

## Investigation and Prediction of Quality Parameters of Gamasyab River Using Multivariate Method of Canonical Correlation Analysis and Time Series

### ABSTRACT

**Background and Aim:** The present study was performed to investigate trend and prediction of changes in some quality parameters of Gamasyab river water using multivariate statistical methods and time series.

**Materials and Methods:** In this research, the annual means of some qualitative parameters related to a 6-year statistical period in two Pol-Chehr and Doab stations were used. At first, the factors controlling chemistry of Gamasyab river were determined using Ternary and Gibbs diagrams. Then, to determine a linear relationship between multidimensional variables, Canonical correlation coefficients were used. Finally, the changing trend of water quality parameters in next 5-years was predicted.

**Results:** At Pol-Chehr station, qualitative parameters show an upward trend except for pH. While at Doab, all qualitative parameters show a downward trend except for Mg and  $SO_4$ . Based on Ternary and Gibbs diagrams, water dominant facies are Ca-Mg- $HCO_3$  and the main factor controlling water chemistry is water-rock reaction at both stations, respectively. Results showed that the chemical parameters of  $HCO_3$  and Mg at Pol-Chehr with canonical coefficients of 0.938 and 0.933 are in the first group and Na with coefficient of 0.845 is situated in the second category. While in Doab station, chemical variables  $HCO_3$  and Ca with coefficients of 0.945 and 0.0789 are placed in the first group, and Na and Cl with the coefficients of 0.930 and 0.800 are in the second group, respectively. First and second group origins of canonical variables can be related to dissolution of limestone and evaporative deposits. Prediction results of the water quality parameters changes in Gamasyab river for the next 5 years showed that an increase in all the parameters except for pH at Pol-Chehr station. While except for Mg and  $SO_4$ , all quality parameters will decrease at the Doab station.

**Conclusion:** Water-rock reaction is the most important factor affecting Gamasyab river water chemistry.

**Keywords:** Surface water, WHO, Quality parameters, Canonical correlation

### Maryam Sayadi

\* M.Sc of Watershed Management, Department of Agriculture and Natural Resources, University of Gonbad Kavoods, Iran. (Corresponding Author): Email: m90.sayadi@yahoo.com

### Mojtaba Gharehmahmoodlu

Asistant Professor of Range and Watershed Management, Department of Agriculture and Natural Resources, University of Gonbad Kavoods, Iran.

Received: 2019/04/07

Accepted: 2019/08/25

**Document Type:** Research article

► **Citation:** Sayadi M, Gharehmahmoodlu M. Investigation and Prediction of Quality Parameters of Gamasyab River Using Multivariate Method of Canonical Correlation Analysis and Time Series. *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. Summer 2019;5 (2): 108-122.

## بررسی و پیش‌بینی پارامترهای کیفی رودخانه گاماسیاب با استفاده از روش چندمتغیره تحلیل همبستگی کانونیک و سری‌های زمانی

مریم صیادی

\* دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبدکاووس، ایران. (نویسنده مسئول): پست الکترونیک: m90.sayadi@yahoo.com

مجتبی قره‌محمودلو

استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبدکاووس، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۱/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۶/۰۳

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

### چکیده

**زمینه و هدف:** یکی از مسائل مهم در مدیریت کیفی منابع آب، یافتن رابطه بین پارامترهای مختلف فیزیکی و شیمیایی تأثیرگذار بر کیفیت پیکره‌های آبی است. پاسخ به این مسئله، گامی ضروری و مهم جهت بررسی دقیق‌تر منابع آلاینده و ارائه راهکار جهت کاهش اثرات منفی آن و در نهایت بهبود وضعیت کیفی منابع آب می‌باشد. پژوهش حاضر با هدف بررسی روند و پیش‌بینی تغییرات برخی از پارامترهای کیفی آب رودخانه گاماسیاب با استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره و سری‌های زمانی انجام شد.

**مواد و روش‌ها:** در این تحقیق از میانگین سالانه برخی پارامترهای کیفی مربوط به یک دوره آماری ۶ ساله در دو ایستگاه پل‌چهر و دوآب استفاده شد. ابتدا عوامل کنترل‌کننده شیمی آب رودخانه گاماسیاب با استفاده از دیاگرام مثلثی و نمودار گیس تعیین شد. سپس جهت تعیین ارتباط خطی بین متغیرهای چندبعدی، از ضرایب همبستگی کانونیکال استفاده شد. در نهایت روند تغییرات پارامترهای کیفی آب در ۵ سال آینده پیش‌بینی شد.

**یافته‌ها:** در ایستگاه پل‌چهر، به‌جز پارامتر pH سایر پارامترهای کیفی دارای روند افزایشی بودند. در حالی که در ایستگاه دوآب، تمامی پارامترهای کیفی به‌جز منیزیم و سولفات روند کاهشی داشتند. بر اساس دیاگرام‌های مثلثی و گیس به‌ترتیب رخساره غالب آب در هر دو ایستگاه کلیم-منیزیم-بی کربنات و عامل اصلی کنترل‌کننده شیمی آب واکنش آب-سنگ بود. بر اساس نتایج، پارامترهای شیمیایی بی کربنات و منیزیم در ایستگاه پل‌چهر با ضرایب کانونی ۰/۹۳۸ و ۰/۹۳۳ در دسته اول متغیرهای کانونیک و سدیم با ضریب ۰/۸۴۵ در دسته دوم متغیرهای کانونیک قرار گرفتند. در حالی که در ایستگاه دوآب متغیرهای شیمیایی بی کربنات و کلسیم با ضرایب کانونی ۰/۹۴۵ و ۰/۷۸۹ در دسته اول کانونیک و سدیم و کلراید با ضرایب ۰/۹۳۰ و ۰/۸۰۰ در دسته دوم متغیرهای کانونیک قرار داشتند. منشأ دسته اول و دوم متغیرهای کانونیک را می‌توان به‌ترتیب به انحلال سنگ‌های آهکی و تیخیری مربوط دانست. نتایج پیش‌بینی روند تغییرات پارامترهای کیفی آب رودخانه گاماسیاب طی ۵ سال آینده نشان داد که در ایستگاه پل‌چهر تمام پارامترها به‌جز pH روند افزایشی و در ایستگاه دوآب به‌جز منیزیم و سولفات، سایر پارامترهای کیفی روند کاهشی خواهند داشت.

**نتیجه‌گیری:** واکنش آب-سنگ، مهم‌ترین عامل کنترل‌کننده شیمی آب در رودخانه گاماسیاب می‌باشد.

**کلید واژه‌ها:** آب سطحی، استاندارد WHO، پارامترهای کیفی، همبستگی کانونیک

◀ **استناد:** صیادی م، قره‌محمودلو م. بررسی و پیش‌بینی پارامترهای کیفی رودخانه گاماسیاب با استفاده از روش چندمتغیره تحلیل همبستگی کانونیک و سری‌های زمانی. *فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط*. تابستان ۱۳۹۸؛ ۵(۲): ۱۰۸-۱۲۲.

## مقدمه

رودخانه‌ها از مهم‌ترین منابع تجدید شونده حیاتی آب شیرین جهت استفاده در امور کشاورزی، شرب و صنعت به‌شمار می‌روند (۱). افزایش مصرف آب، کاهش ذخایر آب‌های طبیعی، آلودگی‌های محیط زیستی و افزایش نیاز آبی فعالیت‌های انسانی باعث شده تا ارزیابی کیفیت منابع آب، از موضوعات مهم در سال‌های اخیر محسوب گردد (۲). کنترل کیفی آب‌های سطحی از اهمیت بالایی برای انسان و موجودات آبی برخوردار است (۳).

یکی از مسائل مهم در پایش کیفیت سیستم‌های منابع آب، تشخیص و تفکیک پارامترهای آلاینده فیزیکی و شیمیایی و رابطه بین آن‌ها می‌باشد. این امر از آن سبب مهم می‌باشد که پارامترهای آلاینده فیزیکی به‌طور معمول ناشی از طبیعت و اقلیم حوضه می‌باشد، اما پارامترهای آلاینده شیمیایی از منابعی مانند فاضلاب‌های خانگی، صنعتی، کشاورزی و ... منشأ می‌گیرند. بنابراین اگر همبستگی بین این دو دسته از پارامترهای آلاینده زیاد باشد، می‌توانند به‌طور طبیعی مانند یکدیگر و از منبع یکسانی ناشی شوند. از طرف دیگر، یافتن این ارتباطات با روش‌های آزمایشگاهی مانند روش تفکیک شیمیایی هزینه‌های زیادی در بردارد. یکی از روش‌هایی که در جهت کاهش هزینه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، روش تحلیلی همبستگی کانونیک برای یافتن ارتباط بین پارامترهای آلاینده‌های فیزیکی و شیمیایی است.

