

Evaluation of water quality in the Chalus River using the statistical analysis and water quality index (WQI)

Reza Khalili¹, Hossein Montaseri^{*2}, Hamed Mottaghi³, Mohammad Jalili³

¹Graduated M.Sc. Student, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Yasouj University, Yasouj, Iran

²Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Yasouj University, Yasouj, Iran

³M.Sc. Student, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Yasouj University, Yasouj, Iran

Abstract

Introduction

River pollution is one of the serious risks to the environment, water systems, and human health. Regular monitoring and protection of river water quality is therefore vital to meet environment, and human needs. The increasing trend to fresh water highlights the management of river water resources as a crucial resource. Meanwhile, population growth, irregular urbanization, industrialization, overuse of chemicals materials in agriculture (such as fertilizers and pesticides), discharge of domestic sewage, and solid waste into watercourses, sand mining in riverbeds, water transfer diversion, has seriously challenged the rivers regimes and river ecosystems.

Materials and Methods

The effect of agricultural activities on water quality in the Chalus River was examined. Sampling was conducted and analyzed in surface water at three points from October 2019 to September 2020. Three surface water samples were collected from each station and water quality variables were analyzed. The following water quality parameters have been analysed in the current study; temperature, pH, conductivity, soluble solids, suspended solids, turbidity, salinity, reduction of oxidation potential, alkali, total hardness. Also, oxygen demand parameters of dissolved oxygen, oxygen saturation, biological oxygen requirement were examined. Meanwhile, the nutrient-related water quality parameters include N-NH₄, N-NO₂, N-NP₃, total phosphate, total phosphorus are also evaluated. The heavy metals, inorganic pollution parameters, and suspended chlorophyll content of biological parameters were the other investigated parameters. Multiple statistical methods were used for the results of analyzing the parameter including principal component analysis (PCA), Pearson correlation Coefficient (PCC), and cluster analysis (CA). In addition, water quality index (WQI) was used for determining quality of surface water, hazard quotient (HQ), and hazard index (HI) for evaluating the public health risk for heavy metals.

Results and Discussion

The water quality of Chalous River has decreased from S1 station to downstream. The water quality index based on public health risk assessment showed that station S1 water could be used as drinking water and did not pose a potential risk to the health of adults and children. However, the water quality at Station S2, and especially Station S3, cannot be used for drinking puprpos, due to improper quality and may poses potential risks to the health of adults and children. The station S1 with an average of 15.62 categorized in the excellent water quality category. Meanwhile, the station S2 and S3 with an average of 25.5, and 49.8 assigned as good water quality status, respectively. The amount of As, Cd, Co, Ni, Pb was very small at the studied stations. The hazard coefficient (HQ) and hazard index (HI) values calculated to determine the risk of heavy metal effects on health were identified as non-carcinogenic. HI values of heavy metals calculated for adults and children were Mn> Cu> Al> Zn> Fe, respectively. The manganese and copper are more involved in non-carcinogenic health risks. Also, the values of HQingestion and HQdermal values and the HI value are less than one.

Conclusion

A combination of point and non-point source pollution have been identified as the main source of water quality deterioration. The water quality parameters of Chalous River in S1 station has not exceeded the permissible level of the national standard of Iran. While, the water quality in S2, and S3 stations has decreased that poses potential risks to the human health and need a pollution prevention action plan. The factors such as municipal wastewater, septic tank and water leakage from horse stables, natural and artificial fertilizers used in agriculture, runoff and rock pebbles in the basin are the causes of pollution.

Keywords: river water quality, Chalus River, statistical analysis, water quality index.

Article Type: Research Article

*Corresponding Author, E-mail: hmontaseri@yu.ac.ir

Citation: Khalili, R., Montaseri, H., Mottaghi, H., & Jalili, M. (2021). Evaluation of water Quality in the Chalus River Using the Statistical Analysis and Water Quality Index (WQI). *Water and Soil Management and Modeling*, 1(3), 38-52.

DOI: 10.22098/MMWS.2021.9300.1031

DOR: 20.1001.1.27832546.1400.1.3.4.6

Received: 29 July 2021, Accepted: 08 August 2021

Water and Soil Management and Modeling, Year 2021, Vol. 1, No. 3, pp. 38-52

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili

© Author(s)





ارزیابی کیفیت آب رودخانه چالوس با استفاده از تجزیه و تحلیل آماری و شاخص کیفیت آب (WQI)

رضا خلیلی^۱، حسین منتصری^{۲*}، حامد متقی^۳، محمد جلیلی^۳

^۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران
^۲ استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران
^۳ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

چکیده

آلودگی رودخانه‌ها یکی از خطرات جدی برای محیط زیست، سیستم‌های آبی و سلامت انسان است. در این مطالعه اثر فعالیت‌های انسانی بر کیفیت آب در رودخانه چالوس مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور، نمونه‌برداری در دو دوره (مهر ۱۳۹۸ تا شهریور ۱۳۹۹) انجام شد. در هر دوره از هر ایستگاه سه نمونه از آب‌های سطحی جمع‌آوری و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در این پژوهش پارامترهای کیفیت آب (دما، pH، هدایت الکتریکی، مواد جامد محلول، جامدات معلق، کدورت، شوری، کاهش پتانسیل اکسیداسیون، قلیایی، سختی کل)، اکسیژن‌رسانی (اکسیژن محلول، اشباع اکسیژن، نیاز اکسیژن بیولوژیکی)، مواد مغذی ($N-NO_3$ ، $N-NO_2$ ، $N-NH_4$)، کل فسفات، کل فسفر، عناصر کمیاب، آلودگی غیرآلی و محتوای کلروفیل معلق از جمله پارامترهای بیولوژیکی بررسی شدند. روش‌های آماری متعددی برای نتایج تجزیه و تحلیل پارامترها از جمله روش آماری مؤلفه‌های اصلی (PCA)، شاخص همبستگی پیرسون (PCI) و تجزیه و تحلیل خوشه‌ای (CA) مورد استفاده قرار گرفت و همچنین از شاخص کیفیت آب (WQI) برای تعیین کیفیت جریان آب و ضریب خطر (HQ) و شاخص خطر (HI) جهت بررسی ارزیابی ریسک از نظر بهداشت عمومی برای عناصر کمیاب استفاده شد. نتایج نشان داد که کیفیت آب رودخانه چالوس از ایستگاه S1 به سمت پایین دست به دلیل افزایش فعالیت‌های انسانی، جاده‌سازی در حاشیه بستر رودخانه، ورود پساب از زمین‌های کشاورزی و فاضلاب خانگی و تخلیه فاضلاب مزارع پرورش دام در رودخانه کاهش یافته است و همچنین بررسی کیفیت آب رودخانه از نظر خطرات بهداشت عمومی نشان داد که می‌توان از آب ایستگاه S1 به عنوان آب آشامیدنی استفاده کرد و خطری بالقوه برای سلامت بزرگسالان و کودکان ندارد، اما از آب ایستگاه S2 و به ویژه ایستگاه S3 نمی‌توان برای آشامیدن استفاده کرد و باعث ایجاد خطرات بالقوه برای سلامت بزرگسالان و کودکان می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تجزیه و تحلیل آماری، رودخانه چالوس، شاخص کیفیت آب، کیفیت آب رودخانه

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: hmontaseri@yu.ac.ir

استناد: خلیلی، ر.، منتصری، ح.، متقی، ح.، و جلیلی، م. (۱۴۰۰). ارزیابی کیفیت آب رودخانه چالوس با استفاده از تجزیه و تحلیل آماری و شاخص کیفیت آب (WQI). *مدل سازی و مدیریت آب و خاک*، ۱(۳)، ۳۸-۵۲.
DOI: 10.22098/MMWS.2021.9300.1031
DOR: 20.1001.1.27832546.1400.1.3.4.6

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۰۷، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۲۵

مدل سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۰، دوره ۱، شماره ۳، صفحه ۳۸ تا ۵۲

© نویسندگان

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی



۱- مقدمه

منابع آب و راه‌حلی سریع برای مشکلات آلودگی^۲ فراهم می‌کنند (Khalili et al., 2021). در سال‌های اخیر، روش‌های مختلف ارزیابی کیفیت آب برای ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی و سطحی به‌عنوان یک مدل تجزیه و تحلیل ارائه شده است. یکی از بهترین این روش‌ها می‌تواند به شاخص کیفیت آب (WQI) اشاره کرد. WQI در یک منطقه و زمان معین، داده‌ها را از پارامترهای مختلف کیفیت آب به‌طور منظم جمع‌آوری می‌کند و کیفیت کلی آب را برای ارزیابی سریع تأثیرات محیط زیستی ارائه می‌دهد. علاوه بر این روش‌هایی از جمله شاخص خطر (HI)، ضریب خطر (HQ) که به‌طور گسترده برای ارزیابی خطر آبریان در دهه‌های گذشته مورد استفاده قرار گرفته است، توصیه می‌شود (Tokatli, 2021).

(Sener and Davraz, 2017) به تجزیه و تحلیل فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های آب رودخانه آکسو جهت بررسی کیفیت آب آشامیدنی با استفاده از شاخص کیفیت آب (WQI) پرداختند. آن‌ها از ۲۱ ایستگاه (در دو دوره اکتبر ۲۰۱۱ و مه ۲۰۱۲) از مسیر رودخانه نمونه‌برداری انجام دادند و نتایج تجزیه و تحلیل با حداکثر مقادیر مجاز توصیه‌شده توسط سازمان بهداشت جهانی و استانداردهای آب آشامیدنی ترکیه مقایسه شد. نتایج نشان داد کیفیت آب در شمال و جنوب حوضه رودخانه پایین و بسیار پایین است. همچنین، (Chabuk et al., 2020) به تجزیه و تحلیل کیفیت آب رودخانه دجله در کشور عراق با استفاده از شاخص کیفیت آب (WQI) و نرم‌افزار GIS پرداختند. آن‌ها از ۱۴ ایستگاه در امتداد رودخانه نمونه‌برداری انجام دادند. نتایج بررسی ۱۴ پارامتر نشان داد که وضعیت کیفیت آب رودخانه دجله در پایین‌دست به‌شدت کاهش پیدا کرده است.

