

Evaluation of Spatial-Temporal Comparisons of Water Quality Parameters and Health of Ziarat River using NSFQI Quality Index and Statistical Analysis

MOHAMMAD HASAN NADERI^{*1}, MASOUD POURGHOLAM-AMIJI², MOJTABA KHOSHRAVESH³, ALTIN GHOJOGHI⁴, NARGES ARAB⁵

1. Water Engineering Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

2. Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

3. Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

4. Department of Fisheries, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

5. Department of Environmental, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

(Received: March. 7, 2020- Revised: March. 31, 2020- Accepted: Apr. 12, 2020)

ABSTRACT

Investigation of water quality variations in rivers is one of the important criteria for determining the health of watershed. Quantitative and qualitative monitoring plays an important role in sustainable management of river ecosystems. In this regard, the present study was carried out to evaluate the water quality of Ziarat River in Golestan Province, after water sampling from six stations along the river from December 2016 to July 2017 using NSFQI index. Correlation analysis and cluster analysis were also used to find out the relationships between physical and chemical parameters of water. The results were compared with the standard values of the World Health Organization (WHO) and US Environmental Protection Agency (EPA). The results of this study shows higher values of BOD, Na, Ca and PO₄ at the downstream station, as compared to the ones in the upstream stations due to receiving wastewater from different sources. Statistical analysis indicates that there is a significant and strong relationship between some physical and chemical parameters of the river. The results showed that the mean concentration of DO, TDS, Cl, Na, Po₄ and NO₃ are 5.4, 627.5, 110.02, 48.5 and 9.25 mg/l respectively, and the mean value of Electrical Conductivity was 1028 μs/cm. The comparison of NSFQI values at the six stations of Ziarat River in different seasons indicated that the first station (Tolboneh, Upstream) had the highest value (55) in May, and the sixth station (Downstream) had the lowest value (35) in July. According to this index, the river water quality is medium in the upstream station and bad in the midstream and downstream stations. The results interpretation showed from upstream toward downstream stations, the pollution load increases and the water quality decreases. Therefore, in order to manage the river water quality, the focus should be done on emission control of point source and nonpoint source pollutions. The results of this study provide the opportunity for decision on monitoring and controlling pollutant sources and the proper measures for restoration of river ecosystem for effective use in various applications. Finally, according to the results obtained from NSFQI index, it can be said that the NSFQI index describes the quality of water resources easily and reliably and its application is useful for water resources management of other rivers.

Keywords: Correlation Analysis, Dissolved Oxygen, Physical and Chemical Parameters, Pollutant, Water Resources.

ارزیابی مقایسه‌ای مکانی-زمانی پارامترهای کیفی آب و سلامت رودخانه زیارت با استفاده از تحلیل آماری و شاخص کیفی NSFQI

محمدحسن نادری^{۱*}، مسعود پورغلام آمیجی^۲، مجتبی خوش‌روش^۳، آلتین قجقی^۴، نرگس عرب^۵

۱. گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
 ۲. گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
 ۳. گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
 ۴. گروه شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
 ۵. گروه محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
- (تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۱۷ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۱/۱۲ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۱/۲۴)

چکیده

بررسی تغییرات کیفیت آب رودخانه‌ها، از معیارهای مهم در بررسی سلامت حوضه آبخیز است. پایش کمی و کیفی منابع آب، نقش مهمی در مدیریت پایدار اکوسیستمی رودخانه‌ها دارد. در این راستا، در تحقیق حاضر به بررسی کیفیت آب رودخانه زیارت استان گلستان پس از نمونه‌برداری از ۶ ایستگاه در طول رودخانه از آذر ۱۳۹۵ تا تیرماه ۱۳۹۶، با استفاده از شاخص NSFQI پرداخته شد. همچنین جهت یافتن روابط بین متغیرهای فیزیکی و شیمیایی آب، از تحلیل همبستگی و تحلیل خوشه‌ای استفاده شد. نتایج بر اساس استانداردهای سازمان جهانی بهداشت و سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا، مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که در ایستگاه پایین‌دست به دلیل دریافت پساب از منابع مختلف، میزان BOD، Na، Ca و PO₄ از دیگر ایستگاه‌های بالادست بیشتر بوده است. تجزیه و تحلیل‌های آماری در این پژوهش مبین آن است که بین برخی متغیرهای فیزیکی و شیمیایی رودخانه رابطه معنی‌دار و قوی وجود دارد. یافته‌های این پژوهش نشان داد که میانگین غلظت اکسیژن محلول، مجموع ذرات محلول، کلر، سدیم، فسفات و نیترات به ترتیب ۵/۴، ۶۲۷/۵، ۱۱۰/۰۲، ۴۸/۵ و ۹/۲۵ میلی‌گرم بر لیتر و میانگین غلظت هدایت الکتریکی ۱۰۲۸ میکروزیمنس بر سانتی‌متر است. مقایسه میزان شاخص NSFQI در ۶ ایستگاه رودخانه زیارت در ماه‌های مختلف بیانگر آن است که ایستگاه اول (تول، بنه، بالادست) در اردیبهشت‌ماه با مقدار عددی ۵۵، بالاترین و ایستگاه شش (پایین‌دست) در تیرماه با شاخص عددی ۳۵، پایین‌ترین میزان را به خود اختصاص داده‌اند. همچنین کیفیت آب بر اساس این شاخص در ایستگاه بالادست، متوسط و در ایستگاه‌های میانی و پایین‌دست، بد است. تفسیر نتایج نشان داد که از ایستگاه بالادست به سمت ایستگاه‌های پایین‌دست رودخانه، بار آلودگی افزایش و کیفیت آب کاهش می‌یابد. از این‌رو به منظور مدیریت کیفی رودخانه مورد مطالعه، می‌بایست بر کنترل انتشار بار آلودگی از منابع آلاینده نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای تمرکز کرد. نتایج این تحقیق امکان تصمیم‌گیری در خصوص پایش و کنترل منابع آلوده‌کننده و اقدامات مناسب جهت بازطبیعی‌سازی اکوسیستم آبی رودخانه را برای استفاده مؤثر از آن در مصارف مختلف فراهم می‌آورد. در پایان با توجه به نتایج حاصل از شاخص NSFQI می‌توان گفت که این شاخص، کیفیت منابع آب را به سهولت و به طور قابل اعتمادی توصیف می‌نماید و استفاده از آن در راستای مدیریت منابع آب سایر رودخانه‌ها، مفید قلمداد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آلاینده، اکسیژن محلول، تحلیل همبستگی، پارامترهای فیزیکی و شیمیایی، منابع آب.

مقدمه

مهمترین منابع آب هستند که نقش مهمی در تأمین آب مورد نیاز فعالیت‌های مختلف مانند کشاورزی، صنعت، شرب و تولید برق دارند (Ehteshami et al., 2014; Zohrabi et al., 2015; Naderi et al., 2018). بسیاری از برنامه‌ریزی‌های منابع آب در کشورها بر اساس پتانسیل بالقوه منابع آب سطحی می‌باشد و شناخت شرایط هر رودخانه در برنامه‌ریزی منابع آب و تأمین مصارف بخش‌های

آب از بی‌نظیرترین منابع طبیعی، اساسی‌ترین عنصر برای زایش موجودات، مهم‌ترین عوامل برای تداوم حیات جانداران و تنها مایع غیر ارگانیک است که به‌طور طبیعی در سطح زمین وجود دارد و سیاسی‌ترین ماده جهان است (Ebadi; Hussain et al., 2008; Naderi et al., 2019; and Hisoriev, 2017). رودخانه‌ها از

فعالیت‌های بازطبیعی‌سازی رودخانه، شامل بهبود کیفیت و کمیت آب، بهبود مناظر و چشم‌اندازهای طبیعی و احیای محیط‌زیست و اکوسیستم‌های طبیعی می‌باشد (Mrozinska et al., 2018؛ Naderi et al., 2019). تفسیر سریع کیفیت آب رودخانه‌ها ضروری است زیرا رودخانه یک اکوسیستم پویا و دینامیک است که تحت تأثیر فعالیت‌های مختلف قرار دارد (Effendi, 2016؛ Dezfouli et al., 2017). مدیریت رودخانه‌ها با رویکرد احیاء به طور جامع عبارت از پیاده‌سازی مدیریت رودخانه‌ها با هدف حفظ یا بازطبیعی‌سازی زیست‌بوم و چشم‌انداز متنوع رودخانه‌ها با لحاظ فرآیندهای طبیعی سیستم رودخانه می‌باشد. یکی از نگرش‌هایی که در مدیریت محیطی رودخانه‌ها می‌تواند به پژوهشگران و مدیران کمک مؤثری نماید، دیدگاه اکوژئومورفولوژی رودخانه‌ای است.

یکی از ساده‌ترین روش‌ها، جهت تعیین شرایط کیفی آب، استفاده از شاخص‌های کیفی آب است که می‌توانند به عنوان یک ابزار تصمیم‌گیری برای مدیران منابع آب و متخصصان مربوطه به کار گرفته شوند (Brown et al., 1970؛ Misaghi et al., 2017). شاخص کیفی آب، معیاری برای طبقه‌بندی آب‌های سطحی بر مبنای پارامترهای استاندارد فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی و در واقع ابزاری ریاضی است که توسط روابطی خاص، برای توصیف ویژگی‌های آب، این پارامترها به کمیت تبدیل شده و سطح کیفی آب را به دست می‌دهد (Zohrabi et al., 2015؛ Noori et al., 2019). از جمله شاخص‌های کیفی آب می‌توان به شاخص Liou (شاخص آلودگی مورد استفاده برای پایش آب‌های سطحی کشور تایوان)، شاخص NSFQWI¹ (ارائه‌شده توسط بنیاد ملی بهداشت آمریکا جهت طبقه‌بندی آب‌های سطحی)، شاخص کیفی WQI² (طراحی‌شده توسط موسسه بهداشت ملی ایالات متحده آمریکا)، شاخص IRWQI (شاخص کیفیت آب‌های سطحی ایران) و نیز شاخص‌های زیستی مانند شاخص BMWP³ (شاخص زیستی مورد استفاده گروه پایش بیولوژیک اداره محیط‌زیست انگلستان برای ارزیابی کیفی رودخانه‌ها)، شاخص ASPT⁴ (شاخص زیستی قابل اعتماد و پرکاربرد در انگلستان، آرژانتین، کانادا، تایلند و چندین کشور اروپایی برای بررسی تغییرات زمانی کیفیت آب رودخانه) و شاخص HFBI⁵ (شاخص زیستی هلسینهوف رایج در آمریکا و اروپا برای ارزیابی آلودگی کیفیت آب) اشاره کرد (Shokoohi and Iliopoulou-Georgudaki et al., 2003؛ Modaberi, 2018). شاخص‌های زیستی، عبارت‌های عددی

مختلف دارای اهمیت زیادی است (Effendi, Noori et al., 2019). رودخانه‌ها به علت تخلیه انواع مختلف آلاینده‌های موجود در پساب‌های کشاورزی، صنعتی و شهری به عنوان یکی از کانون‌های بحرانی از نظر آلودگی مطرح می‌باشند. آلودگی آب از نمونه‌های بارز تخریب منابع زیستی است. بسیاری از کشورهای جهان خسارات جبران‌ناپذیری در نتیجه بهره‌برداری بی‌رویه و تخلیه آب‌های آلوده ناشی از فعالیت‌های صنعتی و شهری دارند (Alishiri et al., 2017؛ Jahin et al., 2020؛ Golshan et al., 2020).

بهره‌برداری غیر اصولی از رودخانه‌ها منجر به زنگ خطر قابل توجهی برای سلامت رودخانه‌ها شده است. آلودگی آب رودخانه‌ها پدیده‌ای است که در آن کیفیت فیزیکی، شیمیایی و زیستی آب به واسطه تخلیه مواد زائد مانند فاضلاب‌های بهداشتی، رواناب‌های شهری، پساب‌های صنعتی، کشاورزی و دامپروری تغییر می‌کند (Zohrabi et al., 2015؛ Fakouri Dekahi et al., 2018). این آلاینده‌ها آثار منفی زیادی بر محیط‌زیست و سلامت آبریزان، اکوسیستم و زندگی انسان برجای گذاشته و احیای مجدد محیط‌های آبی نیز نیازمند صرف وقت، هزینه و تلاش فراوانی است (Alishiri et al., 2017؛ Naderi et al., 2019). سازمان‌های بین‌المللی همواره به حفاظت رودخانه‌ها و پاک‌سازی آب آن‌ها، توجه ویژه‌ای دارند (Matta et al., 2017). به‌طور کلی گسترش شهرها و احداث واحدهای صنعتی و کشاورزی، وابسته به وجود منابع آب کافی به ویژه رودخانه‌ها بوده است (Singh and Kamal, 2014؛ Misaghi et al., 2017). در این مناطق رودخانه‌ها نه تنها تأمین‌کننده مصارف مختلف آب هستند، بلکه به عنوان مجاری طبیعی در انتقال پساب‌ها و فاضلاب‌های تولیدشده عمل می‌نمایند (Sharifinia et al., 2017). حفظ کیفیت منابع آب به منظور تأمین آب آشامیدنی، ارتقاء فعالیت‌ها و کاربری‌های تفریحی و ایجاد یک اکوسیستم مناسب برای ماهیان و حیات وحش، مستلزم کیفیت بالای منابع آب رودخانه می‌باشد. به این دلیل، آگاهی از روند تغییرات کیفی آب رودخانه‌ها همراه با شناسایی عوامل اصلی آلودگی آن از اهمیت بسیاری برخوردار می‌باشد (Nosrati et al., 2018؛ Dahmardan et al., 2018؛ Neissi and Tishehzan, 2018).

پایداری یک رودخانه به عنوان توانایی یک رودخانه و اکوسیستم مرتبط با آن برای انجام عملکردهای طبیعی خود تعریف شده است (Hohensinner et al., 2018). تحقیقات و

4. Average Score Per Taxa
5. Hilsenhoff Family Biotic Index

1. National Sanitation Foundation Water Quality Index
2. Water Quality Index
3. Biological Monitoring Working Party

ارزیابی وضعیت سلامت رودخانه زیارت بر اساس شاخص کیفی NSFQI، با نمونه‌برداری از ۱۰ ایستگاه در مسیر این رودخانه از بالادست به سمت پایین‌دست، در بهار و تابستان سال ۱۳۹۱ نشان دادند که بهترین وضعیت کیفیت آب در ایستگاه بالادست در خردادماه و بدترین وضعیت در ایستگاه میانی در اردیبهشت‌ماه بوده است. (Dezfouli *et al.*, 2017) در طبقه‌بندی کیفیت آب رودخانه کارون با استفاده از شاخص NSFQI بیان کردند که کیفیت نمونه‌های مورد مطالعه در سه کلاس کیفی خوب، متوسط و بد قرار می‌گیرد. (Rahmati *et al.*, 2018) روند تغییرات پارامترهای کیفی آب رودخانه کارون در پایین‌دست سد گتوند علیا را مورد بررسی قرار دادند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که کاهش دبی رودخانه، وقوع خشکسالی هیدرولوژیکی و در نتیجه تغییر ناگهانی غلظت پارامترهای کیفی رودخانه در ایستگاه‌های هیدرومتری گتوند، گرگر و عرب اسد در سال‌های مورد مطالعه، از دلایل عمده افت کیفی جریان رودخانه می‌باشد. Shatti and Akhoond-Ali (2018) نیز در بررسی وضعیت کیفیت آب رودخانه کارون بیان کردند، تغییرات کیفیت آب، ارتباط مستقیم با میزان دبی رودخانه دارد و افت کیفیت آب در پایین‌دست بر اثر عواملی مانند پساب حوضچه‌های پرورش ماهی، پساب صنعتی و شهری و آب برگشتی از زمین‌های کشاورزی به رودخانه کارون می‌باشد. همچنین Heydarpour and Jamshidi (2018) بیان داشتند، تغییرات فصلی ورود آلاینده‌ها همچون زهاب منابع آلاینده غیرنقطه‌ای تأثیر بسزایی در کاهش کیفیت آب و افزایش میزان کمبود اکسیژن محلول در نقاط پایین‌دست رودخانه تجن داشته است.

