

Assessment of Spatio-temporal variations in contamination, sediment and water quality index in Pasikhan River, Guilan Province

Eisa Ebrahimi^{1*} , Hossein Asadi² , Mohammad Bagher Farhangi³ , Afshin Ashrafzadeh⁴ 

1 - PhD Student, Soil Science Department, Agricultural Faculty, University of Guilan, Rasht, Iran

2 - Associate Professor, Soil Science Department, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

3 - Assistant Professor, Soil Science Department, Agricultural Faculty, University of Guilan, Rasht, Iran

4 - Associate Professor, Water Engineering Department, Agricultural Faculty, University of Guilan, Rasht, Iran

Abstract

Background and Aims: In recent years, the pollution rate of rivers entering the Anzali Lagoon has increased sharply due to population growth and industrial development. The purpose of this study was to investigate the pollution status and water quality index (WQI) in the Pasikhan River as one of the most important rivers entering the Anzali Lagoon.

Materials and methods: This research was conducted at three hydrometric stations in the Pasikhan basin namely Mubarak Abad, Alisara and Noukhale within three years, 2014, 2015 and 2016. Sampling was carried out on a monthly basis and various parameters including sulfate, chloride, calcium, and bicarbonate were measured. Also, the WQI was used to quantify the overall quality of water. During the study, all the moral standards were observed.

Results: The results showed that 81235 tons of suspended sediments were passed the Noukhale station annually entering the Anzali Lagoon. The values of chlorine at Noukhale, Mubarak abad, and Alisara stations were equal to 2.37, 0.18 and 0.18 mg/l, respectively. Based on the Wilcox diagram, the water resources were grouped as C₁S₁ and C₂S₁. The results of WQI revealed that the water status at all three stations was not favorable, which can be attributed to the discharge of municipal, industrial, and agricultural wastewaters into Pasikhan river.

Conclusion: In general, the results show that accumulation of sediments and pollutants transferred from the Pasikhan River to the Anzali Wetland increases the degradation of its ecosystem and also endangers human and fish health in the area.

Keywords: Anzali Lagoon, Sediment rating curve, Piper diagram, Schoeller diagram, Wilcox diagram

Please Cite this article as: Ebrahimi E, Asadi H, Farhangi MB, Ashrafzadeh A. Assessment of Spatio-temporal variations in contamination, sediment and water quality index in Pasikhan River, Guilan Province. Journal of Health in the Field. 2020; 8(1):32-50.

***Corresponding Author:** Department of Soil Science, Agricultural Faculty, University of Guilan, Guilan, Iran

Email: Ebrahimi.soilphysic@yahoo.com

DOI: <https://doi.org/10.22037/jhf.v8i1.27471>

Received: 14 October 2019

Accepted: 28 May 2020

بررسی تغییرات زمانی و مکانی وضعیت آلودگی، رسوب و شاخص WQI در رودخانه پسیخان در استان گیلان

عیسی ابراهیمی^{۱*}، حسین اسدی^۲، محمد باقر فرهنگی^۳، افشین اشرفزاده^۴

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم خاک، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

۲- دانشیار، گروه علوم خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۳- استادیار، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

۴- دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

چکیده

زمینه و هدف: در سال‌های اخیر به دلیل افزایش جمعیت و توسعه صنایع، میزان آلودگی آب رودخانه‌های ورودی به تالاب انزلی به شدت افزایش یافته است. هدف از انجام این پژوهش بررسی آلودگی و شاخص کیفیت آب رودخانه پسیخان به عنوان یکی از مهمترین رودخانه‌های ورودی به این تالاب است.

مواد و روش‌ها: این پژوهش در سه سال ۱۳۹۳، ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ در سه ایستگاه هیدرومتری در حوضه پسیخان با نام مبارک‌آباد، علیسرا و نوخاله انجام شد. نمونه‌برداری به صورت ماهانه انجام و پارامترهای مختلفی از جمله سولفات، کلر، کلسیم و بی‌کربنات اندازه‌گیری شد. برای سنجش کیفیت آب از شاخص WQI استفاده شد. در طول مدت مطالعه، کلیه موازین اخلاقی رعایت شد.

یافته‌ها: نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان داده است که سالانه از ایستگاه نوخاله ۸۱۲۳۵ تن رسوب معلق خارج شده و وارد تالاب انزلی می‌شود. میزان کلر در ایستگاه نوخاله، مبارک‌آباد و علیسرا به ترتیب برابر با ۲/۳۷، ۰/۱۸ و ۰/۱۸ میلی‌گرم بر لیتر به دست آمد. بر اساس نمودار ویلکاکس آب‌های مورد مطالعه در کلاس‌های C_1S_1 و C_2S_1 قرار دارند. نتایج شاخص WQI نشان داده است که وضعیت آب در هر سه ایستگاه دارای شرایط مطلوبی نیست و علت آن را می‌توان به ورودی فاضلاب‌های شهری، صنعتی و همچنین زه‌آب بخش کشاورزی نسبت داد.

نتیجه‌گیری: به طور کلی نتایج نشان داده است که تجمع رسوبات و آلاینده‌های منتقل شده توسط رودخانه پسیخان به تالاب انزلی باعث افزایش تخریب اکوسیستم تالاب و همچنین باعث به خطر افتادن سلامت انسان‌ها و ماهیان در منطقه می‌شود.

کلید واژه‌ها: تالاب انزلی، منحنی سنج رسوب، نمودار پایپر، نمودار شولر، نمودار ویلکاکس

* نویسنده مسئول: دانشجوی دکتری، گروه علوم خاک، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

Email: Ebrahimi.soilphysic@yahoo.com

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۷/۲۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۳/۰۸

مقدمه

رودخانه‌ها از منابع اصلی تأمین آب برای کشاورزی، آشامیدن و بخش صنعت می‌باشند [۱،۲]. با گذشت زمان و توسعه جوامع انسانی و به دنبال آن افزایش استفاده از منابع آبی، دخل و تصرف غیرطبیعی و تغییر شرایط کیفی آب رودخانه‌ها افزایش یافته است [۳]. آلودگی رودخانه‌ها، یکی از اساسی‌ترین مشکلات دنیای امروز به خصوص در کشورهای در حال توسعه می‌باشد [۴]. افزایش تقاضای آب، بالا رفتن سطح زندگی و گسترش آلودگی منابع آب در اثر توسعه فعالیت‌های کشاورزی، شهری و صنعتی موجب ایجاد وضعیت نامناسب زیست محیطی و تشدید آلودگی منابع آب شده و مدیریت صحیح آن را بسیار دشوار و پیچیده کرده است [۵]. از عوامل کاهش کیفیت و افزایش آلودگی آب می‌توان به افزایش جمعیت، صنعتی شدن، شهرنشینی [۶]، آلودگی ناشی از تخلیه انواع فاضلاب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی، شیرابه محل‌های دفع زباله و رواناب‌های سطحی اشاره کرد [۷،۸]. بنابراین کاهش کیفیت آب‌های جاری مانند رودخانه‌ها و نهرها که به شدت تحت تاثیر بشر قرار دارند، یکی از نگرانی‌های حال حاضر می‌باشد [۹]. یکی از روش‌های پرکاربرد و ساده جهت سنجش کیفیت آب‌های سطحی، استفاده از شاخص‌های کیفیت آب (Water Quality Index : WQI) است. در این روش، حجم زیاد اطلاعات حاصل از پایش‌های کیفی آب به صورت یک عدد منفرد و بدون بعد تبدیل می‌شود که این عدد در یک مقیاس درجه‌بندی شده، دارای مفهوم و تعریف کیفی تفسیر شده‌ای است [۱۰].

شیخی و همکاران [۱۱] در پژوهشی که بر روی کیفیت آب رودخانه کر با استفاده از شاخص WQI انجام دادند؛ نشان دادند که وضعیت آلودگی در بخش‌هایی از رودخانه کُر از دیدگاه زیست محیطی نگران کننده است و برای جلوگیری از فروکاهی بیشتر کیفیت رودخانه کُر، پایش پیوسته بر ورودی‌های مختلف رودخانه ضرورت دارد. روسلی و همکاران [۱۲] کیفیت آب رودخانه سبک واقع در مالزی را با استفاده از شاخص WQI مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از مطالعه این پژوهشگران نشان داد که رودخانه مقدار پائینی از اکسیژن محلول و مقدار بالایی از

اکسیژن مورد نیاز شیمیایی و سرب داشت و کیفیت آب این رودخانه از نظر شاخص WQI در محدوده اندکی آلوده قرار داشت. تریاجی و همکاران [۱۳] پژوهشی بر روی رودخانه پورونگ انجام دادند و طبق نتایج ایشان، وضعیت کیفی آب رودخانه در رده متوسط قرار داشت. میرزایی و همکاران [۱۴] تحقیقی بر روی کیفیت آب‌های سطحی با استفاده از شاخص (National Sanitation Foundation Water Quality Index : NSFQWI) و ارزیابی خطر آلودگی با شاخص (Waste water Recreational Agricultural Size) Transports avenues Industrial cover of vegetation: WRASTIC انجام دادند؛ نتایج نشان داد که کیفیت آب تنها در یک ایستگاه رودخانه مورگان در طبقه متوسط بوده و ایستگاه‌های دیگر در تمام فصل‌ها دارای کیفیت نامطلوب هستند. یسا و جیمو [۱۵] مطالعه‌ای روی کیفیت آب رودخانه لندزو (Landzo) انجام دادند که نتایج نشان داد، آب رودخانه لندزو آلوده بوده و برای استفاده محلی مناسب نیست و باید مورد تصفیه قرار گیرد. مطالعات فراوانی بر روی کیفیت آب رودخانه‌های گیلان و سایر نقاط صورت گرفته است [۱۶-۱۸]. با توجه به اهمیت کیفیت آب در استان گیلان و کیفیت آب ورودی به تالاب انزلی مطالعه کیفیت آب رودخانه پسیخان به عنوان مهمترین رودخانه ورودی به تالاب انزلی، دارای اهمیت بسیار زیادی است. از آنجا که مطالعه جامعی بر روی کیفیت آب رودخانه پسیخان و شاخص‌های کیفیت در این رودخانه صورت نگرفته است، هدف از انجام این مطالعه، تعیین مقدار پارامترهای شیمیایی و رسوب در زمان‌های مختلف در رودخانه پسیخان است. همچنین هدف دیگر این مطالعه تعیین سطح کیفیت آب رودخانه پسیخان از دیدگاه شاخص WQI است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز رودخانه پسیخان و زیر حوضه‌های آن در محدوده مختصات جغرافیایی ۴۱ درجه و ۸ دقیقه تا ۴۱ درجه و ۳۴ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۵۴ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. طول اصلی رودخانه پسیخان از

دریافت شد. همان گونه که مشخص است، مهم ترین رودخانه ورودی (از نظر دبی و رسوب) به تالاب انزلی، رودخانه پسیخان است. این رودخانه یکی از رودخانه های مستقل حوضه آبریز دریای خزر بوده و به زیر حوضه تالاب انزلی تعلق دارد (شکل شماره ۱).

سرشاخه سیاه مزگی تا تالاب انزلی ۹۹/۵ کیلومتر است و وسعت حوضه آبریز آن حدود ۷۹۵ کیلومتر مربع می باشد. میانگین ارتفاع آن از سطح دریا ۴۷۵/۷ متر می باشد. بر اساس دوره آماری ۲۵ ساله (۶۴-۱۳۶۳ تا ۸۸-۱۳۸۷)، میانگین آبدهی و رسوب دهی رودخانه های اصلی وارده به تالاب انزلی در جدول شماره ۱ آمده است. اطلاعات جدول ۱ از اداره آب منطقه ای استان گیلان

جدول ۱- میانگین بلندمدت دبی و رسوبدهی رودخانه های اصلی ورودی به تالاب انزلی

Table 1- The long-term average of Flow Discharge and the sedimentation of the main rivers entering the Anzali Wetland

رودخانه	ایستگاه	دبی (مترمکعب در ثانیه)	مساحت (کیلومترمربع)	بار معلق (تن در سال)	بار بستر (تن در سال)	بار رسوب سالانه (تن در سال)	رسوب ویژه (تن در سال در کیلومترمربع)
پسیخان	نوخاله	۲۰/۷۰	۷۹۵/۱	۱۶۳۷۸۱	۲۴۵۶۷	۱۸۸۳۴۹	۲۳۶/۹

محل ایستگاه از سه نقطه کناره ها و وسط رودخانه صورت گرفته است.