تاکنون مطالعات زیادی برای بررسی رابطه بین پارامترهای کیفی منابع آبی صورت گرفته است. نتایج مطالعه خسروی‌فرد و همکاران نشان داد که با استفاده از طبقه‌بندی ویلکاکس ایستگاه‌های قورباغستان و دوآب‌مرگ، نمونه‌ها در کلاس کمی شور قرار گرفته، بنابراین آب رودخانه در این ایستگاه‌ها برای کشاورزی تقریباً مناسب است. دیاگرام شولر نشان داد که کیفیت آب در ایستگاه‌های قورباغستان و دوآب‌مرگ جهت شرب نامناسب است (۴). در مطالعه خادم‌پور و شهیدی، ایستگاه‌های مورد مطالعه (خونیک‌علیا و فرخی) برای مصارف شرب، آبی‌پروری، آبیاری و احشام در رتبه بد قرار داشتند، ولی برای مصارف تفریح

و سرگرمی در رتبه عالی قرار گرفته بودند. بر اساس نمودار پایپر رخساره آب، کلسیم-منیزیم-بی‌کربنات می‌باشد (۵). شارما و همکاران، ماتریس همبستگی پیرسون را برای پیدا کردن ارتباط احتمالی در میان پارامترهای کیفیت آب رسم نموده و اثبات کردند که شاخص کیفیت آب می‌تواند یک ابزار مفید برای ارزیابی و پیش‌بینی روند تغییرات کیفیت آب در مکان‌های مختلف موجود در رودخانه گنگ باشد (۶). نتایج مطالعه سان و همکاران بر روی رودخانه دونگ ژیانگ نشان داد که کیفیت آب رودخانه در نزدیکی مخزن سد احداث شده بر روی این رودخانه عالی بوده، در حالی که در بالادست رودخانه خوب و در پایین‌دست رودخانه متوسط است (۷). نتایج مطالعه قشلاق و همکاران در بررسی کیفیت هیدروشیمیایی آب رودخانه تیره نشان داد که، به‌جز سولفات، غلظت منیزیم، کلسیم و دیگر آنیون‌ها و کاتیون‌ها پایین‌تر از حد استاندارد سازمان جهانی بهداشت (WHO) است و تقریباً تمام نمونه‌ها با توجه به استاندارد WHO شرایط مناسب برای شرب را دارا هستند و در مقایسه با استاندارد کشاورزی (FAO) <sup>۲</sup>، پتانسیل مناسب برای آبیاری را دارند. همچنین با توجه به نمودار ویلکوکس، ۷۸٪ از نمونه‌ها در کلاس  $C_3-S_1$  و ۲۱/۵٪ در کلاس  $C_2-S_1$  قرار گرفتند. همچنین با توجه به نمودار پایپر، بیشتر نمونه‌ها دارای رخساره کلسیم و کربنات بودند (۸). داتو و همکاران به بررسی کیفیت آب‌های سطحی ۴ رودخانه بزرگ (دامور<sup>۲</sup>، ابراهیم<sup>۴</sup>، کادیشا<sup>۵</sup> و اورنتس<sup>۶</sup>) در لبنان پرداختند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که، رودخانه‌های کادیشا و ابراهیم آلوده به فاضلاب‌های صنعتی و خانگی هستند. کمترین آلودگی متعلق به رودخانه اورنتس بود (۹).

یکی از مسائل مهم در مدیریت کیفی منابع آب، یافتن

1. World Health Organization
2. Food and Agriculture organization
3. Damour
4. Ibrahim
5. Kadisha
6. Orontes

### - کاربری اراضی منطقه

تنوع کاربری اراضی حوضه آبخیز گاماسیاب بالاست. از منشأ گاماسیاب، بخش بیشتر کاربری اراضی به صورت کشاورزی و دیمکاری، مراتع متوسط و زمین جنگلی می‌باشد. در نزدیکی ایستگاه دوآب، وسعت مراتع متوسط و فقیر به مراتب بیشتر است. از ایستگاه دوآب به سمت ایستگاه پل چهر ابتدا مرتع فقیر، با نزدیک شدن به ایستگاه مرتع متوسط و کشاورزی و دیمکاری بیشتر می‌شود.

### - روش تحقیق

به منظور بررسی پارامترهای کیفی آب رودخانه گاماسیاب، از اطلاعات یک دوره آماری ۶ ساله در طی سال‌های ۱۳۹۲-۹۷ استفاده شد. پارامترهای فیزیکوشیمیایی رودخانه گاماسیاب (کلسیم، منیزیم، سدیم، بی‌کربنات، سولفات، کلراید، هدایت الکتریکی (EC)، سختی کل (TH)، کل جامدات محلول (TDS)، دما و pH) از اداره آب منطقه‌ای استان کرمانشاه تهیه گردید. دو ایستگاه هیدرومتری دوآب و پل چهر به دلیل جامع بودن اطلاعات آماری پارامترهای فیزیکوشیمیایی نسبت به دیگر ایستگاه‌های واقع در رودخانه گاماسیاب، به عنوان ایستگاه‌های مورد مطالعه انتخاب شدند. نقشه‌های مربوط به موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار جی‌آی‌اس (GIS) تهیه گردید. به منظور بررسی رابطه بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب رودخانه گاماسیاب در دو ایستگاه پل چهر و دوآب، از ماتریس همبستگی پیرسون<sup>۱</sup> استفاده شد، سپس برای تعیین ارتباط خطی بین متغیرهای چندبُعدی در دو ایستگاه مورد مطالعه و همچنین تعیین عوامل تأثیرگذار در ترکیب شیمیایی آب رودخانه گاماسیاب، از تحلیل همبستگی کانونیک استفاده شد. نمودارهای مثلثی برای تعیین آنیون و کاتیون غالب با استفاده از نرم‌افزار آکوچم<sup>۲</sup> تهیه شد.

رابطه بین پارامترهای مختلف فیزیکی و شیمیایی تأثیرگذار بر کیفیت پیکره‌های آبی است. پاسخ به این مسئله، گامی ضروری و مهم جهت بررسی دقیق‌تر منابع آلاینده و ارائه راهکار جهت کاهش اثرات منفی آن و در نهایت بهبود وضعیت کیفی منابع آب می‌باشد. بنابراین پژوهش حاضر با هدف بررسی تغییرات و همچنین یافتن ارتباط بین پارامترهای کیفی آب ایستگاه‌های دوآب و پل چهر رودخانه گاماسیاب انجام شد.

### روش کار

#### - موقعیت منطقه مورد مطالعه

رودخانه گاماسیاب، یکی از بزرگ‌ترین رودخانه‌های ایران و یکی از سرشاخه‌های اصلی رودخانه کرخه بوده که تا محل تلاقی با رودخانه قره‌سو به این نام خوانده می‌شود. حوضه آبریز گاماسیاب با وسعت ۲۴۳۶۱ کیلومتر مربع بین ۳۳ و ۳۶ درجه تا ۱۵ و ۳۵ درجه عرض شمالی و ۲۴ و ۴۵ درجه تا ۳ و ۴۸ درجه طول شرقی نصف‌النهار گرینویچ قرار دارد. این حوضه بین استان‌های کرمانشاه و همدان واقع شده است.

#### - زمین‌شناسی منطقه

حوضه آبریز گاماسیاب با توجه گستردگی آن در دو ناحیه زاگرس مرتفع و سنندج- سیرجان قرار می‌گیرد. در این ناحیه، واحدهای چینه‌شناسی غالباً از جنس آهک مربوط به مزوزوئیک و سنوزوئیک رخمون دارند. قدیمی‌ترین واحدهای سنگی موجود در منطقه متعلق به زون سنندج- سیرجان هستند که شامل واحدهای آهکی- شیبستی ماقبل ژوراسیک و ژوراسیک هستند. قدیمی‌ترین واحدهای شناخته شده زون زاگرس مرتفع نیز شامل آهک‌های بیستون و رادیولاریت‌های کرمانشاه است که محدوده سنی آن‌ها از تریاس پایانی تا کرتاسه پایانی است. این رادیولاریت‌ها همراه با آهک‌های بیستون و افیولیت‌های صحنه- هرسین، سفره‌های روانده کرتاسه پایانی را تشکیل می‌دهند. از جدیدترین تشکیلات زمین‌شناسی می‌توان به تراس‌های آبرفتی حال حاضر اشاره کرد.

1. Electeical Conductivity
2. Total Hardness
3. Total Disolved Solids
4. Geographic Information System
5. Pearson correlation matrix
6. Aquachem

همچنین از نمودار گیبس جهت تعیین مهم‌ترین عامل تأثیرگذار در شیمی آب منطقه استفاده شد. در نهایت برای آنالیز روندیابی زمانی پارامترها از بخش آنالیز روندیابی و استفاده از مدل خطی در نمودارهای سری زمانی نرم‌افزار مینی‌تب<sup>۱</sup> استفاده گردید.

**- ماتریس همبستگی پیرسون**

آنالیز ضریب همبستگی دو متغیر برای توصیف ارتباط جفت پارامترهای هیدروشیمیایی به کار برده شده است. اساس ماتریس همبستگی، ضریب همبستگی پیرسون می‌باشد:

$$r = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{(n-1)s_1s_2} \quad (۱)$$

X و Y میزان مربوط به هر یک از متغیرها،  $\bar{x}$  و  $\bar{y}$  میانگین ریاضی این متغیرها، n تعداد داده‌ها، و  $S_1$  و  $S_2$  انحراف از معیار هر یک از متغیرها می‌باشد. در ماتریس همبستگی بین داده‌ها، اعداد (r) بالا (۱ یا -۱) به معنی همبستگی خوب بین دو جفت متغیر می‌باشد و مقادیر نزدیک به صفر، بیانگر عدم ارتباط بین دو متغیر در یک سطح معنی‌دار  $p < 0.05$  است. به طور صریح می‌توان گفت پارامترهایی که  $r < 0.5$  نشان می‌دهند، به عنوان همبستگی ضعیف،  $0.5 < r < 0.7$  به عنوان همبستگی متوسط و  $r > 0.7$  به عنوان همبستگی قوی در نظر گرفته می‌شوند (۱۰).

