهمی در تعیین تیپ آب رودخانه دارند. آن‌ها هم چنین نشان دادند که آب این رودخانه از نظر شرب در حد متوسط به پایین و در کلاس C_3S_1 قرار داشته و برای آبیاری زمین‌هایی با خاک درشت بافت و با زهکشی خوب مناسب می‌باشد.

در مطالعات بونیلا و متئو (۶) که در مورد بررسی متغیرهای مکانی و زمانی پارامترهای کیفی آب رودخانه آلبر واقع در اسپانیا در طول ۲ سال متوالی صورت گرفت، نشان داده شد که

کلسیم، کلرید سولفات و قلیایی در جهت پایین رودخانه افزایش می‌یابد که این تغییر غلظت به مکان و فصول مختلف بستگی داشته و در تابستان به علت افزایش جمعیت در ساختمان‌های مسکونی و تفریح‌گاه‌ها غلظت مواد شیمیایی بالا می‌رود. بویسیگلو (۷) روند تغییرات کلرید، نیترات، سدیم، سولفات و مجموع مواد محلول را به مدت ۶ سال در هفت ایستگاه در آبخیز تاهتالی ترکیه با استفاده از آزمون ناپارمتری من-کندال و تخمین گر شیب سن مورد بررسی قرار داد. نتایج حاکی از کاهش غلظت اکثر عناصر مذکور در آب این رودخانه بود. کافمن و بهدن (۸) کیفیت آب ۳۰ رودخانه آمریکا را در بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۷۰ میلادی مورد تجزیه و تحلیل قرار داده و با استفاده از آزمون من-کندال فرضی نشان دادند که کیفیت آب در ۶۹ ٪ ایستگاه‌ها ثابت باقی مانده یا بهبود پیدا کرده است.

بهاردواج (۹) در بررسی کیفیت آب رودخانه کتی گانداگ هند با استفاده از PCA، فاکتورهایی از قبیل درجه شیب، ضعف زهکشی، تبادل یونی و آلودگی‌های خانگی را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج این مطالعه نشان داد که در بعضی مناطق، به‌دلیل افزایش قلیاییت، آب سخت شده و برای استفاده‌های شرب و آبیاری مناسب نمی‌باشد. فان و همکاران (۱۰) 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 داده‌های شمال و غرب رودخانه را نشان دادند. ژانگ و همکاران (۱۱) در بررسی کیفیت آب رودخانه ویه در منطقه شانکسی چین با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره نشان دادند که پارامترهای آمونیاک و اکسیژن خواهی بیوشیمیایی جدی‌ترین منابع آلوده‌کننده رودخانه می‌باشند.

جانبازی و گرجی عربی (۱۲) کیفیت آب رودخانه کسیلیان در استان مازندران را بر اساس پارامترهای فیزیکی و شیمیایی و هیدرولوژیکی مورد بررسی و ارزیابی قرار دادند. نتایج آن‌ها در طول دوره مطالعاتی ۲۰۱۰-۲۰۰۹ و ۴ فصل نمونه برداری نشان داد که به طور متوسط میزان اکسیژن محلول برابر با ۷/۲۵ pH، برابر با ۷/۷، نیترات در محدوده ۱/۰۷-۰/۵۱ و آمونیوم در محدوده ۰/۷-۰/۰۴ می‌باشد، که همه آن‌ها در محدوده نرمال بوده و هم‌چنین کیفیت آب رودخانه براساس فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی در تمامی ایستگاه‌ها با شرایط عالی ارزیابی شد.

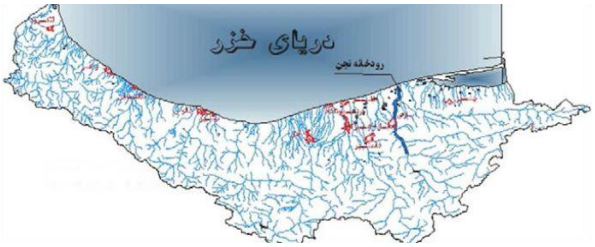
میکلانک و همکاران (۱۳) با استفاده از آزمون من-کندال و آزمون شیب سن به ارزیابی رودخانه بلا در اسلواکی پرداختند. نتایج آن‌ها بهبود کیفیت آب این رودخانه در طی دوره ۲۰ ساله (۲۰۱۰-۱۹۹۱) و روند رو به کاهشی در میزان نیترات، آمونیاک و کل فسفر، غلظت سولفات و کلرید را نشان داد.

ارین و همکاران (۱۴) در بررسی کیفیت آب منطقه بانو پاکستان با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره نشان دادند که پارامترهای هدایت الکتریکی (EC) و کل مواد جامد محلول (TDS) از مقدار مجاز سازمان بهداشت جهانی (WHO) بالاتر بوده که این محدودیت ممکن است وضعیت بهداشت ساکنین این منطقه را تحت تأثیر قرار دهد. ایشتیاق و همکاران (۱۵) با استفاده از PCA و تحلیل خوشه‌ای (CA) کیفیت آب دریاچه آنچار کشمیر هند را در طی ۴ فصل و برای ۱۳ پارامتر کیفی مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که روش PCA به استخراج و شناسایی عوامل تغییر کیفیت آب در فصول مختلف دریاچه کمک می‌کند که عمدتا مربوط به فاضلاب‌های خانگی، رواناب کشاورزی و تنوع فصلی می‌باشد. متأسفانه امروزه به علت وجود منابع آلوده کننده آب، از کیفیت آب رودخانه‌ها کاسته شده، به این علت باید قبل از استفاده از آب در مصارف مختلف کیفیت آن مورد بررسی قرار گیرد. با توجه به این که در اطراف رودخانه تجن منابع آلاینده نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای متعددی وجود دارد از جمله ورود فاضلاب‌های روستایی و رواناب شهری که پساب خروجی آن‌ها اکثراً بدون انجام فرآیند تصفیه می‌باشد و از طرف دیگر رودخانه تجن در تولید انواع محصولات کشاورزی، دامی و شیلات استان نقش مهمی ایفا می‌نماید. از این رو ضروری است تا مطالعات دقیقی

در مورد کیفیت آب و عوامل آلوده کننده آن در این منطقه صورت گرفته و از اقداماتی که سلامت منابع آبی را به خطر می‌اندازند، جلوگیری به عمل آید. در این پژوهش بنا بر اهمیت بررسی متغیرهای مختلف کیفی رودخانه تجن و نقش آن‌ها در تغییر کیفیت آب، از روش چند متغیره آنالیز مولفه‌های اصلی (PCA)[1] استفاده و با روش‌های ترسیمی به ارزیابی کیفیت شیمیایی آب رودخانه (۱۳۸۲-۱۳۹۲) پرداخته شد تا از این طریق تمهیدات لازم در زمینه مدیریت بهینه منابع آب صورت پذیرد.