آنالیز نمونه های آب

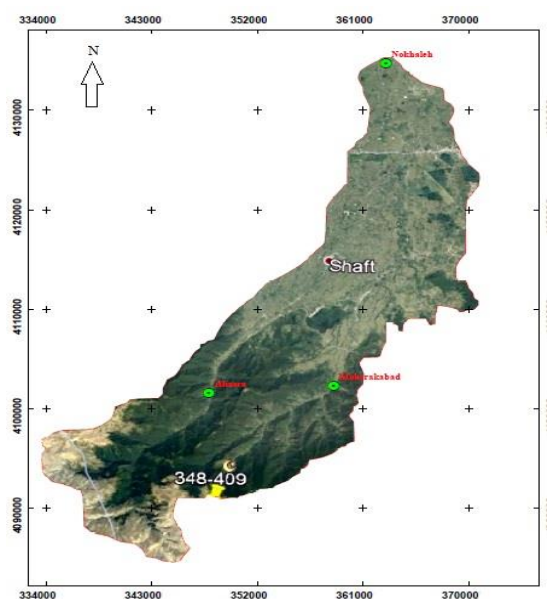
پارامترهای کلر، سولفات، کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم و بی کربنات بر اساس Standard Analytical Procedures for Water Analysis (1999) اندازه گیری شدند [۱۹]. نسبت جذب سدیم (meq/L) با رابطه زیر محاسبه شد.

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} \quad (1)$$

که در آن؛ Na، Ca و Mg به ترتیب بیانگر مقدار کلسیم، سدیم و منیزیم بر حسب meq/L هستند. برای اندازه گیری جامدات معلق در نمونه های آب از روش خشک کردن با آون استفاده شد. به این صورت که حجم مشخصی از نمونه آب در داخل آون قرار داده شد و از تغییرات وزن آب قبل و بعد از خشک شدن مقدار جامدات به دست آمد.

شاخص کیفیت آب (WQI)

شاخص کیفیت آب (WQI) اولین بار در دهه هفتاد میلادی توسط هورتن به کار گرفته شد. این شاخص مقدار واحدی از



شکل ۱- موقعیت حوضه آبریز پسیخان و ایستگاه های هیدرومتری موجود در آن

Figure 1- Location of Pesikhan watershed and hydrometric stations

نمونه برداری از آب رودخانه

نمونه برداری از آب در سه ایستگاه مورد مطالعه نوخاله، مبارک آباد و علیسرا در دوازده ماه سال های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۵ به صورت ماهانه طی سه سال به صورت مرکب از یک مقطع رودخانه در

پارامتر i در حالت ایده‌آل (برای اکسیژن $14/7$ ، برای اسیدیته معادل 7 و برای دیگر فاکتورهای مورد بررسی صفر) و Si مقدار پارامتر i در حالت استاندارد است (جدول ۲).

جدول ۲- مقادیر استاندارد و ضریب وزنی خصوصیات کیفی

ورودی به شاخص WQI [۶]

Table 2- Standard values and weight coefficients of qualitative characteristics of WQI index [6]

پارامتر	واحد	مقدار استاندارد	ضریب وزنی
pH	-	۸/۵	۰/۱۴۲۸
کلرید	mg/L	۲۵۰	۰/۰۰۴۸
سدیم	mg/L	۲۰۰	۰/۰۰۶۰
سولفات	mg/L	۲۵۰	۰/۰۰۴۸
سختی کل	mg/L	۳۰۰	۰/۰۰۴۰
کل جامدات محلول	mg/L	۱۰۰۰	۰/۰۰۱۲

جدول ۳- کلاس بندی مقادیر WQI [۲۱]

Table 3- Classification of WQI values [21]

مقدار WQI	توصیف وضعیت
کمتر از ۵۰	کیفیت عالی
۵۰-۱۰۰	کیفیت خوب
۱۰۰-۲۰۰	کیفیت ضعیف
۲۰۰-۳۰۰	کیفیت خیلی ضعیف
بیش از ۳۰۰	غیر قابل آشامیدن

برای رسم نمودارهای پایپر، دورو و شولر از نرم افزار AqQA و برای رسم نمودار ویلکاکس از فایل اکسل کدنویسی شده Chemistry استفاده شد. برای انجام مقایسه میانگین از نرم افزار SPSS و آزمون دانکن در سطح پنج درصد استفاده شده است. همچنین نمودارهای نیز در نرم افزار Excel 2013 ترسیم شده‌اند.

یافته‌ها

در شکل شماره ۲، متوسط تغییرات ماهانه جامدات معلق در سه سال مورد مطالعه، برای سه ایستگاه نوخاله، مبارک آباد و علیسرا آمده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، بالاترین مقدار جامدات معلق در ایستگاه نوخاله مربوط به ماه آبان با مقدار

چند پارامتر اندازه‌گیری شده در آب را محاسبه می‌کند. برای ارزیابی سریع کیفیت آب، از ابزاری باید استفاده کرد که میزان آلودگی آب را در بازه زمانی کوتاه‌تری نشان دهد. به همین خاطر از شاخص آلودگی آب برای ارائه اولیه و سریع نتیجه ارزیابی وضعیت کیفیت آب (WQI) استفاده می‌شود [۶] که به دور از پیچیدگی‌های ریاضی و آماری، کیفیت آب را بیان می‌کند. شاخص کیفیت آب برای مصارف آشامیدنی و یا آبیاری، کیفیت کلی آب را از طریق یک عدد واحد در یک زمان و مکان مشخص بر اساس بررسی پارامترهای کیفی مختلف آب بیان می‌کند [۲۰]. با محاسبه زیر شاخص‌های مربوط و وزن دهی، در نهایت مقدار نهایی شاخص محاسبه می‌شود. جهت محاسبه مقدار از داده‌های کیفی سال ۱۳۹۳-۱۳۹۵ استفاده شد. در این مطالعه از پارامترهای شیمیایی منابع آب کلراید، سولفات، اسیدیته، جامدات محلول، سختی کل، قلیائیت، سدیم و بی‌کربنات استفاده شد. پارامترهای مورد نیاز برای تعیین این شاخص در جدول ۲ گزارش شده است. از رابطه ۳ نیز برای تعیین شاخص WQI استفاده شد.

$$WQI = \frac{\sum_{i=1}^n q_i \times W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (3)$$

در این رابطه، q_i رتبه کیفیت آب را با توجه به غلظت پارامتر i نشان می‌دهد و W_i فاکتور وزن می‌باشد که بستگی به اهمیت پارامتر کیفی از نظر بهداشت و سلامتی دارد. مقادیر فاکتور وزن پارامترهای مختلف در جدول ۲ آمده است. با توجه به مقدار به‌دست آمده برای WQI و جدول ۳ می‌توان از وضعیت آب مورد مطالعه از نظر کیفیت مطلع شد. برای تعیین q_i و W_i از رابطه‌های ۴، ۵ و ۶ استفاده می‌شود.

$$q_i = \frac{V_a - V_i}{S_i - V_i} \quad (4)$$

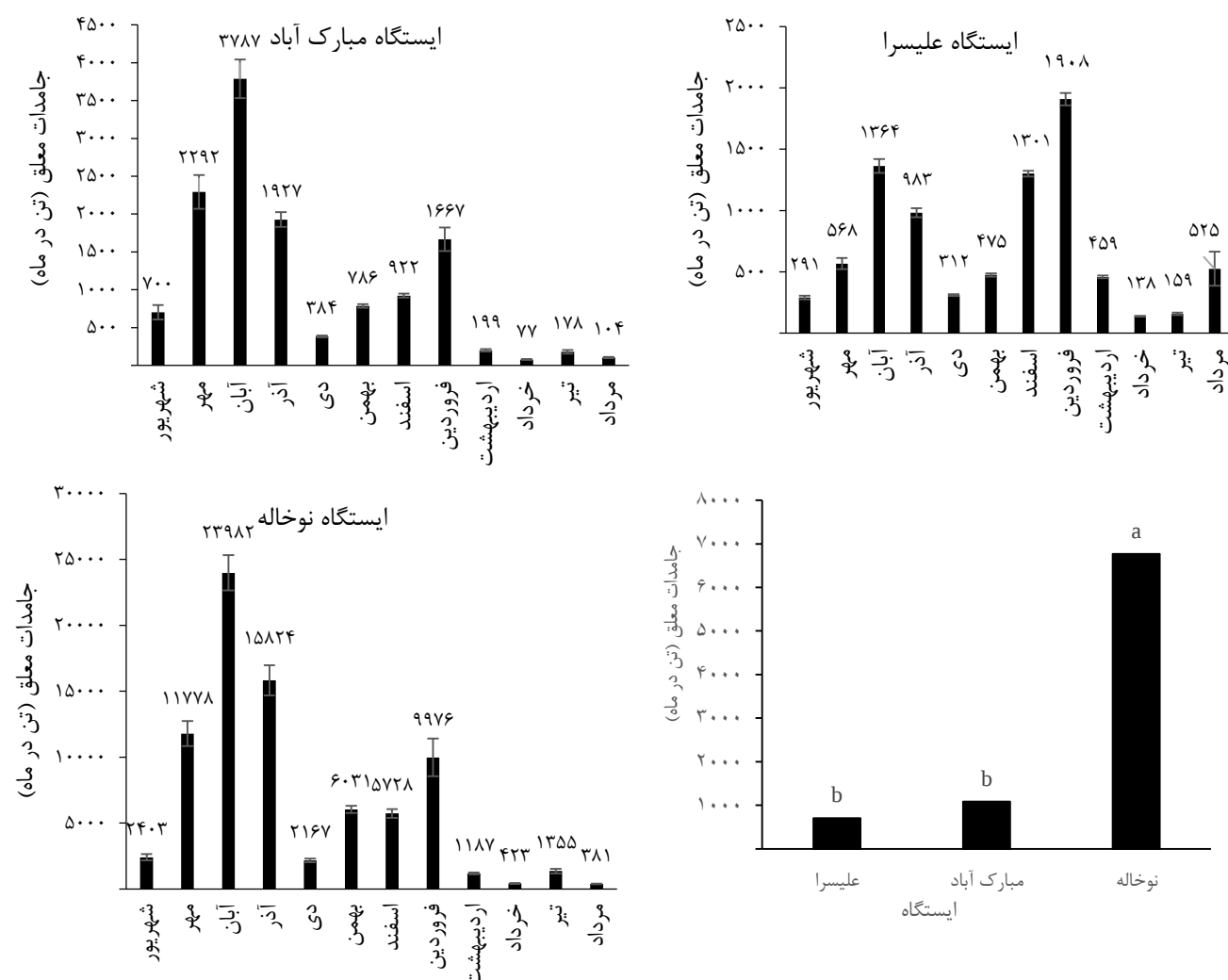
$$W_i = \frac{K}{S_i} \quad (5)$$

$$K = \frac{1}{\sum \frac{1}{S_i}} \quad (6)$$

که در آن، V_a مقدار پارامتر i در زمان نمونه‌برداری، V_i مقدار

داده است که بیشترین مقدار جامدات معلق خارج شده از ایستگاه مبارک آباد تقریباً دو برابر ایستگاه علیسرا است، دلیل عمده این امر بزرگتر بودن بخش مراتع تخریب شده این ایستگاه است. بخش بالادست حوضه پسیخان شامل دو زیر حوضه مبارک آباد و علیسرا در مجموع ۲۱۵۰۷ تن در سال جامدات معلق (۲۶ درصد) تولید کرده و ۵۹۷۲۸ تن در سال رسوب (۷۴ درصد) مربوط به فاصله بین ایستگاه‌های مبارک آباد و علیسرا تا ایستگاه نوخاله است. علت بالا بودن جامدات معلق تولید شده در بخش میانی حوضه را می‌توان در درجه نخست به مساحت زیاد (۴۹۹ کیلومتر مکعب) آن نسبت داد.