**- تحلیل همبستگی کانونیک (CCA)<sup>۲</sup>**

تحلیل همبستگی کانونیک، یکی از متداول‌ترین روش‌های تحلیل چندمتغیره بوده و هدف آن تعیین ارتباط خطی بین متغیرهای چندبُعدی است. در این روش در نظر گرفتن یک مجموعه از متغیرها به عنوان متغیرهای مستقل و مجموعه دیگر به عنوان متغیر وابسته، می‌تواند بسیار مفید باشد (۱۱). از جمله امتیازات روش تحلیل همبستگی کانونیک در مقایسه با تحلیل همبستگی معمولی (OCA)<sup>۳</sup> این است که روش OCA به سیستم

مختصاتی که در آن تعریف شده است، وابسته می‌باشد. این بدان معنی است که حتی اگر رابطه خطی قوی بین دو متغیر چندبُعدی وجود داشته باشد، این ارتباط ممکن است با انتخاب سیستم مختصات استفاده شده در OCA مشاهده نشود. در حالی که در یک سیستم مختصات دیگر، این رابطه خطی میزان همبستگی بالایی را ارائه دهد. روش OCA سیستم مختصاتی را می‌یابد که در آن میزان همبستگی دارای مقدار بهینه است. در برخی از دسته داده‌های چندمتغیره، متغیرها به طور طبیعی به دو گروه مجزا مانند  $X_1, X_2, \dots, X_p$  (ها X) و  $Y_1, Y_2, \dots, Y_q$  (ها Y) تقسیم می‌شوند. هدف اصلی CCA، ساختن دو گروه جدید از مؤلفه‌ها به صورت  $U = aX$  و  $V = bY$  است که ترکیب خطی از متغیرهای اولیه هستند. U، پارامترهای فیزیکی و V، پارامترهای شیمیایی هستند. به طور مثال فرض کنید که ماتریس  $(p+q) \times (p+q)$  زیرماتریس همبستگی بین متغیرهای  $X_1, X_2, \dots, X_p$  و  $Y_1, Y_2, \dots, Y_q$  باشد که از نمونه‌گیری مورد بررسی یعنی p پارامتر فیزیکی و q پارامتر شیمیایی به دست آمده است (۱۲). از ماتریس زیر می‌توان ماتریس  $B^{-1}C'A^{-1}C$  را محاسبه کرد و سپس از روی آن مقادیر ویژه را از رابطه (۲) به دست آورد. مقادیر ویژه حاصل، مربع همبستگی بین متغیرهای کانونی می‌باشند و مقادیر بردارهای ویژه  $b_1, b_2, \dots, b_p$  ضرایب مورد نظر برای ساختن متغیر کانونی V از روی متغیرهای اولیه Y را نتیجه می‌دهد. ضرایب متغیرهای X برای ساخت ترکیب خطی متغیرهای کانونی  $U_i$ ، (یعنی  $a_i$ ها) از رابطه (۳) به دست می‌آید. در این تحقیق از نرم‌افزار SPSS، ورژن ۲۳ برای محاسبه ضریب همبستگی با روش CCA استفاده شد.

$$\begin{bmatrix} x_1, x_2, \dots, x_p & Y_1, Y_2, \dots, Y_q \\ p \times p \text{ matrix } A & p \times q \text{ matrix } C \\ q \times p \text{ matrix } C & q \times q \text{ matrix } B \end{bmatrix}$$

$$(B^{-1}C'A^{-1}C - \lambda I)b = 0 \quad (۲) \text{ معادله}$$

$$a_i = A^{-1}C_i b_i \quad (۳) \text{ رابطه}$$

1. Trend Analysis
2. Minitab
3. Canonical Correlation Analysis
4. Ordinary Correlation Analysis

آب پایین‌تر باشد، آب تمایل بیشتری به خوردگی دارد و هرچه pH بالاتر باشد، آب تمایل بیشتری به ایجاد رسوب و ته‌نشینی دارد. آب‌های رودخانه‌ها و دریاچه‌ها و اصولاً آب‌هایی که در معرض کوددهی، مواد مغذی و تابش آفتاب قرار دارند، pH مایل به قلیایی و آب‌های حاصل از چاه و چشمه و قنات همچنین آب باران، pH متمایل به اسیدی هستند. هدایت الکتریکی، معرف قدرت یونی یک محلول برای انتقال جریان الکتریکی است. میزان هدایت الکتریکی به عناصر محلول در آب بستگی دارد. با افزایش عناصر محلول در آب، میزان هدایت الکتریکی افزایش می‌یابد. هدایت الکتریکی و کل مواد جامد محلول به صورت یک رابطه خطی در ارتباط هستند، ولی این ضریب تناسب برای هر نمونه آب منحصر به فرد می‌باشد؛ اما آنچه مسلم است، دلیل میزان بالای EC، بالا بودن مقدار TDS می‌باشد (۱۵).

غلظت کل جامدات محلول بر حسب میلی گرم در لیتر است. این پارامتر عامل مهمی در کیفیت آب می‌باشد و اثر زیادی در جابجایی و تبدیل شیمیایی و یونیزه شدن مواد دارد. همچنین غلظت املاح محلول در تعیین تناسب آب در مصارف شرب انسان و دام، کشاورزی و صنعت نقش مهمی دارد. از نظر علمی می‌توان سختی کل آب را معرف مجموع غلظت کاتیون‌های دوظرفیتی موجود در آب دانست، ولی چون غلظت کلسیم و منیزیم در آب‌های طبیعی بسیار بیشتر از یون‌های دیگر است، از این رو در ادبیات تصفیه آب، مجموع غلظت یون‌های کلسیم و منیزیم را سختی کل آب می‌گویند. میزان شدت سختی آب، به بستر جریان آب در سطح و زیر زمین بستگی دارد. آب‌های نواحی آهکی، سختی زیادتری تا آب‌های نواحی گرانیتی و یا شنی دارند (۱۵).

در مطالعه حاضر به منظور بررسی پارامترهای کیفی آب رودخانه گاماسیاب از میانگین سالانه نتایج آنالیز شیمیایی یک دوره ۶ ساله (۱۳۹۲-۹۷) در ایستگاه‌های دوآب و پل چهر استفاده شد. نتایج تغییرات غلظت‌های پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب ایستگاه‌های مورد مطالعه به صورت گرافیکی در شکل ۱ نشان داده شده است.

## یافته‌ها

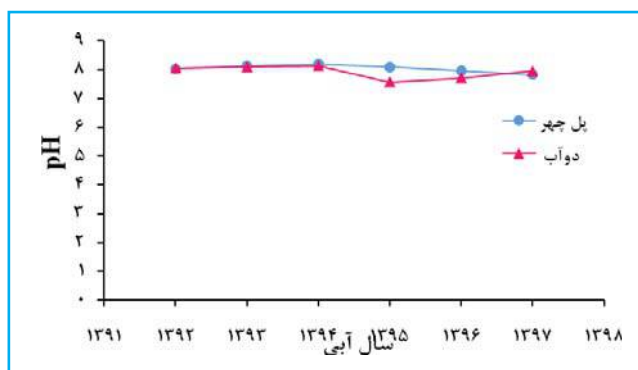
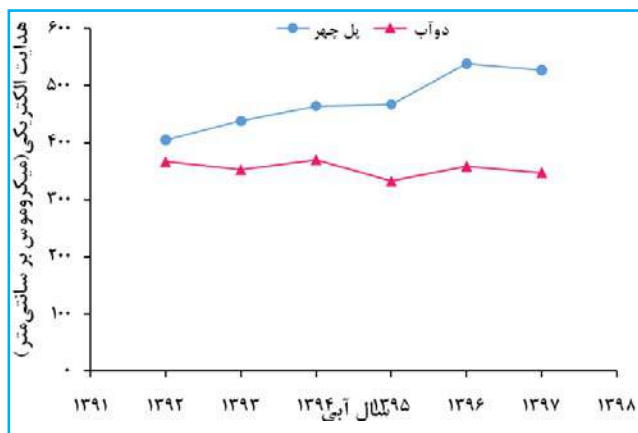
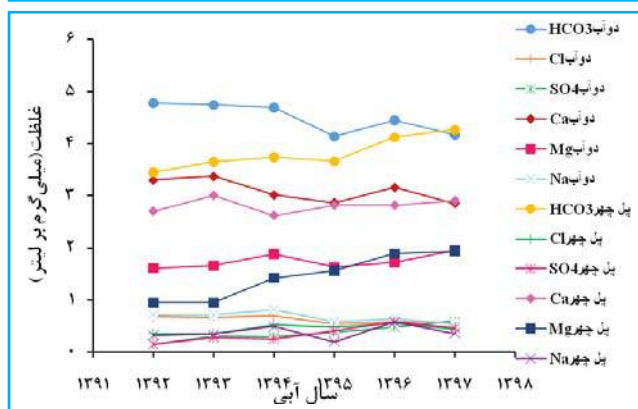
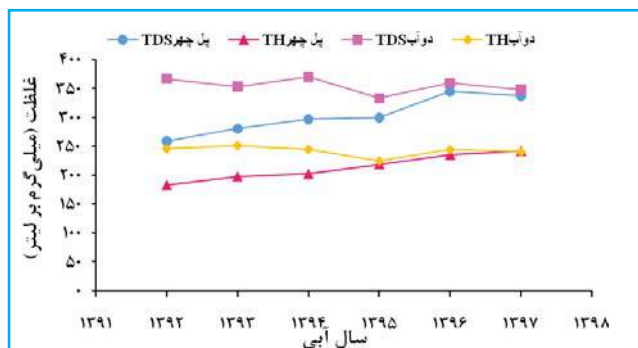
### تغییرات پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب ایستگاه‌های دوآب

#### و پل چهر

یون سدیم، نشان‌دهنده میزان شوری آب می‌باشد. سدیم موجود در آب عمدتاً از فلدسپات‌ها (آلبیت) سنگ‌های آذرین و از محصولات عمل تجزیه این کانی‌ها (رسی شدن) حاصل می‌شود. کانی‌های رسی، تبخیری‌هایی از قبیل هالیت و فاضلاب‌های صنعتی، از دیگر منشأهای اصلی سدیم می‌باشند. کلسیم از کاتیون‌های اصلی آب‌های زیرزمینی و سطحی، به طور طبیعی در آب وجود دارد. آب دریا حاوی حدود ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کلسیم است. یکی از دلایل اصلی فراوانی کلسیم در آب، وجود طبیعی آن در پوسته زمین است. رودخانه‌ها عموماً حاوی ۱-۲ میلی‌گرم بر لیتر کلسیم هستند، اما در مناطق آهکی، رودخانه‌ها ممکن است حاوی غلظت‌های بالای کلسیم مانند ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر باشند. کلسیم ممکن است از سنگ‌هایی مانند سنگ آهک، سنگ مرمر، کلسیت، دولومیت، گچ، فلوریت و آپاتیت در آب حل شده باشد. در سنگ‌های رسوبی منشأ یون منیزیم عمدتاً کانی دولومیت و منیزیت می‌باشد (۱۳).