(Ewaid and Abed, 2017) کیفیت آب رودخانه دجله در بغداد را با استفاده از شاخص کیفیت آب (WQI) مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها از ۱۱ ایستگاه (۲۰۱۶) در مسیر رودخانه نمونه‌برداری و پارامترهای مختلف را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند و از مقادیر آن به‌عنوان متغیر وابسته در تحلیل رگرسیون خطی گام‌به‌گام (MLR) برای ایجاد مدل کیفیت آب (WQM) برای رودخانه استفاده کردند. بر اساس نتایج میانگین WQI سالانه در طول مطالعه بیش از مقدار مجاز بوده است. در نتیجه، کیفیت آب برای نوشیدن نامناسب در نظر گرفته شد.

(Wu et al., 2020) کیفیت آب رودخانه بایان در کشور چین را با استفاده از شاخص کیفیت آب (WQI) مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها از ۱۶ نقطه (بین ژانویه ۲۰۱۷ و اکتبر ۲۰۱۸) نمونه‌برداری را در مسیر رودخانه انجام دادند و پارامترهای مختلف را تجزیه و تحلیل کردند. بر اساس نتایج مقادیر متوسط WQI در فصل‌های زمستان، بهار، تابستان و پاییز به ترتیب برابر با ۸۸/۱۵،

امروزه، به دلیل افزایش نیاز به استفاده از آب شیرین، مدیریت منابع آب رودخانه که یکی از مهم‌ترین بخش‌های منابع آب شیرین است، اهمیت زیادی پیدا کرده است (Khalili et al., 2020). رشد جمعیت، شهرنشینی نامنظم، صنعتی‌شدن، استفاده بیش‌ازحد از مواد شیمیایی در کشاورزی (مانند کودها و سموم دفع آفات)، تخلیه فاضلاب خانگی، تخلیه مواد زائد جامد به دره‌ها، برداشت شن و ماسه از بسترهای جویبار، انتقال آب به کانال دیگری برای تولید انرژی، فشارهای جدی بر اکوسیستم‌های رودخانه وارد می‌کنند (Wu et al., 2018). این وضعیت ساختار طبیعی اکوسیستم‌های رودخانه‌ای را مختل و باعث کاهش روزافزون کیفیت آب می‌شود (Khalili et al., 2020). در سال‌های اخیر این مشکل به یکی از اصلی‌ترین مشکلات زیست‌محیطی در جهان تبدیل شده است (Xu et al., 2019). علاوه بر این، آب و هوای جهان روبه گرم‌تر شدن می‌رود و یکی از مناطقی که بیش‌تر تحت تأثیر این وضعیت قرار خواهد گرفت سیستم‌های آب شیرین است. بدون شک تغییرات آب و هوایی، خطرات و آسیب‌پذیری‌ها را شدیدتر خواهد کرد (Ewaid and Abed, 2017). ایران در یکی از مناطق آسیب‌پذیر جهان در برابر تغییرات آب و هوایی واقع شده است. افزایش دما و کاهش بارندگی باعث افزایش دوره‌های خشک‌سالی در مناطق مختلف ایران شده که باتوجه به کاهش منابع آب، آلودگی اکوسیستم‌های رودخانه‌ای این منابع افزایش پیدا کرده است سیستم‌های رودخانه‌ای واقع در منطقه آب و هوایی خشک بیش‌تر تحت تأثیر این وضعیت قرار دارند. وخیم شدن کیفیت آب در اکوسیستم‌های آبی به نگرانی جهانی تبدیل شده است؛ زیرا افزایش جمعیت انسانی، نیاز به آب شیرین را افزایش خواهد داد (Ustaoglu et al., 2020). پایش منظم و محافظت از کیفیت آب رودخانه‌ها به دلیل این وضعیت از اهمیت حیاتی برخوردار شده است و از این‌رو کیفیت آب رودخانه‌ها برای محیط زندگی آبریان و برای افرادی که از آن بهره‌مند می‌شوند بسیار مهم است (Elkiran et al., 2019). اساسی‌ترین روش برای تعیین کیفیت آب و وضعیت اکولوژیکی یک اکوسیستم آبی ارزیابی پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آن است (Bhatta et al., 2019). تجزیه و تحلیل آماری چند متغیره مانند (تجزیه و تحلیل همبستگی، تحلیل مؤلفه اصلی و تجزیه و تحلیل خوشه‌ای) برای تفسیر تعداد زیادی از داده‌های استفاده می‌شود (Khalili et al., 2020). این تجزیه و تحلیل‌های پیچیده در تفسیر ماتریس‌های داده برای درک بهتر کیفیت آب و امکان شناسایی وضعیت اکولوژیکی سیستم‌های مورد مطالعه و منابع احتمالی مؤثر بر حوضه آبریز کمک می‌کند (Swain et al., 2020) و همچنین ابزاری ارزشمند برای مدیریت

گرفته و پس از پیمودن بیش از ۸۵ کیلومتر و پیوستن آب سرشاخه‌های رودخانه زانوسی و دونا به آن و هم‌چنین ده‌ها چشمه و آبشار، از میان شهر چالوس عبور می‌کند و در نزدیکی ده فرج‌آباد به دریای خزر می‌ریزد. مسیر این رودخانه کوهستانی با بستر باریک و جریان تند و سیلابی است. نام‌های دیگر آن رود کجور (دشت نظیر) و نکارود (مرزن‌آباد) است. محدوده ساحلی این منطقه دارای آب و هوای معتدل دریایی است که در تابستان‌ها گرم و مرطوب و زمستان‌ها خنک و مرطوب است. جهت ارزیابی کیفیت آب رودخانه چالوس نمونه‌برداری از سه ایستگاه ثابت در یک سال آبی (مهر ۱۳۹۸ تا شهریور ۱۳۹۹) به صورت ماهانه انجام شده است. نقاط نمونه‌برداری در شکل ۱ و جدول ۱ نشان داده شده است. ایستگاه شماره (S1) در بالادست رودخانه به علت کم‌ترین اثرات انسانی انتخاب شد. ایستگاه شماره (S2) در قسمت میانی رودخانه در شهر مرزن‌آباد واقع شد که دارای مناطق مسکونی کم و زمین‌های کشاورزی است. ایستگاه شماره (S3) در پایین‌دست رودخانه در شهر چالوس واقع شده که دارای زمین‌های کشاورزی کم و مناطق شهری بزرگ‌تر نسبت به ایستگاه شماره (S2) است.

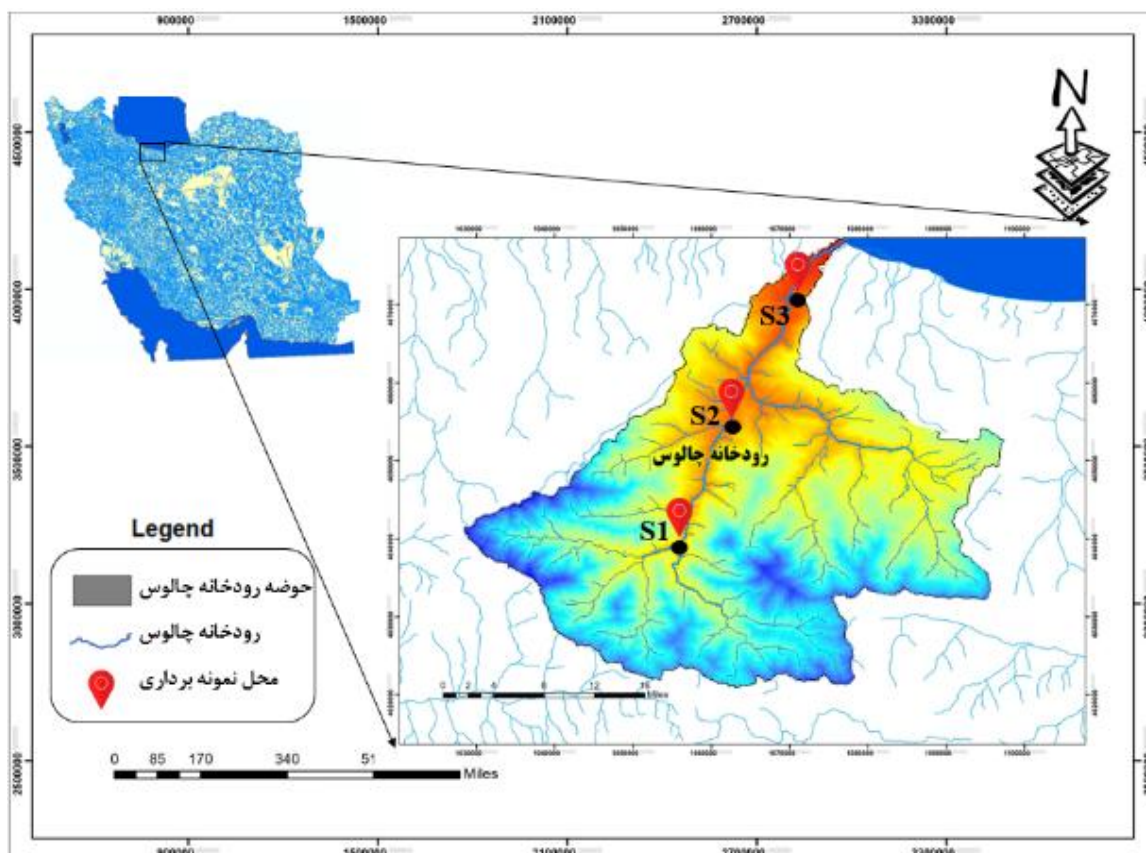
۷۰/۷۱، ۹۲/۸۷ و ۱۲/۹۰ را نشان داد که بیان‌گر کیفیت خوب آب این رودخانه است.