۲۳۹۸۲ تن بوده است. همچنین کمترین مقدار جامدات معلق برای ایستگاه نوخاله نیز مرداد ماه معادل ۳۸۱ تن است. با توجه به دوره زمانی سه ساله مورد مطالعه، از ایستگاه نوخاله سالانه ۸۱۲۳۵ تن جامدات معلق خارج شده و وارد تالاب انزلی می‌شود. همچنین مشاهده می‌شود که روند تغییرات جامدات معلق ماهانه در ایستگاه مبارک آباد تقریباً مشابه ایستگاه نوخاله است و در آبان ماه بیشترین مقدار جامدات معلق خارج شده از ایستگاه مبارک آباد معادل ۳۷۸۷ تن است. در ایستگاه علیسرا بر خلاف دو ایستگاه دیگر، بیشترین مقدار جامدات معلق خارج شده مربوط به فروردین ماه (۱۹۰۸ تن) بوده است. نتایج نشان

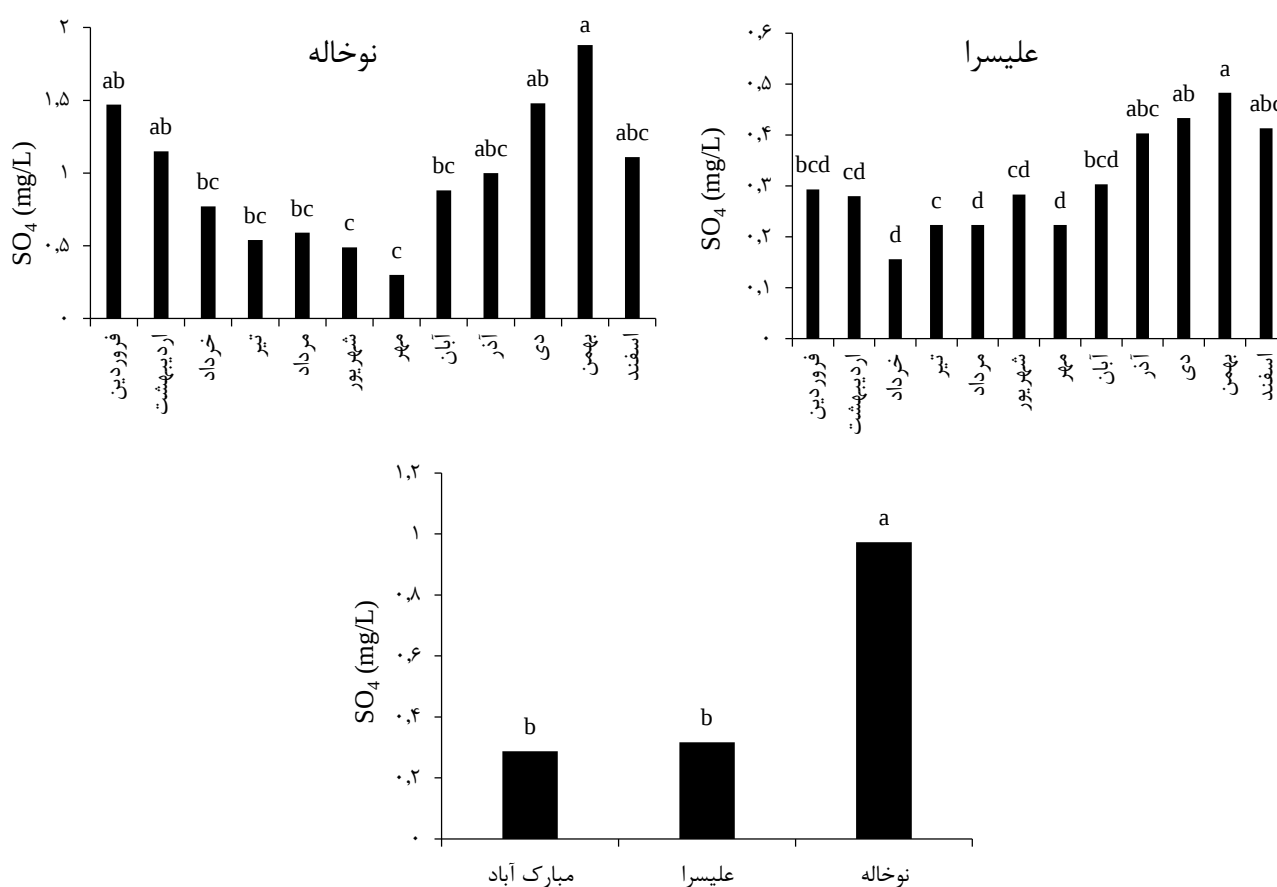


شکل ۲- تغییرات متوسط ماهانه جامدات معلق در سه ایستگاه و سه سال مورد مطالعه

Figure 2- Average monthly changes of suspended solids in three stations and three years studied

سولفات

در شکل شماره ۳، مقایسه میانگین تغییرات زمانی و مکانی غلظت سولفات در سه ایستگاه مبارک آباد، علیسرا و نوخاله آمده است. مشاهده می‌شود که بیشترین مقدار سولفات در ایستگاه علیسرا (۰/۴۸۳ میلی گرم بر لیتر) و نوخاله (۱/۸۸۰ میلی گرم بر لیتر) در ماه بهمن به دست آمده است. مشاهده می‌شود که



شکل ۳- تغییرات زمانی و مکانی سولفات در ایستگاه‌های مورد مطالعه

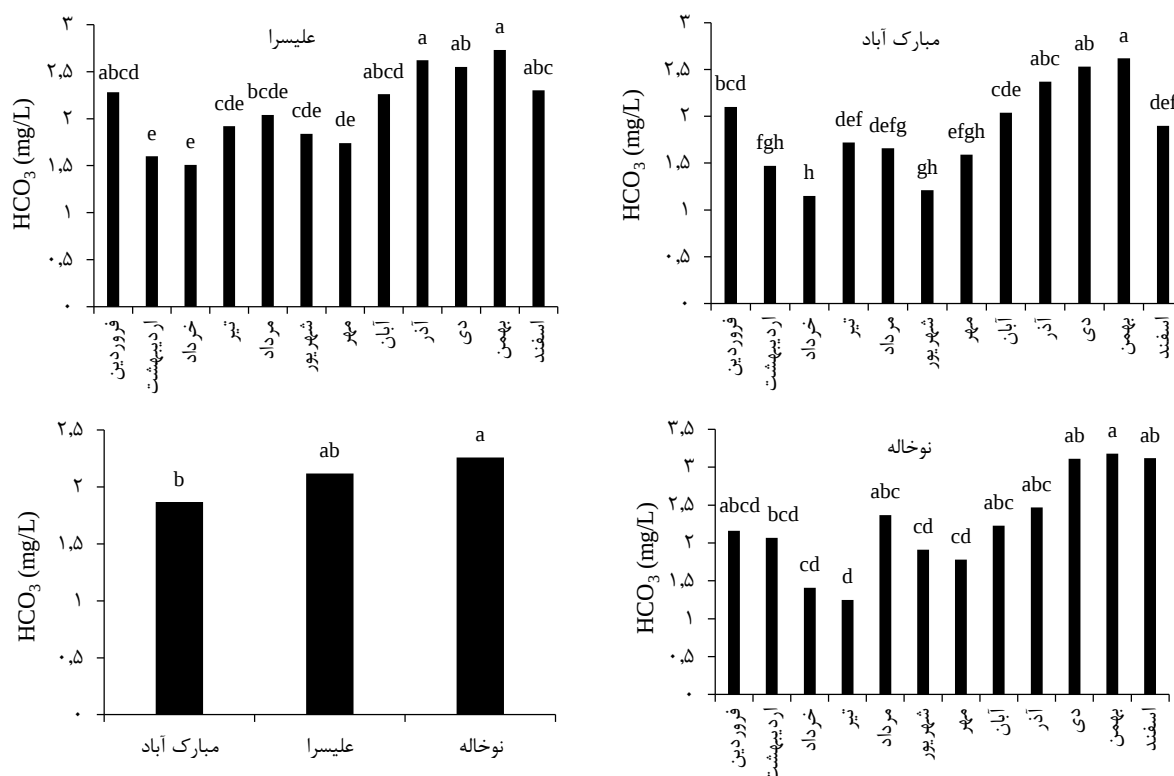
Figure 3- Temporal and spatial changes of sulfate in the studied stations

بی کربنات

در شکل شماره ۴، مقایسه میانگین تغییرات زمانی و مکانی بی کربنات در سه ایستگاه مبارک آباد، علیسرا و نوخاله آمده است. نتایج آنالیز واریانس نشان داد که مقدار بی کربنات در زمان‌های مختلف در هر سه ایستگاه دارای اختلاف معنی‌داری است. بیشترین مقادیر بی کربنات در بهمن ماه برای هر سه ایستگاه به دست آمده است. بیشترین مقدار بی کربنات در مبارک آباد،

علیسرا و نوخاله به ترتیب برابر با ۲/۶۲، ۲/۷۳ و ۳/۱۸ میلی گرم بر لیتر بود. کمترین مقدار بی کربنات در ایستگاه مبارک آباد معادل ۱/۱۵ میلی گرم بر لیتر (در خرداد ماه) بوده است که در مقایسه با ایستگاه علیسرا (۱/۵۱ میلی گرم بر لیتر در خرداد ماه)، کم‌تر است. نتایج مقایسه میانگین تغییرات مکانی نیز نشان داده است که مقدار بی کربنات در ایستگاه نوخاله (۲/۲۵ میلی گرم بر لیتر) با ایستگاه

علیسرا دارای اختلاف معنی داری نبوده، اما این مقدار در مقایسه با ایستگاه مبارک آباد دارای اختلاف معنی داری است.



شکل ۴- تغییرات زمانی و مکانی بی کربنات در ایستگاه‌های مورد مطالعه

Figure 4- Temporal and spatial changes of bicarbonate in the studied stations

کلسیم

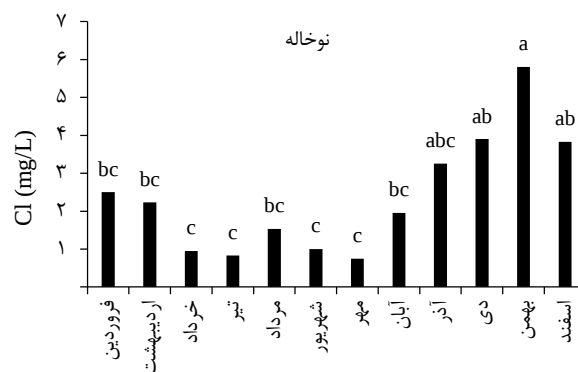
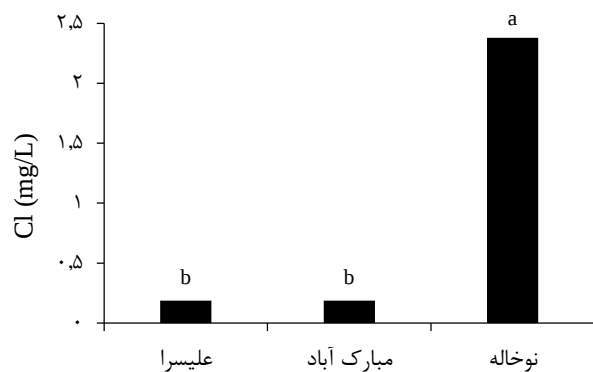
نتایج مقایسه میانگین تغییرات زمانی و مکانی مقدار کلسیم در ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل شماره ۶ آمده است. نتایج نشان داده است که میزان خروج کلسیم از هر سه ایستگاه در فصل زمستان نسبت به دیگر فصول بالاتر بوده است. از ماه آذر تا اسفند در هر سه ایستگاه بیشترین مقادیر خروجی رخ داده است که این چهار ماه فاقد اختلاف معنی داری با یکدیگر هستند. حداکثر مقدار کلسیم در آب رودخانه در موقعیت ایستگاه مبارک آباد معادل ۲/۰۷ میلی گرم بر لیتر است که این مقدار برای ایستگاه‌های علیسرا و نوخاله برابر با ۱/۹۷ و ۴/۰۱ میلی گرم بر لیتر به دست آمده است. کمترین مقدار کلسیم در ایستگاه نوخاله در تیر ماه برابر با ۱/۲۳ میلی گرم بر لیتر بوده است. نتایج مقایسه میانگین تغییرات مکانی نیز نشان داده است که دو ایستگاه علیسرا