با توجه به تحقیقات انجام‌شده از سوی این پژوهشگران می‌توان به اهمیت دوچندان بحث ارزیابی کیفیت آب پی برد و اینکه ورود فاضلاب‌های تصفیه نشده و رواناب‌های ناشی از پساب‌های کشاورزی می‌تواند تغییرات زیادی در کیفیت آب و سلامت موجودات زنده رودخانه ایجاد کند و علاوه بر این، ورود فاضلاب‌های خانگی و شهری و برخی عناصر جزئی به آب رودخانه در افزایش غلظت مواد مغذی و افزایش مقدار BOD و کاهش DO مؤثر هستند. یک برنامه‌ریزی اساسی برای آینده منابع آب یک حوضه، نیازمند بررسی تمامی جنبه‌های تأثیرگذار روی منابع آب از جمله تغییرات جمعیتی و به تبع آن تغییرات کاربری و بهره‌برداری اراضی می‌باشد. به‌طور کلی جهت استفاده بهینه و مناسب از آب در مصارف مختلف، بررسی کیفیت آب در اکوسیستم‌های آبی با استفاده از پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی و شناخت نقاط آلوده و آلاینده‌های موجود، ضروری است (Gholizadeh and Iliopoulou-Georgudaki *et al.*, 2003)

هستند که مقادیر کلی تنوع گونه‌ای را با اطلاعات کیفی در مورد حساسیت‌های اکولوژیکی هر تاکسون در بین دیگران، ترکیب می‌کنند (Matta *et al.*, Iliopoulou-Georgudaki *et al.*, 2003؛ Singh and Kamal, 2014؛ NSFQI 2017). استفاده از شاخص NSFQI، به دلیل سادگی محاسبه و در دسترس بودن پارامترها و نیز بیان نتایج به زبان ساده و قابل فهم، بسیار متداول بوده و برای طبقه‌بندی کیفیت آب‌های سطحی و رودخانه‌ها، شاخصی بسیار جامع و کامل محسوب می‌شود (Ghorbani *et al.*, 2016؛ Shokoohi and Modaberi, 2018؛ Noori *et al.*, 2019).

در پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه بررسی کیفیت آب، می‌توان به تحقیقات (Chessman and Townsend 2010) در بررسی تأثیر فعالیت‌های انسان بر شاخص‌های زیست‌محیطی و شیمی آب در رودخانه‌های جنوب‌شرقی استرالیا، Ehteshami *et al.* (2014) ارزیابی و طبقه‌بندی کیفیت آب و تأثیر ورود آلاینده‌ها در بخش‌های مختلف رودخانه‌های کرخه، دز و کارون، Zohrabi *et al.* (2015) ارزیابی کیفی آب رودخانه جراحی با استفاده از شاخص NSFQI، Effendi (2016) ارزیابی کیفیت آب رودخانه سیهدونگ، همچنین Guettaf *et al.* (2017) ارزیابی کیفیت آب رودخانه سیبوس در شمال شرقی الجزایر، Nosrati *et al.* (2018) استفاده از تکنیک‌های آماری و تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای طبقه‌بندی کیفیت آب شرب شهرستان ملارد، Dahmardan *et al.* (2018) شناسایی زمان و مکان منابع آلاینده برای محافظت از رودخانه‌ها، Kazemi *et al.* (2018) بررسی شاخص‌های کیفیت آب با نمونه‌برداری در فصول مختلف از رودخانه لنگرود رودخان اشاره کرد. در تحقیقات دیگری (Ebadi and Hisoriev 2017) به بررسی پارامترهای فیزیکوشیمیایی رودخانه تجن، Bostanmaneshrad *et al.* (2018) به بررسی رابطه بین کیفیت آب و پارامترهای بزرگ‌مقیاس (کاربری اراضی، فرسایش، تراکم جمعیت) در حوضه رودخانه سیمینه‌رود در فصول مختلف با تجزیه و تحلیل‌های آماری چند متغیره، همچنین Mrozinska *et al.* (2018) به بررسی اثرات پروژه بازطبیعی‌سازی رودخانه کوازا در شمال لهستان بر کیفیت آب، و Noori *et al.* (2019) به ارزیابی وضعیت کیفیت آب رودخانه سفیدرود با شاخص NSFQI در سناریوهای مختلف پرداختند. (Ebrahimi *et al.*, 2014) در ارزیابی کیفیت آب رودخانه زیارت برای مصارف شرب و کشاورزی در نمونه‌برداری صورت گرفته در خردادماه سال ۹۲، بیان داشتند بر اساس نمودار شولر و ویلکاکس، نمونه‌های آب رودخانه زیارت در محدوده مناسب برای مصارف شرب و کشاورزی می‌باشند.

همچنین در پژوهشی دیگر، (Ghorbani *et al.*, 2016) در

شاخص کیفی NSFQI، تحلیل آماری مؤلفه‌های کیفی آب این رودخانه (تجزیه و تحلیل خوشه‌ای و جدول ضرایب همبستگی) و نیز مقایسه با استاندارد سازمان جهانی بهداشت و سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا می‌باشد.

مواد و روش‌ها

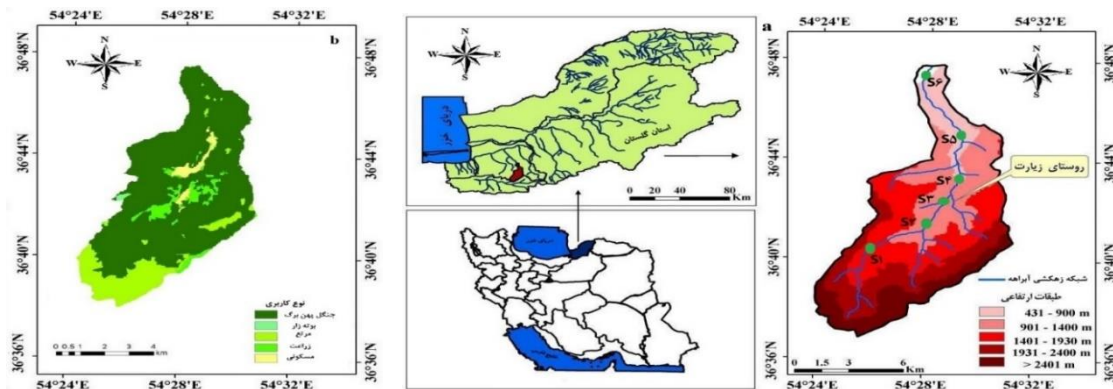
منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز زیارت با مساحت ۹۵/۱۵ کیلومترمربع، یکی از زیر حوضه‌های رودخانه قره‌سو در استان گلستان می‌باشد. این حوضه در جنوب غربی شهر گرگان و بین مختصات ۵۱° ۳۶' تا ۵۹° ۴۳' عرض شمالی و ۵۳° ۲۳' تا ۵۴° ۳۱' طول شرقی قرار دارد (شکل ۱). رودخانه زیارت به طول ۴۲ کیلومتر از ارتفاعات بالاچال، سفیداب و زرشک کوه سرچشمه می‌گیرد که در منطقه کوهستانی از دو رودخانه به نام‌های آبشار و تول‌بنه تشکیل شده است و پس از اتصال این دو رودخانه، در پایین دست روستای زیارت با رودخانه خالودره تلاقی کرده، رودخانه زیارت تشکیل می‌شود و پس از طی مسافت ۲۴ کیلومتر از ارتفاعات کوهستانی، به جنوب شهر گرگان می‌رسد (Azizi et al., 2018).

حوضه مورد مطالعه دارای اقلیم معتدل تا سرد کوهستانی و میانگین دمای سالانه ۱۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. بیشترین میزان بارش در فصول پاییز و زمستان و متوسط بارندگی سالانه حوضه حدود ۷۵۰ میلی‌متر می‌باشد. شیب متوسط حوضه ۴۱/۴ درصد می‌باشد. بیشترین و کمترین ارتفاعات در جنوبی‌ترین و شمالی‌ترین بخش حوضه به ترتیب با میانگین ۳۳۰۰ و ۵۵۰ متر از سطح دریا قرار دارند (Mousavi, 2012). شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

پایش رودخانه، شالوده مدیریت مستدل و عقلانی، انتخاب‌های اثرگذار، نتیجه‌گیری علمی و سایر تصمیم‌ها را فراهم می‌کند (Hussain et al., 2008; Namdari and Hoshmandzadeh, 2019). جمع‌آوری اطلاعات ویژه و قابل اندازه‌گیری برای محافظت سلامت رودخانه ضروری است. علاوه بر آن، پایش کیفیت آب رودخانه می‌تواند مشکلات موجود را شناسایی کند تا برای پیگیری سریعاً اقدام شود (Misaghi et al., 2017; Sharifinia et al., 2017).

حوضه زیارت یک منطقه سیاحتی و توریستی برای شهر گرگان محسوب می‌شود. با توجه به تأمین آب شهر گرگان (حدود ۲۰ درصد) و تنوع گونه‌های گیاهی و جانوری و وجود مکان‌های توریستی و تفریحی پرجاذبه، این حوضه از اهمیت بالا در مدیریت کمی و کیفی آب‌های سطحی بخصوص در زمان بارش‌های شدید و وقوع سیلاب برخوردار است (Habibi Ardabili et al., 2018; Mousavi, 2012). با توجه به مرور تحقیقات انجام‌شده در این پژوهش و اهمیت فراوان رودخانه زیارت به عنوان یک رودخانه دائمی در استان گلستان و نقش آن در تأمین آب شرب و کشاورزی چندین شهر و روستا در مسیر خود و همچنین نقش انکارناپذیر آن در خلق زیبایی‌های خاص به چشم‌انداز منطقه و برخورداری از پتانسیل‌های محیطی بسیار بالا و از طرفی پدیدار شدن با مسائل زیست‌محیطی و همین‌طور با توجه به حفظ حیات آبریان، حفظ تعادل اکولوژیکی رودخانه و شناخت هر چه دقیق‌تر وضعیت کیفی آب رودخانه، انجام پژوهشی در زمینه بررسی کیفیت آب این رودخانه از دیدگاه اکوتومورفولوژی ضروری به نظر می‌رسد. لذا، هدف اصلی این تحقیق، شناسایی و ارزیابی مقایسه‌ای مکانی و زمانی تغییرات پارامترهای کیفی آب رودخانه زیارت در فصول مختلف دوره آماری سال ۱۳۹۵-۱۳۹۶ با کاربرد



شکل ۱- موقعیت حوضه آبخیز زیارت و پراکنش ایستگاه‌های نمونه‌برداری در رودخانه (a) و نقشه کاربری اراضی (b)

نمونه‌برداری یکی از مهم‌ترین بخش‌های برنامه‌های پایش و نظارت کیفیت منابع آب و ارائه تفسیری کامل از شرایط

نمونه‌برداری از آب و اندازه‌گیری پارامترهای کیفی، بیولوژیکی و هیدرولیکی

(آبگیر زیارت)، ۳/۱ کیلومتر است. از ایستگاه S₂ تا ایستگاه S₃ که از بخش روستایی می‌گذرد، ۲/۲ کیلومتر است. ورود رواناب‌های آلوده، فاضلاب‌های خانگی روستایی و حفر غیر اصولی چاه‌های جذبی، مهم‌ترین آلاینده‌های این بخش است. بازه بین ایستگاه S₃ تا ایستگاه S₄ (انتهای روستای زیارت)، ۱/۸ کیلومتر طول دارد. آلاینده خاص این ناحیه، تخلیه فاضلاب ویلاهای مسکونی و زباله حاشیه‌نشینان رودخانه است. از ایستگاه S₄ تا ایستگاه S₅ (نهارخوران)، ۲/۴ کیلومتر فاصله وجود دارد و رودخانه از بخش روستایی وارد بخش گردشگری می‌شود و منبع ورود آلاینده‌ها در آن فعالیت‌های کشاورزی در این ناحیه است. بازه بین ایستگاه S₅ تا ایستگاه S₆ (ابتدای شهر گرگان)، ۳/۷ کیلومتر طول دارد که مهم‌ترین منبع ایجاد نگرانی در این محدوده، ورود آلاینده‌های مراکز خدماتی و گردشگری است.