روش بررسی

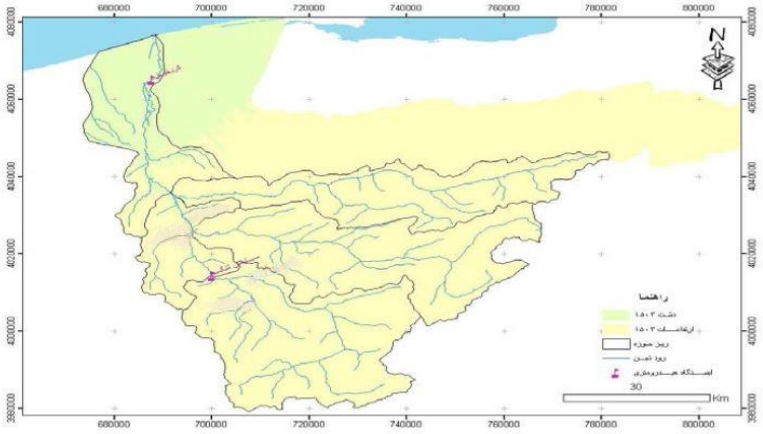
حوزه آبخیز تجن در دامنه شمالی البرز مرکزی در استان مازندران واقع شده است.این رودخانه از ارتفاعات البرز سرچشمه گرفته و پس از گذر از بخش‌های کوهپایه‌ای و پهنه ساحلی و با دریافت آب سفید رود و چندین سر شاخه کوچک به دریاچه خزر می‌ریزد (شکل۱). وسعت این حوزه آبریز ۴۱۴۷/۲۲ کیلومتر مربع، حداکثر ارتفاع ۳۷۲۸ متر، حداقل ارتفاع ۲۶- متر و طول رودخانه اصلی ۱۵۱/۵۷ کیلومتر می‌باشد. تخلیه پساب خانگی و کشاورزی خصوصاً در اطراف شهر ساری، تبدیل جنگل به زمین کشاورزی و گودبرداری جنگلی برای استخراج گچ و آهک از جمله مسایلی است که بر روی کیفیت آب رودخانه تجن تأثیر گذار می‌باشند (۱۶).



شکل۱- نمای کلی رودخانه تجن

در این پژوهش به منظور بررسی کیفیت آب رودخانه تجن از داده‌های کیفی ایستگاه‌های کردخیل و سلیمان تنگه به ترتیب به مساحت‌های ۴۰۲۶/۵۷ و ۱۲۴۸/۲۵ کیلومترمربع استفاده شد. داده‌های مورد بررسی در این پژوهش هدایت الکتریکی (EC)، کل مواد جامد محلول (TDS)، کلر (Cl^-)، سدیم (Na^+)، پتاسیم (K^+)، نسبت جذب سدیم (SAR)، بی کربنات (HCO_3^-)، کلسیم (Ca^{2+})، منیزیم (Mg^{2+})، سولفات (SO_4^{2-})، دبی(Q) و اسیدیته (pH) بودند. داده‌های مورد بررسی این دو ایستگاه از اداره آب منطقه‌ای استان مازندران دریافت و از داده‌های مربوط به سال‌های آماری ۱۳۹۲-۱۳۸۲ جهت آنالیز و بررسی کیفیت آب رودخانه در محل این دو ایستگاه استفاده شد (شکل۲).

1- Principal Component Analysis (PCA)



شکل۲- ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه

به منظور بررسی فاکتورهای مؤثر در کیفیت آب، از تحلیل فاکتور اصلی بر مبنای روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA) موجود در نرم افزار SPSS و هم چنین نمودارهای شولر[1] و پایپر[2] در نرم افزار Aqua Chem استفاده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. هم‌چنین جهت بررسی قابلیت شرب آب-رودخانه از نمودار نیمه لگاریتمی شولر و برای تعیین تیپ (رخساره هیدروشیمی) آب از نمودار پایپر استفاده شد. براساس نمودار پایپر هشت رخساره شیمیایی قابل تشخیص است: بی‌کربنات-منیزیم-کلسیم ($Ca\text{-}Mg\text{-}HCO_3$)، بی‌کربنات-سدیم ($Na\text{-}HCO_3$)، کلر-بی‌کربنات-منیزیم-کلسیم ($Ca\text{-}Mg\text{-}HCO_3\text{-}Cl$)، کلر-بی‌کربنات-سدیم ($Na\text{-}HCO_3\text{-}Cl$)، بی‌کربنات-کلر-منیزیم-سدیم ($Na\text{-}Mg\text{-}Cl\text{-}HCO_3$)، بی‌کربنات-کلر-سدیم ($Na\text{-}Cl\text{-}HCO_3$)، کلر-منیزیم-کلسیم($Ca\text{-}Mg\text{-}Cl$) و کلر-سدیم ($Na\text{-}Cl$).