کلرید

در شکل شماره ۵، تغییرات مقدار کلرید در ایستگاه نوخاله و مقایسه میانگین تغییرات مقدار کلرید در سه ایستگاه مورد مطالعه آمده است. همانگونه که در شکل ۵ نشان داده شده است در بهمن ماه بیشترین مقدار خروجی کلرید (۵/۸ میلی گرم بر لیتر) از حوضه رخ داده است. در تیر (۰/۸۳ میلی گرم بر لیتر) و مهر ماه (۰/۷۵ میلی گرم بر لیتر) کمترین مقدار کلرید در آب رودخانه اندازه گیری شده است. نتایج نشان داده است که در فصول بهار و تابستان که پوشش گیاهی منطقه مناسب است، کمترین مقدار خروجی کلرید رخ داده است و در فصل زمستان که پوشش گیاهی کم بوده و بارندگی بالا است، مقدار خروجی کلرید افزایش معنی داری یافته است.

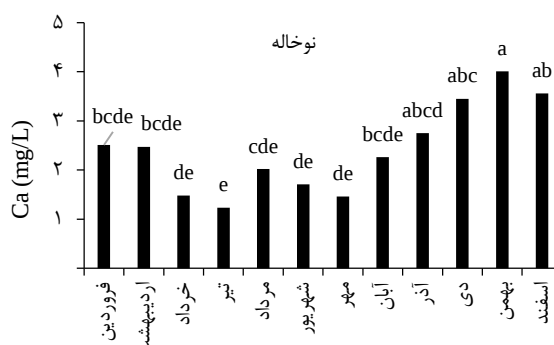
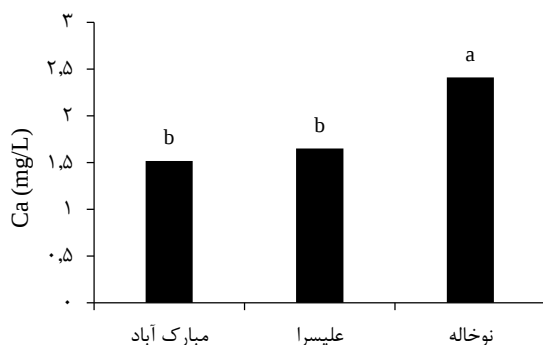
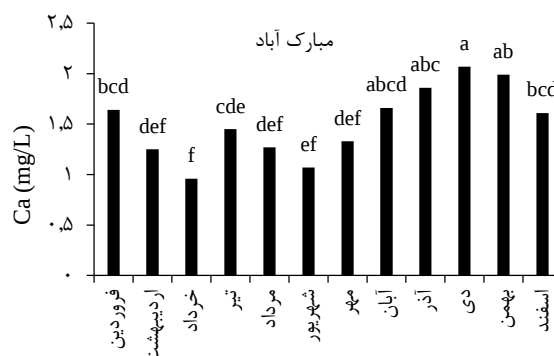
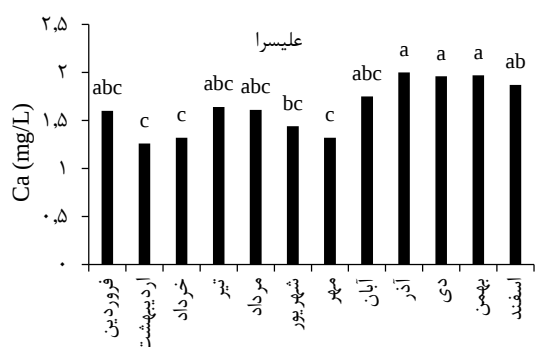
(۲/۴۱ میلی گرم بر لیتر) که برابند دو ایستگاه بالا دست می باشد، دارای کلسیم بیشتری بوده است.

(۱/۶۴ میلی گرم بر لیتر) و مبارک آباد (۱/۵۱ میلی گرم بر لیتر) با ایستگاه نوخاله دارای اختلاف معنی داری هستند و ایستگاه نوخاله



شکل ۵- تغییرات زمانی و مکانی کلرید در ایستگاه‌های مورد مطالعه

Figure 5- Temporal and spatial changes of Cl in the studied stations



شکل ۶- تغییرات زمانی و مکانی کلسیم در ایستگاه‌های مورد مطالعه

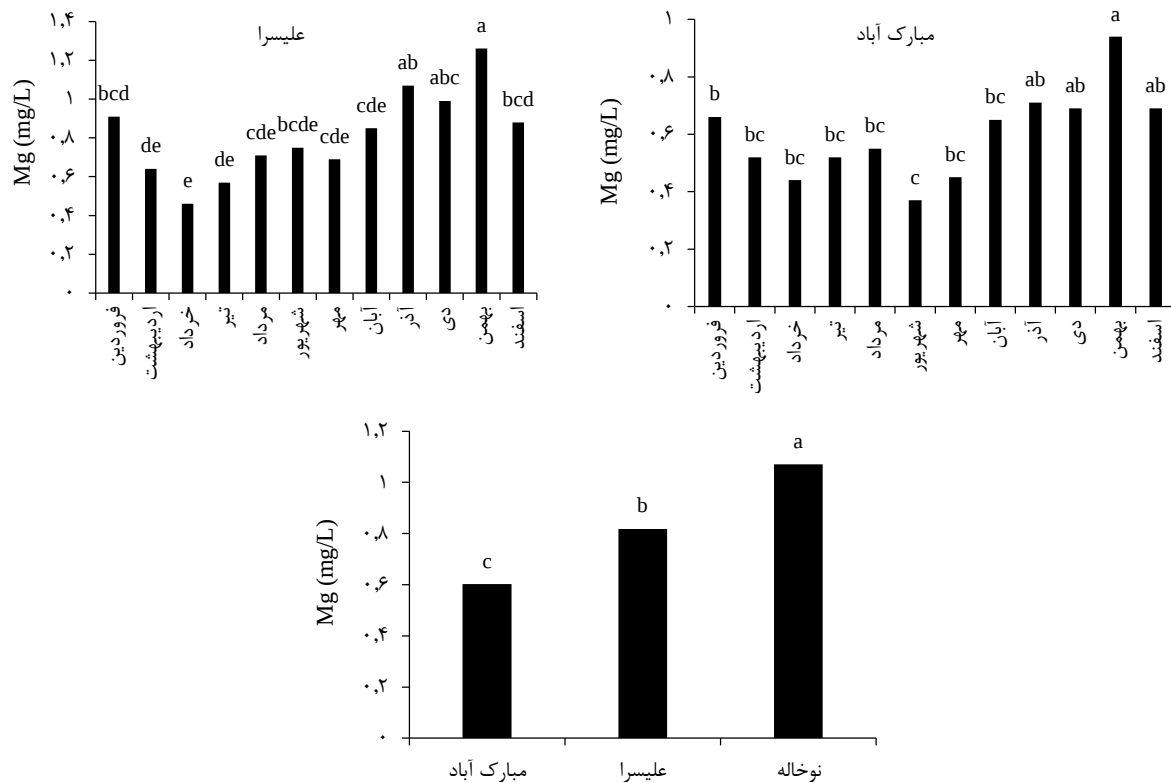
Figure 6- Temporal and spatial changes of Ca in the studied stations

نوخاله معنی دار نبوده است. بالاترین مقدار منیزیم خروجی در ایستگاه مبارک آباد و علیسرا به ترتیب برابر با ۰/۹۴ و ۱/۲۶ میلی گرم بر لیتر به دست آمده است. همچنین کمترین مقدار این

منیزیم در شکل شماره ۷، نتایج مقایسه میانگین تغییرات منیزیم آمده است. نتایج نشان داده است که تغییرات زمانی منیزیم در ایستگاه

(۱/۰۷ میلی گرم بر لیتر) دارای بیشترین مقدار بوده است. ایستگاه علیسرا (۰/۸۱ میلی گرم بر لیتر) نیز نسبت به مبارک آباد (۰/۶۰ میلی گرم بر لیتر) دارای منیزیم خروجی بیشتری بوده است.

عنصر نیز در ماه شهریور برای ایستگاه مبارک آباد (۰/۳۷ میلی گرم بر لیتر) و در خرداد ماه برای ایستگاه علیسرا (۰/۴۶ میلی گرم بر لیتر) به دست آمده است. مشاهده شده است که در خروج منیزیم بین سه ایستگاه اختلاف معنی داری وجود دارد و ایستگاه نوخاله



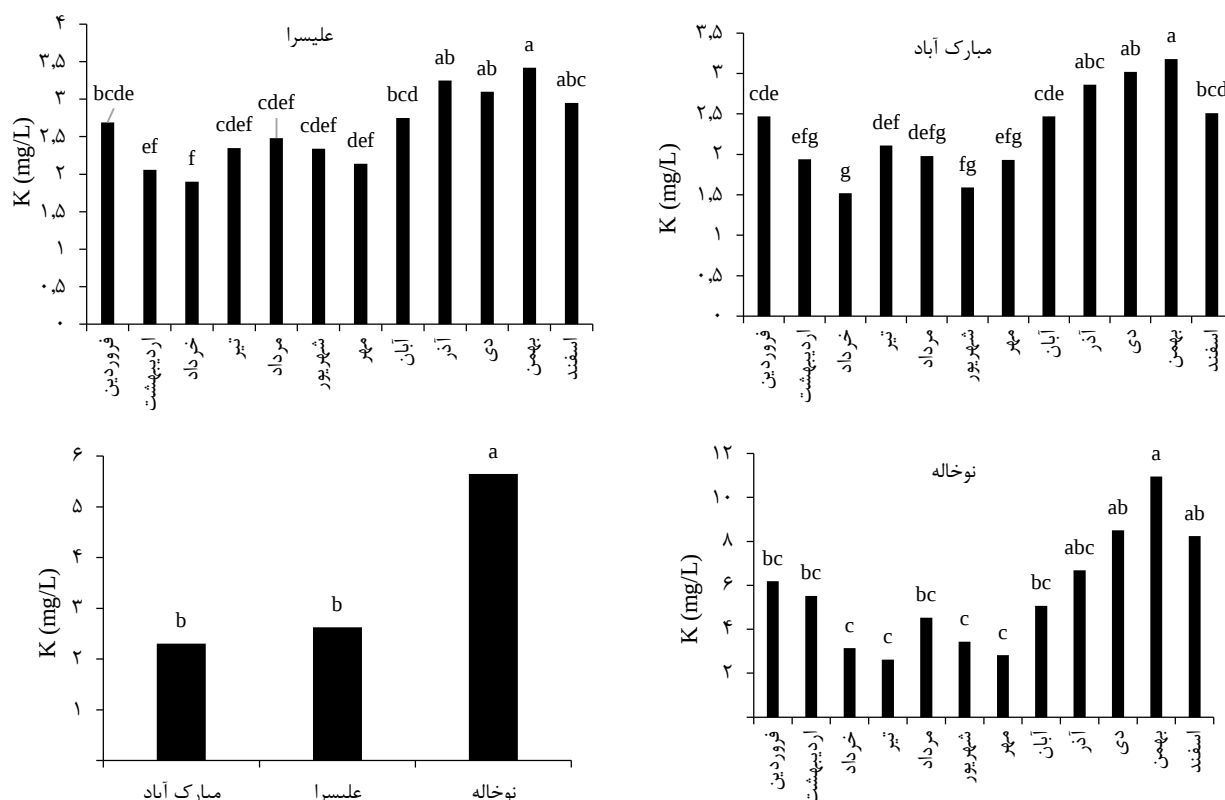
شکل ۷- تغییرات زمانی و مکانی منیزیم در ایستگاه‌های مورد مطالعه

Figure 7- Temporal and spatial changes of Mg in the studied stations

زمانی که پوشش منطقه خوب باشد و مانع از برخورد مستقیم قطرات باران و ایجاد فرسایش می‌شود، مقدار خروج عناصر کم است. بعد از کاهش پوشش گیاهی فرسایش افزایش یافته و به دنبال حرکت ذرات خاک میزان خروج عناصر نیز افزایش می‌یابد. بیشترین مقدار پتاسیم خارج شده معادل ۱۰/۹۵ میلی گرم بر لیتر در بهمن ماه در محل ایستگاه نوخاله به دست آمده است. به طور کلی ایستگاه نوخاله با میانگین ۵/۶۴ میلی گرم بر لیتر دارای بیشترین مقدار خروج پتاسیم است. بین دو ایستگاه علیسرا (۲/۶۲ میلی گرم بر لیتر) و مبارک آباد (۲/۳۰ میلی گرم بر لیتر) اختلاف معنی داری مشاهده نشده است.