اکولوژیکی اکوسیستم آبی است (WHO, 2011; Heydarpour and Jamshidi, 2018). در این پژوهش به منظور بررسی تغییرات کیفیت پارامترهای کیفی، بیولوژیکی و هیدرولیکی آب رودخانه، از آمار و اطلاعات ثبت‌شده شرکت آب منطقه‌ای گلستان و اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان گلستان استفاده شده است. بدین صورت پس از بازدید میدانی کارشناسان ارگان‌ها و سازمان‌های مربوطه از منطقه و نیز حضور تیم عملیات میدانی، با در نظر گرفتن کاربری‌های موجود، موقعیت اتصال شاخه‌های فرعی و پراکنش منابع آلاینده ورودی به رودخانه و در طول مسیر رودخانه زیارت، چهار مرحله نمونه‌برداری از آب رودخانه به صورت فصلی از پاییز ۱۳۹۵ لغایت تابستان ۱۳۹۶ در شش ایستگاه انتخابی انجام گرفت که موقعیت مکانی ایستگاه‌ها در شکل (۱) و جدول (۱) نشان داده شده است. از ایستگاه S₁ (بالادست) تا ایستگاه S₂

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های مطالعه شده در رودخانه زیارت

ایستگاه	محل نمونه‌برداری	UTM-Y	UTM-X	ارتفاع از سطح دریا (متر)
S ₁	تول‌بند	۴۰۶۲۴۴۹	۲۷۱۴۵۴	۱۴۲۶
S ₂	آبگیر زیارت (قبل از روستای زیارت)	۴۰۶۳۲۴۳	۲۷۳۵۸۴	۹۵۸
S ₃	داخل روستای زیارت	۴۰۶۵۲۶۱	۲۷۴۸۲۰	۸۲۴
S ₄	سرخ‌چشمه (انتهای روستای زیارت)	۴۰۶۸۵۴۸	۲۷۵۳۵۰	۶۸۳
S ₅	نهارخوران (مراکز گردشگری و رستوران)	۴۰۷۱۷۶۰	۲۷۴۶۶۲	۴۹۶
S ₆	پل سید مسعود (ابتدای شهر گرگان)	۴۰۷۵۲۸۹	۲۷۳۹۱۵	۳۰۲

نمونه‌برداری، کلیه محاسبات انجام‌شده در عملیات میدانی، در دفترچه در نظر گرفته‌شده، ثبت شد. سپس نمونه‌ها در یخچال، در شرایط استاندارد و در کوتاه‌ترین زمان ممکن به آزمایشگاه منتقل شده و غلظت یون نیترات و نیتریت با دستگاه اسپکتروفوتومتر، Ca، K و Na با دستگاه Flame Photometer مورد آزمایش قرار گرفتند. مجموع ذرات محلول (TDS) آب، به روش صاف کردن و با استفاده از آون الکتریکی و فسفات محلول به روش رنگ‌سنجی با استفاده از اسپکتروفوتومتر مدل JENWAY 6400 اندازه‌گیری شد. پارامترهای بیولوژیکی شامل اکسیژن‌خواهی زیستی (BOD₅) و اکسیژن‌خواهی شیمیایی (COD) در آزمایشگاه پس از ۵ روز به وسیله دستگاه اکسیژن‌سنج و هضم به روش تقطیر برگشتی بسته و سپس رنگ‌سنجی اندازه‌گیری شد. همچنین میزان آلودگی کلی‌فرم مدفوعی از آزمون تخمیر چند لوله‌ای MPN با ضریب دقت ۱ به ۱۰۰، اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری پارامترهای هیدرولیکی جریان رودخانه (دبی و سرعت جریان) در زمان نمونه‌برداری با استفاده از سرعت‌سنج مولینه صورت گرفت. در محل نمونه‌برداری، موقعیت جغرافیایی هر یک از نقاط نمونه‌برداری با دستگاه

به منظور بررسی و آنالیزهای فیزیکی‌وشیمیایی و پارامترهای بیولوژیکی در ماه‌های آذر و اسفند ۱۳۹۵ و اردیبهشت و تیر ۱۳۹۶، نمونه‌برداری به عمل آمده است. از آنجا که نمونه‌های برداشت‌شده باید معرف شرایط عمومی آب رودخانه باشند، نمونه‌برداری آب از قسمت میانی مقطع جریان رودخانه و بر اساس استانداردهای تعریف‌شده در مراجع معتبر بین‌المللی، دستورالعمل ملی نمونه‌برداری منتشرشده توسط USGS انجام گرفت. بدین صورت که در هر ایستگاه برای نمونه‌برداری آب از بطری‌های شیشه‌ای با حجم‌های ۲ لیتری (برای اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکی‌وشیمیایی) و بطری‌های مخصوص یک‌بارمصرف جهت آنالیز میکروبی استفاده شده است. به منظور کاهش خطا برخی پارامترهای آب توسط دستگاه قابل‌حمل پرتابل کالیبره HACH در محل اندازه‌گیری در حداقل زمان ممکن گردید. دما با استفاده از دماسنج جیوه‌ای با دقت ۰/۱ درجه سانتی‌گراد، pH و هدایت الکتریکی (EC) به ترتیب با استفاده از دستگاه‌های pH متر دیجیتال SCHOTTGERATE ساخت آلمان و EC متر دیجیتال CORNING CIBA ساخت آمریکا و کدورت‌سنج مدل DRT-15CE اندازه‌گیری شد و قبل از ترک محل

(2019). این شاخص توسط براون و همکاران با حمایت موسسه ملی بهداشت آمریکا ارائه شد (Brown et al., 1970). این شاخص که در پژوهش حاضر از آن استفاده شده است، دربرگیرنده پارامترهای فیزیکی - شیمیایی مانند DO، BOD، کدورت، کل جامدات محلول، نیترات، فسفات، pH، دما و کلی فرم مدفوعی است. در ایجاد شاخص NSFQI برای منظور کردن میزان اثر هر پارامتر، به هر یک از پارامترها یک ارزش وزنی داده می‌شود که بیشترین مقدار وزنی مربوط به اکسیژن محلول در آب و کمترین وزن‌دهی مربوط به غلظت کل جامدات محلول می‌باشد (جدول ۲). این شاخص دارای مقیاس کاهش یافته و با افزایش میزان آلودگی آب، مقدار عددی آن کاهش می‌یابد (Misaghi et al., 2017). بر اساس این شاخص، کیفیت آب بین ۰ تا ۱۰۰ طبقه‌بندی می‌شود (جدول ۲). برای به دست آوردن عدد نهایی این شاخص در ماه‌های مختلف، از رابطه ۱ استفاده می‌شود که در آن n تعداد پارامترهای موجود در سیستم محاسبه شاخص، I_i زیرشاخه نام و W_i ضریب وزنی پارامتر نام می‌باشد.

$$SFQI = \sum_{i=1}^n w_i I_i \quad (\text{رابطه ۱})$$

موقعیت یاب جهانی ثبت شده است (جدول ۱). در این پژوهش از نرم‌افزار SPSS19 برای تحلیل آماری داده‌ها و از نرم‌افزار Excel2010 برای ترسیم نمودارها استفاده شد. برای تجزیه و تحلیل مجموعه‌های به دست آمده از آنالیز خوشه‌ای سلسله مراتبی و ضرایب همبستگی استفاده شد. سپس شاخص کیفی NSFQI برای تعیین کیفیت آب رودخانه محاسبه شد. در حوضه آبخیز زیارت ایستگاه‌های هیدرومتری نهارخوران و زیارت وجود دارد و پس از اخذ آمار دبی روزانه این ایستگاه‌ها، متوسط آبدی درازمدت ماهانه دوره ۳۰ ساله (۱۳۹۵-۱۳۶۵) ایستگاه هیدرومتری نهارخوران و دوره ۶ ساله (۱۳۹۵-۱۳۸۹) ایستگاه هیدرومتری زیارت تعیین شد.

شاخص کیفیت آب NSFQI

یکی از شاخص‌هایی که امروزه به طور رایج در تعیین کیفیت آب مورد استفاده قرار می‌گیرد، شاخص کیفیت آب NSFQI می‌باشد (Noori et al., Shokoochi and Modaberi, 2018).

جدول ۲- وزن پارامترهای مورد استفاده در محاسبه شاخص NSFQI، مقادیر و طبقه‌بندی کیفیت آب بر مبنای آن

پارامتر	DO	کلی فرم مدفوعی	pH	BOD	دما	فسفات	نیترات	کدورت	کل جامدات محلول
وزن	۰/۱۷	۰/۱۶	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۰۸	۰/۰۷
شاخص	محدوده شاخص								
	توصیف								
	بسیار بد								
	بد								
	متوسط								
	خوب								
	عالی								
شاخص NSFQI	۰-۲۵								
	۲۶-۵۰								
	۵۱-۷۰								
	۷۱-۹۰								
	۹۱-۱۰۰								

تحلیل مؤلفه اصلی

ارتباط بین دو متغیر کمی، از طریق محاسبه ضریب همبستگی اندازه‌گیری می‌شود. اگر ضریب همبستگی، مقداری نزدیک یا برابر با ۱ باشد، رابطه شدید و هم‌جهت بین دو متغیر وجود دارد. در این حالت می‌توان گفت که جهت تغییرات هر دو متغیر شبیه یکدیگر است. به این معنی که با افزایش یکی دیگری نیز افزایش می‌یابد (Hussain et al., 2008; Kang et al., 2016). این ارتباط بر اساس کاهش نیز وجود دارد، یعنی اگر یکی از متغیرها کاهش یابد، دیگری نیز کاهش خواهد یافت. در این حالت می‌گویند بین دو متغیر رابطه مستقیم وجود دارد. برعکس اگر ضریب همبستگی، مقداری نزدیک یا برابر با -۱ باشد، رابطه شدید ولی در جهت عکس بین متغیرها وجود دارد. بنابراین با افزایش یکی، دیگری کاهش خواهد یافت (Kang et al., 2016).

تحلیل خوشه‌ای

تجزیه و تحلیل خوشه‌بندی یکی از روش‌ها و تکنیک‌های آماری قابل کاربرد در مورد داده‌های چند متغیره می‌باشد که با استفاده از آن گروه‌های واقعی و مشابه از آزمودنی‌ها شناسایی می‌شوند. تحلیل خوشه‌ای، گروه‌های نامعلوم را طبقه‌بندی می‌کند. این روش اجازه انتخاب‌های زیادی درباره طبیعت الگوریتم برای ادغام گروه‌ها را می‌دهد (Hussain et al., 2008; Moore et al., 2010). هر انتخاب ممکن است، موجب ساختار گروه‌بندی متفاوتی شود. به عبارت دیگر تحلیل خوشه‌ای روشی اصلی برای طبقه‌بندی توده ای از اطلاعات به ستون‌های معنی‌دار قابل اجرا می‌باشد. این تحلیل وسیله تقلیل داده‌هاست که باعث ایجاد زیرگروه‌هایی می‌شود که قابل اجرائر از داده‌های فردی است (Moore et al., 2010). درختی که خوشه‌بندی سلسله مراتبی را نشان می‌دهد،

دندروگرام^۱ نامیده می‌شود.

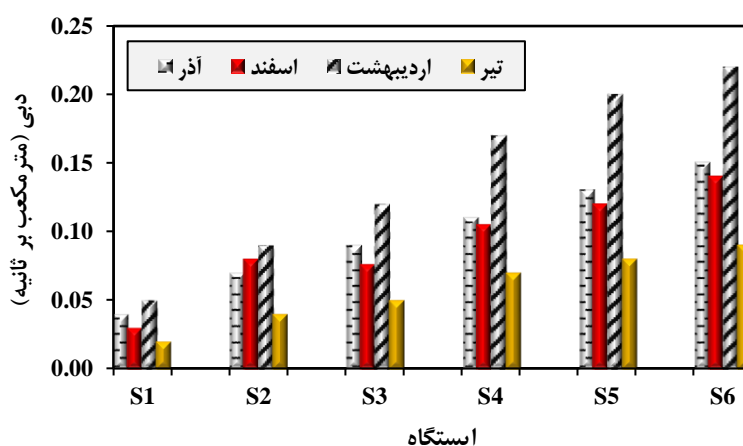
نتایج و بحث

می‌باشد. همچنین روند تغییرات دبی رودخانه در ایستگاه‌های مختلف نمونه‌برداری در شکل (۲) آورده شده است. بر این اساس در فصول مختلف سال آبی ۱۳۹۶-۱۳۹۵، روند تغییرات دبی جریان در ایستگاه‌های نمونه‌برداری در طول رودخانه زیارت نشان می‌دهد، حداکثر دبی در اردیبهشت‌ماه در ایستگاه S₆ و حداقل دبی در ایستگاه S₁ در تیرماه می‌باشد که تابستان کم‌آب‌ترین فصل رودخانه به‌شمار می‌رود و فصل بهار حداکثر جریان را به خود اختصاص می‌دهد.

همان‌طور که در جدول (۳) مشاهده می‌شود، حداکثر و حداقل دبی جریان ماهانه رودخانه زیارت در ایستگاه هیدرومتری نهارخوران به ترتیب در ماه‌های اسفند و مرداد برابر ۰/۴۱ و ۰/۰۷ مترمکعب بر ثانیه و حداکثر دبی جریان ماهانه رودخانه زیارت در ایستگاه هیدرومتری زیارت در ماه فروردین برابر ۰/۲۱ مترمکعب بر ثانیه و در هشت ماه از سال، از کمترین دبی خود برخوردار

جدول ۳- متوسط آبدهی ماهانه ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه آبخیز زیارت در طول دوره آماری (مترمکعب بر ثانیه)

ایستگاه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
زیارت	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۱۹	۰/۲۱	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۰۷
نهارخوران	۰/۱۶	۰/۲۱	۰/۱۷	۰/۱۲	۰/۱۴	۰/۴۱	۰/۳۵	۰/۱۷	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۰۷	۰/۱۳



شکل ۲- هیستوگرام مقادیر دبی در زمان نمونه‌برداری در محل ایستگاه‌های مورد بررسی در طول رودخانه زیارت

و کمترین آن ۸۳۴/۵ میکروموس بر سانتی‌متر در ایستگاه S₂ است و میانگین آن ۱۹۳/۵ ± ۱۰۲۸ میکروموس بر سانتی‌متر می‌باشد. مقدار EC در طول رودخانه زیارت، تغییرات زیادی را نشان می‌دهد. هدایت الکتریکی آب در ایستگاه S₁ با متوسط ۸۹۶/۵ میکروموس بر سانتی‌متر می‌باشد و با اتصال شاخه فرعی آبگیر زیارت در ایستگاه S₂ با EC کمتر (متوسط ۸۴۳/۵ میکروموس بر سانتی‌متر) باعث رقیق شدن و کاهش EC در این ناحیه شده است. نتایج هدایت الکتریکی نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین ایستگاه میانی با ایستگاه‌های بالادست و پایین‌دست وجود دارد (P < ۰/۰۱). میانگین هدایت الکتریکی در ایستگاه‌های مختلف نشان داد که در ایستگاه‌های S₁ تا S₂ و S₄ تا S₅ رودخانه زیارت، میانگین این عامل نرمال بوده و در محدوده کمتر از ۱۰۰۰ قرار دارد. هدایت الکتریکی بالاتر از این حدود

خلاصه نتایج تحلیل آماری کیفی آب مربوط به پارامترهای فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی از ایستگاه‌های نمونه‌برداری رودخانه زیارت پس از صحت‌سنجی و پردازش آماری، در جدول (۴) ارائه شده است. بر اساس آمار توصیفی جدول (۴)، میزان pH نمونه‌های آب رودخانه زیارت، بین ۷/۶۴ تا ۸/۱۷ با میانگین ۰/۲۶ ± ۷/۹ متغیر می‌باشد. بیشترین و کمترین مقدار pH در ایستگاه S₃ و S₅ مشاهده می‌شود. میزان pH آب نقش تعیین‌کننده‌ای در سلامت آب داشته و گفته می‌شود pH یک عامل بسیار مهم در ارزیابی کیفیت آب است (نادری و همکاران، ۱۳۹۷). در این مطالعه مقادیر pH آب، اختلاف معنی‌داری را بین ایستگاه‌ها نشان نداد. هدایت الکتریکی ناشی از میزان یون‌های محلول در آب بوده که اثرات زیادی روی طعم و مزه آب دارد. بیشترین هدایت الکتریکی (EC)، ۱۳۹۶/۵ میکروموس بر سانتی‌متر در ایستگاه S₃

الکتریکی در امتداد مسیر رودخانه می‌شود.