دیاگرام پایپر براساس موقعیت مکانی برخی کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی نظیر Na^+، K^+، Mg^{2+}، Ca^{2+}، SO_4^{2-}، Cl^-، CO_3^{2-} و HCO_3^- نیز برای تعیین تیپ و رخساره آب استفاده می‌شود (۱۷، ۱۸). تیپ آب براساس اولویت‌های غلظتی یکی از آنیون‌های آب تعیین می‌شود، که سه تیپ اصلی بی‌کربناته، سولفاته و کلره وجود دارد. هم‌چنین رخساره آب را می‌توان براساس اولویت‌های غلظتی یکی از کاتیون‌های آب تعیین نمود که دارای سه رخساره اصلی کلسیک، منیزیک و سدیک می‌باشد.

تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)

PCA یکی از تکنیک‌های چند متغیره آماری است و در مواردی که حجم داده‌ها زیاد باشد، می‌توان به عنوان راهکاری مناسب برای کاهش تعداد ورودی‌ها از آن استفاده نمود، به گونه‌ای که این تعداد ورودی قادرند تغییرات جامعه را به خوبی توصیف نمایند (۱۹، ۲۰). آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA) روش تقسیم یک ماتریس تشابه به یک مجموعه محورها یا مؤلفه‌های متعامد (عمودی) است که هر کدام از این محورها یک PC نامیده می‌شود. این روش مؤلفه‌ها را وزن‌دهی کرده و برای هر کدام یک مقدار ویژه بیان می‌کند، مقدار ویژه هر محور برابر واریانس محاسبه شده برای آن محور است. تحلیل مؤلفه‌های اصلی یک تبدیل خطی متعامد است که داده را به دستگاه مختصات جدید می‌برد، به طوری که بزرگ‌ترین واریانس داده بر روی اولین محور مختصات، دومین بزرگ‌ترین واریانس بر روی دومین محور مختصات قرار می‌گیرد و همین‌طور برای بقیه. تحلیل مؤلفه‌های اصلی می‌تواند برای کاهش ابعاد داده مورد استفاده قرار بگیرد، به این ترتیب مؤلفه‌هایی از مجموعه داده که بیش‌ترین تأثیر را در واریانس دارند حفظ می‌کند. با استفاده از PCA متغیرهای اولیه به مؤلفه‌های جدید که ترکیب خطی از آن‌ها هستند، تبدیل می‌شوند (۲۱). در این

1- Schoeller Diagram
2- Piper Diagram

روش هر مؤلفه اصلی می‌تواند با دنباله‌ای به صورت رابطه ۱ مشخص شود (۲۲؛ ۲۳).

$$Z_i = a_{i1}X_1 + a_{i2}X_2 + ... + a_{ij}X_j \quad (۱)$$

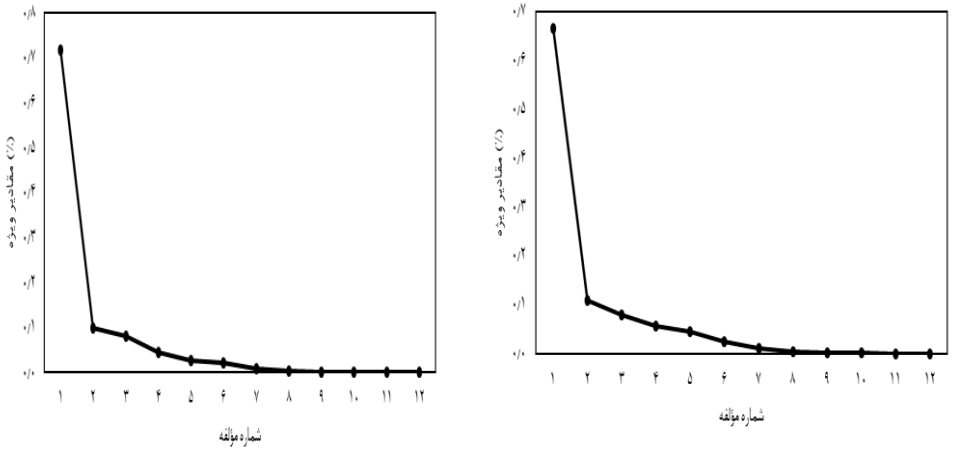
که در آن، Z_i معرف مؤلفه موردنظر، a_{ij} ضرایب مربوط به متغیرهای اولیه و X_i نیز متغیرهای اولیه می‌باشند. ضرایب مربوط به متغیرهای اولیه از حل معادله ۲ به‌دست می‌آید (۲۲، ۲۳).

$$|R-\lambda I| = 0 \quad (۲)$$

که در آن، I ماتریس واحد، R ماتریس همبستگی بین متغیرهای اولیه و λ نیز مقادیر ویژه می‌باشند. از مقادیر ویژه، بردارهای ویژه به دست می‌آیند. در PCA مقادیر ویژه ماتریس تشابه براساس روند نزولی استخراج می‌شود، به طوری که محورهای متناظر PCA به طور متوالی مقادیر تغییرات را از بزرگ‌ترین تا کوچک‌ترین در ماتریس نشان می‌دهند. این آنالیز به عنوان یک تکنیک برای مواردی از جمله کاهش متغیرها، روندهای دوره‌ای داده‌ها، کیفیت آب و فاکتورهای مؤثر در آن و نیز استخراج پارامترهای مهم در آلودگی استفاده می‌شود.

