

Seasonal assessment of physical, chemical and microbial water quality of Gorganrud River using IRWQIsc index

Behzad Rahnama¹; Seyed Javad MirMohammad Hosseini²; Mehdi Khoshnamvand^{1*}; Hassan Nasrollahzadeh Saravi¹; Eisa Hajiradkouchak¹; Abdol Hamid Azari¹

- *1. Iranian Fisheries Science Research Institute, Agricultural Research, Education, and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran
2. Golstan Institute of Higher Education, Gorgan, Iran
*Email Address: mehdi.khoshnam@yahoo.com

Article Info	ABSTRACT
Article Type: Research Paper Article History: Received Date: 2026/05/05 Revised Date: 2026/06/20 Accepted Date: 2026/07/08 Published Date: 2026/07/14 Keywords: Water quality, Gorganrud River, IRWQIsc index, Water pollution, Golestan Province.	This study aimed to investigate the seasonal physical, chemical, and microbiological water quality of the Gorganrud River in Golestan Province using the Iran Water Quality Index for Surface Water Resources-Conventional Parameters (IRWQIsc). Sampling was conducted at six stations during four seasons in 2021-2022, and eleven quality parameters including pH, BOD, COD, dissolved oxygen, electrical conductivity, ammonium, nitrate, phosphate, total hardness, turbidity, and fecal coliforms were measured. The results showed that the IRWQIsc index range at different stations varied between 15 and 48.4. The Gorganrud estuary station with a value of 48.4 exhibited the best quality (moderate), while the Agh Qala bypass bridge station with a value of 15 showed the worst quality (very bad). The highest values of BOD (53 mg/L), COD (245 mg/L), EC (10990 μS/cm), and fecal coliforms (996 MPN/100 mL) were recorded at downstream stations. The results indicated that the water quality of the Gorganrud River is not in a favorable condition and is rated as 'relatively bad' to 'very bad'. The discharge of untreated urban wastewater, industrial effluents, and agricultural runoff containing chemical fertilizers and pesticides are the most important factors reducing water quality. Given the vital role of this river in supplying agricultural water and feeding the international wetland of Gorgan Bay, continuous water quality monitoring, proper construction and operation of urban and industrial wastewater treatment plants, optimizing the use of chemical fertilizers in the agricultural sector, and creating buffer strips along the riverbanks are essential.

Cite this article: Behzad Rahnama , Seyed Javad MirMohammad Hosseini , Mehdi Khoshnamvand , Hassan Nasrollahzadeh Saravi , Eisa Hajiradkouchak , Abdol Hamid Azari (2026) Seasonal assessment of physical, chemical and microbial water quality of Gorganrud River using IRWQIsc index, Journal of Environmental Sciences Studies, 11(1) , Pages 11120-11131.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

One of the main challenges in water quality management is the large volume of data from monitoring various physical, chemical, and microbial parameters. In this regard, the use of Water Quality Indices (WQI) as an efficient and simple tool has attracted the attention of researchers and responsible institutions. In response to the need for a localized index, the Iranian Department of Environment developed the national surface water quality index (Iran Water Quality Index for Surface Water Resources-Conventional Parameters; IRWQIsc) based on 11 key parameters. The Gorganrud River, with a length of about 300 km and a watershed area of 10,250 km², is one of the most important rivers in Golestan Province and the Caspian basin. Cultivation of various crops, high consumption of chemical fertilizers and pesticides, along with the discharge of urban and industrial wastewater, have imposed significant pollution pressure on this water resource. This study aimed to investigate the seasonal quality of Gorganrud River water using the IRWQIsc index, identify critical stations, and determine the most important parameters affecting water quality reduction.