مشخصه‌های کیفیت آب و منابع آلودگی در ایستگاه‌های بالادست، میانی و پایین‌دست رودخانه چالوس که یکی از منابع بالقوه آب آشامیدنی شهر چالوس است، هدف مطالعه حاضر است. باتوجه به این‌که رودخانه چالوس در منطقه حفاظت‌شده واقع بوده بررسی کیفیت آب این رودخانه که یکی از مهم‌ترین منابع برای تأمین آب، آبیاری و پرورش آبزیان سه و هم‌چنین فعالیت‌های مختلف تفریحی بوده بسیار مهم است. هم‌چنین وضعیت کیفیت آب با استفاده از WQI و وضعیت خطر سلامتی با استفاده از HQ/HI از رودخانه چالوس ارزیابی شد. برای کمک به تفسیر روابط بین پارامترها و نتایج، از روش‌های آماری چندمتغیره (PCA، FA، CA) استفاده شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

این مطالعه در منطقه حفاظت‌شده رودخانه چالوس در شهر چالوس، غرب استان مازندران انجام شده است. رود چالوس (شکل ۱) از دامنه شمالی ارتفاعات کندوان و طالقان سرچشمه



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه و موقعیت منطقه نمونه‌برداری

Figure 1- Study area and location of sampling area

جدول ۱- موقعیت مکانی منطقه نمونه‌برداری
Table 1- Location of the sampling area

ایستگاه	طول جغرافیایی (درجه - دقیقه - ثانیه)	عرض جغرافیایی (درجه - دقیقه - ثانیه)	ارتفاع (متر)
S1	51 14 48	36 19 00	890
S2	52 18 24	36 27 26	447
S3	51 24 43	36 38 53	38

۲-۲- تعیین پارامترهای فیزیکی و شیمیایی

نمونه‌برداری از آب رودخانه چالوس از عمق ۲۰ سانتی‌متر و در بخش میانی مقطع رودخانه در طول یک سال (مهر ۱۳۹۸ تا شهریور ۱۳۹۹) در ساعات ابتدایی روز انجام شد. نمونه‌ها با استفاده از بطری‌های شیشه‌ای استریل شده و به آزمایشگاه انتقال یافت. پارامترهای مورد بررسی در این پژوهش شامل کیفیت آب (دما، pH، رسانایی، مواد جامد محلول، جامدات معلق، کدورت، شوری، کاهش پتانسیل اکسیداسیون، قلیائیت، و سختی)، پارامترهای اکسیژن‌رسانی (اکسیژن محلول، اشباع اکسیژن، اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی)، پارامترهای سه‌گانه (نیتروژن آمونیاک، نیتروژن نیتريت، نیتروژن نیترات، کل فسفات، کل فسفر)، عناصر کمیاب، پارامترهای آلودگی غیرآلی (فلوراید، کلرید، سولفات، سیلیس) و محتویات رنگ‌دانه فتوسنتزی (کلروفیل و کل کاروتنوئیدها) است.

دمای آب (WT)، pH، اکسیژن محلول (DO)، رسانایی الکتریکی (EC)، کل مواد جامد محلول (TDS)، شوری، پتانسیل کاهش اکسیداسیون (ORP) و کدورت با استفاده از ابزار الکترونیکی قابل‌حمل در محل نمونه‌گیری اندازه‌گیری شد. نمونه‌های آب برای نیتروژن آمونیاک ($N-NH_4^+$) نیتروژن نیترات ($N-NO_3$)، نیتروژن نیتريت ($N-NO_2$)، کل فسفر (TP)، کلرید (CL)، سولفات SO_4^{2-} و سیلیس (SiO_2) با استفاده از طیف DR 2800™ اسپکتروفوتومتری اندازه‌گیری شد. نورسنج تجزیه و تحلیل فلزات سنگین و عناصر کمیاب مورد استفاده در محاسبه WQI با استفاده از طیف‌سنج جرمی القایی و طیف‌سنج جرمی (ICP-MS) اندازه‌گیری شد. اکسیژن بیوشیمیایی (BOD_5) به‌روش ستون جیوه‌ای با دستگاه هوربیا، مد جامد معلق (TSS) به‌روش وزن‌سنجی در دمای ۱۰۷-۱۰۵ درجه سانتی‌گراد، کل قلیائیت (TA) به روش تیتراسیون و کل سختی (TH) به‌روش کمپلکسومتری با استفاده از محلول استاندارد EDTA مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. غلظت رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی معلق به‌روش اسپکتروفوتومتری ۹۰ درصد تعیین شد.

۲-۳- شاخص کیفیت آب (WQI)

تعداد زیادی از شاخص‌های کیفیت آب توسط چندین کشور و سازمان‌های بین‌المللی در سراسر جهان تدوین شده است که

عبارت‌اند از: شاخص کیفیت آب حسابی (WAWQI)^۱، شاخص کیفیت بنیاد ملی بهداشت (NSFWQI)^۲، شاخص کیفیت آب شورای وزیران محیط زیست کانادا (CCMEWQI)^۳، و شاخص کیفیت آب اورگان (OWQI)^۴. بیش‌تر این شاخص‌ها بر اساس شاخص کیفیت آب (WQI) توسط بنیاد ملی بهداشت ایالات متحده (NSF) در سال ۱۹۷۰ توسعه یافته است. شاخص کیفیت آب (WQI) به‌عنوان تکنیک درجه‌بندی آلودگی تعریف می‌شود که اثر ترکیبی هر یک از پارامترهای کیفیت آب مورد بررسی قرار می‌دهد. WQI به‌طور گسترده برای توصیف در دسترس بودن منابع آب به‌عنوان آب آشامیدنی و مصارف خانگی مورد استفاده قرار می‌گیرد. از بین پارامترهای بررسی شده با توجه به اهمیت آن‌ها در کیفیت آب، مقادیر متوسط ۱۴ پارامتر NO_2^- ، NO_3^- ، NH_4^+ ، N ، Fe ، Al ، Cu ، SO_4 ، pH، EC، TDS، TH، Cl^- ، Zn ، Mn در محاسبه WQI مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مقدار وزن (AW) برای هر پارامتر بسته به اثرات کیفیت آب و اهمیت برای سلامت انسان و وزن نسبی (RW) با استفاده از رابطه ۱ برای هر پارامتر اختصاص داده شد:

$$RW = \frac{AW}{\sum_{i=1}^n AW} \quad (1)$$

در مرحله دوم، درجه‌بندی کیفیت (Q_i) با تقسیم پارامترهای اندازه‌گیری شده (C_i) بر مقادیر آب آشامیدنی (S_i) مجاز و ضرب در ۱۰۰ محاسبه شد (رابطه ۲).

$$Q_i = \left[\frac{C_i}{S_i} \right] \times 100 \quad (2)$$

سپس زیر شاخص‌ها (SI) محاسبه (رابطه ۳) و WQ با افزودن زیرشاخص‌ها محاسبه شد (رابطه ۴) و با توجه به جدول ۲ مورد ارزیابی قرار گرفت (Wu et al., 2020).

$$SI_i = RW \times Q_i \quad (3)$$

$$WQI = \sum_{i=1}^n SI_i \quad (4)$$

جدول ۲- طبقه‌بندی شاخص کیفیت آب WQI
Table 2 - WQI Water Quality Classification

کیفیت	محدوده
عالی	0-25
خوب	26-50
متوسط	51-75
ضعیف	76-100
نامناسب	X>100

¹ Weighted Arithmetic Water Quality Index

² National Sanitation Foundation Water quality

³ Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index

⁴ the Oregon Water Quality Index

$$\text{Hazard Index (HI)} = \sum_{i=1}^n (\text{ADD}_{\text{ingestion}} + \text{ADD}_{\text{dermal}}) \quad (8)$$

اگر HI بزرگتر از یک بود، به معنی اثر سو بر سلامت انسان است (Xiao et al., 2020).

۲-۵- روش‌های آماری چند متغیره

جهت بررسی مناسب بودن داده‌ها از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف با نرم‌افزار آماری SPSS استفاده شد. پس از بررسی مناسب بودن داده‌ها از تجزیه و تحلیل آماری توصیفی شامل تجزیه و تحلیل واریانس یک‌طرفه (ANOVA) در سطح اطمینان ۵ درصد به منظور مقایسه تغییرات مکانی و زمانی ۲۲ پارامتر کیفیت آب استفاده شد. همچنین به منظور بررسی مناسب بودن داده‌ها برای اجرای تجزیه و تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) از آزمون کایسر-مایر-اولکین (KMO) استفاده شد. PCA، عموماً برای استخراج عوامل آلودگی و تشخیص منابع آلودگی هنگام استفاده از تحلیل کیفیت آب مورد استفاده قرار می‌گیرد (Khan et al., 2020). طبقه‌بندی آزمون بررسی کفایت داده (KMO) در جدول ۳ نشان داده شده است. براین اساس اگر مقدار یافت شده در آزمون KMO کم‌تر از ۰/۵ باشد، طول داده‌ها قابل قبول نیست، اگر این مقدار بین مقادیر ۰/۵ تا ۰/۷ باشد طول داده‌ها کافی و مقدار بیش‌تر از ۰/۷ به معنی خوب ارزیابی می‌شود. مجموعه داده‌های کیفیت آب و شایهت بین ایستگاه‌ها با تجزیه و تحلیل خوشه‌ای و چند متغیره استفاده شد. برای انجام تجزیه و تحلیل آماری نتایج تجزیه و تحلیل آب، از نرم‌افزار آماری SPSS استفاده شد.