یافته‌ها

آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA) در اولویت بندی اهمیت هر یک از پارامترها در آلودگی نقش مثبتی ایفا می‌کند، به طوری که پارامترهای مهم تر را در مؤلفه اول و پارامترهای کم اهمیت را در مؤلفه‌های بعدی قرار می‌دهد. بر اساس شکل ۳ و جدول۱، PCA در ایستگاه کردخیل، ۱۲ مؤلفه معرفی شد که مؤلفه‌های اول و دوم مؤلفه‌های اصلی بوده و در ۶ ماه اول سال، در مجموع ۷۷/۵۷ ٪ تغییرات ویژه نشان می‌دهد که مؤلفه اول ۶۶/۶۴ ٪ تغییرات که شامل همه پارامترها به‌غیر از (pH) و در این مؤلفه دو پارامتر EC و TDS دارای بیش‌ترین بار عاملی می‌باشند (برابر ۰/۹۸۹) و به عنوان پارامترهای اصلی این مؤلفه انتخاب شد. مؤلفه دوم ۱۰/۹۳ ٪ تغییرات که شامل (pH) می‌باشد که می‌توان آن را مهم‌ترین پارامتر این مؤلفه نامید. در ۶ ماه دوم سال، در مجموع ۸۱/۵۴ ٪ تغییرات ویژه را بیان می‌کنند. مؤلفه اول ۷۲/۶۷٪ تغییرات را نشان می‌دهد که شامل پارامترهای (EC، TDS، Cl^-، Na^+، K^+، SAR، HCO_3^-، Ca^{2+} و Mg^{2+}) و پارامتر EC با بار عاملی ۰/۹۷ به عنوان پارامتر اصلی این مؤلفه انتخاب شد. مؤلفه دوم ۹/۸۷٪ تغییرات را نشان می‌دهد که شامل(SO_4^{2-}، Q و pH) است و پارامتر SO_4^{2-} به دلیل داشتن بیش‌ترین بار عاملی (۰/۶۸۷) به عنوان پارامتر اصلی این مؤلفه انتخاب شد.