سولفات از اکسیداسیون پیریت و سایر سولفات‌ها که به طور زیادی در سنگ‌های آذرین و رسوبی توزیع شده‌اند، به وسیله میکروارگانیزم‌های کاتالیست حاصل می‌شود. سولفات می‌تواند از انحلال کانی‌های تبخیری ژپس و انیدریت به آب‌های منطقه وارد شود. کلراید در تمام آب‌های طبیعی در غلظت‌های گوناگون یافت می‌شود. کلراید معمولاً در بلندی‌ها و کوه‌ها به مقدار ناچیز و در رودخانه‌ها و آب‌های زیرزمینی به مقدار فراوان یافت می‌شود. منشأ اصلی کلراید آب‌های طبیعی، کانی هالیت می‌باشد. عمده‌ترین منابع کلراید شامل: سنگ‌های حاوی کلرید، رواناب‌های کشاورزی، فاضلاب‌های صنعتی، زائدات چاه‌های نفت و پساب فاضلاب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب می‌باشد. قابلیت حل شدن بی‌کربنات در آب‌ها تا مقدار معینی بیشتر نمی‌تواند باشد (۱۴).

pH محلول، نشان‌دهنده فعالیت یون هیدروژن است. هرچه pH



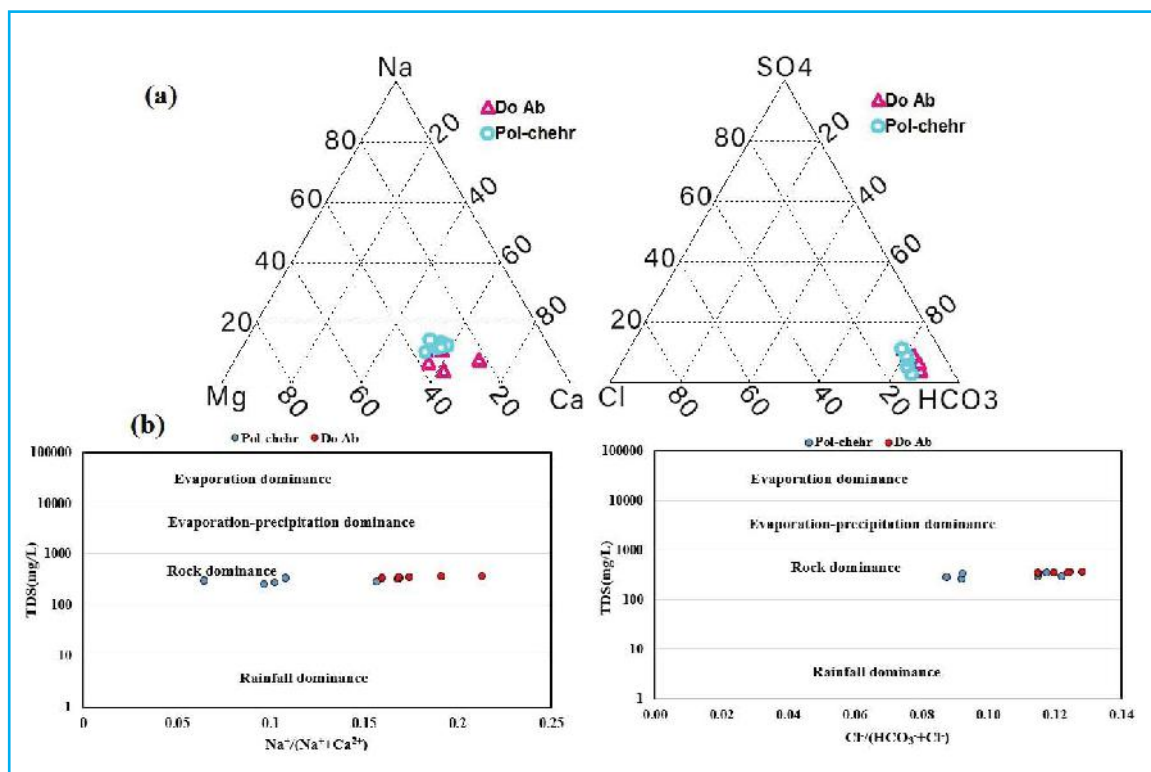
نمودار ۱. تغییرات غلظت پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب طی ایستگاه‌های پل چهر و دوآب طی دوره آماری

هیدروشیمی رودخانه گاماسیاب

گاماسیاب بدیهی به نظر می‌رسد.

بر اساس نمودار گیبس، مهم‌ترین عواملی که می‌توانند شیمی آب را کنترل کنند، شامل: تبخیر، تبخیر و رسوب‌گذاری، سنگ منشأ و بارندگی می‌باشند. با توجه به تجمع نمونه‌ها در نمودار گیبس (شکل ۱)، می‌توان نتیجه گرفت که در طول دوره آماری، عامل اصلی کنترل‌کننده شیمی آب در ایستگاه‌های مورد مطالعه، واکنش آب-سنگ می‌باشد.

به‌منظور بررسی شیمی کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی آب رودخانه گاماسیاب از دیاگرام‌های مثلثی و نمودار گیبس استفاده شد (شکل ۱). بر اساس دیاگرام مثلثی، کلسیم و بی‌کربنات، یون‌های غالب آب ایستگاه‌های دوآب و پل‌چهر می‌باشند. این امر با توجه به موقعیت منطقه و فراوانی سازندهای آهکی غنی از کاتیون یون کلسیم و آنیون‌های بی‌کربنات و کربنات در حوضه آبریز رودخانه



شکل ۱. دیاگرام مثلثی (a) و نمودار گیبس (b) ایستگاه‌های دوآب و پل‌چهر

همبستگی پیرسون

رابطه بین پارامترهای فیزیوشیمیایی در رودخانه گاماسیاب با استفاده از ماتریس همبستگی پیرسون مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. با توجه به ماتریس ضرایب همبستگی ایستگاه دوآب رودخانه گاماسیاب (جدول ۱)، بیشترین میزان همبستگی بین یون کلراید با سدیم (۰/۸۹۶)، هدایت الکتریکی با بی‌کربنات (۰/۹۵۵)، کل جامدات محلول (۰/۸۹۹) و سختی کل (۰/۹۴۲) و همچنین همبستگی بین یون بی‌کربنات با کل جامدات محلول

رابطه بین پارامترهای فیزیوشیمیایی در رودخانه گاماسیاب با استفاده از ماتریس همبستگی پیرسون مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. با توجه به ماتریس ضرایب همبستگی ایستگاه دوآب رودخانه گاماسیاب (جدول ۱)، بیشترین میزان همبستگی بین یون کلراید با سدیم (۰/۸۹۶)، هدایت الکتریکی با بی‌کربنات (۰/۹۵۵)، کل جامدات محلول (۰/۸۹۹) و سختی کل (۰/۹۴۲) و همچنین همبستگی بین یون بی‌کربنات با کل جامدات محلول

با توجه به ماتریس ضرایب همبستگی ایستگاه پل‌چهر رودخانه گاماسیاب (جدول ۱)، بین آنیون سولفات با منیزیم (۰/۸۱۵)، همبستگی مثبت مشاهده شد. بین هدایت الکتریکی و کل جامدات محلول، منیزیم، بی‌کربنات و سختی کل همبستگی