دما خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب و همچنین فعالیت‌های بیولوژیکی ارگانیزم‌های گیاهی و جانوری آبی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در رودخانه‌ها، درجه حرارت آب، تابع درجه حرارت محیط است. دمای آب در ایستگاه‌های نمونه‌برداری از حداقل ۹/۷ درجه سانتی‌گراد در ایستگاه S₁ در آذرماه تا حداکثر ۲۰ سانتی‌گراد در ایستگاه S₃ در تیرماه متغیر بود که این میزان از حداکثر مجاز دمای استاندارد گزارش شده توسط سازمان جهانی بهداشت کمتر است (جدول ۵). میانگین درجه حرارت آب از ایستگاه بالادست به سمت پایین‌دست، روند افزایشی نشان می‌دهد.

نشانه ورود یک منبع آلودگی به رودخانه می‌باشد (Singh and Kamal, 2014). افزایش غلظت هدایت الکتریکی آب در ایستگاه‌های مورد مطالعه، ناشی از تغییر کاربری در اطراف رودخانه زیارت و تخلیه فاضلاب و عوامل اکوتومورفولوژیکی است. یکی از عوامل افزایش هدایت الکتریکی را می‌توان به جنس بستر رودخانه نسبت داد که از حالت قله‌سنگی (بالادست) به سمت شنی-ماسه‌ای همراه با مواد آلی ته‌نشین شده (پایین‌دست) تغییر می‌یابد. وجود نهشته‌های رسوبی در نواحی پایین‌دست، نشان‌دهنده عمل آبشویی زمین‌های اطراف و یا ورود پساب‌های حاوی انواع آلاینده‌ها به رودخانه است که باعث افزایش هدایت

جدول ۴- مقادیر پارامترهای کیفی و بیولوژیکی اندازه‌گیری شده آب رودخانه زیارت در ایستگاه‌های مختلف

ایستگاه	HCO ₃ (mg/l)	PO ₄ (mg/l)	Cl (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)
S ₁	۱۹۲/۱۵ ± ۲۷/۴۵	۰/۲۸ ± ۰/۱	۳۸/۹ ± ۱۶/۷	۲۵۲/۲ ± ۵۹/۵	۷/۴ ± ۴/۸	۱۱۱/۳۵ ± ۱۰/۰۵	۴۶/۰۵ ± ۸/۴۵	۱۱/۶ ± ۷/۳	۱/۶ ± ۰/۵
S ₂	۲۰۴/۶۵ ± ۲۱/۰۶	۰/۲۸ ± ۰/۱۳	۵۵/۷ ± ۸/۲	۱۷۹/۱۵ ± ۲۵/۴	۷/۸ ± ۳/۳	۹۱/۴۵ ± ۱۵/۸۵	۳۸/۷ ± ۵/۲	۲۷/۸ ± ۱۱/۳	۱/۹۶ ± ۰/۳۵
S ₃	۳۱۴/۷ ± ۶۰/۶	۰/۳۳ ± ۰/۱۵	۲۰۰/۴۵ ± ۸۳/۹۵	۱۷۷/۳۱ ± ۳۶/۲	۶/۷ ± ۲/۱	۱۱۳/۴ ± ۳۶/۸	۵۱/۷ ± ۱۶/۴	۴۴/۸ ± ۱۳/۳	۶/۷ ± ۲/۱
S ₄	۲۸۳/۷ ± ۵۰/۹	۰/۴۱ ± ۰/۱۳	۱۲۶/۵۵ ± ۴۸/۰۵	۱۳۳/۴۶ ± ۲۰/۳	۱۱/۷ ± ۴/۵	۱۰۳/۴۵ ± ۲۱/۳۵	۳۸/۷ ± ۹/۲	۵۶/۳ ± ۱۵/۶	۶/۶ ± ۲/۷
S ₅	۳۰۸/۸۵ ± ۶۴/۲۵	۰/۳۶ ± ۰/۱۲	۱۱۰/۲۸ ± ۳۸/۱	۱۱۲/۵ ± ۲۱/۵	۱۰/۳ ± ۶/۴	۱۰۴/۸ ± ۲۷/۳	۳۴/۷۵ ± ۷/۶	۶۷/۵ ± ۲۱/۲	۶/۵۵ ± ۳/۰۵
S ₆	۳۳۴/۳۵ ± ۸۵/۱۵	۰/۳۹ ± ۰/۱۳	۱۲۸/۲۸ ± ۴۱/۳	۱۰۷/۲۵ ± ۲۳/۴	۱۱/۶ ± ۶/۳	۱۲۳/۶۵ ± ۴۱/۷۵	۴۲/۴ ± ۸/۲	۸۳/۴ ± ۳۵/۳	۸/۸۶ ± ۳/۲۵

ایستگاه	TDS (mg/l)	EC (µS/cm)	pH	BOD ₅ (mg/l)	COD (mg/l)	DO (mg/l)	کلی فرم مدفوعی	دما (°C)	کدورت
S ₁	۵۷۸ ± ۲۷	۸۹۶/۵ ± ۷۵/۵	۸/۰۶ ± ۰/۰۳	۲/۱۵ ± ۲/۱	۷/۳ ± ۴/۱	۵/۳ ± ۰/۷	۱۱۰۰ <	۹/۷ ± ۲/۷	۳۳۰ ± ۱۸۰
S ₂	۵۲۳ ± ۱۹	۸۳۴/۵ ± ۳۸/۵	۷/۸۸ ± ۰/۲۵	۲/۶ ± ۲/۲	۴/۳ ± ۲/۵	۵/۶ ± ۱/۲	۱۱۰۰ <	۱۶/۳ ± ۸/۲	۳۲۹ ± ۹۶
S ₃	۸۷۹ ± ۱۹۷	۱۳۹۶/۵ ± ۳۱۸/۵	۷/۶۴ ± ۰/۲۸	۷/۲۵ ± ۳/۴	۱۳/۳ ± ۶/۱	۴/۴ ± ۱/۷	۱۱۰۰ <	۲۰ ± ۸/۷	۹۱۴ ± ۱۴۲
S ₄	۶۲۰/۵ ± ۷۵/۵	۹۹۵/۵ ± ۱۲۴/۵	۷/۸۷ ± ۰/۳۷	۶/۸۵ ± ۳/۲	۱۴/۸ ± ۷/۶	۴/۷ ± ۲/۶	۱۱۰۰ <	۱۷/۱ ± ۶/۴	۳۸۶ ± ۱۵۶
S ₅	۵۵۱ ± ۳۳	۹۶۶/۵ ± ۱۴۱/۵	۸/۱۷ ± ۰/۰۷	۷/۶۴ ± ۳/۶	۱۷/۴ ± ۹/۶	۵/۶ ± ۱/۶	۱۱۰۰ <	۱۷/۷ ± ۷/۶	۳۴۲ ± ۱۰۲
S ₆	۶۳۴/۵ ± ۴۰/۵	۱۰۷۸/۵ ± ۱۸۱/۵	۷/۷۸ ± ۰/۲۶	۹/۶۵ ± ۵/۱	۱۸/۶ ± ۱۱/۲	۶/۸ ± ۱/۳	۱۱۰۰ <	۱۷/۶ ± ۹/۴	۴۴۷ ± ۱۱۲

واحد کدورت بر حسب NTU و کلی فرم مدفوعی بر حسب N/100ml می‌باشد.

میلی گرم بر لیتر است (جدول ۴). مطالعات مشابه نشان داد که افزایش رواناب‌های سطحی، فعالیت‌های انسانی در حاشیه رودخانه و تغییر کاربری اراضی، منجر به افزایش میزان TDS می‌شود (Bostanmaneshrad et al.; Khadempour and Sayari, 2018). مقادیر TDS در ایستگاه S₄ نسبت به ایستگاه S₃ و در ایستگاه S₅ نسبت به ایستگاه S₄ کاهش یافته است که به دلیل کاهش شیب و کاهش سرعت آب است. کاملاً طبیعی است که تغییرات دبی ناشی از نوسانات فصلی و تغییر میزان بارندگی و جریان آبی رودخانه، می‌تواند فاکتورهایی مانند TDS، EC و کدورت را به سرعت تحت تأثیر قرار دهد.

میانگین فسفات محلول در ایستگاه‌های بالادست از ۰/۲۸ تا ۰/۳۳ میلی گرم در لیتر متغیر بوده که این میزان کمتر از حد آستانه ۰/۵ میلی گرم در لیتر می‌باشد (EPA, 2018) که این نشان‌دهنده غیرآلوده بودن ایستگاه‌های بالادست می‌باشد ولی حداکثر میزان فسفات در ایستگاه‌های S₄ و S₆ مشاهده شد. این

کدورت پدیده‌ای است که میزان شفافیت آب را مشخص می‌کند و به عنوان یک خاصیت ظاهری آب محسوب می‌شود. با بررسی جدول (۴)، بیشترین میزان کدورت در ایستگاه S₃ با ۹۱۴ NTU، کمترین آن در ایستگاه S₂ با ۳۲۹ NTU و میانگین کدورت در این شش ایستگاه ۱۲۹ ± ۴۵۸ NTU بوده است. یکی از عوامل افزایش میزان کدورت آب به علت بارندگی در سطح حوضه و افزایش دبی رودخانه در فصل‌های می‌باشد. این بارش‌ها علاوه بر آبشویی زمین‌های اطراف و افزایش رواناب‌های سطحی، موجب تلاطم شدید آب رودخانه و به هم خوردن رسوبات بستر می‌شود (Mousavi, 2012). مجموع ذرات محلول (TDS) یکی از عوامل مؤثر در کیفیت آب است که تغییرات بیش از اندازه آن نشانگر آلودگی‌های غیرنقطه‌ای یا غیر متمرکز است و با کاربری‌های متفاوت از زمین در ارتباط است. بیشترین میزان TDS در ایستگاه S₃ با ۸۷۹ میلی گرم بر لیتر و کمترین مقدار آن در ایستگاه S₂ با ۵۲۳ میلی گرم بر لیتر است. در طول مسیر رودخانه میزان TDS به تدریج افزایش می‌یابد و میانگین کل آن ۱۰۴/۵ ± ۶۲۷/۵

می‌کند. اما در ایستگاه S₄ کاهش و دوباره در ایستگاه S₆ افزایش یافته و به حداکثر خود می‌رسد.

در اثر ورود فضولات حیوانی و فاضلاب‌های خانگی به آب رودخانه‌ها، میزان باکتری‌های کلی‌فرم افزایش می‌یابد. بر اساس جدول (۴)، میزان کلی‌فرم مدفوعی در تمامی ایستگاه‌های مورد بررسی، بین ۱۱۰۰ و بیشتر از آن، در نوسان بود. بر اساس مقدار باکتری کلی‌فرم مدفوعی، همه نمونه‌های آب رودخانه زیارت به دلیل ورود پساب‌های مراکز گردشگری و کشاورزی و افزایش غلظت ماده مغذی نیترات که همگی باعث افزایش نرخ رشد باکتری‌ها شده‌اند، دارای آلودگی میکروبی هستند.

اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی (BOD₅) یک نمونه آب، مشخص‌کننده مقدار اکسیژن موردنیاز برای تجزیه مواد آلی توسط میکروارگانیسم‌های هوازی بوده و به عنوان شاخص مهم از بار آلودگی به‌شمار می‌آید و اندازه‌گیری آن می‌تواند کیفیت آب را مشخص کند (Matta et al., 2017; Guettaf et al., 2017). حداقل میانگین سالانه فاکتور BOD₅ در ایستگاه S₁، ۲/۱۵ میلی‌گرم بر لیتر و حداکثر آن در ایستگاه S₆، ۹/۶۵ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده شد. طبق تقسیم‌بندی آژانس حفاظت از محیط‌زیست آمریکا که محیط‌های آبی را از نظر شدت آلودگی تقسیم می‌نماید، میزان BOD₅ بین ۰ تا ۲، نشان‌دهنده آب بسیار تمیز، ۲ تا ۵ نشان‌دهنده آب نسبتاً آلوده و بیشتر از ۵ نشان‌دهنده آب شدیداً آلوده است (EPA, 2018). در مجموع بررسی نتایج نشان می‌دهد که میانگین سالانه BOD₅ در ایستگاه‌های S₁ و S₂ (بالادست) رودخانه زیارت از ۲/۱۵ تا ۲/۶ میلی‌گرم بر لیتر متغیر بوده که این آب این ایستگاه‌ها را در زمره آب‌های نسبتاً آلوده قرار می‌دهد. همچنین ایستگاه S₄ دارای میانگین ۶/۸۵ میلی‌گرم بر لیتر بوده که با ایستگاه‌های بالادست و پایین‌دست خود اختلاف معنی‌داری را نشان می‌دهد ($P < 0.05$). ایستگاه S₅ در نزدیکی مراکز خدماتی، گردشگری واقع بوده و آلودگی و فاضلاب به آن وارد شده و نیز ایستگاه S₆ در پایین‌دست رودخانه زیارت قرار داشته که دارای جریان آرامی است و دارای بالاترین میزان BOD₅ می‌باشد که این می‌تواند به علت تغییر جنس بستر از قله‌سنگی و سنگلاخی در ایستگاه‌های بالادست به شنی و تقریباً لجنی در پایین‌دست و ورود فاضلاب‌های مراکز خدماتی و گردشگری به این ناحیه باشد. هرچند که میزان BOD₅ در ایستگاه S₆ بالاتر از ایستگاه S₅ می‌باشد، هر دو ایستگاه بر اساس تقسیم‌بندی در زمره ایستگاه‌هایی با آلودگی آبی شدید قرار می‌گیرند.

غلظت اکسیژن محلول در آب یکی از عوامل بسیار کلیدی در محیط‌های آبی به‌شمار می‌رود. بر اساس جدول (۵)، میانگین اکسیژن محلول در طول سال در ایستگاه‌های بالادست و

افزایش می‌تواند ناشی از ورود مواد مغذی از حوضه اطراف رودخانه به‌خصوص افزودن کودها و آب‌های برگشتی از فعالیت‌های کشاورزی باشد که عامل اصلی افزایش این ترکیبات در ایستگاه‌های پایین‌دست، شده است. در بررسی ایستگاه‌ها، نتایج آزمون تجزیه واریانس نشان داد میانگین فسفات محلول در ایستگاه‌های بالادست تفاوت معنی‌دار با ایستگاه‌های پایین‌دست ندارد ($P > 0.05$).