پتاسیم

نتایج مقایسه میانگین تغییرات مکانی و زمانی پتاسیم در حوضه پسیخان در سه ایستگاه مورد مطالعه آمده است (شکل شماره ۸). روند تغییرات پتاسیم نیز همانند سایر عناصر کلسیم، منیزیم و کربن بوده به این صورت که در فصل زمستان با پوشش گیاهی کم، بیشترین مقدار خروجی پتاسیم رخ داده است و در فصل تابستان و بهار که وضعیت پوششی مناسب شده است خروج این عنصر کاهش معنی داری یافته است. پوشش گیاهی در حوضه مورد مطالعه در آذر به بعد کاهش یافته و قبل از آن نسبتاً دارای پوشش گیاهی مناسبی است (بر اساس مشاهدات میدانی). بنابراین تا



شکل ۸- تغییرات زمانی و مکانی پتاسیم در ایستگاه‌های مورد مطالعه

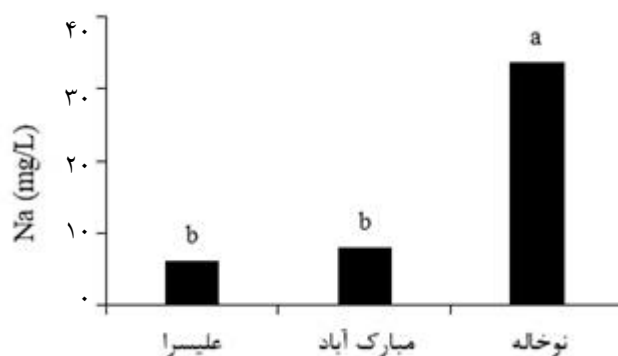
Figure 8- Temporal and spatial changes of K in the studied stations

نسبت جذب سدیم (SAR)

در شکل شماره ۱۰، نتایج مقایسه میانگین تغییرات زمانی و مکانی SAR آمده است. به طور کلی نشان داده شده است که کیفیت آب رودخانه پسیخان در حد بحرانی نیست و مشکلی از نظر شوری ندارد. از آذر ماه تا اسفند ماه در هر ایستگاه اختلاف معنی‌داری نشان داده نشده است و کمترین مقادیر این شاخص در فصل بهار و تابستان به دست آمده است. نتایج مقایسه میانگین بین سه ایستگاه نیز نشان داده است که بیشترین مقدار SAR در ایستگاه نوخاله (۱/۴۵ میلی‌اکیوالان بر لیتر) و کمترین مقدار آن در ایستگاه علیسرا (۰/۱۱ میلی‌اکیوالان بر لیتر) به دست آمده است. نتایج نشان داده است که بین دو ایستگاه علیسرا و مبارک آباد اختلاف معنی‌داری وجود ندارد.

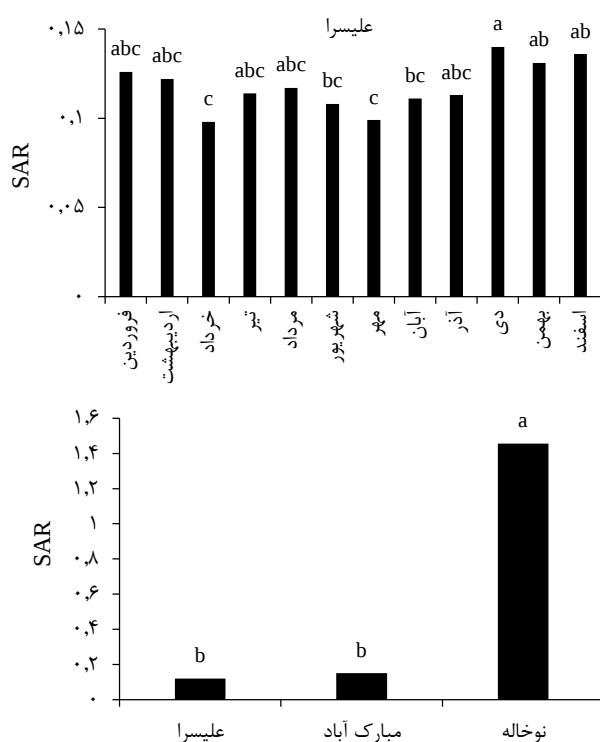
سدیم

در شکل شماره ۹، تغییرات مکانی سدیم آمده است. همانگونه که در جدول آنالیز واریانس نشان داده شده است، تغییرات سدیم وابسته به زمان نبوده و اختلاف معنی‌داری بین زمان‌های مختلف مشاهده نشده است. نتایج مقایسه میانگین مکانی نشان داده است که میزان خروج سدیم در موقعیت ایستگاه نوخاله دارای تفاوت معنی‌داری نسبت به دو ایستگاه دیگر است. میزان خروجی سدیم در ایستگاه نوخاله (۳۳/۵۸ میلی‌گرم بر لیتر) حدوداً چهار برابر ایستگاه مبارک آباد (۸/۰۱ میلی‌گرم بر لیتر) و پنج برابر ایستگاه علیسرا (۶/۱۰ میلی‌گرم بر لیتر) است.



شکل ۹- تغییرات مکانی سدیم در ایستگاه‌های مورد مطالعه

Figure 9- Spatial changes of Na in the studied stations



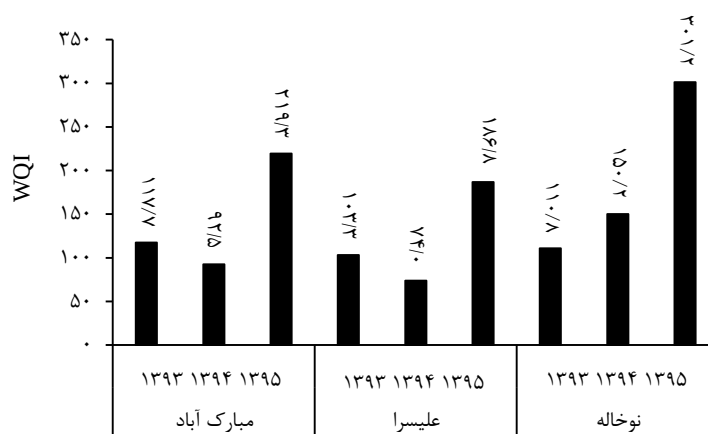
شکل ۱۰- تغییرات زمانی و مکانی SAR در ایستگاه‌های مورد مطالعه

Figure 10- Temporal and spatial changes of SAR in the studied stations

است. در دو ایستگاه بالادست علیسرا و مبارک آباد بخش صنعتی، بیمارستانی و... وجود ندارد، بنابراین نسبت به قسمت پایین دست حوضه که دارای کاربری‌های با تولید آلودگی بالا هستند دارای کیفیت بهتری است. سهم عمده آلودگی در دو ایستگاه بالادست (علیسرا و مبارک آباد) مربوط به مناطق روستایی و اراضی کشاورزی می‌باشد.

شاخص WQI

در شکل شماره ۱۱، تغییرات WQI در سال‌های مختلف در سه ایستگاه مورد مطالعه آمده است. همانگونه که مشاهده می‌شود با توجه به جدول ۳ عمدتاً کیفیت آب حوضه در هر سه ایستگاه در محدوده ضعیف قرار دارد. به طور کلی در ایستگاه نوخاله کیفیت آب، کاهش بیشتری نسبت به دو ایستگاه دیگر داشته



شکل ۱۱- تغییرات شاخص WQI در ایستگاه‌های مختلف

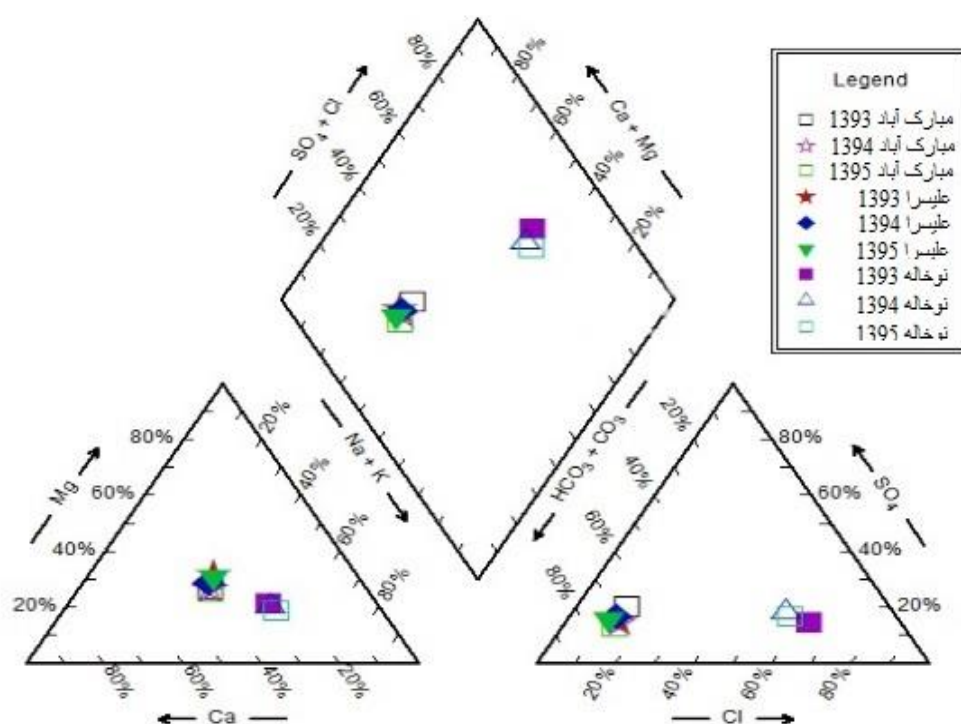
Figure 11- Changes in the WQI index at different stations