جدول ۳- طبقه‌بندی مؤلفه اصلی (PCA)

Table 3- Principal Component Classification (PCA)

محدوده	امتیاز
X>0.75	زیاد
0.5-0.75	متوسط
0.3-0.5	ضعیف

۳- نتایج و بحث

۳-۱- ارزیابی کیفیت آب با استفاده از پارامترهای

فیزیکی- شیمیایی و بیولوژیکی

طبقه‌بندی کیفیت آب با مقایسه مقادیر متوسطی که در طول یک سال آبی (مهر ۱۳۹۸ تا شهریور ۱۳۹۹) به دست آمده با استانداردهای تنظیم کیفیت آب ایران ارزیابی شد. آمار توصیفی برای پارامترهای تجزیه و تحلیل شده در جدول ۴ نشان داده شده است. نتایج آزمون کلموگروف-اسمیرنوف نشان داد که همه پارامترها به‌جز پارامتر BOD، DOS، شوری، NO₃-N، SO₄²⁻

جدول ۲-۴ ارزیابی (ریسک) خطر ابتلا به فلزات در

نمونه‌های آب:

ارزیابی خطرات بالقوه‌ای عناصر کمیاب برای سلامت عمومی انسان‌ها بسیار مهم است (Mukherjee et al., 2020). عناصر کمیاب یا از طریق پوست جذب می‌شود و یا از طریق مصرف آب وارد بدن ما می‌شود (Huiying Wu et al., 2020). بر اساس دستورالعمل‌های خطر USEPA (۲۰۰۴)، قرار گرفتن در معرض بیماری از طریق بلع مستقیم (ADD_{ingestion}) و جذب پوستی (ADD_{dermal}) به شرح زیر بیان شده است:

$$\text{ADD}_{\text{ingestion}} = \frac{C_W \times IR \times ABS_G \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad (5)$$

$$\text{ADD}_{\text{dermal}} = \frac{C_W \times SA \times K_p \times ET \times EF \times ED \times CF}{BW \times AT} \quad (6)$$

ADD_{ingestion} یعنی ورود بیماری از طریق تماس گوارشی با آب صورت گرفته و ADD_{dermal} از طریق جذب پوستی است (Cm/kg/day). CW متوسط غلظت فلز کمیاب در آب (µg/L)، IR میزان بلع است (L/day)، EF فرکانس وضعیت موجود (در این مطالعه، ۳۶۵ روز در سال در نظر گرفته شد)؛ ED مدت قرار گرفتن در معرض آلودگی (Year) (در این مطالعه ۱۸۰۰۰ برای بزرگسالان و ۶۶۰۰ برای کودکان در نظر گرفته شد)، BW متوسط وزن بدن (kg) است، AT میانگین زمان غیر سرطان‌زا (day)، SA منطقه پوست در معرض (Cm) است، ABS_G عامل جذب دستگاه گوارش است که بدون بعد (در این مطالعه، ۲۰ درصد برای آلومینیوم، ۵۷ درصد برای مس، ۱/۴ درصد برای آهن، شش درصد برای منگنز، ۲۰ درصد برای روی در نظر گرفته شد). Kp ضریب نفوذپذیری پوستی در آب (Cm/hr) (در این مطالعه ۰/۰۰۱ سانتی‌متر در ساعت برای Cu، Fe، Mn، Al و ۰/۰۰۶ سانتی‌متر در ساعت برای Zn در نظر گرفته شد). ET زمان قرار گرفتن در هنگام استحمام و دوش است، (در این مطالعه ۰/۶ ساعت در روز در نظر گرفته شد). CF ضریب تبدیل واحد، یک L/1000 cm³ (در نظر گرفته شد) است (Prasad et al., 2020; Xu et al., 2020).

در این مطالعه، احتمال اثرات غیر سرطان‌زا برای یک فلز خاص با استفاده از ضریب خطر به شرح زیر محاسبه شده است. خطرات بالقوه غیرسرطان‌زا توسط HQ ارزیابی شد (رابطه ۷). هنگامی که مقادیر HQ بیش از یک بود، اثرات غیر سرطان‌زا باید در نظر گرفته شود:

$$\text{Hazard Quotion (HQ)} = \frac{\text{ADD}}{\text{RFD}} \quad (7)$$

در معادله بالا غلظت مرجع است. علاوه بر این، کل خطرات بالقوه غیر سرطان‌زا ناشی از مسیرهای مختلف توسط HI ارزیابی شد (رابطه ۸):

مواد آلی در آب است (Santoso, 2018). وجود مواد آلی بیش‌تر در منابع آب منجر به افزایش مقدار BOD می‌شود (Irham et al., 2017). بر اساس جدول ۳ کم‌ترین مقدار BOD در ایستگاه S1 (۰/۲۲) و بیش‌ترین مقدار در ایستگاه S3 (۶/۱۸) ثبت شد. میانگین مقدار BOD به‌غیر از ایستگاه S3 در حد مجاز تعیین شده قرار دارد.

پارامتر TDS، به کلیه جامدات محلول در آب (معمولاً نمک‌های معدنی) اطلاق می‌شود. پارامتر TDS شامل نمک‌های غیرآلی (اصولاً کلسیم، منیزیم، پتاسیم، سدیم، بی‌کربنات‌ها، کلریدها و سولفات‌ها) و مقدار کمی ماده آلی است (Nath et al., 2017). مقدار TDS در رودخانه چالوس در محدوده ۸۹/۳ میلی‌گرم در لیتر (منطقه بالادست) و ۱۰۵۰ میلی‌گرم در لیتر منطقه پایین‌دست اندازه‌گیری شد. مقادیر ایستگاه‌های S1 و S2 کاملاً کم‌تر از مقداری است که در آیین‌نامه استانداردهای کیفیت آب ایران مشخص شده است، اما ایستگاه S3 با داشتن سطح TDS بالاتر از ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر بالاتر از حد استاندارد است. بین هدایت الکتریکی (EC) و TDS ارتباط نزدیک وجود دارد (Ewaid et al., 2018). نمک محلول در آب هرچه بیش‌تر باشد، مقدار EC بالاتر است و هم‌چنین شوری را نشان می‌دهد. رودخانه چالوس دارای میانگین هدایت الکتریکی ۴۷۹/۷-۱۵۰-۴۷۹/۷ (μS/cm) است. بیش‌ترین مقدار هدایت الکتریکی ۴۷۹/۷ (μS/cm) در منطقه پایین‌دست اندازه‌گیری شده است. شوری یکی از اصلی‌ترین محدودکننده‌های توزیع مکانی گیاهان و جانوران است که می‌تواند از ۱۰ میلی‌گرم در لیتر تا ۱۰۰ گرم در لیتر متغیر باشد (Ou et al., 2020). مقادیر شوری در رودخانه چالوس در محدوده ۹/۸-۰ گرم در لیتر (میانگین، ۴/۸۱ گرم در لیتر) اندازه‌گیری شد. نقاط نمونه‌برداری S2 و S3 شوری بیش‌تری نسبت به منطقه‌های بالادست داشتند. به‌صورت فصلی، بالاترین مقادیر شوری در پاییز (۱۰/۰۷-۰/۱۱ گرم در لیتر) اندازه‌گیری شد. افزایش شوری حاصل از فعالیت‌های انسانی به‌عنوان تهدیدی به منابع آب شیرین و عملکردهای متنوع زیستی و اکوسیستم است. جاده‌سازی در حاشیه بستر رودخانه، ورود پساب از زمین‌های کشاورزی و فاضلاب خانگی باعث افزایش غلظت یون‌های اصلی در نقاط نمونه‌برداری S2 و S3 شده است. افزایش دما در اواسط تابستان تا اواسط پاییز ادامه داشت و کاهش میزان بارندگی هم یکی از علت‌های افزایش شوری است. در فصل بهار که میزان بارندگی زیاد است شوری صفر گرم در لیتر است (Melesse et al., 2020; Verbrugge et al., 2012). از نظر آماری اختلاف معناداری بین فصل‌های بهار و پاییز مشاهده شد ($p < 0.05$). مقادیر TDS، EC و شوری اختلاف معناداری را در طول ایستگاه‌ها نشان ندادند ($p > 0.05$). از

TH·EC و SiO_2 ($P > 0.05$) به‌طور معمول توزیع شده‌اند ($P > 0.05$). کم‌ترین دما در آب رودخانه چالوس در سایت S1 (بالادست رودخانه) و بالاترین دما در سایت S3 (پایین‌دست رودخانه) اندازه‌گیری شد. بیش‌ترین دما در ماه‌های تابستان (میانگین $34 \pm 1/5$ درجه سانتی‌گراد)، کم‌ترین دما در ماه‌های زمستان (میانگین $4/2 \pm 0/75$ درجه سانتی‌گراد) ثبت شد. تجزیه و تحلیل ANOVA تفاوت معناداری را بین این فصل‌ها نشان داد ($p < 0/05$). pH یکی از مهم‌ترین پارامترهای عملیاتی کیفیت آب است. دامنه مطلوب pH بر اساس استانداردهای کیفیت آب ایران برابر ۹-۶/۵ است که این مقادیر برای pH رودخانه چالوس در محدوده ۹/۴-۶/۹ متغیر بوده است. PH در ایستگاه S3 با مقادیر ۹/۴-۸/۳ بیش‌تر از حد استاندارد بوده است. نتایج تجزیه و تحلیل آماری (ANOVA) تفاوت معناداری را بین این فصول نشان داد ($p < 0/05$). مقدار ORP در رودخانه چالوس در محدوده ۱۷۷-۳۰ میلی‌ولت اندازه‌گیری شد. بالاترین مقدار در منطقه بالادست با میانگین مقدار ۱۴۵- میلی‌ولت، کم‌ترین مقدار در منطقه پایین‌دست با مقدار متوسط ۱۱۵- میلی‌ولت اندازه‌گیری شد. بالاترین مقدار ORP فصلی در فصل پاییز با دامنه از ۱۴۸- تا ۱۲۸- میلی و مقادیر کم‌تری در فصول بهار (۱۳۳- میلی‌ولت)، زمستان (۱۲۸- میلی‌ولت) و تابستان (۱۱۰- میلی‌ولت) ثبت شد. از آن‌جا که نتایج اندازه‌گیری در مقادیر منفی اندازه‌گیری می‌شود، آب جریان رودخانه چالوس دارای قدرت آنتی‌اکسیدانی و خاصیت بازدارندگی در برابر خوردگی است. مقادیر ORP به‌طور قابل‌توجهی بین ایستگاه‌ها و فصل‌ها تفاوت نداشت. اکسیژن محلول (OD) یک عامل محدودکننده مهم در زندگی آبزیان است و معیار مهمی برای پایداری اکولوژیکی است (Suryawan et al., 2020). میزان DO بسته به غلظت نمک‌های محلول در آب و اقدامات بیولوژیکی موجود در آب و دمای آب متفاوت است (Ashar et al., 2020) و اکسیژن تولید شده توسط فتوسنتز در اکوسیستم‌های آبی اشباع اکسیژن را فراهم می‌کند (Kang et al., 2019). بر اساس جدول ۴ مقادیر DO بین ۴/۰۶ تا ۱۲/۷ میلی‌گرم در لیتر متغیر بوده که این مقدار در ایستگاه S3 با کمینه ۴/۰۶ پایین‌تر از حد استاندارد بوده است. میزان اشباع اکسیژن در فصل زمستان و بهار ۶۷ درصد، در فصل تابستان ۱۰۱ درصد و در فصل پاییز ۹۷ درصد بوده است. میزان DO بسته به غلظت نمک‌های محلول در آب و اقدامات بیولوژیکی موجود در آب و دمای آب و فشار جزئی گاز جو بر سطح آب متفاوت است (Kang et al., 2019). از نظر پارامترهای اکسیژن‌دهی تفاوت معناداری بین فصول و ایستگاه‌ها وجود نداشت.