جدول ۱. ماتریس ضرایب همبستگی پیرسون رودخانه گاماسیاب در ایستگاه‌های دوآب و پل چهر

| pH | SO <sub>4</sub> | HCO <sub>3</sub> | Cl    | Mg    | Na    | Ca    | EC    | TH    | TDS   | ایستگاه             |                  |
|----|-----------------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------|------------------|
|    |                 |                  |       |       |       |       |       |       |       |                     |                  |
|    |                 |                  |       |       |       |       |       |       | ۱     | Pearson Correlation | TDS              |
|    |                 |                  |       |       |       |       |       |       |       | Sig. (2-tailed)     |                  |
|    |                 |                  |       |       |       |       |       | ۱     | ۰/۸۶۰ | Pearson Correlation | TH               |
|    |                 |                  |       |       |       |       |       |       | ۰/۰۰۱ | Sig. (2-tailed)     |                  |
|    |                 |                  |       |       |       |       | ۱     | ۰/۹۴۲ | ۰/۸۹۹ | Pearson Correlation | EC               |
|    |                 |                  |       |       |       |       |       | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۱ | Sig. (2-tailed)     |                  |
|    |                 |                  |       |       |       | ۱     | ۰/۷۰۲ | ۰/۷۸۹ | ۰/۵۹۳ | Pearson Correlation | Ca               |
|    |                 |                  |       |       |       |       | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۱ | Sig. (2-tailed)     |                  |
|    |                 |                  |       |       | ۱     | ۰/۱۸۰ | ۰/۶۵۵ | ۰/۳۶۷ | ۰/۵۶۸ | Pearson Correlation | Na               |
|    |                 |                  |       |       |       | ۰/۲۱۱ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۹ | ۰/۰۰۱ | Sig. (2-tailed)     |                  |
|    |                 |                  |       | ۱     | ۰/۳۷۱ | ۰/۰۲۷ | ۰/۶۵۱ | ۰/۶۳۶ | ۰/۶۵۴ | Pearson Correlation | Mg               |
|    |                 |                  |       |       | ۰/۰۰۸ | ۰/۸۵۰ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۱ | Sig. (2-tailed)     |                  |
|    |                 |                  | ۱     | ۰/۳۳۶ | ۰/۸۹۶ | ۰/۲۵۷ | ۰/۶۴۸ | ۰/۴۰۵ | ۰/۵۵۶ | Pearson Correlation | Cl               |
|    |                 |                  |       | ۰/۰۱۷ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۷۲ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۴ | ۰/۰۰۱ | Sig. (2-tailed)     |                  |
|    |                 | ۱                | ۰/۴۹۱ | ۰/۵۷۸ | ۰/۵۲۹ | ۰/۷۶۴ | ۰/۹۵۵ | ۰/۹۴۵ | ۰/۸۵۹ | Pearson Correlation | HCO <sub>3</sub> |
|    |                 |                  | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۱ | Sig. (2-tailed)     |                  |
|    | ۱               | ۰/۱۰۱            | ۰/۱۰۹ | ۰/۳۱۳ | ۰/۱۲۱ | ۰/۰۲۹ | ۰/۰۹۴ | ۰/۱۷۰ | ۰/۱۲۸ | Pearson Correlation | SO <sub>4</sub>  |
|    |                 | ۰/۴۸۵            | ۰/۴۵۱ | ۰/۰۲۷ | ۰/۴۰۲ | ۰/۸۴۱ | ۰/۵۱۷ | ۰/۲۳۸ | ۰/۳۷۶ | Sig. (2-tailed)     |                  |
| ۱  | ۰/۱۳۸           | ۰/۱۴۰            | ۰/۲۹۲ | ۰/۱۴۳ | ۰/۲۰۴ | ۰/۰۳۸ | ۰/۱۶۲ | ۰/۱۱۸ | ۰/۱۴۴ | Pearson Correlation | pH               |
|    | ۰/۳۳۹           | ۰/۳۳۲            | ۰/۰۳۹ | ۰/۳۲۰ | ۰/۱۵۶ | ۰/۷۹۱ | ۰/۲۶۰ | ۰/۴۱۵ | ۰/۳۲۰ | Sig. (2-tailed)     |                  |
|    |                 |                  |       |       |       |       |       |       | ۱     | Pearson Correlation | TDS              |
|    |                 |                  |       |       |       |       |       |       |       | Sig. (2-tailed)     |                  |
|    |                 |                  |       |       |       |       |       | ۱     | ۰/۹۷۲ | Pearson Correlation | TH               |
|    |                 |                  |       |       |       |       |       |       | ۰/۰۰۱ | Sig. (2-tailed)     |                  |
|    |                 |                  |       |       |       |       | ۱     | ۰/۹۷۱ | ۱     | Pearson Correlation | EC               |
|    |                 |                  |       |       |       |       |       | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۱ | Sig. (2-tailed)     |                  |
|    |                 |                  |       |       |       | ۱     | ۰/۵۹۴ | ۰/۶۴۶ | ۰/۵۹۵ | Pearson Correlation | Ca               |
|    |                 |                  |       |       |       |       | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۱ | Sig. (2-tailed)     |                  |
|    |                 |                  |       |       | ۱     | ۰/۲۶۹ | ۰/۷۱۳ | ۰/۵۲۹ | ۰/۷۱۲ | Pearson Correlation | Na               |
|    |                 |                  |       |       |       | ۰/۰۹۸ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۱ | Sig. (2-tailed)     |                  |
|    |                 |                  |       | ۱     | ۰/۵۲۸ | ۰/۳۲۸ | ۰/۹۲۲ | ۰/۹۳۳ | ۰/۹۲۲ | Pearson Correlation | Mg               |
|    |                 |                  |       |       | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۴۱ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۱ | Sig. (2-tailed)     |                  |
|    |                 |                  |       |       | ۱     | ۰/۶۵۷ | ۰/۷۱۶ | ۰/۱۸۸ | ۰/۷۰۴ | Pearson Correlation | Cl               |
|    |                 |                  |       |       |       | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۱ | ۰/۲۵۳ | ۰/۰۰۱ | Sig. (2-tailed)     |                  |
|    |                 | ۱                | ۰/۴۵۹ | ۰/۸۲۷ | ۰/۶۰۴ | ۰/۷۱۰ | ۰/۹۳۸ | ۰/۹۳۸ | ۰/۹۳۸ | Pearson Correlation | HCO <sub>3</sub> |
|    |                 |                  | ۰/۰۰۳ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۱ | Sig. (2-tailed)     |                  |
|    | ۱               | ۰/۵۹۴            | ۰/۶۱۹ | ۰/۸۱۵ | ۰/۵۴۱ | ۰/۲۹۳ | ۰/۷۸۷ | ۰/۷۷۰ | ۰/۷۸۸ | Pearson Correlation | SO <sub>4</sub>  |
|    |                 | ۰/۰۰۱            | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۷۱ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۱ | Sig. (2-tailed)     |                  |
| ۱  | ۰/۴۰۸           | ۰/۵۳۸            | ۰/۰۶۸ | ۰/۵۲۲ | ۰/۱۷۶ | ۰/۲۷۸ | ۰/۴۸۰ | ۰/۵۲۸ | ۰/۴۷۹ | Pearson Correlation | pH               |
|    | ۰/۰۱۰           | ۰/۰۰۱            | ۰/۶۸۰ | ۰/۰۰۱ | ۰/۲۸۳ | ۰/۰۸۷ | ۰/۰۰۲ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۲ | Sig. (2-tailed)     |                  |

قوی مشاهده شد؛ به طوری که این همبستگی با مجموع املاح محلول برابر با ۱ بود. همچنین سختی کل با کل جامدات محلول نیز دارای ضریب همبستگی بالای ۰/۹۷۲ و سطح معنی داری کمتر از ۰/۰۰۱ بود. منیزیم نیز با سختی کل و کل جامدات

محلول دارای همبستگی قوی به ترتیب ۰/۹۳۳ و ۰/۹۲۲ بود. بی‌کربنات نیز با ضریب همبستگی ۰/۹۳۸ با سختی کل و کل جامدات محلول دارای همبستگی مثبت بود.

جدول ۲. نتایج آنالیز همبستگی کانونیک در ایستگاه‌های دوآب و پل چهر

| متغیرهای کانونیک     | دسته اول ایستگاه پل چهر | دسته دوم ایستگاه پل چهر | دسته سوم ایستگاه پل چهر | دسته اول ایستگاه دوآب | دسته دوم ایستگاه دوآب | دسته سوم ایستگاه دوآب |
|----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| ضریب همبستگی کانونیک | ۱                       | ۰/۹۹۱                   | ۰/۳۸۴                   | ۱                     | ۰/۹۹۱                 | ۰/۲۰۹                 |
| درجه آزادی           | ۲۱                      | ۱۲                      | ۵                       | ۲۱                    | ۱۲                    | ۵                     |
| سطح معنی داری        | ۰/۰۰۱                   | ۰/۰۰۱                   | ۰/۳۰۴                   | ۰/۰۰۱                 | ۰/۰۰۱                 | ۰/۸۵۷                 |
| آماره ویلکس          | ۰/۰۰۱                   | ۰/۰۱۵                   | ۰/۸۵۲                   | ۰/۰۰۱                 | ۰/۰۱۷                 | ۰/۹۵۶                 |
| پارامترهای فیزیکی    |                         |                         |                         |                       |                       |                       |
| TDS                  | ۰/۹۷۲                   | ۰/۲۳۶                   | ۰/۰۰۶                   | ۰/۸۶۰                 | ۰/۲۷۴                 | ۰/۴۳۱                 |
| TH                   | ۱                       | ۰/۰۰۱                   | ۰/۰۰۰۱                  | ۱                     | ۰/۰۰۰۱                | ۰/۰۰۰۱                |
| EC                   | ۰/۹۷۲                   | ۰/۲۳۷                   | ۰/۰۰۲                   | ۰/۹۴۲                 | ۰/۳۳۶                 | ۰/۰۰۷                 |
| پارامترهای شیمیایی   |                         |                         |                         |                       |                       |                       |
| Ca                   | ۰/۶۴۶                   | ۰/۱۴۲                   | ۰/۳۰۴                   | ۰/۷۸۹                 | ۰/۱۲۷                 | ۰/۵۶۳                 |
| Na                   | ۰/۵۲۹                   | ۰/۸۴۵                   | ۰/۰۲۷                   | ۰/۳۶۷                 | ۰/۹۳۰                 | ۰/۰۰۶                 |
| Mg                   | ۰/۹۳۳                   | ۰/۰۶۶                   | ۰/۱۴۳                   | ۰/۶۳۶                 | ۰/۱۵۹                 | ۰/۷۰۷                 |
| Cl                   | ۰/۶۰۳                   | ۰/۵۰۲                   | ۰/۱۶۵                   | ۰/۴۰۵                 | ۰/۸۰۰                 | ۰/۱۱۲                 |
| HCO <sub>3</sub>     | ۰/۹۳۸                   | ۰/۱۱۱                   | ۰/۱۶۷                   | ۰/۹۴۵                 | ۰/۱۹۶                 | ۰/۰۶۹                 |
| SO <sub>4</sub>      | ۰/۷۷۰                   | ۰/۱۶۵                   | ۰/۳۸۲                   | ۰/۱۷۰                 | ۰/۱۹۸                 | ۰/۳۹۶                 |
| pH                   | ۰/۵۲۸                   | ۰/۱۴۲                   | ۰/۲۴۹                   | ۰/۱۱۸                 | ۰/۱۵۴                 | ۰/۰۰۲                 |