نمودارهای کیفی

در شکل شماره ۱۲، نمودار پایپر برای سه ایستگاه مورد مطالعه در سه سال ۱۳۹۳، ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ تهیه شده است. تحلیل نمودار تقسیم‌بندی پایپر برای آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی بر اساس درصد یون‌های اصلی و موقعیت قرارگیری آنالیز نمونه‌های آب در دو مثلث تعیین تیپ آب مشخص شد، که تیپ کاتیونی آب در ایستگاه‌های مبارک آباد و علیسرا فاقد تیپ مشخص بوده، اما در ایستگاه نوخاله دارای تیپ سدیم پتاسیمی است. همچنین تیپ آنیونی در ایستگاه‌های مبارک آباد و علیسرا بی‌کربناتی بوده و در ایستگاه نوخاله تیپ آنیونی کلریدی است. رخساره آب در دو ایستگاه مبارک آباد و علیسرا به صورت منیزیم-بی‌کربناتی بوده است و در ایستگاه نوخاله سدیم-کلریدی است که مربوط به تیپ آب‌های شور مزه می‌باشد. با توجه به نتایج نمودار پایپر نشان داده شده است که در ایستگاه مبارک آباد و علیسرا میزان اسیدهای ضعیف بیشتر از اسیدهای قوی در آب بوده است؛ اما در ایستگاه نوخاله این موضوع برعکس بوده و اسیدهای قوی بیشتر از

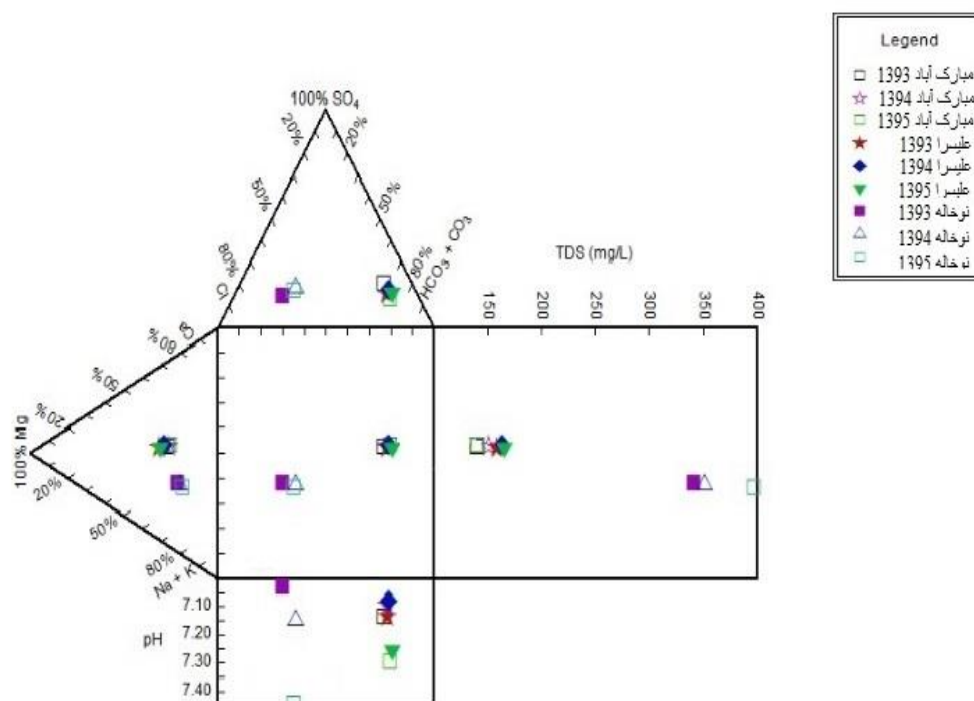
اسیدهای ضعیف در آب وجود دارند. در شکل ۱۳ نمودار دورو نمایش داده شده است. به منظور تکمیل اطلاعات به دست آمده از نمودار پایپر از نمودار دورو استفاده شده است. برای تعیین نوع و منشأ آب رودخانه می‌توان از نمودار دورو استفاده کرد. مستطیل سمت راست نمودار دورو نشان می‌دهد که میزان املاح در ایستگاه نوخاله بسیار بالا است و آب رودخانه به سمت قلیائیت تمایل دارد.

در شکل‌های شماره ۱۴ و ۱۵، نمودارهای شولر و ویلکاکس برای سه ایستگاه مورد مطالعه آمده است. به طور کلی با توجه به نمودار شولر (شکل ۱۴) مشاهده می‌شود که کیفیت آب در برای دو ایستگاه مبارک آباد و علیسرا در حد متوسط است و در ایستگاه نوخاله کیفیت آب مناسب نیست (ضعیف) و دارای آلودگی زیادی می‌باشد با توجه به نمودار ویلکاکس (شکل ۱۵) مشاهده می‌شود که ایستگاه علیسرا دارای کلاس C_1S_1 است و ایستگاه مبارک آباد به صورت مرزی بین C_1S_1 و C_2S_1 مشترک است اما در ایستگاه نوخاله در کلاس C_2S_1 قرار دارد.



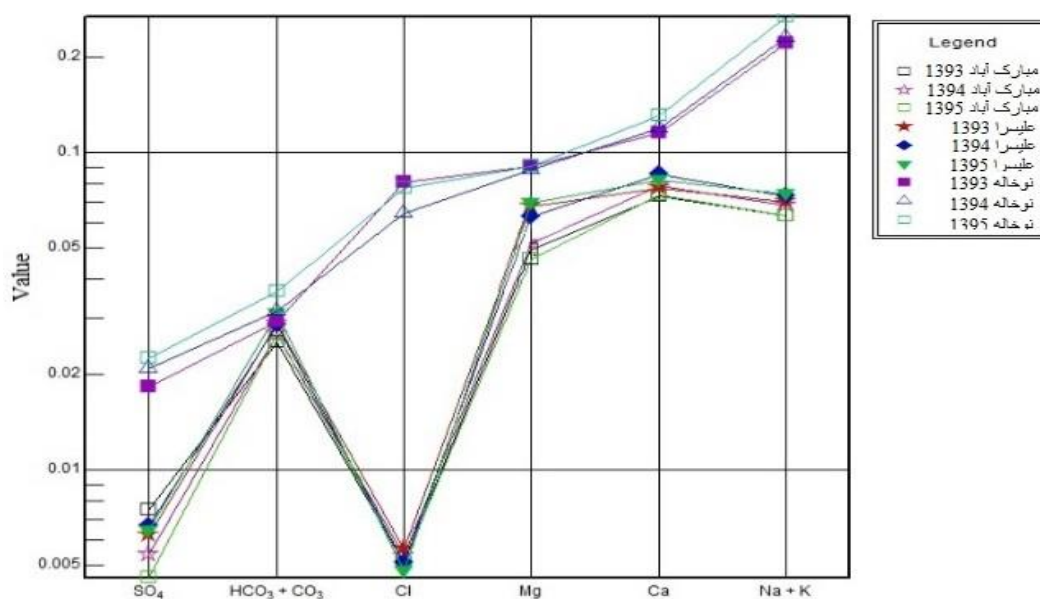
شکل ۱۲- نمودار پایپر ایستگاه‌های مختلف در زمان‌های مختلف

Figure 12- Piper diagram of different stations at different times



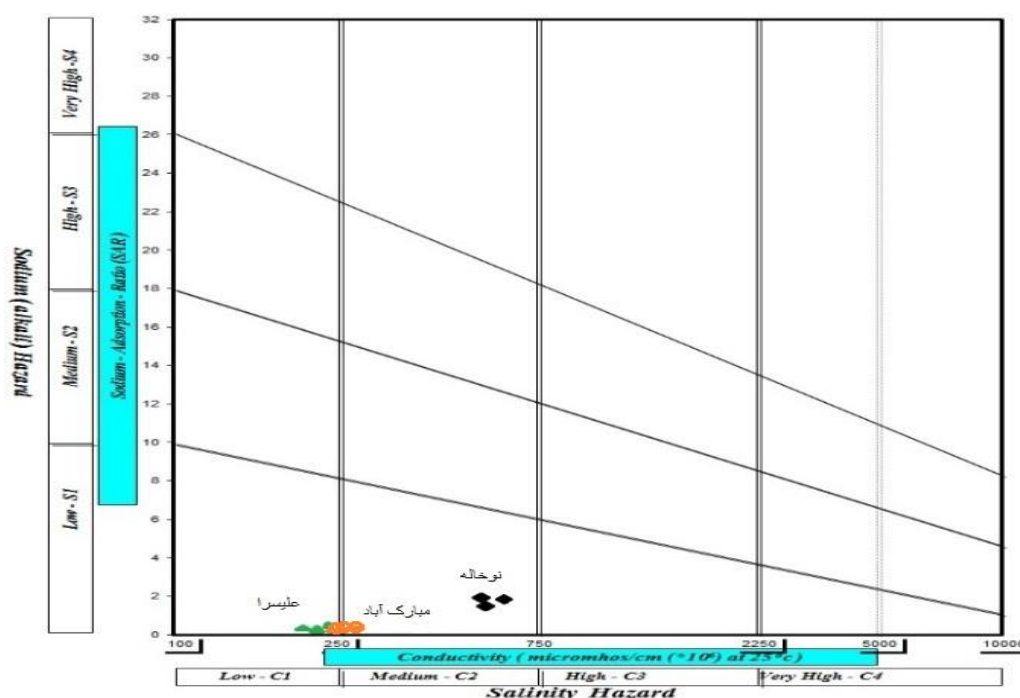
شکل ۱۳- نمودار دورو ایستگاه‌های مختلف در زمان‌های مختلف

Figure 13- Durov Diagram of different stations at different times



شکل ۱۴- نمودار شولر ایستگاه‌های مختلف در زمان‌های مختلف

Figure 14- Schoeller Diagram of different stations at different times



شکل ۱۵- نمودار ویلکاکس ایستگاه‌های مختلف در زمان‌های مختلف

Figure 15- Wilcox Diagram of different stations at different times

بحث

حوضه) رسوب‌گذاری نماید. دلیل دوم و شاید اصلی، بالا بودن رسوب معلق در بخش میانی حوضه را می‌توان به افزایش فعالیت‌های انسانی در این بخش نسبت داد، چراکه در بخش بالایی کاربری عمده شامل جنگل و مرتع است، اما در بخش

در بخش بالادست حوضه به دلیل بالا بودن شیب زمین بخش زیادی از رسوب به صورت بار بستر منتقل می‌شود، که این جامدات می‌تواند در بخش کم شیب رودخانه (بخش دشت

پایین دست (دشت)، کاربری اصلی اراضی شالیزاری، مسکونی و صنعتی است. این اراضی، در زمستان فاقد پوشش گیاهی بوده و در اوایل فصل بهار آماده‌سازی اراضی برای کشت انجام می‌شود و در پاییز در برخی مناطق پروژه‌های تسطیح و یکپارچه‌سازی اجرا می‌شود. در شرایط مختلف عوامل مختلفی بر روی ویژگی‌های رسوب اثر گذار است. عوامل خاکی، زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی باعث ایجاد این تغییرات هستند. از عوامل مؤثر در ایجاد رسوب‌ها و تغییرپذیری زمانی و مکانی آنها می‌توان به فرایندهای مجاری رودخانه، شامل جورشدگی، سایش، شکستگی، تأثیر منابع شاخه‌های فرعی روی ویژگی‌های رسوب‌های در رودخانه اصلی و تغییرپذیری جریان، اشاره کرد که بسیاری از پژوهشگران، در دهه‌های اخیر، آنها را مطرح کرده‌اند [۲۲]. کاستا و همکاران [۲۳] بیان کردند که تغییرات رسوب معلق تابعی از زمان و دبی جریان است که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

نتایج مقایسه میانگین تغییرات مکانی سولفات نشان داده است که بین دو ایستگاه علیسرا و مبارک آباد اختلاف معنی‌داری وجود ندارد، اما این دو ایستگاه که در ابتدای حوضه قرار دارند و دارای اختلاف معنی‌داری با ایستگاه نوخاله (نقطه پایانی حوضه) هستند. گرین‌وود و ارنشاو [۲۴] بیان کردند که منشا سولفات موجود در آب می‌تواند کود شیمیایی، سموم کشاورزی شامل علف‌کش و قارچ‌کش و همچنین صنایع کاغذ، شیشه، رنگ و صابون باشد. علاوه بر هوازدهی سنگ‌ها، مواد موجود در اتمسفر یکی از منابع اصلی وجود سولفات در آب رودخانه‌ها است. یکی دیگر از راه‌های ورود سولفات به سیستم آب‌های سطحی، تجزیه کانی‌های باریت (BaSO_4)، اپسومیت ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) و گچ ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) است [۲۴]. افزایش ناگهانی سولفات در آب در بعضی از ایستگاه‌ها می‌تواند به علت ورود آلودگی‌های صنعتی، شهری و از طریق نشست ذرات معلق هوا به رودخانه باشد. میزان ترکیبات موجود در آب رودخانه‌ها تابعی از وضعیت اراضی موجود در حوضه است. با توجه به استاندارد ارائه شده توسط گری [۲۵]، وضعیت رودخانه‌های مورد بررسی از نظر سولفات فاقد مشکل می‌باشد. نبی‌زاده و همکاران [۲۱] حد بحرانی برای سولفات را ۲۵۰ میلی‌گرم بر لیتر بیان کردند.