پارامتر BOD، شاخص آلودگی آلی در آب، مقدار اندازه‌گیری اکسیژن مورد نیاز میکروارگانیسم‌های برای تخریب بیولوژیکی

مهم نشان‌دهنده کیفیت آب است (Khalili et al., 2021). با افزایش غلظت این عناصر غذایی، کیفیت آب کاهش می‌یابد. در همان زمان، این رویداد، که آلودگی اولیه نامیده می‌شود، ممکن است منجر به آلودگی ثانویه، یعنی اوتروفیکاسیون شود (Jin et al., 2020). این وضعیت تنوع زیستی در آب را تهدید می‌کند، و باعث کاهش ظرفیت یکپارچگی اکوسیستم¹⁶ می‌شود. ترکیبات ازت $N-NH_4$ و $N-NO_2$ و $N-NO_3$ در جریان رودخانه چالوس از مقادیر مشخص شده در استانداردهای کیفیت آب ایران فراتر نمی‌رود. $N-NH_4$ ممکن است توسط آب باران، مواد زائد خانگی و کودهای مورد استفاده در فعالیت‌های کشاورزی به این رودخانه انتقال یابد. نیمی از نیتروژن موجود در ساختار کودهایی که معمولاً در زمین کشاورزی برنج استفاده می‌شود به شکل نیتروژن آمونیوم ($N-NH_4$) و نیمی دیگر به شکل نیتروژن نترات ($N-NO_3$) است. منبع اصلی ازت، نیتروژن و نیتروژن آمونیوم کودهای مورد استفاده در کشاورزی برنج است (Wang et al., 2020). با این حال، کودهای ازته به دلیل روش‌های غلط کشاورزان (باقی مانده کود روی سطح خاک) می‌توانند به راحتی از طریق شست‌وشو با آب منتقل شوند و با وجود شیب زمین و بارندگی غلظت مواد آلی و ترکیبات ازت در رودخانه با رواناب به‌ویژه در زمان طغیان افزایش می‌یابد. مجدداً آب فاضلاب و مزارع پرورش دام که در زمستان در انبارها نگهداری می‌شوند وارد رودخانه می‌شوند و این امر منجر به غنی‌سازی نیتروژن می‌شود. مقادیر کل ترکیبات فسفر در رودخانه چالوس مطابق با استانداردهای ملی ایران ($TP < 0.08$ میلی‌گرم در لیتر) قرار دارد. به صورت فصلی، غلظت TP در فصل زمستان شبیه به ترکیبات ازته‌های اندازه‌گیری شد (دامنه، $0.062 - 0.03$ ؛ میانگین، 0.045 میلی‌گرم در لیتر). مقادیر ترکیبات فسفر در جریان رودخانه چالوس در طیف کیفی آب خوب مطابق استانداردهای کیفیت آب ایران قرار دارند. دستورالعمل‌های کلی برای سختی و قلیایی بودن آب در جدول ۵ نشان داده شده است.

میانگین TA و TH رودخانه چالوس به ترتیب $39/36$ میلی‌گرم در لیتر و $44/77$ میلی‌گرم در لیتر $CaCO_3$ اندازه‌گیری شد. با توجه به این نتایج، آب منطقه مورد مطالعه آب نرم؛ یعنی سختی کم است. این مقادیر با استانداردهای ملی/ بین‌المللی آب آشامیدنی مانند $TS-266$ ، (سازمان بهداشت جهانی) WHO ، EU و $USEPA$ مطابقت دارد. در نتیجه تجزیه و تحلیل آماری انجام شده در رودخانه چالوس مقادیر TA و TH تفاوت معناداری بین ایستگاه‌ها و فصل‌ها وجود ندارد ($p < 0.05$). با این حال، این مقادیر در منطقه پایین‌دست بالاتر از ایستگاه‌های بالادست هستند. این نتیجه تأیید می‌کند که ورودی از منابع نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای در حوضه پایین‌دست مقادیر قلیایی و سختی را

جمله یون‌هایی که بر میزان شوری تأثیر دارند شامل Cl^- و SO_4 هستند (Sener and Davraz., 2017). بالاترین سطح Cl^- در منطقه پایین‌دست (میانگین $11/63$ میلی‌گرم در لیتر) ثبت شد. بالاترین سطح SO_4 نیز در همان ایستگاه (120 میلی‌گرم در لیتر) اندازه‌گیری شد و همچنین حداقل مقادیر هر دو پارامتر در منطقه بالادست اندازه‌گیری شد. این نتایج تأیید می‌کند که فعالیت‌های انسانی بر شوری جریان رودخانه چالوس تأثیر دارد. پارامترهای Cl^- و SO_4 تفاوت معناداری بین ایستگاه‌ها نشان ندادند.

طبق استانداردهای کیفیت آب ایران، آب رودخانه چالوس با استفاده از مقادیر Cl^- و SO_4 در ایستگاه S1 سطح کیفی خوب در ایستگاه‌های S2 و S3 در سطح کیفی نسبتاً خوب قرار دارد. کدورت ناشی از ذرات معلق یا مواد کلوییدی است، که از انتقال نور در آب جلوگیری می‌کند. این ماده ممکن است از یک ماده آلی یا معدنی یا ترکیبی از آن‌ها نشأت گرفته باشد (Zounemat-Kermani et al., 2020). کدورت با واحد کدورت نفلومتریک (NTU) اندازه‌گیری می‌شود که کدورت بالای چهار NTU با چشم غیرمسلح قابل مشاهده است (Garg et al., 2020). کم‌ترین مقدار کدورت در منطقه بالادست ($1/25$ NTU) و بیش‌ترین مقدار در منطقه پایین‌دست ($36/06$ NTU) اندازه‌گیری شد. در طول مطالعه عملیاتی مانند استخراج شن و ماسه بستر رودخانه به صورت محلی در جریان‌های بالادست و پایین‌دست و اطراف رودخانه انجام شد که بر میزان کدورت و ذرات معلق تأثیر گذاشته است. جامدات معلق کل (TSS)، که ارتباط تنگاتنگی با کدورت دارند، موادی هستند که از راه‌های مختلف با آب مخلوط می‌شوند و کدورت در آب را ایجاد می‌کنند و با گذشت زمان رسوب نمی‌کنند (Zounemat-Kermani et al., 2020). کدورت آب‌های طبیعی در دوره‌های رواناب، فرسایش و رانش زمین افزایش می‌یابد (Garg et al., 2020). پارامتر TSS در رودخانه چالوس بین $3/5$ تا $32/7$ میلی‌گرم در لیتر تغییر کرد. بیش‌ترین مقدار در منطقه پایین‌دست و از نظر تغییرات فصلی در تابستان $23/67 - 17/67$ میلی‌گرم در لیتر ثبت شد. مقادیر کدورت بین ایستگاه‌ها و فصول تفاوت معناداری نداشت ($p > 0.05$)، در حالی که دامنه تغییرات فصل TSS در فصل تابستان و زمستان تفاوت معناداری داشت ($p < 0.05$). بر اساس استانداردهای کیفیت آب ایران مقادیر کدورت و TSS زیر 25 میلی‌گرم در لیتر در ایستگاه S1 بیانگر کیفیت بسیار عالی و مقادیر بالای 25 میلی‌گرم در لیتر در ایستگاه S2 و S3 بیانگر کیفیت متوسط است. کودهای ازته و فسفات‌ها که به طور گسترده در کشاورزی استفاده می‌شود، به دلیل آب‌وهوای بارانی منطقه دریای خزر و شیب زمین با رواناب رودخانه مخلوط می‌شود. غلظت ترکیبات ازته و فسفر و مواد مغذی در آب از پارامترهای