بررسی نیترات (NO₃) موجود در آب رودخانه زیارت نشان داد که بیشترین میزان آن در ایستگاه S₄ با ۱۱/۷ میلی‌گرم بر لیتر و کمترین آن در ایستگاه S₃ با ۶/۷ میلی‌گرم بر لیتر و میانگین ایستگاه‌ها 9.25 ± 2.55 میلی‌گرم بر لیتر است که میزان آن با استاندارد سازمان جهانی بهداشت مطابقت دارد (WHO, 2011). میزان تغییرات سولفات (SO₄) در طی مسیر رودخانه نیز حاکی از آن بود که تقریباً این پارامتر دستخوش کاهش معنی‌داری می‌شود که کمترین مقدار SO₄ در ایستگاه S₆ با میانگین ۱۰۷/۲۵ میلی‌گرم بر لیتر و بیشترین مقدار آن در ایستگاه S₁ با میانگین ۲۵۲/۲ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده شد (جدول ۴). کمترین میزان سدیم (Na) در ایستگاه S₁ مشاهده شد و پس از آن در طی مسیر رودخانه در ایستگاه‌های S₃، S₄ و S₅ دارای روند افزایشی معنی‌داری شده است. ایستگاه S₆ نیز با میانگین ۸۳/۴ میلی‌گرم بر لیتر، دارای حداکثر مقدار Na است. مقدار پتاسیم (K) نیز در طی مسیر رودخانه دستخوش افزایش معنی‌داری شده است. حداقل میزان K در ایستگاه‌های S₁ و S₂ مشاهده شد و پس از آن ایستگاه‌های S₃، S₄ و S₅ که دارای اختلاف معنی‌داری با ایستگاه‌های بالادست بودند، قرار داشت. نتایج اندازه‌گیری میزان کلسیم (Ca) نیز حاکی از آن است که در طی مسیر رودخانه، تغییرات معنی‌داری بسیار کمی در این پارامتر رخ داده است. تنها افزایش Ca اندازه‌گیری شده در ایستگاه S₆ معنی‌دار بوده و تمامی ایستگاه‌ها به جز ایستگاه S₂ دارای شدت یکسانی از نظر آماری هستند. مقدار منیزیم (Mg) اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌ها نیز حاکی از آن است که بیشترین میزان آن در ایستگاه S₃ می‌باشد. حداقل میزان Mg نیز از نظر آماری در سه ایستگاه S₂، S₄ و S₅ مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری نداشتند. تغییرات میزان بی‌کربنات (HCO₃) در ایستگاه S₁ بسیار کم و در ایستگاه S₃ دچار افزایش قابل‌توجه و معنی‌داری می‌شود و این میزان از نظر آماری در دو ایستگاه S₄ و S₅ یکسان و با یک افزایش معنی‌دار در ایستگاه S₆ به حداکثر خود می‌رسد. اندازه‌گیری میزان کلر (Cl) در آب رودخانه زیارت نشان داد که این پارامتر دستخوش تغییرات یکنواختی نشده است. مقدار Cl در ایستگاه S₁ کمترین و در ایستگاه S₃ افزایش معنی‌داری پیدا

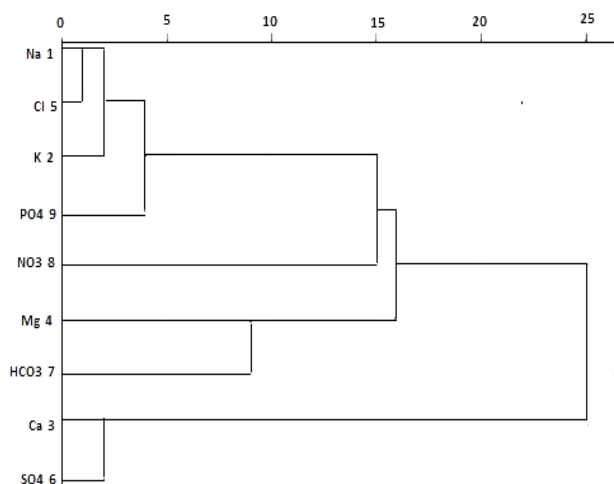
سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا قرار دارد. همچنین مقدار Na ، SO_4 ، TDS ، PO_4 و اکسیژن محلول، دما از نظر استاندارد سازمان جهانی بهداشت در وضعیت مطلوبی قرار دارند. اما مقدار اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی، اکسیژن مورد نیاز شیمیایی، کدورت، کلی فرم مدفوعی و هدایت الکتریکی، از نظر استاندارد سازمان جهانی بهداشت در شرایط نامطلوبی قرار داشته و با حرکت در امتداد رودخانه، کمتر از میزان کمینه استاندارد می‌شود. اما میزان کلر و اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی در شرایط مطلوبی از نظر استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا قرار دارد. Ebrahimi *et al.*, (2014) در مطالعه هیدروژئوشیمی آب رودخانه زیارت در خردادماه سال ۹۲، میزان pH نمونه‌های آب را بین ۷/۲ تا ۷/۸۸، میزان هدایت الکتریکی نمونه‌های آب را بین ۷۰۱ تا ۱۴۲۲ میکروزیمنس بر سانتی‌متر و میزان کل جامدات محلول را بین ۴۴۳ تا ۸۹۸ میلی‌گرم بر لیتر گزارش دادند و نیز عنوان کردند مقدار اکسیژن محلول نمونه‌های آب این رودخانه در حد مجاز (بالتر از ۳ میلی‌گرم بر لیتر) است. با توجه به مقادیر استاندارد موجود برای عامل BOD_5 و همچنین کاهش معنی‌دار DO در ایستگاه‌های پایین‌دست، ایستگاه‌های بالادست و میانی رودخانه زیارت دارای شرایط بدون آلودگی یا با آلودگی کم، ولی ایستگاه‌های پایین‌دست به علت عوامل مختلف از قبیل کاهش میزان آب به‌خصوص در فصول زراعی، دست‌کاری بستر، وجود مناطق مسکونی و تأثیر احتمالی فاضلاب‌های شهری، دفع زباله‌ها، حضور گردشگران و تغییر اکولوژی رودخانه از حالت سنگلاخی و قله‌سنگی به وضعیت شنی و تقریباً لجنی، نشانگر وجود آلودگی می‌باشد. از ایستگاه S_1 به S_3 ، غلظت نیترات و فسفات و به تبع آن رشد باکتری‌ها افزایش یافته و در نتیجه مقدار DO، روند کاهشی نشان می‌دهد. با پیشروی از مناطق بالادست به سوی مناطق پایین‌دست، پارامتر PO_4 کاهش یافته و در عوض اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی، هدایت الکتریکی، فسفات و نیترات افزایش می‌یابند. در تمامی ایستگاه‌های بالادست مورد مطالعه که سرعت جریان آب رودخانه در این نقاط بالا بوده، از آلودگی کمتری نسبت به ایستگاه‌های S_5 و S_6 که دارای جریان آرامی است برخوردار بوده‌اند و نیز عبور از مناطق گردشگری و وارد شدن ضایعات این مراکز به داخل آن‌ها، تغییرات محسوسی در فاکتورهای کیفیت آب رودخانه به وجود آورده است. وقتی سرعت جریان رودخانه کم می‌شود قدرت جریان آن نیز کاهش می‌یابد، در نتیجه مقداری از بار معلق آن شروع به ته‌نشینی می‌کند (Mousavi, 2012; Mrozinska *et al.*, 2018).

پایین‌دست بالاتر از ۵ میلی‌گرم در لیتر بوده که حد کمینه آن برای حفظ و بقای تنوع زیستی در نهرها محسوب می‌شود. مقدار DO در نمونه‌های مورد مطالعه بین ۴/۴ تا ۶/۸ با میانگین ۵/۴ میلی‌گرم بر لیتر است. کم‌ترین میزان DO در ایستگاه S_3 مشاهده می‌شود. در ایستگاه S_1 انحلال بیشتر اکسیژن در آب به دلیل درجه حرارت پایین‌تر آب است. البته میزان اکسیژن محلول در ایستگاه‌های بالادست، بسیار بالاتر از ایستگاه‌های S_3 و S_4 بوده و در این ایستگاه‌ها اختلاف معنی‌داری با ایستگاه‌های بالادست مشاهده می‌شود ($P < 0.05$) که این نشان‌دهنده کاهش کیفیت آب در ایستگاه‌های پایین‌دست بر اثر کاهش قابل‌توجه آبدی رودخانه در ماه‌های کم‌آبی و افزایش غلظت آلودگی تحت تأثیر فاضلاب دامداری‌ها و پساب‌های کشاورزی حاوی آفت‌کش و کودها در مناطق بالادست و نرخ بالای تجزیه شیمیایی مواد آلی و نیاز بیشتر به اکسیژن برای فعالیتهای متابولیکی، می‌تواند باشد. غلظت اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD) از فاکتورهای مهم در شناخت الگوی معرفی شدن مواد آلی در اکوسیستم‌های رودخانه‌ای محسوب می‌شود. COD پارامتری برای تعیین میزان پسماندهای قابل اکسایش شیمیایی و جهت ارزیابی مقدار این مواد در مخلوطی از آلوده‌کننده‌ها مثل فاضلاب‌های خانگی و کشاورزی به کار گرفته می‌شود (نادری و همکاران، ۱۳۹۷). بر اساس جدول (۴)، مقدار اکسیژن مورد نیاز شیمیایی نمونه‌های مورد مطالعه بین ۴/۳ تا ۱۸/۶ با میانگین ۱۲/۶ میلی‌گرم در لیتر متغیر است. سازمان جهانی بهداشت، میزان غلظت COD بالاتر از ۱۰ میلی‌گرم در لیتر را مشخصه آب‌های آلوده دانسته است (WHO, 2011). افزایش غلظت COD در ایستگاه S_3 در داخل روستای زیارت و ایستگاه S_4 بعد از روستای زیارت، گویای تأثیرپذیری این ایستگاه از منابع خارج از سیستم رودخانه است که نشان‌دهنده ارتباط مستقیم این پارامتر با شدت فعالیتهای انسانی و کشاورزی در این منطقه است و در تحقیقات سایر محققین نیز به اثبات رسیده است (Chessman and Townsend, 2010; Ehteshami *et al.*, 2014; Ebadi and Hisoriev, 2017). بالاترین میزان COD در ایستگاه S_6 که تحت تأثیر ورود فاضلاب مراکز گردشگری و خدماتی قرار دارد، مشاهده می‌شود. جدول (۵)، میانگین کمیت‌های فیزیکوشیمیایی اندازه‌گیری شده در رودخانه زیارت به همراه استانداردهای جهانی WHO و EPA را نشان می‌دهد. نتایج مقایسه کمیت‌ها با استانداردهای جهانی نشان می‌دهد که مقدار pH در تمامی ایستگاه‌ها در دامنه مطلوب و استاندارد سازمان جهانی بهداشت و

جدول ۵- مقایسه مقادیر پارامترهای اندازه‌گیری شده با استانداردهای مختلف (EPA, 2018; WHO, 2011)

پارامتر	واحد	میانگین اندازه‌گیری شده	استاندارد WHO	نتیجه	استاندارد EPA	نتیجه
دما	°C	16/4 ± 6/7	۳۲/۳ - ۲۶/۳	مطلوب	-	-
pH	-	7/9 ± 0/26	۶/۵ - ۸/۵	مطلوب	۶/۵ - ۹	مطلوب
DO	mg/L	5/4 ± 1/0	۵	مطلوب	-	-
BOD ₅	mg/L	6/02 ± 3/87	۵	نامطلوب	۳۰	مطلوب
TDS	mg/L	627/5 ± 104/5	۱۰۰۰	مطلوب	۵۰۰	نامطلوب
SO ₄	mg/L	160/42 ± 52/9	۲۵۰	مطلوب	۲۵۰	مطلوب
Na	mg/L	48/5 ± 36/9	۲۰۰	مطلوب	۲۰۰	مطلوب
Cl	mg/L	110/02 ± 71/1	-	-	۲۵۰	مطلوب
COD	mg/L	12/6 ± 8/3	۱۰	نامطلوب	۱۵	مطلوب
EC	µS/cm	1028 ± 193/5	۲۵۰	نامطلوب	-	-
PO ₄	mg/L	0/34 ± 0/06	0/5	مطلوب	-	-
کدورت	NTU	458 ± 129	۵	نامطلوب	۵	نامطلوب
کلی فرم مدفوعی	N/100ml	۱۱۰۰	۰	نامطلوب	-	-

رودخانه زیارت، سدیم و کلر در یک خوشه قرار گرفته‌اند که نشان می‌دهد این یون‌ها از انحلال هالیت منشأ می‌گیرند و پارامتر Na با Cl رابطه بسیار نزدیکی دارد. رابطه Cl با Na می‌تواند به دلیل وجود نمک کلرور سدیم (NaCl) که جزو نمک‌های با حلالیت بالا است، باشد. در سطحی بالاتر پتاسیم و فسفات با این عناصر ارتباط دارند و به علت جذب سریع در محیط، از غلظت پایینی در آب برخوردارند که با توجه به شکل (۳)، Na با K و PO₄ در یک خوشه قرار گرفته‌اند.



شکل ۳- دیاگرام خوشه‌ای غلظت یون‌های اصلی نمونه‌های آب رودخانه زیارت

همچنین کلسیم و فسفات در یک خوشه قرار گرفته‌اند که حاکی از منشأ یکسان این دو یون است. نیترات به علت رفتار ژئوشیمیایی متفاوت با سایر عناصر، در یک خوشه جدا، قرار گرفته است. رابطه بین این پارامترها در ماتریس همبستگی نیز نزدیک

بررسی تحلیل عاملی پارامترهای کیفی آب

برای بررسی و تحلیل پارامترهای کیفیت آب از ضرایب ماتریس همبستگی و نمودار خوشه‌ای استفاده شد. رابطه همبستگی بین پارامترهای مختلف آب حوضه رودخانه زیارت در جدول (۶) و دندروگرام حاصل از تحلیل خوشه‌ای پارامترهای کیفی شامل یون‌های اصلی در شکل (۳) ارائه شده است. با توجه به جدول (۶)، پارامتر TDS با EC رابطه بسیار قوی دارد. همبستگی بین یون‌های TDS و EC، ۱۰۰ درصد می‌باشد که همبستگی خوب این دو متغیر را نسبت به یکدیگر نشان می‌دهد. وجود رابطه قوی بین TDS و EC می‌تواند به دلیل افزایش هدایت الکتریکی توسط املاح موجود در TDS باشد. بررسی نمودار خوشه‌ای حاصل از تجزیه و تحلیل خوشه‌ای و جدول ضرایب ماتریس همبستگی نشان داد که تجزیه و تحلیل خوشه‌ای پارامترهای کیفی آب، نتایج حاصل از ضرایب ماتریس همبستگی را تأیید می‌کند. ضرایب همبستگی نشان‌دهنده عدم همبستگی قوی بین pH و غلظت یون‌های اصلی است. در نتیجه pH کنترل‌کننده اصلی غلظت یون‌ها نیست. EC و TDS نمونه‌های آب همبستگی بالایی با غلظت سدیم، کلسیم و کلر نشان می‌دهد، در نتیجه یون‌های سدیم، کلسیم و کلر در بالا رفتن EC و TDS نسبت به سایر یون‌ها مؤثرتر هستند. همبستگی سولفات و کلسیم نیز منشأ مشترک آن‌ها از انحلال ژپس را بیان می‌کند. همچنین ارتباط نزدیک بین Mg^{2+} و SO_4^{2-} را می‌توان به استفاده از کودهای آلی و شیمیایی ارتباط داد. رابطه همبستگی بالا بین Cl^- با K^+ می‌تواند به دلیل وجود هالیت (KCl) در آب این رودخانه باشد. با توجه به دیاگرام خوشه‌ای (شکل ۳)، غلظت یون‌های اصلی در نمونه‌های آب

می‌دهد. رابطه نزدیک EC با Na، Ca و K نشان می‌دهد که این پارامترها عواملی هستند که هدایت الکتریکی آب را افزایش می‌دهند.