رابطه بین پارامترهای فیزیکی و شیمیایی با استفاده از

### همبستگی کانونیک

به منظور تعیین ارتباط بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب ایستگاه‌های پل چهر و دوآب از روش CCA استفاده شد. نتایج به دست آمده از روش CCA برای ایستگاه‌های پل چهر و دوآب در جدول ۳ ارائه شده است. به نظر می‌رسد که تعداد پارامترهای فیزیکی (TDS، EC و TH)، نقش تعیین کننده‌ای در تعداد دسته‌های کانونیک ایجاد شده دارد. بر اساس جدول ۲، ضریب همبستگی کانونیک برای دسته‌های کانونیک ۱، ۲ و ۳ در ایستگاه پل چهر به ترتیب ۱، ۰/۹۹۱ و ۰/۳۸۴ بود. در این میان دسته‌های کانونیک ۱ و ۲، بیشترین همبستگی را به خود اختصاص دادند. سطح

معنی داری برای این دو متغیر کمتر از ۰/۰۰۱ بود که این بدین معناست که فرض بی‌ارتباط بودن متغیرهای فیزیکی و شیمیایی با توجه به میزان سطح معنی داری در این دسته متغیر کانونی پذیرفته نمی‌شود. ارتباط بین پارامترهای آلاینده شیمیایی و فیزیکی بر مبنای نتیجه همبستگی کانونیک در دسته سوم به دلیل پایین بودن ضریب همبستگی این دسته، بسیار اندک است و عملاً بیانگر عدم ارتباط بین دو دسته پارامترهای آلاینده شیمیایی و فیزیکی است، لذا در حالت کلی مشاهده می‌گردد که ارتباط مؤثری بین پارامترهای فیزیکی و پارامترهای شیمیایی با همبستگی کانونیک بالا برای

بیش از سایر منابع تأمین آب در معرض آلودگی و تغییر و تحول قرار دارند، بنابراین مطالعه کیفیت آب رودخانه‌ها و پیش‌بینی پارامترهای کمی و کیفی آب رودخانه‌ها، عامل اصلی برای توسعه پروژه‌های مدیریت منابع آب است. تغییرات پارامترهای کیفی رودخانه گاماسیاب به‌وسیله نمودارهای سری زمانی از بخش آنالیز روندیابی با استفاده از مدل خطی توسط نرم‌افزار مینی‌تب روندیابی زمانی گردید و برای ۵ سال آینده مقدار آن‌ها پیش‌بینی شد. در ایستگاه پل چهر، تمامی پارامترها به‌جز pH، روند افزایشی خواهند داشت. برخلاف ایستگاه پل چهر، تمام پارامترهای کیفی به‌جز سولفات و منیزیم در ایستگاه دوآب، روند کاهشی را خواهند داشت. مقادیر پیش‌بینی شده پارامترهای کیفی ایستگاه‌های دوآب و پل چهر نیز در جدول ۳ ارائه شده است. بر اساس نتایج جدول ۳، غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌ها طی ۵ سال آتی در محدوده استاندارد WHO و آب ایران ۱۰۵۳ می‌باشند، اما با توجه به استاندارد WHO، میزان EC با روند افزایشی خود به بیش از ۲ برابر استاندارد آن خواهد رسید، در حالی که با توجه به استاندارد آب ایران ۱۰۵۳، میزان EC طی ۵ سال آتی کمتر از حداکثر مطلوب می‌باشد و هم‌چنین میزان سختی کل از حداکثر مطلوب استاندارد آب ایران

دسته‌های ۱ و ۲ برقرار است و دسته‌های کانونی ۱ و ۲ می‌توانند مبنای این نتیجه باشند که احتمالاً پارامترهای آلاینده شیمیایی و فیزیکی دارای منابع یکسانی هستند. ضریب همبستگی کانونیک برای دسته‌های کانونیک ۱، ۲ و ۳ در ایستگاه دوآب به ترتیب ۱، ۰/۹۹۱ و ۰/۲۰۹ بود. در این میان دسته‌های کانونیک ۱ و ۲ بیشترین همبستگی را به خود اختصاص دادند. برای دسته سوم متغیرهای کانونی، مقدار ضریب همبستگی برابر ۰/۲۰۹ بود. تاباکیک و فیدل بیان داشتند، همبستگی بین متغیرهای کانونی اصلی با مقدار بیشتر از ۰/۳ قابل تفسیر می‌باشد (۱۶). با توجه به کمتر بودن مقدار ضریب همبستگی دسته سوم متغیرهای کانونی، برای نتیجه‌گیری نهایی از آن استفاده نمی‌شود. همچنین این نکته قابل توجه است که هرچه مقادیر ضریب همبستگی دسته‌ها بیشتر باشد، با قاطعیت بیشتری می‌توان به وجود ارتباط بین دسته متغیرهای مورد بررسی نظر داد.

### پیش‌بینی پارامترهای کمی و کیفی طی ۵ سال آینده

با توجه به رشد و توسعه در جهان، آب‌های سطحی از قبیل رودخانه‌ها توسط گروهی از منابع، در سطح گسترده‌ای آلوده شده‌اند (۱۷). رودخانه‌ها به دلیل اینکه جزء سیستم‌های روباز هستند،

جدول ۳. پیش‌بینی پارامترهای کیفی آب ایستگاه‌های در ایستگاه‌های دوآب و پل چهر طی ۵ سال آتی

| ایستگاه           | سال  | EC     | pH        | TH     | TDS    | Cl   | SO <sub>4</sub> | HCO <sub>3</sub> | Mg   | Na   | Ca   |
|-------------------|------|--------|-----------|--------|--------|------|-----------------|------------------|------|------|------|
| پل چهر            | ۱۳۹۸ | ۵۶۴/۸۷ | ۷/۸۷      | ۲۵۵/۴۱ | ۳۶۱/۷۱ | ۰/۵۴ | ۰/۶۲            | ۴/۳۵             | ۲/۲۳ | ۰/۴۳ | ۲/۸۷ |
|                   | ۱۳۹۹ | ۵۹۰/۹۹ | ۷/۸۲      | ۲۶۷/۵۵ | ۳۷۸/۴۹ | ۰/۵۷ | ۰/۶۹            | ۴/۵۱             | ۲/۴۶ | ۰/۴۵ | ۲/۸۸ |
|                   | ۱۴۰۰ | ۶۱۷/۱۲ | ۷/۷۸      | ۲۷۹/۷۰ | ۳۹۵/۲۸ | ۰/۵۹ | ۰/۷۷            | ۴/۶۶             | ۲/۶۸ | ۰/۴۶ | ۲/۹۰ |
|                   | ۱۴۰۱ | ۶۴۳/۲۵ | ۷/۷۳      | ۲۹۱/۸۴ | ۴۱۲/۰۶ | ۰/۶۲ | ۰/۸۵            | ۴/۸۲             | ۲/۹۱ | ۰/۴۸ | ۲/۹۲ |
|                   | ۱۴۰۲ | ۶۶۹/۳۷ | ۷/۶۸      | ۳۰۳/۹۹ | ۴۲۸/۸۴ | ۰/۶۵ | ۰/۹۲            | ۴/۹۷             | ۳/۱۳ | ۰/۵۰ | ۲/۹۴ |
| دوآب              | ۱۳۹۸ | ۵۳۲/۱۱ | ۷/۶۹      | ۲۳۴/۵۸ | ۳۴۳/۵۹ | ۰/۵۲ | ۰/۶۴            | ۴/۰۴             | ۱/۹۰ | ۰/۵۳ | ۲/۷۸ |
|                   | ۱۳۹۹ | ۵۲۴/۱۱ | ۷/۶۲      | ۲۳۲/۵۸ | ۳۴۰/۳۴ | ۰/۴۹ | ۰/۷۲            | ۳/۹۱             | ۱/۹۵ | ۰/۴۹ | ۲/۷۰ |
|                   | ۱۴۰۰ | ۵۱۶/۱۰ | ۷/۵۶      | ۲۳۰/۵۷ | ۳۳۷/۰۹ | ۰/۴۶ | ۰/۸۰            | ۳/۷۸             | ۱/۹۹ | ۰/۴۶ | ۲/۶۱ |
|                   | ۱۴۰۱ | ۵۰۸/۱۰ | ۷/۴۹      | ۲۲۸/۵۷ | ۳۳۳/۸۴ | ۰/۴۳ | ۰/۸۸            | ۳/۶۵             | ۲/۰۴ | ۰/۴۲ | ۲/۵۲ |
|                   | ۱۴۰۲ | ۵۰۰/۰۹ | ۷/۴۳      | ۲۲۶/۵۶ | ۳۳۰/۵۹ | ۰/۴۰ | ۰/۹۶            | ۳/۵۲             | ۲/۰۹ | ۰/۳۸ | ۲/۴۳ |
| استاندارد WHO     |      | ۳۰۰    | ۶/۵ - ۸/۵ | ۲۰۰    | ۱۰۰۰   | ۲۵۰  | ۲۵۰             | ۱۲۰              | ۲۰۰  | ۵۰   | ۲۰۰  |
| حداکثر مطلوب ۱۰۵۳ |      | ۱۵۰۰   | ۶/۵ - ۸/۵ | ۲۰۰    | ۱۰۰۰   | ۲۵۰  | ۲۵۰             | -                | ۲۰۰  | ۳۰   | ۳۰۰  |
| حداکثر مجاز ۱۰۵۳  |      | ۱۸۰۰   | ۹         | ۵۰۰    | ۱۵۰۰   | ۴۰۰  | ۴۰۰             | -                | ۳۰۰  | ۱۵۰  | ۴۰۰  |