افزایش می‌دهد. غلظت کلروفیل (معلق) یکی از پارامترهای مهم بیولوژیکی است که برای تعیین ساختار تغذیه‌ای رودخانه‌ها و پتانسیل تولید بیولوژیکی آن‌ها استفاده می‌شود. از آن‌جا که رنگ‌دانه Chl_a در همهٔ جلبک‌ها وجود دارد، اطلاعاتی در مورد چگالی جلبک‌های پلانکتونی در اکوسیستم آب فراهم می‌کند. مقدار chl_a در رودخانهٔ چالوس در محدودهٔ ۰/۶-۳۱/۰۳۱ $\mu\text{g/L}$ با میانگین $\mu\text{g/L}$ ۴۸/۰ تعیین شد. تجزیه و تحلیل ANOVA واریانس یک‌طرفه هیچ رابطهٔ معناداری از نظر مکانی-زمانی نشان نداد ($p < 0.05$). مقدار KMO در این مطالعه، ۰/۵۷۳ است که نشان‌دهندهٔ کفایت داده برای آزمایش PCA روی پارامترهای کیفی آب است. نتیجهٔ آزمایش PCA، چهار عامل با مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک است و ۷۱/۷۱ درصد از واریانس کل تعیین‌شده را توضیح می‌دهد. اولین عامل شامل ۲۶/۲۵ درصد از واریانس کل است. در این عامل، $\text{NH}_4\text{-H}$ ، Cl^- ، DO ، $\text{NO}_3\text{-N}$ ، BOD ، Chl_a دارای بار متوسطی هستند، TP و PO_4 کل دارای بار قوی هستند، WT دارای بار منفی است. مؤلفهٔ یک که از آنالیزهای آماری چند متغیری اعمال شده به پارامترهای کیفی آب به‌دست آمده بود، شامل پارامترهای ترکیب شده با اکسیژن و پارامترهای مواد مغذی این پژوهش است. بنابراین، اولین مؤلفه عمدتاً تحت تأثیر فعالیت‌های اقلیمی و کشاورزی و فاضلاب‌های خانگی است. دومین عامل شامل ۲۵ درصد از واریانس کل است. در این عامل شوری، TDS ، TH ، SO_4^{2-} ، EC ، TA دارای بار قوی هستند. پارامترهایی عامل دوم ساختار زمین‌شناختی حوضهٔ رودخانه، آلودگی غیر غیرآلی غیرنقطه‌ای را نشان می‌دهند. عامل سوم ۱۲/۲۳ درصد از واریانس کل را شکل می‌دهند. در این عامل با توجه به ORP و SiO_2 منفی و عامل pH مثبت می‌توان گفت که تمرکز یون‌های غیرحلال در رودخانه، بر این عامل تأثیرگذار هستند. در عامل چهارم، که ۷/۹۵ درصد از واریانس کل تشکیل می‌شود، $\text{NO}_2\text{-N}$ دارای بار متوسط منفی NTU و TSS دارای بار متوسط هستند. با توجه به پارامترهایی که این عامل را تشکیل می‌دهند، تصور می‌شود که ساختار خاک، رواناب و سنگریزه‌های سنگی که در حوضه هستند، بر کیفیت آب رودخانهٔ چالوس مؤثر هستند.

۳-۲- ارزیابی کیفیت آب با استفاده از WQI

در این پژوهش از مقادیر استاندارد آب ایران برای ارزیابی WQI در مناطق نمونه‌برداری از آب رودخانهٔ چالوس استفاده شد. مقادیر متوسط سالانه با انحراف معیار از پارامترهای کیفیت آب در جدول ۷ آورده شده است. وزن نسبی هر پارامتر در جدول ۸ ارائه شده است.

نتایج مقادیر WQI در ایستگاه S1 با میانگین ۱۵/۶۲ در ردهٔ کیفیتی عالی، ایستگاه S3 با میانگین ۲۵/۵ در ردهٔ کیفیتی خوب و ایستگاه S3 با میانگین ۴۹/۸ در ردهٔ کیفیتی خوب قرار دارد، اما از نظر فصلی ایستگاه S3 با میانگین ۵۳/۸ در زمستان و ۵۶/۵۸ در بهار در ردهٔ کیفیتی مناسب قرار دارد. بنابراین، از رودخانهٔ چالوس بعد از ایستگاه یک نمی‌توان برای مصارف آشامیدنی استفاده شود ولی می‌توان برای مصارف آبیاری و صنعتی استفاده کرد. ارزیابی تجزیه و تحلیل خوشه‌بندی ایستگاه‌ها نشان داد که ایستگاه بالادست با ایستگاه‌های میانی و پایین‌دست با توجه سلسله مراتبی تفاوت دارند. تجزیه و تحلیل خوشه‌ای هم‌چنین تأیید می‌کند که تأثیر عوامل انسانی در ایستگاه S1 کم است. تجزیه و تحلیل خوشه‌ای به‌صورت فصلی نشان داد که این خوشه بین فصل خشک و گرم (۸۵/۷۴ درصد) و فصل سرما و بارندگی (۸۴/۶ درصد) تشکیل شده است. کم‌ترین فصول مشابه بهار و پاییز با ۶۸/۸ درصد شباهت است. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل واریانس یک‌طرفه (ANOVA) اعمال شده بر پارامترهای فیزیکی-شیمیایی نشان داد که ایستگاه S1 تفاوت معناداری با ایستگاه‌های دیگر داشت ($p < 0.05$).

۳-۳- ریسک ارزیابی

بلع مستقیم و جذب پوستی (به‌جز استنشاق از طریق دهان و بینی) به‌عنوان دو مسیر شایع انتقال عناصر کمیاب از آب رودخانه به انسان در نظر گرفته می‌شود. در آنالیزهای فلزی انجام شده در رودخانهٔ چالوس As ، Cd ، Co ، Ni ، Pb در ایستگاه‌ها به‌مقدار بسیار کم نشان داده شد. مقادیر ضریب خطر (HQ) و شاخص خطر (HI) محاسبه شده برای تعیین خطر اثرات فلزات سنگین بر

ماتریس همبستگی اعمال شده بر متغیرهای فیزیکی و شیمیایی برای تعیین روابط بین متغیرها و عوامل مؤثر بر آن‌ها مفید است. هم‌چنین به شناسایی منابع عناصر مختلف کمک می‌کند. نتایج به‌دست‌آمده از ماتریس همبستگی پیرسون اعمال شده به متغیرهای کیفیت آب در جدول ۶ مشاهده می‌شود. پارامترهای دارای بارهای مثبت به‌شرح زیر است: ($p < 0.01$):

جدول ۴- خلاصه آماری پارامترهای فیزیکی و شیمیایی در منطقه مورد مطالعه
 Table 4 - Statistical summary of physical and chemical parameters in the study area

پارامتر	واحد	خصوصیات آماری	منطقه ۱	منطقه ۲	منطقه ۳	مقادیر کل	استاندارد کیفیت آب
Temperature	C°	دامنه	4.2-21.9	5.6-29.3	8.4-34.2	4.2-34.2	-
		میانگین	12.57±5.5	13.8±7.4	17.4±8.1	19.7±7.2	-
pH	-	دامنه	6.9-8.25	7.91-8.7	8.3-9.4	6.9-9.4	6.5-9
		میانگین	7.69±0.61	8.3±0.3	8.85±0.28	8.15±0.29	6.5-9
DO	(mg/L)	دامنه	9.1-12.7	7.0-11.62	4.06±9.77	4.06-12.7	X>5
		میانگین	10.9±1.13	8.81-1.3	7.4±1.06	8.8±1.06	X>5
BOD	(mg/L)	دامنه	0.22-2.68	.42-4.98	1.16-6.18	1.67-6.18	X<6
		میانگین	1.31±0.71	2.46±0.94	3.67±0.81	3.52±0.12	X<6
EC	(µs/cm)	دامنه	150-258	154.7-279	358.4-479.7	150-479.7	X<1000
		میانگین	201.63±32.27	211.38±44.57	94.6±42.4	314±54	X<1000
TDS	(mg/L)	دامنه	89.3-291.6	394.6-595.6	695.4±1050.2	89.3-1050.2	1000-1500
		میانگین	190±39.26	490.5±43.41	872.6±51.82	569.6-51.82	1000-1500
ORP	(mV)	دامنه	-177-120	-155-94	-140-90	-177-90	400-favorable
		میانگین	-145	-124	-115	-130	+800-unfavorable
Salinity	(g/L)	دامنه	0-0.05	3-4.2	5-9.8	0-9.8	10-100
		میانگین	0.025±0.04	3.4±0.5	7.05±1.46	4.8±1.5	10-100
Turbidity	(NTU)	دامنه	1.25-4.5	3.24-29.1	14.5-36.3	1.25-36.3	X<5
		میانگین	2.8±3.8	16.65±4.58	10.06±3.89	25.25±3.98	X<5
TA	(mg/L·CaCo3)	دامنه	30-75	41-105	52-130	30-130	X<150
		میانگین	52.5±9.59	73±11.5	91±15.5	80±19.5	X<150
TSS	(mg/L)	دامنه	3.5±21.5	5.5-31.6	6.5-32.7	3.5-32.7	X<25
		میانگین	11.08±4.9	14.91±6.18	16.66±7.78	18.1±6.78	X<25
TH	(mg/L·CaCo3)	دامنه	22-75	23-65	24-79	22-79	X<100
		میانگین	42.6±4.5	44.25±5.5	51.7±5.8	50.7±8.8	X<100
NH ₄ -H	(mg/L)	دامنه	0.001-0.07	0.01-0.08	0.01-0.06	0.01-0.08	X<0.5
		میانگین	0.036±0.01	0.036±0.02	0.03±0.01	0.035±0.01	X<0.5
NO ₂ -N	(mg/L)	دامنه	0-0.01	0-0.02	0-0.03	0-0.03	X<0.15
		میانگین	0.009±0.0012	0.0032±0.0012	0.013±0.0015	0.023±0.0018	X<0.15
NO ₃ -N	(mg/L)	دامنه	0.03-1	0.3-1	0.3-1.2	0.03-1.2	X<11.3
		میانگین	0.31-0.33	0.55±0.25	0.63±0.3	0.73±0.4	X<11.3
TP	(mg/L)	دامنه	0.003-0.03	0.12-0.029	0.015-0.062	0.003-0.062	X<0.08
		میانگین	0.012±0.005	0.02-0.005	0.018-0.009	0.038±0.01	X<0.08
SO ₄ ²⁻	(mg/L)	دامنه	8.82-34.8	23.82-49.8	31-120	8.82-120	X<250
		میانگین	21.83±4.85	35.5±11.19	77.58±14.17	64.58±14.17	X<250
CL ⁻	(mg/L)	دامنه	2.08-3.55	4.3-6.84	8.96-3.63	2.8-11.63	X<250
		میانگین	2.8±0.48	5.15±0.82	9.22±0.88	13.3±0.88	X<250
Sio ₂	(mg/L)	دامنه	5.7-12.9	7.3-11.6	7.8-13.8	5.7-13.8	2-20
		میانگین	8.45±1.7	8.74±1.36	10.35±0.93	9.75±1.53	2-20
Chl-a	(µg/L)	دامنه	0.31-0.6	0.39-0.58	0.39-0.59	0.31-0.6	-
		میانگین	0.488±0.087	0.49±0.064	0.485±0.068	0.48±0.069	-