می‌باشد. این ماتریس، بیشترین همبستگی را بین یون‌های EC با Na، Ca و K به میزان ۷۴ درصد، ۶۳ درصد، ۵۷ درصد و یون K با Na و PO₄ به میزان ۸۵ درصد و ۸۶ درصد نشان می‌دهد. این امر، روند افزایشی یون‌های مذکور را نسبت به یکدیگر نشان

جدول ۶- ضرایب همبستگی اسپیرمن یون‌های اصلی در آب رودخانه زیارت

Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	TDS	EC	pH	
											۱	pH
										۱	-۰/۱۶	EC
									۱	۱**	-۰/۱۶	TDS
								۱	۰/۵۷	۰/۵۷	۰/۰۵	K ⁺
							۱	۰/۸۵**	۰/۷۴**	۰/۷۴**	۰/۱۲	Na ⁺
						۱	-۰/۲۱	۰/۰۳	-۰/۵۶	-۰/۵۶	۰/۱۶	Mg ²⁺
					۱	۰/۸۴**	۰/۱۷	-۰/۰۵	۰/۶۳*	۰/۶۳*	-۰/۲۹	Ca ²⁺
				۱	-۰/۲۹	۰/۰۷	۰/۶۶*	۰/۸۶**	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۱	PO ₄ ²⁻
			۱	۰/۳۶	-۰/۱۴	-۰/۱۵	۰/۳۵	۰/۱۶	۰/۲	۰/۲	۰/۰۴	NO ₃ ⁻
		۱	-۰/۲۹	۰/۱۱	-۰/۱۴	۰/۳۱	۰/۴۹	۰/۳۹	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۲۲	HCO ₃ ⁻
	۱	۰/۰۶	-۰/۲۳	-۰/۳۲	۰/۶*	-۰/۵۱	-۰/۰۳	-۰/۲۲	۰/۳۴	۰/۳۴	-۰/۴	SO ₄ ²⁻
۱	-۰/۱۲	۰/۵۲	۰/۳	۰/۶۸*	۰/۱۳	-۰/۱۷	۰/۹۸**	۰/۸۸**	۰/۷۲*	۰/۷۲*	۰/۱۴	Cl ⁻

** همبستگی در سطح ۹۹ درصد و * همبستگی در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار است.

نشان‌دهنده قرارگیری اکثر ایستگاه‌ها در طبقه کیفی بد می‌باشد؛ به طوری که کیفیت آب بر اساس این شاخص در ایستگاه‌های بالادست، متوسط و در ایستگاه‌های میانی و پایین‌دست، بد است. مطابق شکل (۴)، بیشترین مقدار این شاخص مربوط به ماه اردیبهشت در ایستگاه S₁ به میزان ۵۵ و کمترین مقدار آن به میزان ۳۵ در ایستگاه S₆ و در تیرماه است. از نظر شاخص NSFQI، ایستگاه‌های S₃، S₄، S₅ و S₆ از نظر کیفی در تمام طول سال در محدوده بد قرار می‌گیرد. با توجه به شکل (۴)، می‌توان نتیجه گرفت که بدترین وضعیت سال در همه ایستگاه‌ها، تیرماه می‌باشد و میزان شاخص NSFQI در کلیه ایستگاه‌ها در فصل بهار از فصل تابستان بالاتر بوده و با توجه به اینکه در فصل تابستان، فعالیت‌های کشاورزی و فعالیت‌های تفریحی بیشتر بوده، کیفیت آب تحت تأثیر قرار گرفته و باعث کاهش میزان شاخص کیفیت آب می‌شوند. همچنین مشاهده می‌شود که کیفیت آب ایستگاه‌های S₁ و S₂ در محدوده بد تا متوسط قرار می‌گیرد. با توجه به شکل (۴)، حداکثر میانگین شاخص کیفیت آب NSFQI در طول نمونه‌برداری در بالادست‌ترین ایستگاه (S₁) به میزان ۵۱/۵ و حداقل میانگین این شاخص به میزان ۳۸/۵ در ایستگاه S₆ می‌باشد. همان‌طور که در شکل (۴) نشان داده شده است، در ایستگاه S₁ میزان شاخص در اردیبهشت‌ماه از ماه‌های

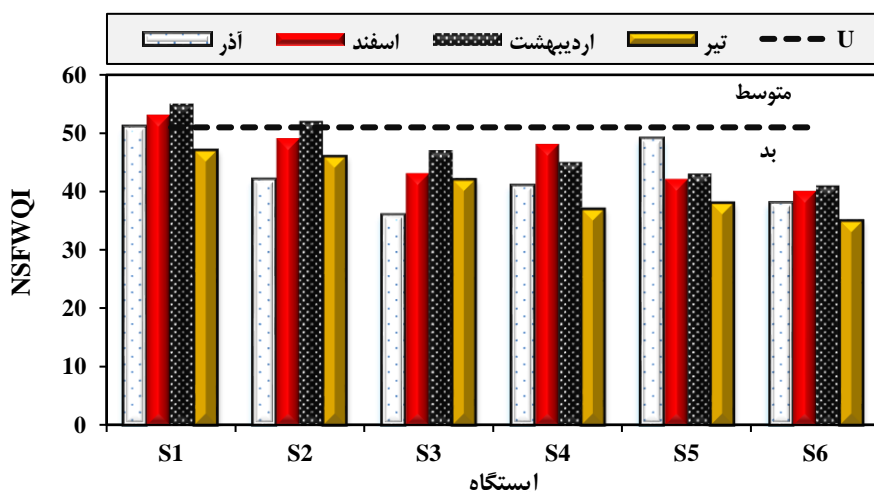
(2019) Namdari and Hoshmandzadeh در تحلیل

آماري کیفیت آب رودخانه کارون در بازه زمانی سال‌های ۱۳۴۶ تا ۱۳۹۵ در ایستگاه آب‌سنجی ملاتانی بیان داشتند که Cl و Na یون‌های غالب بر TDS بوده و در این دوره آماری مورد مطالعه، EC و TDS روند افزایشی داشته است که سبب کاهش کیفیت آب رودخانه کارون شده‌اند. (2018) Neissi and Tishehzan در ارزیابی کیفیت آب رودخانه دز با استفاده از تحلیل همبستگی و تحلیل خوشه‌ای نشان دادند بین متغیرهای فیزیکی و شیمیایی رودخانه، رابطه معنی‌داری وجود دارد و متغیرهای اصلی تعیین‌کننده کیفیت آب رودخانه دز EC، SO₄، pH و دما هستند اما در تجزیه و تحلیل متغیرهای کیفی آب رودخانه کارون بر اساس جدول ضرایب همبستگی، (2019) Namdari and Hoshmandzadeh گزارش کردند که پارامتر pH ارتباط معنی‌داری با متغیرهای شیمیایی آب نداشته و نیز ارتباط معنی‌داری بین TDS و کاتیون کلسیم وجود دارد.

مقدار شاخص کیفیت آب NSFQI برای هر ماه در ایستگاه‌های مورد بررسی، به‌طور جداگانه محاسبه شد. نتایج حاصل از محاسبه شاخص NSFQI برای نمونه‌های آب رودخانه زیارت نشان داد که دامنه میزان این شاخص بین ۳۵ تا ۵۵ (بازه کیفی بد تا متوسط) با میانگین ۴۴/۱ (طبقه بد) است که

جراحی بیان کردند میانگین شاخص کیفیت آب NSFQI، ۴۶/۵ بوده و بر این اساس تمامی ایستگاه‌های نمونه‌برداری از لحاظ طبقه‌بندی کیفیت آب، در رده بد قرار دارند. *Kazemi et al.* (2018) در ارزیابی کیفیت آب در ایستگاه‌های مختلف رودخانه لنگرودخان بیان کردند، حداکثر شاخص کیفیت آب NSFQI در ایستگاه بالادست به میزان ۶۳ و حداقل مقدار این شاخص با عدد ۵۶ در ایستگاه پایین‌دست می‌باشد. آن‌ها همچنین نتیجه گرفتند با توجه به شاخص NSFQI، کیفیت آب رودخانه در فصل زمستان نسبت به تابستان وضعیت بهتری دارد به طوری که مقدار متوسط شاخص کیفیت آب در فصل تابستان با عدد ۴۲/۸۵ نسبت به این شاخص در فصل زمستان که مقدار ۵۹/۴۹ می‌باشد، کاهش یافته است. در پژوهشی پیرامون تحلیل کیفی آب رودخانه زیارت که توسط *Ghorbani et al.* (2016) با کاربرد شاخص کیفی NSFQI صورت گرفت، این نتیجه‌گیری را به عمل آوردند اعدادی با دامنه ۵۹-۳۸ (بازه کیفی بد تا متوسط) با میانگین ۴۸/۵ (طبقه بد) که بیانگر شرایط کیفی ایستگاه‌های نمونه‌برداری پارامترهای کیفی آب در دوره آماری بهار و تابستان سال ۱۳۹۱ می‌باشد، حاکی از وجود شرایط متوسط تا بد کیفیت آب آن رودخانه می‌باشد.

دیگر بیشتر می‌باشد، ولی میزان این اختلاف شاخص، زیاد نبوده چرا که ایستگاه S₁ در بالادست رودخانه قرار دارد و روند کیفی آن در طول زمان، روند یکنواختی می‌باشد. بر اساس شکل (۳)، مشخص می‌شود که محدوده شاخص کیفیت آب در ایستگاه S₃ در گروه بد می‌باشد و در ماه اردیبهشت میزان شاخص به بیشترین میزان خود به مقدار ۴۷ رسیده و کمترین میزان شاخص در آذرماه برابر با ۳۶ می‌باشد. آب رودخانه پس از عبور از ایستگاه S₄ تا رسیدن به ایستگاه S₅ دچار خودپالایی شده و در نتیجه شاخص کیفیت آب ایستگاه S₅ در آذرماه نسبت به ایستگاه بالایی (S₄) کمی افزایش یافته است. در ایستگاه S₅ بیشترین میزان شاخص NSFQI مربوط به آذرماه با مقدار ۴۹ و کمترین میزان شاخص مربوط به تیرماه با مقدار ۳۸ می‌باشد. با توجه به تفریحی و گردشگری بودن منطقه، شاخص کیفیت آب به ویژه در ایام تعطیلات (تیرماه) به کمترین مقدار خود در ایستگاه S₆ رسیده و هرچه به سمت نیمه دوم سال نزدیک می‌شویم، شاخص کیفیت آب در این ایستگاه افزایش می‌یابد. کمترین میزان شاخص NSFQI این ایستگاه در تیرماه به مقدار ۳۵ و بیشترین میزان این اردیبهشت‌ماه به مقدار ۴۱ است که در محدوده بد قرار می‌گیرد. *Zohrabi et al.* (2015) در ارزیابی کیفی آب رودخانه



شکل ۴- مقایسه میزان شاخص NSFQI در ایستگاه‌های رودخانه زیارت در ماه‌های مختلف

ایستگاه‌های پایین‌دست در گروه بد گزارش کردند. با توجه به نتایج تجزیه و تحلیل‌های شاخص کیفیت آب، می‌توان نتیجه گرفت که یک روند کاهشی در کیفیت آب رودخانه از ایستگاه بالادست به طرف پایین‌ترین ایستگاه رودخانه زیارت در ماه‌های مختلف دیده می‌شود و این نتیجه‌گیری با یافته‌های مطالعات صورت گرفته همچون *Zohrabi et al.* (2015) در بررسی کیفیت آب رودخانه جراحی، *Shokoohi and Modaberi* (2018) در ارزیابی پارامترهای کیفیت آب رودخانه پسیخان و *Gholizadeh*

Noori et al. (2019) در بررسی شاخص کیفیت آب رودخانه سفیدرود بیان کردند میانگین شاخص NSFQI در ایستگاه‌های مختلف در فصول خشک با دامنه ۴۷/۴ تا ۵۵/۷ و فصول مرطوب با مقدار عددی ۶۰/۶ تا ۷۰/۲، در محدوده متوسط تا بد طبقه‌بندی می‌شود. *Shokoohi and Modaberi* (2018) کیفیت آب رودخانه پسیخان را بر اساس شاخص NSFQI را در ایستگاه‌های بالادست نمونه‌برداری در رده متوسط و در

بیشتری TDS و کدورت در ایستگاه‌ها قابل مشاهده است زیرا فرسایش خاک‌های بستر و اطراف در پی جریانات سریع، زیاد است (Mousavi, 2012؛ Ebrahimi et al., 2014) و علاوه بر حمل مقداری زیادی رسوب، سبب زیاد شدن غلظت املاح محلول در آب می‌شود و به تبع آن گل آلودگی صورت می‌گیرد (شکل ۵). در این راستا Neissi and Habibi Ardabili et al., (2018) و Tishehzan (2018) دریافتند تغییر کاربری اراضی در مناطق رودخانه و تخریب مراتع یکی دیگر از عوامل مهم و تأثیرگذار بر فرسایش و هودیدگی خاک و در نتیجه بر کیفیت آب می‌باشد. یکی از عوامل اصلی آلودگی رودخانه زیارت، فرسایش خاک‌های اطراف رودخانه می‌باشد. به نظر می‌رسد در منطقه مورد مطالعه، تغییر کاربری و تخریب هر چه بیشتر خاک، باعث افزایش یون‌های اصلی در آب رودخانه زیارت شده است. این نتایج با یافته‌های Naderi et al., 2018 و Neissi and Tishehzan (2018) همسو می‌باشد.