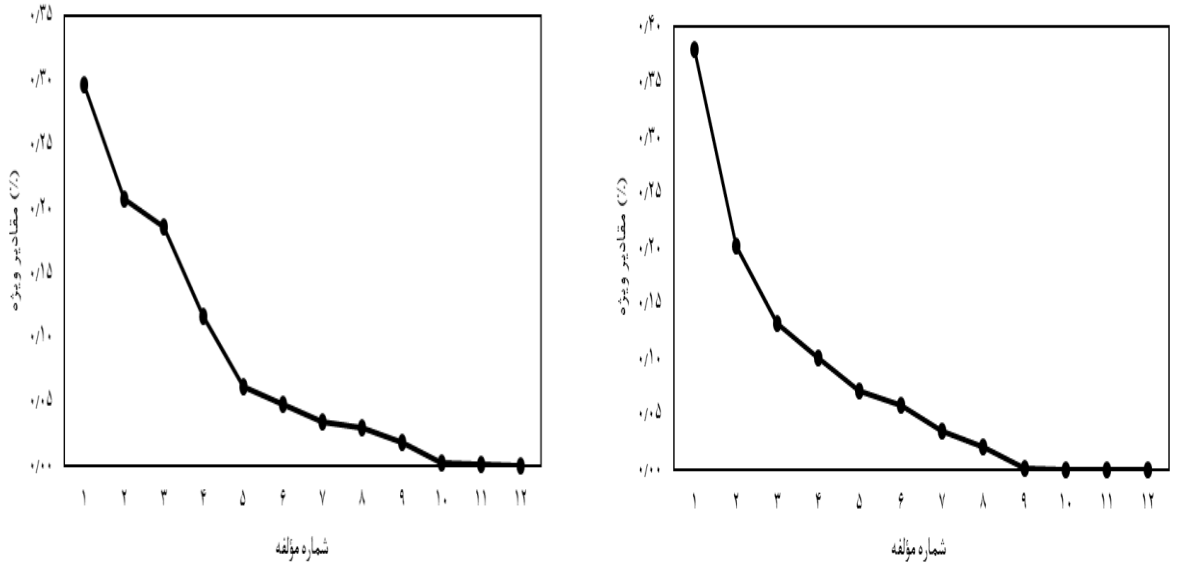


الف: ۶ ماه اول سال

ب: ۶ ماه دوم سال

شکل۳- درصد تغییرات بیان شده در ایستگاه کردخیل

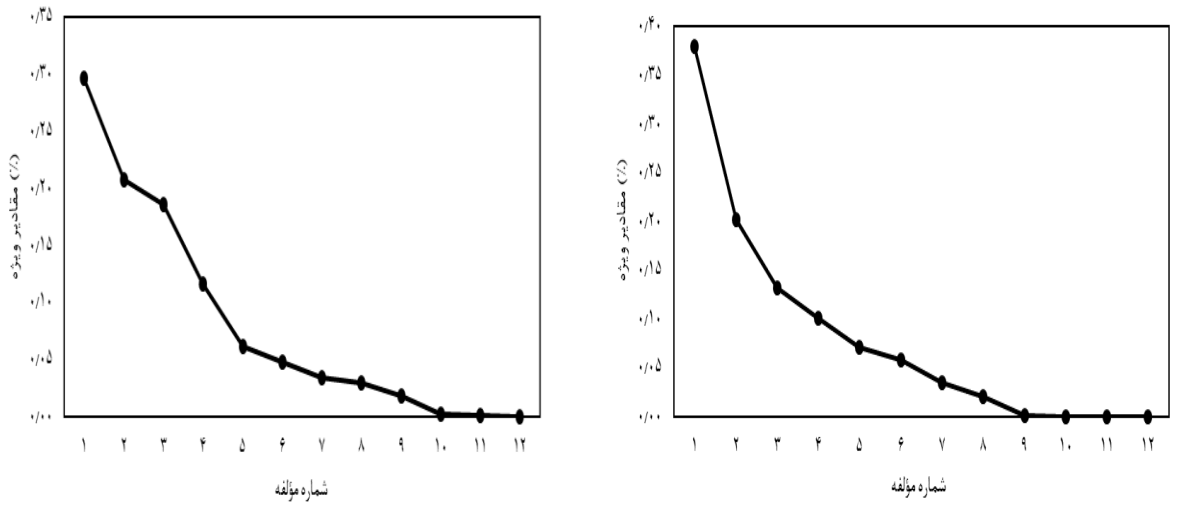
با توجه به شکل ۴ و جدول ۱، در ایستگاه سلیمان تنگه، ۱۲ مؤلفه معرفی شد که ۴ مؤلفه اول آن مؤلفه اصلی بوده و در ۶ ماه اول سال، در مجموع ۸۱/۵۰ ٪ تغییرات ویژه را نشان می‌دهد که مؤلفه اول ۳۸/۰۰ ٪ تغییرات و شامل پارامترهای (EC، TDS، K^+، HCO_3^- و Ca^{2+}) می‌باشد و EC با بار عاملی ۰/۹۶۸ به عنوان پارامتر اصلی این مؤلفه انتخاب شد. مؤلفه دوم ۲۰/۲۱ ٪ تغییرات را نشان می‌دهد و شامل پارامترهای (Cl^-، Na^+ و SAR) می‌باشد و پارامتر اصلی این مؤلفه Na^+ با بار عاملی ۰/۹۵۵ انتخاب شد. مؤلفه سوم ۱۳/۱۶ ٪ تغییرات را نشان می‌دهد و شامل پارامترهای (SO_4^{2-}، Q و pH) می‌باشد و pH با بار عاملی ۰/۷۱۶ به عنوان پارامتر اصلی شناخته شد. مؤلفه چهارم ۱۰/۱۳ ٪ تغییرات را نشان می‌دهد و شامل پارامتر (Mg^{2+}) با بار عاملی ۰/۸۲۱می‌باشد و می‌توان آن را به عنوان پارامتر اصلی این مؤلفه شناخت. هم‌چنین درماه دوم سال، در مجموع ۸۰/۵۹ ٪ تغییرات ویژه را نشان می‌دهد که مؤلفه اول ۲۹/۶۴ ٪ تغییرات را نشان می‌دهد و شامل پارامترهای (TDS، Cl^-، Na^+ و SAR) می‌باشد و می‌توان Na^+ را با بار عاملی ۰/۹۶۳ به عنوان پارامتر اصلی انتخاب نمود. مؤلفه دوم ۲۰/۷۴ ٪ تغییرات را نشان می‌دهد و شامل پارامترهای (EC، K^+ و Ca^{2+}) می‌باشد، که پارامترهای (K^+ و Ca^{2+}) بار بار عاملی ۰/۸۳۸ به عنوان پارامترهای اصلی این مؤلفه انتخاب شد. مؤلفه سوم ۱۸/۵۳ ٪ تغییرات را نشان می‌دهد و شامل پارامترهای (HCO_3^-، SO_4^{2-} و pH) می‌باشد و pH دارای بیش‌ترین بار عاملی است (۰/۸۰۰) و به عنوان پارامتر اصلی انتخاب شد و مؤلفه چهارم ۱۱/۶۸ ٪ تغییرات را نشان می‌دهد و شامل پارامترهای (Mg^{2+} و Q) می‌باشد و منیزیم با بار عاملی ۰/۹۴۵ به عنوان پارامتر اصلی این مؤلفه انتخاب شد. به طور کلی در این مطالعه، مهم‌ترین پارامترهای کیفیت آب که توسط PCA تعیین شدند، در ایستگاه کردخیل در ۶ ماه اول سال EC، TDS و pH و در ۶ ماه دوم سال EC و SO_4^{2-} و در ایستگاه سلیمان تنگه در ۶ ماه اول سال EC، Na^+، Mg^{2+} و pH و در ۶ ماه دوم سال Na^+، K^+، Ca^{2+}، Mg^{2+} و pH بود.



الف: ۶ ماه اول سال

ب: ۶ ماه دوم سال

شکل۴- درصد تغییرات فاکتورها در ایستگاه سلیمان تنگه



الف: ۶ ماه اول سال **ب: ۶ ماه دوم سال**

شکل۴- درصد تغییرات فاکتورها در ایستگاه سلیمان تنگه

با توجه به نتایج مندرج در جدول ۱ اولین مؤلفه برای هر کـدام از ایسـتگاه‌ها در ۶ مـاه اول و دوم سـال بـا معـادلات (۳ تـا ۶) مشخص می‌شوند.

$$Z_1=0.989X_1+0.989X_2+0.930X_3+0.938X_4+0.916X_5+0.905X_6+0.857X_7+0.814X_8+0.662X_9+0.624X_{10}-0.578X_{11}-0.267X_{12} \quad (۳)$$

ایستگاه کردخیل- ۶ ماه اول سال

$$Z_1=0.970X_1+0.969X_2+0.954X_3+0.946X_4+0.945X_5+0.927X_6+0.922X_7+0.851X_8+0.751X_9+0.501X_{10}-0.371X_{11}-0.436X_{12} \quad (۴)$$

ایستگاه کردخیل- ۶ ماه دوم سال

$$Z_1=0.968X_1+0.958X_2+0.297X_3+0.160X_4+0.818X_5-0.168X_6+0.787X_7+0.863X_8+0.410X_9+0.299X_{10}+0.223X_{11}+0.309X_{12} \quad (۵)$$

ایستگاه سلیمان تنگه- ۶ ماه اول سال

$$Z_1=0.441X_1+0.591X_2+0.725X_3+0.936X_4-0.035X_5+0.950X_6-0.077X_7-0.152X_8+0.082X_9+0.257X_{10}+0.236X_{11}-0.109X_{12} \quad (۶)$$