جدول ۵- طبقه‌بندی سختی آب (Jaiswal et al., 2019)

Table 5 - Water hardness classification (Jaiswal et al., 2019)

امتیاز	طبقه
0-60	آب نرم
61-120	آب نسبتاً سخت
121-180	آب سخت
180 < X	آب بسیار سخت

جدول ۶- تجزیه و تحلیل اجزای اصلی ماتریس

Table 6 - Analysis of the main components of the matrix

۴	۳	۲	۱	پارامتر
-0.005	-0.144	0.320	-0.850	Temperature
0.10	-0.22	0.121	0.810	Total PO4
0.130	-0.189	0.120	0.815	Total P
0.482	0.333	-0.225	0.692	BOD
0.420	0.05	-0.195	0.744	DO
0.035	0.072	0.842	-0.432	EC
-0.001	0.101	0.941	-0.165	TDS
0.110	-0.742	-0.265	0.240	ORP
0.001	0.025	0.952	-0.185	Salinity
0.742	0.161	-0.352	0.242	Turbidity
-0.295	0.150	0.792	0.175	TA
0.552	-0.324	0.152	-0.510	TSS
-0.105	0.184	0.941	0.120	TH
-0.05	0.302	-0.233	0.752	NH4-H
-0.521	0.542	-0.125	-0.271	NO2-N
-0.312	-0.217	0.170	0.780	NO3-N
-0.042	0.882	0.240	-0.001	pH
0.085	0.032	0.869	-0.172	So4
0.182	0.08	0.162	0.721	CL-
-0.172	-0.625	-0.028	-0.222	Sio2
0.01	0.521	0.08	0.552	cCl_a
1.98	2.31	3.02	6.125	Eigen Values
7.952	12.230	25.28	26.25	(%)Variability

جدول ۷- غلظت عناصر فلزات سنگین در نمونه‌های آب ($\mu\text{g/L}$)Table 7- Concentration of heavy metal elements in water samples ($\mu\text{g/L}$)

پارامتر	واحد	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	میانگین	کمینه	بیشینه
Al		118.6	75.6	101	64	85.7±55	45	145
Mn		28.75	9.25	13	8.67	13.63±5.37	7	43.31
Fe	($\mu\text{g/L}$)	182.8	85	201.8	62	103.53±36.7	33	178
Cu		0.82	0.98	3.52	3.48	2.15±1.23	0.16	9
ZN		15.48	16	19.31	10.11	14.60±4.28	7.7	30.03

زیر یک است، اما بررسی‌های فصلی مقادیر بالای یک در ایستگاه S3 را نشان داد، بنابراین استفاده از رودخانه چالوس به‌عنوان آب آشامیدنی در ایستگاه S1 و S2 خطری بالقوه برای سلامت بزرگسالان و کودکان ندارد. اما استفاده از آب رودخانه در ایستگاه S3 برای سلامت بزرگسالان و کودکان خطرناک است.

سلامت (غیرسرطان‌زا) شناسایی شده برای بزرگسالان و کودکان در جدول‌های ۹ و ۱۰ خلاصه شده است. مقادیر HI فلزات سنگین محاسبه شده برای بزرگسالان و کودکان به ترتیب $\text{Mn} > \text{Cu} > \text{Al} > \text{Zn} > \text{Fe}$ هستند. نتایج نشان می‌دهد که منگنز و مس بیش‌تر در خطر سلامتی غیر سرطان‌زا نقش دارند. در نتیجه، از آن‌جا که مقادیر $\text{HQ}_{\text{Ingestion}}$ ، $\text{HQ}_{\text{Dermal}}$ و مقدار HI

جدول ۸- وزن نسبی هر پارامتر

Table 8- Relative weight of each parameter

RW	AW	واحد	پارامتر
0.113	5	(mg/L)	NO ₃ -N
0.113	5	(mg/L)	NO ₂ -N
0.113	5	(mg/L)	NH ₄ -H
0.063	3	(mg/L)	CL ⁻
0.023	1	(mg/L)	TH
0.069	3	(mg/L)	TDS
0.069	3	(μs/cm)	EC
0.069	3	-	pH
0.069	3	(mg/L)	so ₄
0.091	4	(μg/L)	Al
0.113	5	(μg/L)	Mn
0.023	1	(μg/L)	Fe
0.046	2	(μg/L)	Cu
0.026	1	(μg/L)	ZN

جدول ۹- پارامترهای سم‌شناسی (سمی بودن) فلزات برای ارزیابی خطر سلامتی

Table 9 - Toxicological parameters (toxicity) of metals for health risk assessment

ABSg (%)	RFD _{dermal} (μg/kg/day)	RFD _{ingestion} (μg/kg/day)	KP	پارامتر
27	300	1100	1*10 ⁻³	Al
21	4.69	24	1*10 ⁻³	Mn
25	180	700	1*10 ⁻³	Fe
45	18	40	1*10 ⁻³	Cu
17	50	300	6*10 ⁻³	Zn

جدول ۱۰- ارزیابی خطر سلامتی برای فلزات موجود در آب برای بزرگسالان و کودکان از طریق بلع و راه‌های پوستی

Table 10 - Health risk assessment for metals in water for adults and children through swallowing and dermal routes

HI		HQ _{dermal}		HQ _{ingestion}		پارامتر
Child	Adult	Child	Adult	Child	Adult	
8.68E ⁻⁴	6.40E ⁻⁴	4.37E ⁻⁴	7.19E ⁻⁴	6.31E ⁻⁴	5.78E ⁻⁴	Al
6.93E ⁻³	3.63E ⁻³	4.00E ⁻⁴	3.80E ⁻⁴	10.31E ⁻⁴	9.31E ⁻⁴	Mn
4.01E ⁻⁴	3.64E ⁻⁴	3.37E ⁻⁴	3.07E ⁻⁴	7.43E ⁻⁵	6.74E ⁻⁵	Fe
3.32E ⁻³	2.00E ⁻³	10.69E ⁻⁴	5.38E ⁻⁴	3.07E ⁻³	10.56E ⁻⁴	Cu
4.25E ⁻⁴	4.39E ⁻⁴	7.66E ⁻⁴	4.88E ⁻⁴	3.48E ⁻⁴	3.21E ⁻⁴	Zn

۴- نتیجه‌گیری

کیفیت آب در طول یکسال هیدرولوژیکی از سه نقطه در طول رودخانه برداشته شده و با روش‌های آماری از جمله روش آماری مؤلفه‌های اصلی (PCA)، شاخص همبستگی پیرسون (PCI) و تجزیه و تحلیل خوشه‌ای (CA) و همچنین شاخص کیفیت آب (WQI) برای تعیین کیفیت جریان آب، ضریب خطر (HQ) و شاخص خطر (HI) جهت بررسی ارزیابی ریسک از نظر بهداشت عمومی برای عناصر شیمیایی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد وضعیت پارامترهای کیفیت آب در ایستگاه S1 از حد مجاز استاندارد ملی ایران فراتر نرفته و رودخانه چالوس در ایستگاه S1

در سال‌های اخیر به دلیل رشد سریع جمعیت و تحرکات جمعیتی تقاضا برای منابع آب افزایش یافته است. به همین دلیل، صرفه‌جویی در منابع آب موجود و استقرار مدیریت منطقی و پایدار آب بسیار حیاتی و اساسی است. رودخانه چالوس یکی از مهم‌ترین منابع تأمین آب، آبیاری و پرورش آبزیان سه و همچنین فعالیت‌های مختلف تفریحی بوده که در سال‌های اخیر با توجه به افزایش فعالیت‌های انسانی دست‌خوش تغییرات کیفی قرار گرفته است. جهت بررسی وضعیت کیفی رودخانه چالوس پارامترهای

(HI) نشان داد که می‌توان از آب ایستگاه S1 به‌عنوان آب آشامیدنی استفاده کرد و خطری بالقوه برای سلامت بزرگسالان و کودکان ندارد، ولی از آب ایستگاه S2 و بخصوص ایستگاه S3 نمی‌توان برای آشامیدنی استفاده کرد و باعث ایجاد خطرات بالقوه برای سلامت بزرگسالان و کودکان می‌شود. باتوجه به نتیجه تجزیه و تحلیل PCA عواملی مانند فاضلاب شهری، مخزن سبتیک و نشت آب از اصطبل‌ها، کودهای طبیعی و مصنوعی مورد استفاده در کشاورزی، ساختار خاک، رواناب و سنگریزه‌های سنگی در حوضه از عوامل انتشار آلودگی در منطقه مورد مطالعه است. این مطالعه از جامع‌ترین بررسی ارزیابی کیفیت آب است که تاکنون در حوضه انجام شده و مرجعی برای مطالعات آینده خواهد بود.

دارای وضعیت آب بسیار خوبی است اما کیفیت آب بعد از ایستگاه S1 به سمت پایین‌دست به دلیل افزایش فعالیت‌های انسانی، جاده‌سازی در حاشیه بستر رودخانه، ورود پساب از زمین‌های کشاورزی (کودهای مورد استفاده در فعالیت‌های کشاورزی) و فاضلاب خانگی (به‌مواد زائد خانگی) و تخلیه فاضلاب مزارع پرورش دام در رودخانه کاهش یافته و همچنین در طول مطالعه عملیاتی مانند استخراج شن و ماسه بستر رودخانه به‌صورت محلی در جریان‌های بالادست و پایین‌دست و اطراف رودخانه انجام شد که این فعالیت‌ها باعث افزایش مقادیر پارامترهای کیفیت آب، به‌ویژه مواد معلق و کدورت شده است. نتیجه WQI نیز از این توصیف پشتیبانی می‌کند. همچنین بررسی کیفیت آب رودخانه از نظر خطرات بهداشت عمومی (ضریب خطر HQ) و شاخص خطر

منابع

شاخص تجمع جغرافیایی (Igeo). تحقیقات آب و خاک ایران. ۹۴۳-۹۳۳. (۴)۵۲.