شکل ۵- جریان سیلابی و گل آلودگی آب رودخانه زیارت در اردیبهشت سال ۱۳۹۶ (منبع: نویسندگان)

مطابق مطالعات صورت گرفته، در حوضه آبخیز زیارت، عوامل اکوزئومورفولوژیکی مانند میزان دبی، رسوب و شیب رودخانه، در وجود داشتن یا نداشتن منابع آلاینده و تغییرات فصلی و مکانی کیفیت آب تأثیر مهمی دارند (Mousavi, 2012؛ Heydarpour, Misaghi et al., 2017؛ Singh and Kamal, 2014؛ and Jamshidi, 2018). یکی از عوامل بسیار مهمی که بر آلودگی رودخانه زیارت اثر مستقیم و قابل ملاحظه‌ای دارد، دبی آب رودخانه و تغییرات زمانی و مکانی آن در طول مسیر است. چنانچه مقدار آلاینده‌هایی که به رودخانه تخلیه می‌شوند، ثابت باشد، هر چقدر دبی بیشتر باشد، غلظت آلاینده‌ها در رودخانه کمتر می‌شود (Hohensinner et al., 2018؛ Rahmati et al., 2018). کاهش یا افزایش بارندگی‌های جوی و تغییر دبی جریان، روی شدت و ضعف تغییرپذیری فصلی پارامترهای کیفی آب اثر می‌گذارد (Ehteshami et al., 2014). کاهش میزان بارندگی، افزایش

and Alinejad (2018) در بررسی تغییرات مکانی پارامترهای کیفیت آب رودخانه زرین‌گل همخوانی دارد. Dezfouli et al., (2017) در مطالعه‌شان نتیجه گرفتند که کلی‌فرم مدفوعی، کل مواد جامد و کدورت، موثرترین پارامترها در مشخص کردن کلاس کیفی آب NSFQI می‌باشد. (Kazemi et al., 2018) و Gholizadeh and Alinejad (2018) در مطالعه‌ای که به بررسی کیفیت آب رودخانه پرداختند، بیان کردند که از بالادست به پایین‌دست رودخانه، سطوح آلودگی افزایش و کیفیت آب کاهش می‌یابد و افزایش میزان تغییرات فیزیکی و شیمیایی آب در طول رودخانه را بر کیفیت آب مؤثر دانستند. تغییرات شاخص NSFQI، تفاوت معنی‌داری ($P < 0.01$) را در فصول مختلف سال نشان داد. بر اساس این شاخص، کیفیت آب رودخانه زیارت در فصل بهار در ایستگاه‌های بالادست متوسط و در سایر فصول و ایستگاه‌های پایین‌دست، در طبقه بد قرار گرفته است. Ebrahimi et al., (2014) با محاسبه شاخص کیفیت آب NSFQI نمونه‌های آب رودخانه زیارت در خردادماه سال ۹۲، گزارش کردند نمونه‌های آب این رودخانه در رده بد قرار دارند. Noori et al., (2019) نتایج مشابهی را در پژوهش خود گزارش داده‌اند که وضعیت کیفیت آب رودخانه سفیدرود بر اساس شاخص NSFQI در فصول مرطوب بهتر از فصول خشک می‌باشد که نتایج کار یاد شده، در مطالعه حاضر تأیید می‌شود. مطابق با نتایج مطالعات (Dezfouli et al., 2017؛ Misaghi et al., 2017؛ Shokoochi and Modaberi (2018) و Mrozinska et al., (2018) شاخص NSFQI تحت تأثیر ۹ پارامتر قرار دارد که کاهش آن در امتداد مسیر رودخانه، بیشتر به علت بالا بودن نیترات و فسفات، افزایش کدورت و کلی‌فرم مدفوعی است. نتایج تحقیق Zohrabi et al., (2015) نشان داد که وضعیت کیفیت آب رودخانه جراحی از نظر شاخص NSFQI، از بالادست به سمت پایین‌دست نامناسب‌تر می‌شود و بحرانی‌ترین وضعیت کیفیت آب رودخانه در دو فصل بهار و تابستان می‌باشد.

بررسی عوامل مؤثر بر مؤلفه‌های کیفیت آب رودخانه

ترکیبات شیمیایی آب به عنوان یکی از مهمترین شاخص‌های منعکس‌کننده ترکیبات رسوب‌یافته مواد در رودخانه در نظر گرفته می‌شود. بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب بر اساس مقایسه عوامل کلیدی نشان داد که کیفیت آب در ایستگاه‌های بالادست و میانی رودخانه زیارت نسبتاً مطلوب می‌باشد. با افزایش آبدی رودخانه زیارت در ماه‌های اسفند تا فروردین که میزان دبی آب در ایستگاه‌های هیدرومتری نهارخوران و زیارت به بیشترین مقدار خود می‌رسد، مقدار

رودخانه شده است، عنوان کردند. در این راستا، افزایش پارامترهای کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، بی کربنات، سولفات، کلر و کل مواد جامد محلول این نتیجه گیری را به خوبی نشان می دهد. این نتایج با یافته های Shatti and Akhoond-Ali (2018) و Kazemi *et al.*, (2018) همسو می باشد. در حوضه هایی با کاربری کشاورزی و شهری بالا، نسبت به حوضه هایی که این کاربری ها در آن ها کمتر است، میزان pH و شوری آب آن بالاتر است (Chessman and Townsend, 2010).

تحلیل بهبود وضعیت سلامت رودخانه

آب تمیز، برای سلامت گیاهان و حیوانات و کیفیت زندگی انسان ها مهم است. نظارت کامل بر کیفیت آب فقط می تواند از طریق پایش معتبر، واقعی شود (Shatti and Akhoond-Ali, 2018؛ Hohensinner *et al.*, 2018؛ Golshan *et al.*, 2020). برای درک اثراتی که انسان بر محیط زیست داشته، پایش کیفیت آب رودخانه ضروری است، چرا که برخی صنایع به دلیل وجود محدودیت ها، اغلب به صورت نامحسوس و ناگهانی آلاینده ای با غلظت زیاد را وارد رودخانه می کنند (Dahmardan *et al.*, 2018). کنترل و کاهش بار منابع آلاینده حوضه از طریق اعمال بهترین راهکارهای مدیریتی قابل انجام است که شامل مؤثرترین روش ها و یا ترکیبی از روش ها برای کنترل منابع آلاینده نقطه ای و غیر نقطه ای هستند که در سطح حوضه آبخیز قابل انجام است (Fakouri Dekahi *et al.*, 2003؛ Iliopoulou-Georgudaki *et al.*, 2018؛ Jahin *et al.*, 2020؛ Neissi and Tishehzan, 2018). راهکارهای مدیریتی به شکل های سازهای نظیر احداث تصفیه خانه فاضلاب، حوضچه های رسوب گیر، برکه های نگهدارنده و یا فیلتر نواری محافظ و یا غیر سازهای نظیر اصلاح کاربری اراضی، تغییر الگوی کشت و یا آموزش عمومی تقسیم بندی می شوند. افزایش پوشش گیاهی حوضه آبخیز، بازطبیعی سازی و ترمیم مناطقی که پوشش گیاهی آن ها آسیب دیده است، ضروری می باشد (Mrozinska *et al.*, 2018). بیان داشتند پروژه احیاء و بازطبیعی سازی رودخانه کوازا توانسته است آلودگی نیتروژن را به طور قابل توجهی کاهش و غلظت اکسیژن محلول را افزایش دهد. با توجه به تنوع و تعدد منابع آلاینده و متفاوت بودن توان خودپالایی رودخانه ها از جنبه زمانی و مکانی، اعمال استانداردهای کیفیت پساب برای جلوگیری از تخریب کیفیت آب رودخانه ها و حفظ سلامت این زیست بوم ها در همه شرایط کافی نیست. از دهه های اخیر تلاش های گسترده ای برای توسعه استراتژی های مدیریت منابع آب به منظور دسترسی به کیفیت بهتر آن صورت گرفته است (Singh and Kamal, 2014)، که از آن جمله می توان

دما و افزایش میزان املاح در آب نیز عاملی در جهت کاهش اکسیژن محلول در آب است. از دلایل کاهش کیفیت آب در فصل تابستان می توان به افزایش میزان مصرف کود، سموم و بقایای شیمیایی در اثر فعالیت های کشاورزی اشاره کرد. در فصل زمستان به دلیل سرمای هوا، میزان فعالیت های کشاورزی، کاهش یافته و پساب کمتری وارد رودخانه می شود. همچنین Kazemi *et al.*, (2018) و Khadempour and Sayari (2018) بیان کردند میزان بالای بارش نزولات جوی از دلایل بالاتر بودن کیفیت آب در زمستان است که در پژوهش حاضر مورد تأیید قرار می گیرد. از نظر زیست محیطی رودخانه زیارت در طول مسیر خود دارای شرایط مختلفی می باشد. در قسمت های بالادست و میانی، بستر سنگلاخی و قله سنگی بوده، در حالی که در قسمت های پایین دست، حالت شنی و آب سرعت کمی دارد (Mousavi, 2012). فرسایش در قسمت های بستر و حریم رودخانه در معرض سیلاب و اثرات تخریبی آن و رسوبات حمل شده، موجب ناپایداری اکولوژیک در محیط رودخانه شده است (Azizi *et al.*, 2018). به دلیل تفاوت در شرایط محیطی، توان خودپالایی محیط های پذیرنده آلاینده ها متفاوت می باشد. در فصل بهار و زمستان به علت حجم زیاد بارندگی، توان خودپالایی رودخانه ها، به حداکثر خود می رسد و در فصل پاییز این مقدار کاهش می یابد و در فصل تابستان به علت افزایش دما و افزایش میزان آلودگی در اثر افزایش فعالیت های باکتری های تجزیه کننده و همچنین کاهش جریان، توان خودپالایی کاهش می یابد (Heydarpour and Jamshidi, 2018). Ehteshami *et al.*, (2014) نیز نشان دادند که در فصل بهار و تابستان، آب رودخانه های کرخه، دز و کارون از کیفیت پایین و در فصل پاییز و زمستان از کیفیت متوسطی برخوردار می باشند. بررسی سایر مطالعات نشان می دهد افزایش میزان اکسیژن مورد نیاز شیمیایی و میکروبی در مناطق پایین دست در فصول کشاورزی می تواند به دلیل کاهش دبی آب جهت بهره برداری های گوناگون از آن در مزارع و همچنین تبخیر آب باشد (Guettaf *et al.*, 2017؛ Ehteshami *et al.*, 2014). Heydarpour and Jamshidi, 2018. آنچه که مسلم است؛ به دلیل تمرکز مناطق ویلاسازی در اطراف و نزدیک رودخانه زیارت و همچنین تخلیه کردن مصالح ساختمانی و فاضلاب های مناطق مسکونی، تغییر چشم گیری در شاخص های کیفیت آب دیده می شود. (Ghorbani *et al.*, 2016) نیز بیشترین عامل کاهش کیفیت آب رودخانه زیارت در بهار و تابستان ۱۳۹۱ را ورود فاضلاب های ناشی از دامپروری و خانگی، افزایش میزان آلاینده ها، دفع ناصحیح زباله ها توسط گردشگران، ساخت و ساز بالا و نیز وقوع سیلاب های متعدد که باعث افزایش بسیار زیاد کدورت در آب

آمایش سرزمین و مدیریت یکپارچه منابع آب ضروری است. باید توجه داشت پروژه‌های احیاء و بازطبیعی‌سازی می‌تواند به طور مؤثری شرایط طبیعی اکوسیستم‌های رودخانه‌ای را بهبود ببخشد. در این پژوهش کیفیت آب رودخانه زیارت از منظر اکوتومورفولوژیکی از ایستگاه تول‌بنه در حوضه آبخیز کوهستانی تا خروجی (پل سید مسعود) به طول ۱۳/۲ کیلومتر مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به بازدیدهای میدانی در سال ۱۳۹۵-۱۳۹۶، قرارگیری اراضی کشاورزی و کشت محصولات در جهت شیب از یک‌سو و عملیات خاکورزی نامناسب و غیراصولی در فصول دیگر و همچنین نزدیکی اراضی کشاورزی به رودخانه زیارت، عامل تشدید دهنده نرخ فرسایش و بیشترین نقش را در تولید رسوب داشته است و ادامه روند و توسعه آلودگی‌ها، می‌تواند حوضه آبخیز زیارت را از زنجیره استحصال و تأمین آب شرب خارج نماید. این در شرایطی است که با توجه به رشد سریع و چشمگیر شهر گرگان، تأمین آب شرب شهروندان یکی از نگرانی‌های جدی مسئولین استان گلستان می‌باشد. نتایج به‌دست آمده در این تحقیق، شرایط رو به نزول کیفیت آب رودخانه زیارت را به خوبی نشان می‌دهد و توجه بیش از پیش به این اکوسیستم مهم، ضروری به نظر می‌رسد. از نظر طبقه‌بندی شاخص NSFQI در ایستگاه‌های مختلف رودخانه زیارت، ایستگاه S₁ دارای کیفیت متوسط و ایستگاه‌های S₂، S₃، S₄، S₅ و S₆ دارای کیفیت بد بودند. از طرفی کیفیت آب ایستگاه S₁ در ماه اردیبهشت را می‌توان به عنوان مطلوب‌ترین بازه زمانی و مکانی در نظر گرفت و ایستگاه S₆ در تیرماه را به علت داشتن بیشترین غلظت املاح محلول، به عنوان بحرانی‌ترین بازه زمانی و مکانی معرفی کرد. نتیجه دیگر پژوهش حاضر آن است که ضرایب وزنی پارامترهای کیفی در شاخص NSFQI، تطابق مناسبی با میزان اثرگذاری آن‌ها در تعیین کیفیت آب رودخانه زیارت دارد. نزدیکی به روستا، تخلیه فاضلاب روستایی به رودخانه و همچنین ورود رواناب‌های کشاورزی ناشی از کاربرد کودهای شیمیایی و حیوانی، از مهم‌ترین عواملی هستند که باعث کاهش شاخص NSFQI رودخانه زیارت شده است. این رواناب‌ها معمولاً دارای مقادیر نسبتاً بالایی از مواد مغذی به خصوص نیترات، فسفات و همچنین کلی‌فرم مدفوعی هستند. با این وجود می‌توان بیان کرد که در ایستگاه‌های بررسی شده، آب این رودخانه را نمی‌توان به‌طور مستقیم به منظور شرب استفاده کرد زیرا برای مصرف شرب، نیاز به تصفیه پیشرفته دارد. در بازه‌های پایین دست منطقه مورد مطالعه، دارای حداکثر استرس‌های محیطی و حداقل توان خودپالایی است و می‌تواند به عنوان محدوده‌ای که دارای وضعیت نامطلوب اکوتومورفولوژی است، معرفی شود. بر همین اساس در مقیاس مکانی، کیفیت آب

به اجرای طرح‌های آبخیزداری بر پایه آمایش کاربری و کنترل منابع نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای آلاینده‌ها و کاهش یا حذف آن‌ها قبل از ورود به شبکه آبراهه‌ها و در نهایت پیکره‌های آبی بزرگتر در پایین دست حوضه اشاره کرد (Sharifinia et al., 2017). همچنین تغییر پارامترهای هیدرولوژیکی رودخانه تابع شرایط هیدرولوژیکی و هیدرولوژیکی رودخانه بوده (Mousavi, 2012) و می‌توان از عوامل هیدرولوژیکی و هیدرولوژیکی برای مدیریت آلودگی رودخانه استفاده نمود (Hohensinner et al., 2018). چنانچه بتوان در مقاطعی از زمان که غلظت مواد آلاینده در آب از حد متعارفی فراتر می‌رود، دبی رودخانه را افزایش داد، از یک‌سو سرعت آب افزایش یافته و میزان اکسیژن بیشتری بر اثر افزایش سطح تماس در جریان محلول شده و در نتیجه خودپالایی رودخانه افزایش می‌یابد (Dahmardan et al., 2018)؛ Heydarpour and Jamshidi, 2018) و از سوی دیگر غلظت مواد آلاینده در واحد حجم کاهش یافته، که این منجر به کاهش آلودگی آب رودخانه می‌شود. در شرایط بحرانی (حداقل دبی و حداکثر آلودگی) که غلظت اکسیژن محلول به پایین تر از حد مجاز می‌رسد، هوادهی مصنوعی به رودخانه زیارت را می‌توان توسط پمپ‌های شناور در بخشی از رودخانه که محل تخلیه فاضلاب‌های خانگی، مراکز تفریحی و دامپروری می‌باشد، انجام داد. برای جلوگیری از نشت فاضلاب به آب رودخانه مخصوصاً در مراکز جمعیتی و گردشگری که در حاشیه رودخانه قرار دارند، باید از سپتیک تانک‌ها، برای جمع‌آوری فاضلاب استفاده نمود. همچنین برای مجهز شدن و فعالیت بسیاری از رستوران‌ها و مراکز تفریحی، برنامه‌ریزی و مطالعات اثرات محیط‌زیستی صورت گرفته و اجرایی شود. از طرفی گسترش شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب روستایی و نظارت بر تخلیه فاضلاب‌های روستا و دامپروری‌های سنتی حاشیه رودخانه و تاسیس تصفیه‌خانه جهت رساندن کیفیت فاضلاب‌ها به حد مجاز تخلیه به آب‌های سطحی، نقش زیادی در مدیریت آلودگی رودخانه زیارت می‌تواند ایفا کند.