آزاد شدن کلسیم، منیزیم و HCO_3 از منابع زمینی (طبیعی) و ورود آنها به آب می‌تواند منجر به افزایش غلظت بی‌کربنات در آب گردد. علاوه بر ساختارهای زمین‌شناسی، ورود فاضلاب‌های شهری به آب رودخانه و همچنین تصفیه نادرست فاضلاب‌های صنعتی و وارد شدن آن به آب‌های سطحی را می‌توان از دلایل بالا بودن بی‌کربنات دانست [۲۶]. آب آبیاری از منابع آبی که دارای بی‌کربنات زیاد است باعث ایجاد تنش در گیاه و در نتیجه کاهش فتوسنتز شده [۲۷] و ترکیبات معدنی را در گیاهان تغییر داده، سبب عدم تعادل یونی و سمیت می‌شود [۲۸]. خدابخشی و همکاران [۲۹] در رودخانه خررود واقع در جنوب استان قزوین مقدار بی‌کربنات را معادل ۵۷۴ میلی‌گرم در لیتر به دست آوردند که در مقایسه با پژوهش حاضر بسیار بالا بوده است. شیخی و همکاران [۱۱] مقدار بی‌کربنات در رودخانه کر (میانگین ۳۰۱ میلی‌گرم بر لیتر) را بسیار بالاتر از مقدار گزارش شده در این پژوهش به دست آوردند، علت این اختلاف به تفاوت در اقلیم، منابع آلودگی و ساختار زمین‌شناسی منطقه است. با مقایسه بین دو ایستگاه بالایی که فاقد مناطق صنعتی و شهری پیشرفته است و ایستگاه پایانی نوخاله که در بالا دست آن بخش صنعتی و شهری وجود دارد مشاهده می‌شود که میزان کلر در حدود ده برابر شده است. بخش زیادی از این کلر مربوط به بخش صنعت، فاضلاب شهری، بیمارستانی و... می‌باشد. بر طبق نظر گارلس و همکاران [۳۰] هوازدهی سنگ‌ها نیز یکی از عوامل افزایش کلر در رودخانه‌ها می‌باشد. مقایسه مقادیر کلر موجود در رودخانه‌های مورد مطالعه با استاندارد گری [۲۵] نشان داده است که مشکلی از نظر کلر در رودخانه‌ها وجود ندارد و مقدار کلر کمتر از حد ارائه شده در استاندارد می‌باشد (حد استاندارد کلر ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر). فریدگیلو و همکاران [۳۱] در رودخانه زرین گل واقع در استان گلستان مقدار کلر را در سال ۱۳۷۷ و ۱۳۸۶ معادل ۵/۳۷ و ۶/۱ میلی‌اکیوالان بر لیتر به دست آوردند و نشان دادند که این عنصر در آب رودخانه دارای تغییرات زمانی است که با نتایج به دست آمده از این پژوهش در یک راستا است. پتراک و همکاران [۳۲] بیان کردند که کلراید موجود در آب می‌تواند با اختلال در سیستم گیاه باعث کاهش تولید آن گردد و همچنین اثر معنی‌داری بر روی دمای آب رودخانه دارد. جادهاو

و جادهاو [۳۳] بیان کردند که وجود کلراید در آب می تواند باعث سمیت ماهیان شود.

گری [۲۵] حد استاندارد کلسیم موجود در رودخانه را معادل ۱۰۰ میلی گرم در لیتر ارائه کرد، که با مقایسه مقادیر کلسیم به دست آمده مشاهده می شود تا حد بحرانی برای کلسیم فاصله زیادی باقیمانده است. خدابخش و همکاران [۲۹] در جنوب استان قزوین میزان کلسیم را در آب رودخانه برابر با ۴۹ میلی گرم بر لیتر به دست آوردند. در مورد منیزیم نیز مشاهده شده است که اختلاف زیادی به حد بحرانی (۳۰ میلی گرم بر لیتر بر اساس استاندارد گری) [۲۵] وجود دارد. قاسمی دهنوی و همکاران [۳۴] میزان منیزیم را در رودخانه ازنا لرستان برابر با ۱/۵ میلی اکیوالان بر لیتر به دست آوردند. همچنین این پژوهشگران مقدار پتاسیم را ۰/۰۸ میل اکیوالان بر لیتر گزارش کردند. گوسلین و همکاران [۳۵] بیان کردند که بعید به نظر می رسد اثرات جانبی سلامتی ناشی از مصرف پتاسیم از آب آشامیدنی در افراد سالم رخ دهد. مسمومیت با پتاسیم به علت مصرف نادر است زیرا پتاسیم به علت عدم آسیب کلیه قبل از آن به سرعت از بدن دفع می شود و معمولاً باعث استفراغ می شوند.

نتایج نشان داده است ۴۲ درصد سدیم موجود در ایستگاه نوخاله مربوط به مناطق بالادست دو ایستگاه مبارک آباد و علیسرا است و ۵۸ درصد باقیمانده مربوط به بخش میانی حوضه که شامل کاربری کشاورزی، شهری و صنعتی است می باشد. گری [۲۵] حد بحرانی برای سدیم در آب رودخانه را ۲۰ میلی گرم بر لیتر بیان کردند. مقدار سدیم در ایستگاه نوخاله از حد استاندارد بیان شده بیشتر است و بایستی مقدار آن کنترل شود تا از آسیب های زیستی محیطی مربوط به سدیم جلوگیری شود. قاسمی دهنوی و همکاران [۳۴] مقدار سدیم را در رودخانه ازنا واقع در لرستان را معادل ۷/۱۳ میلی گرم بر لیتر گزارش کردند.

به طور کلی کیفیت آب بستگی به زمین شناسی منطقه (هوازگی، فرسایش) و اکوسیستم و همچنین دفع فاضلاب، آلودگی صنعتی، استفاده از آب برای کاهش حرارت (سیستم های خنک کننده) دارد [۳۶، ۳۷]. شیخی و همکاران [۱۰] نیز بیان کردند که مقادیر بالای SAR در رودخانه ناشی از وجود تعداد زیاد زهکش های کشاورزی، ورود پساب های مختلف شهری

(مروذشت و زرقان) و بخش صنعتی (پتروشیمی) است. فریدگیلو [۳۱] میزان SAR را در رودخانه زرین گل در استان گلستان را بین ۰/۳۹۱ تا ۰/۶۶۰ به دست آوردند.

به طور کلی مشاهده شده است که کیفیت آب در ایستگاه علیسرا نیز به مقدار جزئی از کیفیت آب در ایستگاه مبارک آباد بهتر است. دلیل این موضوع را می توان به سهم متفاوت کاربری مرتع تخریب شده در دو زیر حوضه، وجود روستاهایی بزرگ در زیر حوضه مبارک آباد، وجود کارخانه چوب بری نیمه فعال، وجود منطقه گردشگری به دلیل وجود امامزاده ابراهیم در بالادست ایستگاه مبارک آباد و... نسبت داد. از دلایل عمده کیفیت ضعیف آب در حوضه می توان به تخلیه فاضلاب های خانگی، صنعتی، فضولات حیوانی، زباله های شهری و روستای و زه آب های کشاورزی، اشاره کرد. کاظمی و همکاران [۳۸] مقدار WQI را برای رودخانه لنگرودخان در استان گیلان بین ۴۳ الی ۶۳ به دست آوردند. مطالعات قبلی بررسی کیفیت آب رودخانه ها در ایران نشان داده است که وضعیت رودخانه های ایران در فصول و ماه های مختلف از نظر کیفیت متغیر است و در طبقه های خوب تا بد قرار گرفته اند و بسته به مکان، این نتایج کاملاً با یکدیگر فرق دارد. این مطالعات نشان داده است که عوامل انسانی از جمله کشاورزی، تخلیه فاضلاب و استخرهای پرورش ماهی، مهمترین منابع آلودگی رودخانه های ایران هستند [۷، ۳۹]. البته عوامل طبیعی مانند تغییرات دما و میزان بارش و رواناب نیز در برخی موارد بر کیفیت آب های رودخانه ها مؤثر است. آنیسا و کومار شوکلا [۴۰] در رودخانه ساتنا نیز مقدار WQI را ۵۵/۲۵ تا ۶۶/۷۵ به دست آوردند. امینپور شبان و همکاران [۴۱] بیان کردند که کیفیت آب رودخانه گاز رودبار در استان گیلان در حد متوسط بوده و در صورت عدم کنترل دچار مشکل خواهد شد.

رخساره های هیدروشیمیایی آب تعیین کننده توده های آبی با ماهیت ژئوشیمی مختلف است. برای تفسیر اختلافات شیمیایی آب های از اصطلاح رخساره هیدروشیمیایی استفاده می گردد [۴۲]. رخساره ها تابعی از زمین شناسی منطقه، پویایی محلول ها و الگوی جریان است [۴۳]. یکی از روش های مرسوم در تعیین تیپ و رخساره هیدروشیمی آب، استفاده از نمودار پایپر [۴۴] می باشد. به طور کلی مشاهده می شود، تیپ آب در سال های

زیر حوضه‌های ایستگاه علیسرا و مبارک آباد عمدتاً دارای کاربری کشاورزی، جنگل، مرتع تخریب شده و مناسب و مناطق روستایی هستند و بار آلودگی رودخانه ناشی از بخش فاضلاب خانگی روستاییان و زه‌آب خروجی از اراضی کشاورزی است. نتایج شاخص کیفیت آب نشان داده است که کیفیت آب در ایستگاه نوخاله نسبت به دو ایستگاه دیگر در وضعیت بدتری می‌باشد. بدتر بودن کیفیت آب در ایستگاه نوخاله دارای دلایل مختلفی از جمله، تجمع بار آلودگی دو ایستگاه بالادست، مساحت بالای منطقه تحت تاثیر ایستگاه، وجود کاربری‌های صنعتی، بیمارستانی و شهری است. از سرچشمه رودخانه پسیخان به سمت پایین دست کیفیت آب به طور پیوسته کاهش می‌یابد و از نظر مصرف شهری غیر قابل استفاده می‌شود. مشکل دیگر آلودگی این رودخانه ورود به تالاب انزلی است. رودخانه پسیخان از نظر دبی یکی از مهمترین رودخانه ورودی به تالاب انزلی است و با داشتن این بار آلودگی طبیعتاً آثار مخرب خود را به تالاب منتقل کرده و باعث بدتر شدن وضعیت تالاب می‌شود. با توجه به اهمیت موضوع نیاز به اقدامات حفاظتی در مناطق مختلف حوضه، اجرای سیستم جمع‌آوری فاضلاب منظم و کارآمد، کاهش مصرف کودهای شیمیایی، آموزش عمومی بومی‌های منطقه و گردشگران و.... می‌باشد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از داوران محترمی که با انتقادات سازنده و بیان نظرات کارشناسی خود به ارتقای کیفیت این مقاله کمک کردند، سپاس‌گزاری می‌شود. بدون شک، نظرات حرفه‌ای آنها نقش بسزایی در تکامل این مقاله داشته است.