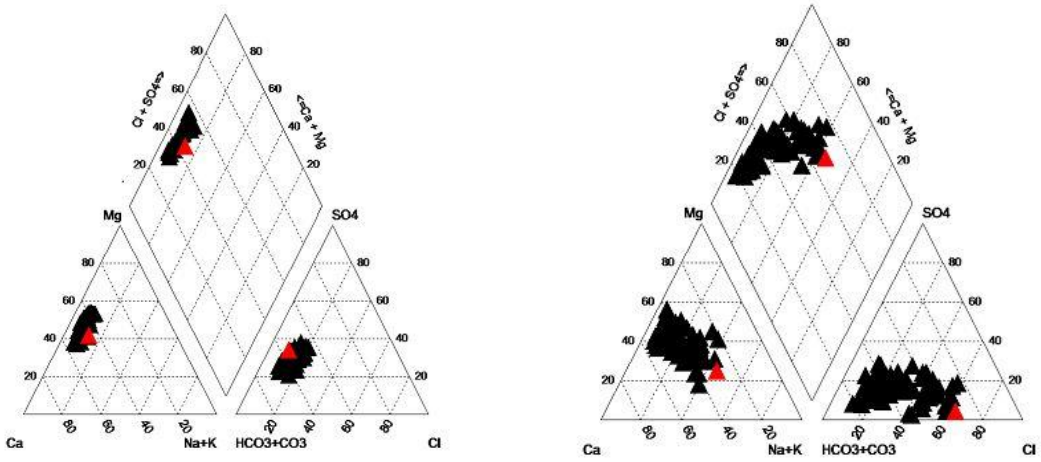
ایستگاه سلیمان تنگه- ۶ ماه دوم سال

جدول۱- ضرایب هر پارامتر (بردارهای ویژه) جهت تعیین مؤلفه‌ها

	کردخیل				سلیمان تنگه							
	۶ ماه اول سال		۶ ماه دوم سال		۶ ماه اول سال				۶ ماه دوم سال			
پارامتر	مؤلفه اول	مؤلفه دوم	مؤلفه اول	مؤلفه دوم	مؤلفه اول	مؤلفه دوم	مؤلفه سوم	مؤلفه چهارم	مؤلفه اول	مؤلفه دوم	مؤلفه سوم	مؤلفه چهارم
EC	۰/۹۸۹	۰/۱۰۴	۰/۹۷۰	۰/۲۳۴	۰/۹۶۸	۰/۱۲۵	۰/۱۶۵	-۰/۰۷۴	۰/۴۴۱	۰/۶۹۷	-۰/۰۳۳	۰/۳۴۷
TDS	۰/۹۸۹	۰/۰۹۸	۰/۹۶۹	۰/۲۳۰	۰/۹۵۸	۰/۱۱۶	۰/۱۶۸	-۰/۰۶۸	۰/۵۹۱	۰/۳۵۹	۰/۱۰۶	۰/۰۲۵

Cl^-	۰/۹۳۰	۰/۱۰۸	۰/۹۵۴	۰/۰۹۵	۰/۲۹۷	۰/۴۱۲	-۰/۱۴۰	۰/۶۹۳	۰/۷۲۵	۰/۰۹۳	۰/۵۰۲	-۰/۱۹۳
Na^+	۰/۹۳۸	۰/۰۴۲	۰/۹۴۶	۰/۱۰۴	۰/۱۶۰	۰/۹۵۵	۰/۰۳۸	۰/۰۳۴	۰/۹۶۳	-۰/۰۵۳	۰/۰۲۷	۰/۰۳۸
K^+	۰/۹۱۶	-۰/۱۸۸	۰/۹۴۵	۰/۱۲۸	۰/۸۱۸	۰/۱۴۳	۰/۰۳۲	-۰/۰۹۱	-۰/۰۳۵	۰/۸۳۸	۰/۰۳۰	-۰/۱۱۱
SAR	۰/۹۰۵	-۰/۰۰۴	۰/۹۲۷	۰/۱۰۰	-۰/۱۶۸	۰/۹۵۰	۰/۰۰۵	۰/۰۷۱	۰/۹۵۰	-۰/۲۰۴	-۰/۰۱۴	-۰/۰۲۷
HCO_3^-	۰/۸۵۷	-۰/۲۱۲	۰/۹۲۲	۰/۱۴۰	۰/۷۸۷	-۰/۲۸۶	-۰/۲۹۰	-۰/۲۱۵	-۰/۰۷۷	۰/۴۸۰	-۰/۷۶۸	۰/۳۰۹
Ca^{2+}	۰/۸۱۴	-۰/۲۱۵	۰/۸۵۱	۰/۲۳۱	۰/۸۶۳	-۰/۱۳۴	۰/۱۳۵	۰/۴۰۳	-۰/۱۵۲	۰/۸۳۸	۰/۰۹۱	-۰/۴۳۷
Mg^{2+}	۰/۶۶۲	۰/۵۸۷	۰/۷۵۱	۰/۴۱۹	۰/۴۱۰	۰/۱۰۴	۰/۰۴۷	-۰/۸۲۱	۰/۰۸۲	-۰/۱۱۲	۰/۱۲۸	۰/۹۴۵
SO_4^{2-}	۰/۶۲۴	۰/۴۰۱	۰/۵۰۱	۰/۶۸۷	۰/۲۹۹	۰/۴۳۷	۰/۶۴۷	-۰/۰۷۷	۰/۲۵۷	-۰/۰۱۲	۰/۴۸۳	۰/۱۳۲
Q	-۰/۵۷۸	۰/۰۰۶	-۰/۳۷۱	-۰/۵۷۲	۰/۲۲۳	۰/۰۰۵	-۰/۶۹۳	۰/۱۰۷	۰/۲۳۶	۰/۰۷۷	۰/۳۹۸	-۰/۶۶۰
pH	-۰/۲۶۷	۰/۸۰۸	-۰/۴۳۶	۰/۶۵۵	۰/۳۰۹	-۰/۱۰۸	۰/۷۱۶	۰/۰۳۹	-۰/۱۰۹	۰/۲۹۱	۰/۸۰۰	-۰/۰۵۷