این یون طی دوره آماری برابر با  $۰/۳۸ \pm ۱/۷۵$  میلی‌اکی‌والان بر لیتر بود، اما برخلاف این یون، سدیم و کلسیم طی دوره آماری روند کاهشی داشتند. بیشترین میزان کلسیم در سال ۱۳۹۳ برابر با  $۳/۳۷$  میلی‌اکی‌والان بر لیتر بود. میانگین و انحراف معیار کلسیم نیز  $۴۰/۰۹ \pm ۳/۰۹$  میلی‌اکی‌والان بر لیتر بود. بیشترین میزان سدیم نیز  $۸۲/۰$  میلی‌اکی‌والان بر لیتر در سال ۱۳۹۴ مشاهده شد. میانگین و انحراف معیار سدیم نیز برابر با  $۲۷/۰ \pm ۰/۶۷$  میلی‌اکی‌والان بر لیتر بود. همچنین غلظت کاتیون‌ها در ایستگاه پل چهر طی دوره آماری رو به افزایش بود. روند تغییرات سدیم افزایش-کاهش و در نهایت افزایشی می‌باشد. بیشترین مقدار یون‌های کلسیم، سدیم و منیزیم به ترتیب برابر با ۳، ۵۷/۰ و ۱/۹۳ میلی‌اکی‌والان بر لیتر بود. افزایش غلظت کاتیون‌ها می‌تواند به دلیل کاهش نزولات جوی، خشکسالی و احتمال ورود فاضلاب‌های خانگی به منابع آبی باشد.

با توجه به نمودار (۱)، یون سولفات در ایستگاه دوآب دارای روند افزایشی است. بیشترین مقدار آن  $۵۹/۰$  میلی‌اکی‌والان بر لیتر در سال ۱۳۹۷ بود. برخلاف سولفات، کلراید و بی‌کربنات روند نزولی داشتند. میزان کلراید یک منطقه همواره به عنوان شاخصی از میزان شوری آب در نظر گرفته می‌شود. هم‌چنین با توجه به اینکه سدیم نیز شاخصی از شوری آب می‌باشد و میزان سدیم در ایستگاه دوآب طی دوره آماری روند کاهشی داشت، این روند نزولی کلراید نیز قابل انتظار می‌باشد و این بدین معناست که شوری آب ایستگاه مورد مطالعه طی دوری آماری روند کاهشی را باید داشته باشد. بیشترین میزان بی‌کربنات و کلراید به ترتیب برابر  $۴/۷۸$  و  $۶۹/۰$  میلی‌اکی‌والان بر لیتر بود. غلظت یون‌های سولفات، کلراید و بی‌کربنات در ایستگاه پل چهر دارای روند افزایشی بود. میانگین یون‌های سولفات، کلراید و بی‌کربنات طی دوره آماری در ایستگاه پل چهر به ترتیب برابر با  $۳۵/۰$ ،  $۴۵/۰$  و  $۳/۸۲$  میلی‌اکی‌والان بر لیتر و انحراف معیار آن‌ها نیز به ترتیب  $۰/۰۷$ ،  $۰/۱۳$  و  $۰/۴۶$  بود.

با توجه به نمودار (۱)، EC در ایستگاه پل چهر دارای روند افزایشی بود. این به دلیل افزایش غلظت یون‌های کلسیم، سدیم و کلر در طی دوره آماری ایستگاه پل چهر می‌باشد. میانگین و انحراف معیار

۱۰۵۳ فراتر خواهد رسید، اما با توجه به استاندارد WHO طی ۵ سال آتی در محدوده استاندارد می‌باشد. غلظت یون‌های موجود در آب ایستگاه دوآب بر اساس استانداردهای WHO و آب ایران ۱۰۵۳ در محدوده استاندارد خواهند بود. سختی کل علی‌رغم روند کاهشی آن، بیشتر از حداکثر مطلوب آب ایران ۱۰۵۳ خواهد بود، این در حالی است که در استاندارد WHO در محدوده استاندارد می‌باشد. EC نیز علی‌رغم روند کاهشی آن تقریباً ۲ برابر استاندارد WHO می‌باشد، اما با توجه به استاندارد آب ایران ۱۰۵۳ در محدوده استاندارد می‌باشد.

## بحث

در پژوهش حاضر میزان کل جامدات محلول نمونه‌ها در طی سال‌های نمونه‌برداری بین ۲۵۹-۳۷۱ میلی‌گرم در لیتر و میزان سختی کل نمونه‌ها بین ۱۸۲-۲۵۲ میلی‌گرم کربنات کلسیم بر لیتر متغیر بود. وجود املاح کلسیم و منیزیم سبب سختی آب‌ها می‌شوند. با توجه به غلظت‌های کلسیم و منیزیم، کاتیون کلسیم نسبت به کاتیون منیزیم در سختی کل آب دو ایستگاه مورد مطالعه تأثیرگذارتر بود. میزان آنیون‌های سولفات و کلراید و هم‌چنین کاتیون سدیم در دو ایستگاه کمتر از یک میلی‌اکی‌والان بر لیتر بود. با توجه به استاندارد WHO، تمام پارامترهای فیزیکی‌وشیمیایی به جز EC در هر دو ایستگاه در محدوده استاندارد قرار داشتند. بر اساس استاندارد WHO، بیشترین میزان EC، ۳۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر است، در حالی که EC اندازه‌گیری شده نمونه‌ها در دو ایستگاه بین ۴۰۵-۵۸۵ میکروموس بر سانتی‌متر متغیر بود. بر اساس استانداردهای ملی آب ایران ۱۰۵۳ تمامی پارامترهای دو ایستگاه به جز سختی، کمتر از حداکثر مطلوب بودند. سختی کل در ایستگاه‌های پل چهر و دوآب بیشتر از حداکثر مطلوب (به جز پل چهر ۹۲ و ۹۳) و کمتر از حداکثر مجاز بودند.

با توجه به نمودار (۱)، میزان منیزیم طی دوره آماری در ایستگاه دوآب رو به افزایش بود. بیشترین میزان این یون در سال ۱۳۹۷ برابر با  $۱/۹۵$  میلی‌اکی‌والان بر لیتر بود. میانگین و انحراف معیار

افزایشی قابل توجه می‌باشد. میانگین و انحراف معیار TDS ایستگاه پل چهر ۳۰۲/۹۸±۳۸/۹۹ میلی گرم بر لیتر بود. با توجه به رابطه EC و TDS و هم‌چنین نوسانات EC ایستگاه دوآب طی دوره آماری، نوسانات میزان TDS در ایستگاه دوآب قابل توجه می‌باشد. تغییرات کلی TDS ایستگاه دوآب دارای روند کاهشی بود. بیشترین میزان TDS این ایستگاه ۳۷۰/۳۳ میلی گرم بر لیتر در سال ۱۳۹۴ بود.

با توجه به غالب بودن یون‌های کلسیم و بی‌کربنات در آب ایستگاه‌های مورد مطالعه، می‌توان دریافت که تیپ آب منطقه مورد مطالعه، بی‌کربنات کلسیک می‌باشد. هم‌چنین دارای رخساره  $\text{Ca-Mg-HCO}_3$  می‌باشد که جزء تیپ آب‌های شیرین می‌باشد. احتمالاً وجود کلسیم به دلیل وجود انحلال کانی‌های کربناته یا ژپس در بالادست حوضه باشد. هم‌چنین انحلال کانی‌های کربناته از جمله دولومیت و کلسیت دولومیتی و کانی‌های حاوی یون منیزیم می‌تواند به عنوان دلیلی بر افزایش میزان منیزیم آب باشد که با نتایج مطالعه خادم پور و شهیدی هم‌خوانی داشت. آنها با استفاده از نمودار پایپر نشان دادند که تیپ آب رودخانه قره‌سو  $\text{Ca-Mg-HCO}_3$  می‌باشد (۵).