مختلف تغییرات چندانی نداشته است و تقریباً تیپ آب ثابت بوده است. فریدگیلو و همکاران [۳۱] در مطالعه بر روی رودخانه زرین گل واقع در استان گلستان بیان کردند که تیپ آب به صورت کلرید-سدیم-پتاسیم است. نمودار شولر که بر اساس استانداردهای پیشنهادی آب آشامیدنی طراحی شده است، می‌تواند برای تعیین قابلیت شرب نمونه‌های آب بر اساس غلظت یون‌های عمده به کار رود [۴۵]. روش طبقه‌بندی ویلکاکس و استفاده از نمودار آن کاربردی‌ترین روش برای طبقه‌بندی آب از نظر کشاورزی در مطالعات هیدرولوژی است [۴۶]. به طور کلی نمودار ویلکاکس نشان می‌دهد که از نظر شوری مشکل چندانی در رودخانه پسیخان وجود ندارد و برای مصرف کشاورزی مناسب است.

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر بر اساس آمار بلند مدت نشان داده است که سالانه حدود ۸۱۲۳۵ تن رسوب معلق از ایستگاه نوخاله عبور کرده و وارد تالاب انزلی می‌شود. ایستگاه نوخاله به دلیل اینکه در نقطه پایانی حوضه پسیخان قرار دارد و بار هر دو ایستگاه علیسرا و مبارک آباد نیز بر روی این ایستگاه وارد می‌شود، دارای مقدار جامدات بیشتری است. بخش میانی حوضه نقش بسیار مهمی در تامین رسوب معلق رسیده به ایستگاه پایانی و در نهایت تالاب انزلی دارد. چراکه در بخش بالایی حوضه پوشش گیاهی منطقه جنگلی بوده و وسعت کمتری از حوضه را شامل شده است. همچنین در بخش میانی فعالیت‌های انسانی از جمله توسعه شهری، راه‌ها و سایر برنامه‌های عمرانی باعث افزایش رسوب معلق در این بخش شده است. نتایج نشان داده است که تغییرات ترکیبات مختلف در آب رودخانه تابعی از زمان و مکان است.

References

- 1 - Ehteshami M, Biglarijoo N, Salari M. Assessment and quality classification of water in Karun, Dez and Karkheh Rivers. Journal of River Engineering 2014; 2(8):23-30.
- 2 - Sadeghi M, Bay A, Bay N, Soflaie N, Mehdinejad MH, Mallah M. The survey of Zarin-Gol River water quality in Golestan Province using NSF-WQI and IRWQISC. Journal of Health in the Field 2015; 3(3):27-33 (In Persian).
- 3 - Hosseini S H, Sajjadi M M, Kamrani E, Sourinejad I, Ranjbar H. Impact of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) farm effluents on water physico-chemical parameters of Ryjab River (Kermanshah province). Journal Aquatic Ecosystem 2013; 2(4):39-29 (In Persian).
- 4 - Mohseni Bandpey A, Majlesi M, Kazempour A. Evaluation of Gologol river water quality in Ilam Province based on the National Sanitation Foundation Water Quality Index (NSFWQI).

- Journal of the Health in the Field 2014; 1(4):45-54 (In Persian).
- 5 - Salari M, Radmanesh F, Zarei H. Quantitative and qualitative assessment of Karoon River water using NSFQI index and AHP method. Journal of Human and Environment 2012; 23(34):13-22 (In Persian).
 - 6 - Effendi H. River water quality preliminary rapid assessment using pollution index. Procedia Environmental Sciences 2016; 33:562-67.
 - 7 - Sharifdini N G, Amirnezhad R, Saeb K. Qualification zoning of the dohezar river according to NSFQI and using GIS. Journal of Mazandaran University of Medical Sciences 2014; 24(119):209-39 (In Persian).
 - 8 - Yusefzadeh A, Khorramabadi Shams G, Godini H. The assessment of Khorramabad river water quality with national sanitation foundation water quality index and zoning by GIS. Yafte 2014; 15(5):82-92 (In Persian).
 - 9 - Singh K P, Malik A, Mohan D, Sinha S. Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India)—a case study. Water Research 2004; 38(18):3980-92.
 - 10 - Jafari Salim B, Nabi Bidhendi Gh, Salemi A, Taheryioun M, Ardestani M. Water quality assessment of Gheshlagh River using water quality indices. Environmental Science 2009; 6(4):19-28 (In Persian).
 - 11 - Sheykhi V, Moore F, Sakeri A. Determination of water quality and quality index of the Kuor River. Environmental Sciences 2014; 12(1):103-14 (In Persian).
 - 12 - Rosli N A, Zawawi M H, Bustami R A. Salak River water quality identification and classification according to physico-chemical characteristics. Procedia Engineering 2012; 50:69-77.
 - 13 - Triaji M, Risjani Y, Mahmudi M. Analysis of water quality status in porong river, Sidoarjo by using NSF-WQI Index (Nasional Sanitation Foundation—Water Quality Index). Indonesian Journal of Environment and Sustainable Development 2017; 8(2):117-19.
 - 14 - Mirzaei M, Solgi E, Salman-Mahiny A. Evaluation of surface water quality by NSFQI index and pollution risk assessment, using WRATIC Index in 2015. Archives of Hygiene Sciences 2016; 5(4):264-77 (In Persian).
 - 15 - Yisa J, Jimoh T. Analytical studies on water quality index of river Landzu. American Journal of Applied Science 2010; 7(4):453-58.
 - 16 - Hossieni P, Ildoromi AR, Hossieni AR. Assimilative capacity of the River Karun using index NSFQI in the rang Zergan-Kut Amir (during the 5 year). Human & Environment 2013; 11(25):1-11 (In Persian).
 - 17 - Kumar Das K, Panigrahi T, Mohanty B, Panda RB. Assessment of ground water quality index (WQI) in and around Balgopalpur industrial estate, Balasore, Odisha, INDIA. International Journal of Scientific & Engineering Research 2013; 4(6):863-69.
 - 18 - Tahmasebi S, Afkhami M, Takdastan A. Study of chemical, physical and microbial quality of gargar river, Iran, using NSF Water Quality Index. Jundishapur Journal of Health Sciences 2011; 3(1):62-72 (In Persian).
 - 19 - HP. Standard Analytical Procedures for Water Analysis, Technical Assistance Hydrology project. New Delhi: Government of India and Government of the Netherlan; 1999.
 - 20 - Yogendra K, Puttaiah ET. Determination of water quality index and suitability of an urban waterbody in Shimoga Town, Karnataka. Proceedings of of The 12th World Lake Conference (Taal 2007) 2007 Oct. 28- Nov. 2; Jaipur, Rajasthan, India.
 - 21 - Nabizadeh R, Amin MV, Alimohammadi M, Naddafi K, Mahvi AH, Yousefzadeh S. Development of innovative computer software to facilitate the setup and computation of water quality index. Journal of Environmental Health Science and Engineering 2013; 11(1):1. DOI: 10.1186/2052-336X-11-1.
 - 22 - Rice S. The nature and controls on downstream fining within sedimentary links. Journal of Sedimentary Research 1999; 69(1):32-39.
 - 23 - Costa A, Anghileri D, Molnar P. Hydroclimatic control on suspended sediment dynamics of a regulated Alpine catchment: A conceptual approach. Hydrology and Earth System Sciences 2018; 22(6):3421-34.
 - 24 - Greenwood NN, Earnshaw A. Chemistry of the Elements. Oxford: Pergamon Press; 1984.
 - 25 - Gray NF. Drinking Water Quality: Problems and Solutions. Chichester: John Wiley & Sons, 1994.
 - 26 - Rajaei G, Mehdi Nejad MH, Hesari Motlagh S. A survey of chemical quality of rural drinking water of Birjand and Qaen Plains, Iran. Health System Research 2012; 7(6):737-45 (In Persian).
 - 27 - Marschner H. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd ed. Cambridge: Academic Press; 1995.
 - 28 - Wahome P, Jesch H, Grittner I. Mechanisms of salt stress tolerance in two rose rootstocks: Rosa chinensis 'Major' and R. rubiginosa. Scientia Horticulturae 2001; 87(3):207-16.
 - 29 - Khodabakhsh S, Kabiri S, Afsharnia M. Evaluation of surface and ground-water quality of Khar-rud River basin (South Qazvin Province). Hydrogeology 2019; 4(1):42-53 (In Persian).

- 30 -Garrels RM, Mackenzie FT, Hunt C. Chemical Cycles and the Global Environment: Assessing Human Influences. Los Altos: W. Kaufmann; 1975.
- 31 -Frid Gigloo B, Najafinejad A, Moghani Bilehsavar V, Ghiyasi A. Evaluation of water quality variation of Zarringol River, Golestan Province. Journal of Water and Soil Conservation 2013; 20(1):77-95 (In Persian).
- 32 -Petruck A, Beckereit M, Stemplewski J. Evaluation the impact of thermal discharges on the temperature budget of a lowland stream using a dynamic water quality model. WIT Transactions on Ecology and the Environment 2003;60. DOI: 10.2495/RM030271.
- 33 -Jadhav S, Jadhav M. Study of chloride concentration of Nira River, Pune, Maharashtra, India. International Journal of Chemical and Lifesciences 2019; 6(4):2025-28.
- 34 -Ghassemi Dehnavi A, Sarikhani R, Hosseini H, Ahmadnejad Z, Ebrahimi B. Qualitative and quantitative evaluation of surface waters using statistical analysis in Azna River, Lorestan. Journal of Environment and Water Engineering 2017; 2(4):306-21 (In Persian).
- 35 -Gosselin RE, Smith RP, Hodge HC. Clinical Toxicology of Commercial Products. 5th ed. Baltimore: Williams & Wilkins; 1984.
- 36 -Arain MB, Ullah I, Niaz A, Shah N, Shah A, Hussain Z, et al. Evaluation of water quality parameters in drinking water of district Bannu, Pakistan: Multivariate study. Sustainability of Water Quality and Ecology 2014; 3:114-23.
- 37 -Manickum T, John W, Terry S, Hodgson K. Preliminary study on the radiological and physicochemical quality of the Umgeni Water catchments and drinking water sources in KwaZulu-Natal, South Africa. Journal of Environmental Radioactivity 2014; 137:227-40.
- 38 -Kazemi P, Shariati F, Keshavars Shokri A. Langroud River water quality assessment using NSFQI qualitative indicators. Environmental Sciences 2018; 16(3):65-78 (In Persian).
- 39 -Sadeghi RHS, Khaledi Darvishan A, Vafakhah M, Gholami L. Study on changes in morphometric characteristics of bed materials in downstream ward of Vaz River. Journal of the Iranian Natural Resources 2007; 60(3):1185-94 (In Persian).
- 40 -Vaheedunnisha D, Shukla D. Water quality assessment of RoopSagar Pond of Satna using NSF-QI. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology 2013; 2(5):1386-88.
- 41 -Aminpour Shiyan S, Mohammadi M, Khaldian M R, Mirroshandel AA. Water quality evaluation of Gazroudbar River using NSFQI and Liou indices. Wetland Ecobiology 2016; 8(1):63-74 (In Persian).
- 42 -Fetter CW. Applied Hydrogeology. New Delhi: CBS Publishers and Distributors; 2014.
- 43 -Sikdar PK, Sarkar SS, Palchoudhury S. Geochemical evolution of groundwater in the Quaternary aquifer of Calcutta and Howrah, India. Journal of Asian Earth Sciences 2001; 19(5):579-94.
- 44 -Piper AM. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analysis. transactions of American Geophysical Union 1944; 25(6):914-28.
- 45 -Jafarian H, Vaezihir A, Pirkharrati H. The Determination of the influential parameters in hydrochemistry of hard rocks and karstic groundwater in the west of Urmia, Iran. Journal of Hydrogeomorphology 2018; 4(15):75-94 (In Persian).
- 46 -SolaimaniSardo M, Vali A A, Ghazavi Saidi Goraghani H R. Trend analysis of chemical water quality parameters; case study Cham Anjir River. Iranian Society of Irrigation & Water Engineering 2013; 3(12):95-106 (In Persian).