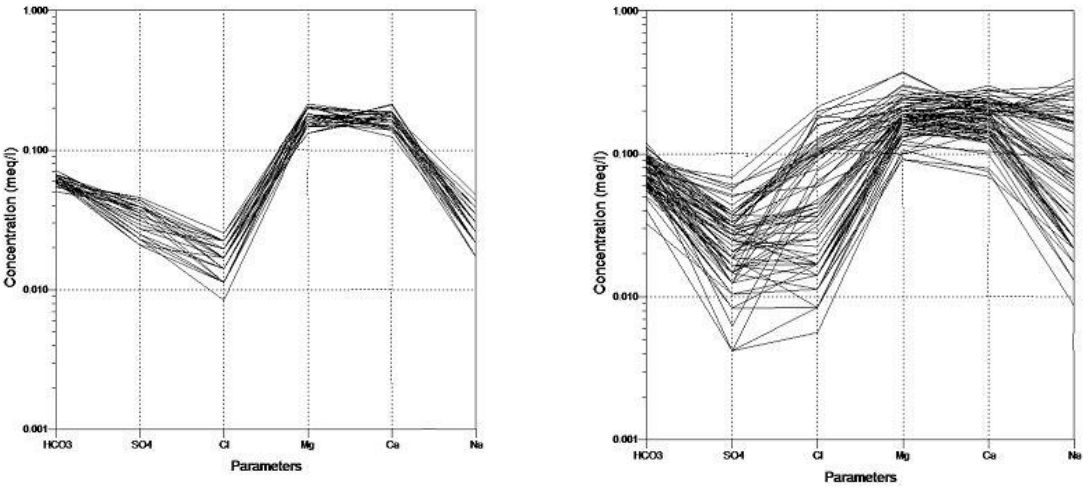
با استفاده از نمودار پایپر تیپ و وضعیت شیمیایی آب مشخص شد. در این نمودار درصد آنیون‌ها و کاتیون‌ها در میدان مثلثی و موقعیت ترکیبی آن‌ها در میدان لوزی شکل پیاده می‌شود (۱۷). در این طبقه‌بندی، آب‌ها براساس کاتیون‌ها به سه رخساره منیزیک، کلسیک و سدیک و نیز بر پایه آنیون‌ها به سه تیپ بی کربناته، سولفاته و کلره تقسیم بندی می‌شوند (۲۴). براساس نمودار پایپر در شکل ۵ تیپ کیفی شیمیایی آب رودخانه تجن در ایستگاه کردخیل و سلیمان تنگه از نوع بی‌کربنات-منیزیم-کلسیم (Ca-Mg- HCO_3) و سختی آب رودخانه از نوع موقتی می‌باشد. نتایج مطالعات موسوی و همکاران (۲۵) نشان داد که کیفیت آب رودخانه تجن در گروه بی‌کربنات-کلسیم-منیزیم (Ca-Mg- HCO_3) قرار دارد، که با این نتایج مطابقت دارد.



الف: ایستگاه کردخیل **ب: ایستگاه سلیمان تنگه**

شکل ۵- نمودار پایپر در ایستگاه‌های مورد مطالعه

نمودار شولر نموداری نیمه لگاریتمی است که نتایج شیمیایی آب را به صورت خطوط شکسته نشان داده و برای بررسی کیفیت آب از لحاظ مصارف آشامیدنی به کار می‌رود (۱۷). با توجه به دیاگرام شولر ارایه شده در شکل ۶، آب رودخانه تجن در ایستگاه کردخیل و سلیمان تنگه دارای کیفیت خوب بوده و برای شرب مناسب می‌باشد.



الف: ایستگاه کردخیل **ب: ایستگاه سلیمان تنگه**

شکل ۶- نمودار شولر در ایستگاه‌های مورد مطالعه

نتیجه گیری

کمیت و کیفیت آب، یکی از پایه‌های اصلی توسعه پایدار به شمار می‌روند. از طرفی رودخانه‌ها نیز به عنوان یکی از منابع اصلی و قابل دسترس تأمین کننده نیازهای جوامع بشری مطرح بوده که علاوه بر کمیت آب، کیفیت آب آن‌ها نیز جزء پارامترهای مهم تعیین کننده محسوب می‌شوند.

بررسی کیفیت شیمیایی آب رودخانه تجن در دو ایستگاه کردخیل و سلیمان تنگه نشان می‌دهد که مهم‌ترین پارامترهای کیفیت آب در ایستگاه کردخیل در ۶ ماه اول سال EC، TDS و pH و در ۶ ماه دوم سال EC و SO_4^{2-} و در ایستگاه سلیمان تنگه در ۶ ماه اول سال EC، Na^+، Mg^{2+} و pH و در ۶ ماه دوم سال Na^+، K^+، Ca^{2+}، Mg^{2+} و pH بوده است. هم‌چنین با توجه به نمودار پایپر تیپ کیفی شیمیایی آب رودخانه تجن در ایستگاه کردخیل و سلیمان تنگه از نوع بی‌کربنات-منیزیم-کلسیم ($Ca\text{-}Mg\text{-}HCO_3$) و سختی آب از نوع موقتی می‌باشد. بر اساس دیاگرام شولر مشخص شد که آب رودخانه تجن در ایستگاه کردخیل و سلیمان تنگه دارای کیفیت خوب بوده و برای شرب مناسب می‌باشد.

بنابراین با توجه به نتایج به دست آمده توصیه می‌شود از یافته‌های حاضر جهت بهبود پایش رودخانه تجن واقع در استان مازندران استفاده گردد و به جای برداشت پارامترها با اطلاعات مشابه، از سایر پارامترها کیفیت آب که قادرند ابعاد کیفی دیگری را به نمایش بگذارند (مانند پارامترهای بیولوژیکی کیفیت آب)، استفاده گردد. علاوه بر این می‌توان گفت استفاده از تحلیل های چند متغیره آماری، قادر است حجم گسترده‌ای از داده‌ها را به طور هم‌زمان پردازش نماید و به عنوان یک راهکار کمی، در مدیریت کیفیت آب رودخانه‌های استان مازندران مطرح گردد.

منابع

1. Chessman, B., Townsend, S., 2010. Differing Effects of Catchment Land use on Water Chemistry Explain Contrasting Behaviour of a Diatom Index in Tropical Northern and Temperate Southern Australia. Ecological Indicators, Vol. 10, Iss. 3, pp. 620-626.

۲. کاشفی‌الاصل، مرتضی و همکاران، «لزوم مدیریت کیفیت رودخانه جاجرود»، فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۱۳۸۸، دوره ۱۱، شماره ۲، صص ۱۱۹-۱۲۹.

۳. نخعی، محمد و همکاران، «ارزیابی کیفی آب رودخانه و سرشاخه‌های کارون در استان چهارمحال بختیاری»، فصلنامه زمین شناسی ایران، ۱۳۹۰، سال ۵، شماره ۲۰، صص ۵۹-۷۲.