نتیجه‌گیری

حوضه آبخیز، بخش اساسی مدیریت محیط‌زیست رودخانه است. ارزیابی کیفیت منابع آب به‌خصوص منابع آب آشامیدنی در سال‌های اخیر همزمان با کاهش سرانه منابع آب در دسترس از اهمیت زیادی برخوردار است. استفاده بهینه از این منابع نیازمند روش‌های مناسب پایش و حفظ کیفیت آن‌ها است. از این رو پایش رودخانه، اندازه‌گیری بلندمدت و استاندارد شده و مشاهده محیط آبریان، برای تعیین شرایط و کیفیت دلخواه به منظور نگهداری از تنوع زیستی آبریان و حفظ اجزای مهم اکولوژیکی، در برنامه‌های

مهم از نظر کیفیت آب و شناسایی منابع آلوده‌کننده، رفتار سیستم در بازه‌های مختلف و در نظر گرفتن بازه‌های بحرانی، امکان مشخص شدن نقاط کلیدی برای نصب و احداث ایستگاه‌های پایش فراهم می‌شود. اما نکته قابل تأمل این است که شرایط اکوزئومورفولوژیکی و جریان‌های هیدرولوژیکی و پویایی‌های ژئومورفولوژیکی، عامل اصلی تعادل فرآیندهای مختلف هیدرولیکی-زیستی می‌باشد و به طور قابل توجهی در مطلوبیت زیستگاه رودخانه مؤثر هستند و لذا با به‌کارگیری اصول و مفاهیم مدیریت اکوسیستمی در حفظ فرآیندهای بیومورفولوژیکی و اکولوژیکی، می‌توان سلامت رودخانه را تضمین کرد.

سپاس‌گزاری

از همکاری و مساعدت شرکت آب منطقه‌ای و اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان گلستان در جهت فراهم‌آوری آمار و اطلاعات مورد نیاز برای اجرای این پژوهش، صمیمانه تقدیر و تشکر می‌شود. همچنین از نقطه نظرات و پیشنهادهای داوران گرامی و هیئت تحریریه مجله تحقیقات آب و خاک ایران جهت بهبود و ارتقاء محتوای علمی این پژوهش، سپاس‌گزاری می‌شود.

ایستگاه S₁ در فصل بهار را می‌توان به عنوان مطلوب‌ترین بازه مکانی و زمانی در نظر گرفت و ایستگاه S₆ در فصل تابستان را به علت داشتن بالاترین میزان غلظت املاح محلول و هدایت الکتریکی در پی تقلیل شیب و دبی رودخانه، به عنوان بحرانی‌ترین بازه زمانی و مکانی کیفیت آب رودخانه زیارت در نظر گرفت که در آن افزایش بار آلودگی‌ها، موجب ایجاد حداقل توان خودپالایی شده است.

مطابق نتایج تحقیق حاضر در رودخانه زیارت، همبستگی بین یون‌های EC و TDS بسیار قوی بوده و نیز وجود رابطه معنی‌دار بین سایر یون‌ها (Na، Cl، K، SO₄ و Mg) با Cl مشاهده می‌شود. اما دیگر یافته‌های این پژوهش گویای این مطلب است که آلودگی در بازه پایین‌دست رودخانه زیارت از بقیه ایستگاه‌های بالادست به دلیل تغییرات شرایط زیستی و توسعه فعالیت‌های کشاورزی و مراکز گردشگری در این منطقه بیشتر بوده است. مهم‌ترین تهدید برای اکوسیستم‌های رودخانه‌ای مخصوصاً در قسمت پایین‌دست، آلودگی ورودی از بازه‌های بالادست به درون رودخانه می‌باشد که البته در رودخانه‌های کوهستانی مانند رودخانه زیارت که قابلیت پذیرایی از توریست‌ها را هم دارند، ساخت‌وساز مراکز گردشگری نیز مزید بر علت می‌شود. با شناخت سیستم رودخانه زیارت، اجزاء و مؤلفه‌های

REFERENCES

- Alishiri, H., Sajadifar, S.H. and Mohammadbagheri, A. (2017). Validity of the Environmental Kuznets Curve Hypotheses in Water Pollution A Case Study. *Journal of Water and Wastewater*, 28(1), 57-64. (In Farsi)
- Azizi, M., Mohajerani, A. and Akhavan, M. (2018). Simulating and Prediction of Flow Using by WetSpa Model in Ziyarat River Basin, Iran. *Open Journal of Geology*, 8(3), 298-312.
- Bostanmaneshrad, F., Partani, S., Noori, R., Nachtnebel, H.P., Berndtsson, R. and Adamowski, J. F. (2018). Relationship between water quality and macro-scale parameters (land use, erosion, geology, and population density) in the Siminehrood River Basin. *Science of the Total Environment*, 639, 1588-1600.
- Brown, R.M., McClelland, N. I., Deininger, R.A. and Tozer, R.G. (1970). Water quality index - do we dare. *Water and Sewage Works*, 117(14), 339-343.
- Chessman, B.C. and Townsend, S.A. (2010). Differing effects of catchment land use on water chemistry explain contrasting behaviour of a diatom index in tropical northern and temperate southern Australia. *Ecological Indicators*, 10(3), 620-626.
- Dahmardan, A., Mazaheri, M., and Mohammad vali Samani, J. (2018). Identification of location, activity time and intensity of the source of the unclear pollutant in the river. *Journal of environmental hazards Management*, 5(1), 35-52.
- (In Farsi)
- Dezfouli, D., Hosaini Moghari, S.H. Ebrahimi, K. and Araghi Nejad, S. (2017). Water Quality Classification Based on Minimum Qualitative Parameter (Case Study: Karun River). *Journal of Natural Environmental (Iranian Journal of Natural Resources)*, 70(3), 586-595. (In Farsi)
- Ebadi, A.G. and Hisoriev, H. (2017). Metal pollution status of Tajan River-Northern Iran. *Toxicological and Environmental Chemistry*, 99(9-10): 358-1367.
- Ebrahimi, Z., Forghani, G. Nad Kaboli, A.R. (2014). Hydrochemistry and water quality of Ziarat River for drinking and agricultural purposes in Gorgan, Golestan province. *National Conference on Environmental Research of Iran*. (In Farsi)
- Effendi, H. (2016). River water quality preliminary rapid assessment using pollution index. *Procedia Environmental Sciences*, 33, 562-567.
- Ehteshami, M., Biglarijoo, N. and Salari, M. (2014). Assessment and quality classification of water in Karun, Dez and Karkheh Rivers. *Journal of River Engineering*, 2.8, 23-30.
- EPA. 2018. Edition of the drinking water standards and health advisors. U.S. *Environmental Protection Agency Washington, DC*.
- Fakouri Dekahi, B., Mazaheri, M. and Mohammad vali Samani, J. (2018). Evaluation of Karun River Water Salinity Reduction Strategies Using

- Management Scenarios. *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, 5(2), 1-10. (In Farsi)
- Gholizadeh, M. and Alinejad, M. (2018). Assessment of spatial variability of some parameters affecting three water quality of Zarin Gol River in Golestan Province. *Environmental Sciences*, 16(1), 111-126. (In Farsi)
- Ghorbani, R., Hajimoradlou, A.M., Hedayati, A.A., Molaie, M., Naeimi, A.A., Norozi, N. and Vesaghi, M.J. (2016). Assessment of the health status of the Ziyarat Stream based on NSFQI quality index (Golestan Province). *Journal of Aquaculture Exploitation and Breeding*, 2(4), 111-122. (In Farsi)
- Golshan, M., Dastoorpour, M., and Birgani, Y.T. (2020). Fuzzy environmental monitoring for the quality assessment: Detailed feasibility study for the Karun River basin, Iran. *Groundwater for Sustainable Development*, 10, 100324.
- Guettaf, M., Maoui, A. and Ihdene, Z. (2017). Assessment of water quality: a case study of the Seybouse River (North East of Algeria). *Applied Water Science*, 7(1), 295-307.
- Habibi Ardabili, N., Masnavi, M.R. and Malek Mohammadi, B. (2018). Elaboration of Strategies for Organizing and Ecological Design of Inland Rivers with Emphasis on Flood Control (Case Study: Ziyarat River of Gorgan). *Journal of Environmental Studies*, 43(4), 609-629. (In Farsi)
- Heydarpour, M. and Jamshidi, S. (2018). Determination of total permitted river pollution and allocation of seasonal variations of pollution based pollution model for standardization and multi-parameter monitoring of water quality. *Journal of Environmental Studies*, 44 (3), 519-531. (In Farsi)
- Hohensinner, S., Hauer, C. and Muhar, S. (2018). River Morphology, Channelization, and Habitat Restoration. In *Riverine Ecosystem Management* (pp. 41-65). Springer, Cham.
- Hussain, M., Ahmed, S.M. and Abderrahman, W. (2008). Cluster analysis and quality assessment of logged water at an irrigation project, eastern Saudi Arabia. *Journal of Environmental Management*, 86(1), 297-307.
- Iliopoulou-Georgudaki, J., Kantzaris, V., Katharios, P., Kaspiris, P., Georgiadis, T. and Montesantou, B. (2003). An application of different bioindicators for assessing water quality: a case study in the rivers Alfeios and Pineios (Peloponnisos, Greece). *Ecological indicators*, 2(4), 345-360.
- Jahin, H. S., Abuzaid, A. S. and Abdellatif, A. D. (2020). Using multivariate analysis to develop irrigation water quality index for surface water in Kafr El-Sheikh Governorate, Egypt. *Environmental Technology & Innovation*, 17, 100532.
- Kang, H., Zhang, A., Cai, T.T. and Small, D.S. (2016). Instrumental variables estimation with some invalid instruments and its application to Mendelian randomization. *Journal of the American Statistical Association*, 111(513), 132-144.
- Kazemi, P., Shariati, F. and Keshavarz Shokri, A. (2018). Langroud Khan River water quality assessment using NSFQI qualitative indicators. *Environmental Sciences*, 16(3), 65-78. (in Farsi)
- Khadempour, F. and Sayari, N. (2018). Study the qualitative Canada of the Sardabrood River in Mazandaran with the water use the qualitative indicator of Canada. *Journal of Ecohydrology*, 5(1), 49-58. (in Farsi)
- Matta, G., Srivastava, S., Pandey, R.R. and Saini, K.K. (2017). Assessment of physicochemical characteristics of Ganga Canal water quality in Uttarakhand. *Environment, development and sustainability*, 19(2), 419-431.
- Misaghi, F., Delgosha, F., Razzaghamanesh, M. and Myers, B. (2017). Introducing a water quality index for assessing water for irrigation purposes: A case study of the Ghezel Ozan River. *Science of the Total Environment*, 589, 107-116.
- Moore, W.C., Meyers, D.A., Wenzel, S.E., Teague, W.G., Li, H., Li, X. and Gaston, B. (2010). Identification of asthma phenotypes using cluster analysis in the Severe Asthma Research Program. *American journal of respiratory and critical care medicine*, 181(4), 315-323.
- Mousavi, S.M. (2012). Application of Rosgen classification the Ziarat watershed, Gorgan. *The Journal of American Science*, 8(4), 184-189.
- Mrozinska, N., Glinska-Lewczuk, K., Burandt, P., Kobus, S., Gotkiewicz, W., Szymanska, M., Bakowska, M. and Obolewski, K. (2018). Water Quality as an Indicator of Stream Restoration Effects—A Case Study of the Kwacza River Restoration Project. *Water*, 10(9): 1-19.
- Naderi, M.H., Zakerinia, M. and Salarijazi, M. (2019). Aquatic Ecosystems Management and Restoration of Rivers through Implementation of the Environmental Flow Regime. *Journal of Ecohydrology*, 6(3), 719-737. (In Farsi)
- Naderi, M.H., Zakerinia, M. and Salarijazi, M. (2018). Evaluation of the Influential Factors on Water Quality Components of Qarasoo River in Golestan Province. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 5(12), 1240-1252. (in Farsi)
- Namdari, H. and Hoshmandzadeh, M. (2019). Trend and Statistical Analysis of Water Quality of Karun River at Molasani Hydrometric Station. *Journal of Wetland Ecobiology*. 1(11), 5-22. (in Farsi)
- Neissi, L. and Tishehzan, P. (2018). Dez River Water Quality assessment by using multivariate statistical methods. *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 9(33), 139-150. (in Farsi)
- Noori, R., Berndtsson, R., Hosseinzadeh, M., Adamowski, J.F. and Abyaneh, M.R. (2019). A critical review on the application of the National Sanitation Foundation Water Quality Index. *Environmental Pollution*, 244: 575-587.
- Nosrati, K., Rajabi Eslami, A. and Sayadi, M. (2018). The Analysis and Classification of Water Quality Using a Multivariate Static Technique in the City of Mallard, Tehran. *Journal of Hydrogeomorphology*, 4(15), 171-191. (In Farsi)
- Rahmati, H., Boroomand-Nasab, S., Izadpanah, Z. and

- Albaji, M. (2018). Detecting Abrupt and Gradual Changes in Water Quality Parameters at the Downstream Stations of Gotvand-Olia Dam. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 2(12), 458-471. (In Farsi)
- Sharifinia, M., Adeli, B. and Nafarzadegan, A.R. (2017). Evaluation of water quality trends in the Maroon River Basin, Iran, from 1990 to 2010 by WQI and multivariate analyses. *Environmental Earth Sciences*, 76(22), 781.
- Shatti, S. and Akhoond-Ali M.A. (2018). Analysis the Effects of Recent Hydrological Drought on Karun River Salinity. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 5(12), 1189-1202. (In Farsi)
- Shokoohi, A.R. and Modaberi, H. (2018). Evaluating and Comparing the Sensitivity of NSFQI and IRWQISC Models to Water Quality Parameters. *Journal of Iran-Water Resources Research*, 14(5), 118-132. (In Farsi)
- Singh, G. and Kamal, R. K. (2014). Application of water quality index for assessment of surface water quality status in Goa. *Current World Environment*, 9(3), 994-1000.
- WHO. (2011). Guidelines for drinking-water quality, 4th Edition. *World Health Organization*.
- Zohrabi, N., Alizadeh, E., Hasounizadeh, H. and Hosseinzadeh, S.M. (2015). Zoning Quality of Jarahi River using NSFQI and GIS. *Jouranl of Wetland Ecobiology*, 6 (4), 31-40.(In Farsi)