با توجه به جدول ۲، متغیرهای TDS، TH و EC در ایستگاه پل چهر به ترتیب دارای ضریب کانونی ۰/۹۷۲، ۱ و ۰/۹۷۲، در دسته اول متغیرهای کانونیک بودند که نشان‌دهنده اهمیت بالای این پارامترها می‌باشد. متغیرهای شیمیایی  $\text{Mg}$ ،  $\text{HCO}_3$  و  $\text{SO}_4$  در ایستگاه پل چهر با ضرایب کانونی ۰/۹۳۳، ۰/۹۳۸ و ۰/۷۷۰، در دسته اول متغیرهای کانونیک و  $\text{Na}$  با ضریب ۰/۸۴۵ در دسته دوم متغیرهای کانونیک از اهمیت بالایی برخوردار هستند. با توجه به ارتباط قوی بین TDS، TH، EC،  $\text{HCO}_3$  و هم‌چنین ارتباط بین  $\text{Mg}$  و  $\text{SO}_4$  در دسته کانونیک اول، عامل اول را می‌توان به تشکیلات آهکی، تعامل آب-سنگ و هم‌چنین هوازگی سنگ دولومیت نسبت داد. هم‌چنین متغیرهای TDS، TH و EC در ایستگاه دوآب به ترتیب دارای ضریب کانونی ۰/۸۶۰، ۱ و ۰/۹۴۲ در دسته اول متغیرهای کانونیک می‌باشند. بر اساس نتایج جدول ۲، متغیرهای شیمیایی  $\text{HCO}_3$  و  $\text{Ca}$  در ایستگاه دوآب با ضرایب کانونی ۰/۹۴۵ و ۰/۷۸۹ در دسته اول متغیرهای کانونیک،

در این ایستگاه طی دوره آماری به ترتیب ۴۷۳/۴۳±۶۰/۸۳ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بود. برخلاف ایستگاه پل چهر، EC در ایستگاه دوآب روند نزولی داشت. از آنجا که هدایت الکتریکی با کاهش غلظت عناصر محلول در آب کاهش می‌یابد، این روند نزولی قابل انتظار می‌باشد، زیرا در طی دوره آماری ایستگاه دوآب غلظت یون‌هایی مانند کلر، سدیم، کلسیم و سولفات دارای روند نزولی بودند، بنابراین قدرت یونی محلول برای انتقال جریان الکتریکی کاهش می‌یابد. بیشترین میزان هدایت الکتریکی ۵۸۴/۸۶ میکروزیمنس بر سانتی‌متر در سال ۱۳۹۳ بود. انحراف معیار EC این ایستگاه طی دوره آماری ۷۶/۰۳ بود. pH در ایستگاه پل چهر در ابتدای دوره آماری تا سال ۱۳۹۴ رو به افزایش بود که این موضوع نشان‌دهنده جذب هیدروژن در آب و تمایل به رسوب‌گذاری می‌باشد، اما از سال ۱۳۹۴ به بعد روند کاهشی مشاهده شد. میانگین و انحراف معیار pH ایستگاه پل چهر طی دوره آماری ۸/۰۴±۰/۱۶ بود. pH در ایستگاه دوآب نیز همانند ایستگاه پل چهر تا سال ۱۳۹۴ روند افزایشی، سپس تا ۱۳۹۶ کاهشی و در نهایت در سال ۱۳۹۷ روند افزایشی داشت، اما با توجه به میزان pH در ابتدا و انتهای دوره آماری، روند نزولی را در به‌دنبال داشت.

با توجه به نمودار (۱)، سختی کل آب در ایستگاه پل چهر دارای روند افزایشی بود. دلیل این امر روند افزایشی غلظت کاتیون‌های کلسیم و منیزیم در آب ایستگاه پل چهر می‌باشد. میانگین و انحراف معیار سختی کل در این ایستگاه ۲۴/۱۶±۲۴/۹۰ میلی گرم بر لیتر بود. میزان سختی کل در ایستگاه دوآب دارای نوساناتی می‌باشد. این نوسانات به دلیل کاهش‌ها و افزایش‌های کاتیون‌های کلسیم و منیزیم طی دوره آماری در ایستگاه دوآب می‌باشد. با توجه به مقادیر کلسیم و منیزیم اندازه‌گیری شده در این ایستگاه، نتایج حاکی از آن است که کاتیون کلسیم نسبت به منیزیم در سختی کل آب اثرگذاری بیشتری دارد. میانگین و انحراف معیار سختی کل ایستگاه دوآب ۳۱/۲۵±۲۴۱/۶۱ میلی گرم بر لیتر می‌باشد. TDS در ایستگاه پل چهر دارای روند افزایشی می‌باشد. با توجه به اینکه EC در این ایستگاه روند افزایشی داشته و این پارامتر رابطه مستقیمی با TDS دارد، این روند

انحلال سازندهای تبخیری حاوی یون سولفات و غالب شدن این آنیون نسبت به آنیون‌های دیگر در آب رودخانه می‌باشد. این نتایج نشان از تکامل سریع هیدروشیمیایی آب این زیرشاخه (دوآب) از رودخانه می‌باشد. با توجه به تحلیل آماری چندمتغیره کانونیک نتایج نشان داد که واکنش‌های آب-سنگ، هوازدگی سنگ دولومیت و انحلال هالیت عوامل تأثیرگذار بر کیفیت آب منطقه مورد مطالعه می‌باشند.

#### ملاحظات اخلاقی

نویسندگان تمام نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند. همچنین هرگونه تضاد منافع حقیقی یا مادی که ممکن است بر نتایج یا تفسیر مقاله تأثیر بگذارد را رد می‌کنند.

#### تشکر و قدردانی

بدین وسیله از شرکت آب منطقه‌ای استان کرمانشاه بابت همکاری در انجام این تحقیق، تشکر و قدردانی می‌شود.

Na و Cl به ترتیب با ضرایب ۰/۹۳۰ و ۰/۸۰۰ در دسته دوم کانونیک از اهمیت بالایی برخوردار هستند. در ایستگاه دوآب نیز مانند ایستگاه پل چهر منشأ دسته کانونیک اول را می‌توان مربوط به تعامل آب-سنگ و تشکیلات آهکی دانست. همچنین همبستگی بالای Na و Cl در دسته کانونیک دوم نشان دهنده انحلال سدیم کلراید باشد. بانجری و همکاران کیفیت آب در منطقه بیربهم کشور بنگال را با استفاده از آزمون تحلیل مؤلفه اصلی و تحلیل همبستگی کانونی آنالیز کردند. تحلیل همبستگی کانونی برای تحلیل همبستگی تغییرات دمایی آب استفاده شد که نشان داد تمام متغیرهای کیفیت آب با تغییرات دمایی همبستگی دارند (۱۸).

#### نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، علت افزایش منیزیم در ایستگاه دوآب را می‌توان به پراکندگی سازندهای دولومیتی حاوی منیزیم دانست، به طوری که انحلال این تشکیلات زمین‌شناسی باعث افزایش غلظت منیزیم و جایگزین شدن آن با کلسیم شده است. دلیل افزایش سولفات نیز

## References

- Mirzaei R, Abbasi N, Sakizadeh M. Water Quality Assessment of Rivers in Bushehr Province by Using Water Quality Index During 2011-2013 Years. ISMJ. 2017;20(5):470-80.(In Persian)
- Kalaji M, Ebrahimi A, Hasheminejad H, Motaghi A, Asadolah S. Water quality assessment of lake Zayandehrood Dam using WQI index. Isfahan University of Technology.2017;21(1):265-77.(In Persian)
- Bricker OP, Jones BF. Main factors affecting the composition of natural waters. Trace elements in Natural Waters; Eds Salbu B & Steinnes E. 1995:1-20.
- Khosravi Fard A, Vahabzadeh G, Gholami L. The Study and Classification of Water Quality of Ghorbaghestan and Doab Merk Stations in Gharasoo River Basin. Journal of Research in Environmental Health. 2017;2(4):299-310.
- Khadempour F, Shahidi A. Qualitative assessment of surface water using the CWQI method and with the Aquachem software(Case study: Qaen River in South Khorasam). Iranian Journal of Research in Environmental Health. Autumn 2017; 179-186. (In Persian)
- Sharma P, Meher PK, Kumar A, Gautam YP, Mishra KP. Changes in water quality index of Ganges river at different locations in Allahabad. Sustainability of Water Quality and Ecology. 2014;3:67-76.
- Sun W, Xia C, Xu M, Guo J, Sun G. Application of modified water quality indices as indicators to assess the spatial and temporal trends of water quality in the Dongjiang River. Ecological Indicators. 2016;66:306-12.
- Qishlaqi A, Kordian S, Parsaie A. Hydrochemical evaluation of river water quality—a case study. Applied Water Science. 2017;7(5):2337-42.
- Daou C, Salloum M, Legube B, Kassouf A, Ouaini N. Characterization of spatial and temporal patterns in surface water quality: a case study of four major Lebanese rivers. Environmental monitoring and assessment. 2018;190(8):485.
- Sauerbrei W, Royston P, Schumacher M, Austin PC, Tu JV. Austin, PC, and Tu, JV (2004)," Bootstrap Methods for Developing Predictive Models," The American Statistician," 58, 131-137: Comment by Sauerbrei, Royston, and Schumacher and Reply. The American Statistician. 2005;59(1):116-8.
- Nash MS, Chaloud DJ. Multivariate analyses (canonical correlation and partial least square (PLS)) to model and assess the association of landscape metrics to surface water chemical and biological properties using savannah river basin data. US Environmental Protection Agency Las Vegas, Nevada, USA. 2002.
- Noori R, Sabahi MS, Karbassi AR, Baghvand A, Zadeh HT. Multivariate statistical analysis of surface water quality based on correlations and variations in the data set. Desalination. 2010;260(1-3):129-36.
- Waxman MF. The agrochemical and pesticides safety handbook: CRC Press; 1998.
- Bouwer H. Simple derivation of the retardation equation and application to preferential flow and macrodispersion. Groundwater. 1991;29(1):41-6.
- Kumar M, Kumari K, Ramanathan A, Saxena R. A comparative evaluation of groundwater suitability for irrigation and drinking purposes in two intensively cultivated districts of Punjab, India. Environmental Geology. 2007;53(3):553-74.
- Tabachnick B.L, Fidell S. Using multivariate statistics. A Pearson Education Company. Needham.2000. 966.
- Fink G, Alcamo J, Flörke M, Reider K. Phosphorus loadings to the world's largest lakes: sources and trends. Global Biogeochemical Cycles. 2018;32(4):617-34.
- Banerjee M. Impact of environmental factors on maintaining water quality of Bakreswar reservoir, India. Computational Ecology and Software. 2015;5(3):239.