۴. سلیمانی ساردو، مجتبی و همکاران، «آنالیز و روندیابی پارامترهای کیفیت شیمیایی آب (مطالعه موردی: رودخانه چم انجیر لرستان)»، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، ۱۳۹۲، شماره ۱۲، سال ۳، صص ۹۵-۱۰۶.

۵. فرید گیگلو، بهنام و همکاران، «بررسی تغییرات کیفیت آب رودخانه زرین‌گل استان گلستان»، مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۱۳۹۲، جلد ۲۰، شماره ۱، صص ۷۷-۹۵.

6. Bonilla, L., Mateo, P., 2004. Spatial and Temporal Change in Water Quality in a Spanish River. Journal Water Quality, Vol. 11, pp. 45-59.
7. Boyciouglu, H., 2008. Investigation of Temporal Trends in Hydrochemical Quality of Surface Water in Western Turkey. Bull, Environ, Contam, Toxial, Vol. 80, pp. 469-477.
8. Kauffman, G.J., Behden, A.C., 2010. Water Quality Trends (1970-2005) along Delaware Streams in the Delaware and Chesapeake Bay Watersheds. USA, Water Air Soil Pollut, Vol. 208, pp. 345- 375.
9. Bhardwaj, V., Singh, D.S., Singh, A.K., 2010. Water quality of the Chhoti Gandak River using principal component analysis, Ganga Plain, India. Journal of Earth System Science, Vol. 119, pp. 117-127.
10. Fan, X., Cui, B., Zhao, H., Zhang, Z., Zhang, H., 2010. Assessment of river water quality in Pearl River Delta using multivariate statistical techniques. Procedia Environmental Sciences. Vol. 2, pp. 1220-1234.
11. Zhang, Z.M., Wang, X.Y., Zhang, Y., Nan, Z., Shen, B.G., 2012. The Over Polluted Water Quality Assessment of Weihe River Based on Kernel Density Estimation. Procedia Environmental Sciences, Vol. 13, pp. 1271-128.
12. Janbazi, A., Gorjian Arabi, M.H., 2013. Investigation of Water Quality in KesilIian River Based on the Physical, Chemical and Hydrological Parameters. Journal of Wetland Ecobiology, Vol. 5, Iss. 16, pp. 63-74.
13. Miklanek, P., Martincova, M., Dosa, M., Pekarova, P., 2013. Long Term Trend of Water Quality in the Bela river. Die Bodenkultur, Vol. 64, Iss. 3-4, pp. 73-78.
14. Arain, M.B., Ullahb, I., Niazb, A., Shaha, N., Shahb, F., Hussaina, Z., Tariqc, M., Afridid, H.I., Baigd, J.A., Kazid, T.G., 2015. Evaluation of Water Quality Parameters in Drinking Water of District Bannu, Pakistan: Multivariate Study. Sustainability of Water Quality and Ecology, Vol. 3, Iss. 4, pp. 114-123.
15. Ishtiyaq, N., Anisa, K., Abdul, H., 2017. Evaluation of seasonal variability in surface water quality of Shallow Valley Lake, Kashmir, India, using multivariate statistical techniques. Pollution, Vol. 3, Iss, 3, pp. 349-362.

۱۶. لویزه، ف، «بررسی منشا و میزان تمرکز آلاینده‌های فلزی سنگین در حوضه آبریز رودخانه های تالار، تجن، نکارود»- بیست و یکمین گردهمایی علوم زمین شناسی سازمان زمین شناسی کشور، ۱۳۸۴، ایران.

۱۷. صداقت، محمود، «زمین و منابع آب (آب‌های زیرزمینی) »، انتشارات دانشگاه پیام نور، ۱۳۸۸، ۲۸۷ ص.

18. Piper, A.M., 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analysis. Trans. American Geophysical Union. 25 (6): 914-928.
19. Noori, R., Abdoli, M.A., Jalili Ghazizade, M., Samieifard, R., 2009. Comparison of Neural Network and Principal Component-Regression Analysis to Predict the Solid Waste Generation in Tehran. Iran Journal Public Health, Vol. 38, Iss. 1, pp. 74-84.
20. Noori, R., Khakpour, A., Omidvar, B., Farokhnia, A., 2010. Comparison of ANN and Principal Component Analysis-Multivariate Linear Regression Models for Predicting the River Flow Based on Developed Discrepancy Ratio Statistic. Expert Systems with Applications, Vol. 37, Iss. 8, pp. 5856-62.
21. Saavedra, J., Cordova, A., Galvez, L., Quezada, C., Navarro, R., 2013. Principal component analysis as an exploration tool for kinetic modeling of food quality: a case study of a dried apple cluster snack. Journal of Food Engineering, Vol. 119, pp. 229-235.
22. Manly, B.F.J., 1986. Multivariate Statistical Methods: A Primer. 3rd ed. London: Chapman & Hall.
23. Noori, R., Karbassi, A., Kahkpour, A., Shahbazbegian, M., Mohammadi, H., Vesali-Naseh, M., 2012. Chemometric Analysis of Surface Water Quality Data: Case Study of the Gorganrud River Basin, Iran. Environ Model Assess, Vol. 17, pp. 411–420

۲۴. زارع گاریزی، آ، بردی شیخ، ا، سعدالدین، ا، سلیمان ماهینی، ع، «ارزیابی کیفیت شیمیایی آب‌های سطحی و بررسی تغییرات فصلی آن»، همایش ملی مدیریت بحران آب، اسفند ۱۳۸۸، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت، ایران.

۲۵. موسوی، ر. س، میر گلوی بیات، ر، معروفی، ص، زارع ابیانه، ح، «ارزیابی کیفیت آب و تیپ هیدروشیمیایی رودخانه‌های نکا، تجن و سفیدرود از نظر شرب و کشاورزی»، همایش ملی بحران آب در کشاورزی و منابع طبیعی، آبان ۱۳۸۸، ایران.