خلیلی، ر.، زالی، ا.، و متقی، ح. (۱۴۰۰). ارزیابی فلزات سنگین در آب و رسوبات رودخانه هراز، با استفاده از شاخص بار آلودگی (PLI) و

References

- Ashar, Y.K., Susilawati, S., & Agustina, D. (2020). Analisis Kualitas (BOD, COD, DO) Air Sungai Pesangrahan Desa Rawadenok Kelurahan Rangkaan Jaya Baru Kecamatan Mas Kota Depok. Fakultas Kesehatan Masyarakat UINSU Medan, 24 pages.
- Bhatta, B., Shrestha, S., Shrestha, P.K., & Talchabhadel, R. (2019). Evaluation and application of a SWAT model to assess the climate change impact on the hydrology of the Himalayan River Basin. *Catena*, 181, 104082.
- Chabuk, A., Al-Madhlom, Q., Al-Maliki, A., Al-Ansari, N., Hussain, H.M., & Laue, J. (2020). Water quality assessment along Tigris River (Iraq) using water quality index (WQI) and GIS software. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(14), 1–23.
- Elkiran, G., Nourani, V., & Abba, S.I. (2019). Multi-step ahead modelling of river water quality parameters using ensemble artificial intelligence-based approach. *Journal of Hydrology*, 577, 123962.
- Ewaid, S.H., & Abed, S.A. (2017). Water quality index for Al-Gharraf river, southern Iraq. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, 43(2), 117–122.
- Ewaid, S.H., Abed, S.A., & Kadhum, S.A. (2018). Predicting the Tigris River water quality within Baghdad, Iraq by using water quality index and regression analysis. *Environmental Technology & Innovation*, 11, 390–398.
- Garg, V., Aggarwal, S.P., & Chauhan, P. (2020). Changes in turbidity along Ganga River using Sentinel-2 satellite data during lockdown associated with COVID-19. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 11(1), 1175–1195.
- Irhani, M., Abrar, F., & Kurnianda, V. (2017). Analisis BOD dan COD di perairan estuaria Krueng Cut, Banda Aceh. *DEPIK Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan, Pesisir Dan Perikanan*, 6(3), 199–204.
- Jaiswal, M., Hussain, J., Gupta, S.K., Nasr, M., & Nema, A.K. (2019). Comprehensive evaluation of water quality status for entire stretch of Yamuna River, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(4), 208.
- Jin, X., Bai, Z., Oenema, O., Winiwarter, W., Velthof, G., Chen, X., & Ma, L. (2020). Spatial planning needed to drastically reduce nitrogen and phosphorus surpluses in China's Agriculture. *Environmental Science & Technology*, 54(19), 11894–11904.
- Kang, D., So, Y.H., Park, K., Kim, I., & Kim, B.W. (2019). Analyses of TOC efficiency and correlation between DO, BOD, COD and influence factors using long-term observation data in the main stream of Nakdong River. *Journal of Environmental Science International*, 28(5), 465–474.
- Khalili, R., Parvinnia, M., & Motaghi, H. (2020). Evaluation of Bashar River water quality using CCME water quality index. *Journal of Environmental Science Studies*, 5(3), 2807–2814.
- Khalili, R., Parvinnia, M., & Motaghi, H. (2021). The effects of forecasted precipitation amount

- on probable maximum precipitation and probable maximum flood parameters. *Journal of Environmental Science Studies*, 5(4), 2982–2989.
- Khalili, R., Ghaedi, M., Parvinnia, M., & Sabzehmeidani, M.M. (2021). Simultaneous removal of binary mixture dyes using Mn - Fe layered double hydroxide coated chitosan fibers prepared by wet spinning. *Surfaces and Interfaces*, 23, 100976.
- Khalili, R., Parvinnia, M., & Zali, A. (2020). Water quality assessment of Garmarood River using the national sanitation foundation water quality index (NSFWQI), river pollution index (RPI) and weighted arithmetic water quality index (WAWQI). *Environment and Water Engineering*, 6(3), 274–284.
- Khalili, R., Zali, A., & Motaghi, H. (2021). Evaluating the heavy metals in the water and sediments of Haraz River, using pollution load index (PLI) and geo accumulation index (Igeo). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 52(4), 933-942 (in Persian).
- Khan, R., Saxena, A., & Shukla, S. (2020). Evaluation of heavy metal pollution for River Gomti, in parts of Ganga Alluvial Plain, India. *SN Applied Sciences*, 2(8), 1–12.
- Melesse, A.M., Khosravi, K., Tiefenbacher, J.P., Heddam, S., Kim, S., Mosavi, A., & Pham, B.T. (2020). River water salinity prediction using hybrid machine learning models. *Water*, 12(10), 2951.
- Mukherjee, I., Singh, U.K., Singh, R.P., Kumari, D., Jha, P.K., & Mehta, P. (2020). Characterization of heavy metal pollution in an anthropogenically and geologically influenced semi-arid region of east India and assessment of ecological and human health risks. *Science of The Total Environment*, 705, 135801.
- Nath, S.D., Choudhury, T.R., & Sinha, R.C. (2017). An investigation of pH, TDS and trace elements of water in Buriganga river, Bangladesh. *International Journal of Sciences & Applied Research*, 4(11), 24-33.
- Ou, Y., Xue, Z.G., Li, C., Xu, K., White, J.R., Bentley, S.J., & Zang, Z. (2020). A numerical investigation of salinity variations in the Barataria Estuary, Louisiana in connection with the Mississippi River and restoration activities. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 245, 107021.
- Prasad, S., Saluja, R., Joshi, V., & Garg, J.K. (2020). Heavy metal pollution in surface water of the Upper Ganga River, India: human health risk assessment. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(11), 1–15.
- Santoso, A.D. (2018). Keragaan Nilai DO, BOD dan COD di Danau Bekas Tambang Batubara Studi Kasus pada Danau Sangatta North PT. KPC di Kalimantan Timur. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 19(1), 89–96.
- Şener, Ş., Şener, E., & Davraz, A. (2017). Evaluation of water quality using water quality index (WQI) method and GIS in Aksu River (SW-Turkey). *Science of the Total Environment*, 584, 131–144.
- Suryawan, I. W.K., Prajati, G., Afifah, A.S., & Apritama, M.R. (2020). NH₃-N and COD reduction in Endek (Balinese textile) wastewater by activated sludge under different DO condition with ozone pretreatment. *Walailak Journal of Science and Technology (WJST)*, 18(6), 9127.
- Swain, S.S., Mishra, A., Sahoo, B., & Chatterjee, C. (2020). Water scarcity-risk assessment in data-scarce river basins under decadal climate change using a hydrological modelling approach. *Journal of Hydrology*, 590, 125260.
- Tokatli, C. (2021). Health risk assessment of toxic metals in surface and groundwater resources of a significant agriculture and industry zone in Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 80(4), 1–14.
- Ustaoğlu, F., Tepe, Y., & Taş, B. (2020). Assessment of stream quality and health risk in a subtropical Turkey river system: A combined approach using statistical analysis and water quality index. *Ecological Indicators*, 113, 105815.
- Verbrugge, L.N.H., Schipper, A.M., Huijbregts, M.A.J., Van der Velde, G., & Leuven, R.S.E.W. (2012). Sensitivity of native and non-native mollusc species to changing river water temperature and salinity. *Biological Invasions*, 14(6), 1187–1199.
- Wang, Y., Xie, Z., Liu, S., Wang, L., Li, R., Chen, S., Jia, B., Qin, P., & Xie, J. (2020). Effects of anthropogenic disturbances and climate change on riverine dissolved inorganic nitrogen transport. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 12(10), e2020MS002234.
- Worrall, F., Kerns, B., Howden, N.J.K., Burt, T.P., & Jarvie, H.P. (2020). The probability of breaching water quality standards—a probabilistic model of river water nitrate concentrations. *Journal of Hydrology*, 583, 124562.
- Wu, H., Yang, W., Yao, R., Zhao, Y., Zhao, Y., Zhang, Y., Yuan, Q., & Lin, A. (2020). Evaluating surface water quality using water quality index in Beiyun River, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(28), 35449–35458.
- Wu, H., Yang, F., Li, H., Li, Q., Zhang, F., Ba, Y., Cui, L., Sun, L., Lv, T., & Wang, N. (2020). Heavy metal pollution and health risk assessment of agricultural soil near a smelter in an industrial city in China. *International Journal of Environmental Health Research*, 30(2), 174–186.

- Wu, Z., Wang, X., Chen, Y., Cai, Y., & Deng, J. (2018). Assessing river water quality using water quality index in Lake Taihu Basin, China. *Science of the Total Environment*, 612, 914–922.
- Xiao, H., Shahab, A., Xi, B., Chang, Q., You, S., Li, J., Sun, X., Huang, H., Li, X., & Saddique, J. (2020). Heavy metal pollution, ecological risk, spatial distribution, and source identification in sediments of the Lijiang River, China. *Environmental Pollution*, 269, 116189.
- Xu, G., Li, P., Lu, K., Tantai, Z., Zhang, J., Ren, Z., Wang, X., Yu, K., Shi, P., & Cheng, Y. (2019). Seasonal changes in water quality and its main influencing factors in the Dan River basin. *Catena*, 173, 131–140.
- Xu, J., Zheng, L., Xu, L., Liu, B., Liu, J., & Wang, X. (2020). Identification of dissolved metal contamination of major rivers in the southeastern hilly area, China: distribution, source apportionment, and health risk assessment. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(4), 3908-3922.
- Zounemat-Kermani, M., Alizamir, M., Fadaee, M., Sankaran Namboothiri, A., & Shiri, J. (2020). Online sequential extreme learning machine in river water quality (turbidity) prediction: a comparative study on different data mining approaches. *Water and Environment Journal*, 35, 335-348.