Materials and methods

Six sampling stations were selected along the river to cover upstream (minimal pollution), midstream (affected by urban and agricultural pollutants), and downstream (accumulation of pollutants) areas: (1) Pol-e Shahr-e Kallaleh, (2) Gonbad (Pol-e Gedam Abad), (3) Voshm Gir Dam outlet, (4) Pol-e Kamarbandi-e Aqqala, (5) Pol-e Khajeh Nafas, and (6) Gorganrud Estuary. Eleven water quality parameters were measured: pH, BOD₅, COD, dissolved oxygen (DO), electrical conductivity (EC), ammonium (NH₄), nitrate (NO₃), phosphate (PO₄), total hardness, turbidity, and fecal coliforms. pH, temperature, EC, and DO. Fecal coliforms were determined by the multiple tube fermentation method (MPN) according to APHA. Data were analyzed using SPSS version 26. One-way ANOVA followed by Duncan's HSD post-hoc test was used to compare water quality indices among stations and seasons.

Results and discussion

The IRWQIsc values ranged from 15 to 48.4 across all stations and seasons. The Gorganrud Estuary showed the highest quality (48.4, "moderate"), while Pol-e Kamarbandi-e Aqqala showed the lowest (15, "very bad"). The highest BOD (53 mg/L), COD (245 mg/L), EC (10,990 µS/cm), and fecal coliforms (996 MPN/100mL) were recorded at downstream stations. Spring: IRWQIsc ranged from 15 to 47.5. Pol-e Kamarbandi-e Aqqala (15, "very bad") and Gorganrud Estuary (47.5, "moderate") represented the extremes. Summer: IRWQIsc ranged from 20.8 to 42.3. Most stations showed "relatively bad" quality. Water quality decreased compared to spring due to reduced river flow and increased pollutant concentrations. Autumn: IRWQIsc ranged from 27 to 46.6. Voshm Gir Dam outlet (27) and Pol-e Kamarbandi-e Aqqala (28.1) showed "bad" quality, while Pol-e Shahr-e Kallaleh (46.6) showed "moderate" quality. Winter: IRWQIsc ranged from 32.1 to 48.4. The Estuary showed the highest quality (48.4, "moderate"), and most stations were classified as "relatively bad". Water quality decreased from upstream to midstream, reaching its lowest point at Pol-e Kamarbandi-e Aqqala, then showed partial recovery at downstream stations. This pattern indicates significant pollution input from Gonbad-e Kavus and Aqqala cities, followed by natural self-purification processes.

Conclusion

The water quality of the Gorganrud River is unfavorable, classified as "relatively bad" to "very bad" in most stations and seasons. Pol-e Kamarbandi-e Aqqala was identified as the most critical pollution hotspot. Analysis of spatial variations showed that water quality decreased from upstream to downstream until Aqqala, then improved at downstream stations due to natural self-purification processes. Temporal variations demonstrated better quality in wet seasons (winter and spring) due to dilution effects, although increased erosion in winter can offset this benefit at some stations. Considering the vital role of this river in agricultural water supply and feeding the International Wetland of Gorgan Bay, urgent actions are recommended: continuous water quality monitoring, proper operation of wastewater treatment plants, optimization of chemical fertilizer use, establishment of riparian buffer zones, and public awareness raising. Future studies should measure heavy metals, pesticides, and persistent organic pollutants, and extend the monitoring period over several years.



FANPAYA

Knowledge Based Company
(PUBLISHER)

بررسی فصلی کیفیت فیزیکی، شیمیایی و میکروبی آب رودخانه گرگانرود استان گلستان با استفاده از شاخص IRWQI_{SC}

بهزاد رهنما^۱، سیدجواد میرمحمد حسینی^۲، مهدی خوشناموند^{۱*}، حسن نصراله زاده ساروی^۱،
عیسی حاجی رادکوچک^۱، عبدالحمید آذری^۱

*۱- گروه اکولوژی، پژوهشکده اکولوژی دریای خزر، مؤسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران

۲- گروه محیط زیست، مجتمع آموزش عالی گلستان، گرگان، ایران

*ایمیل نویسنده مسئول: mehdi.khoshnam@yahoo.com

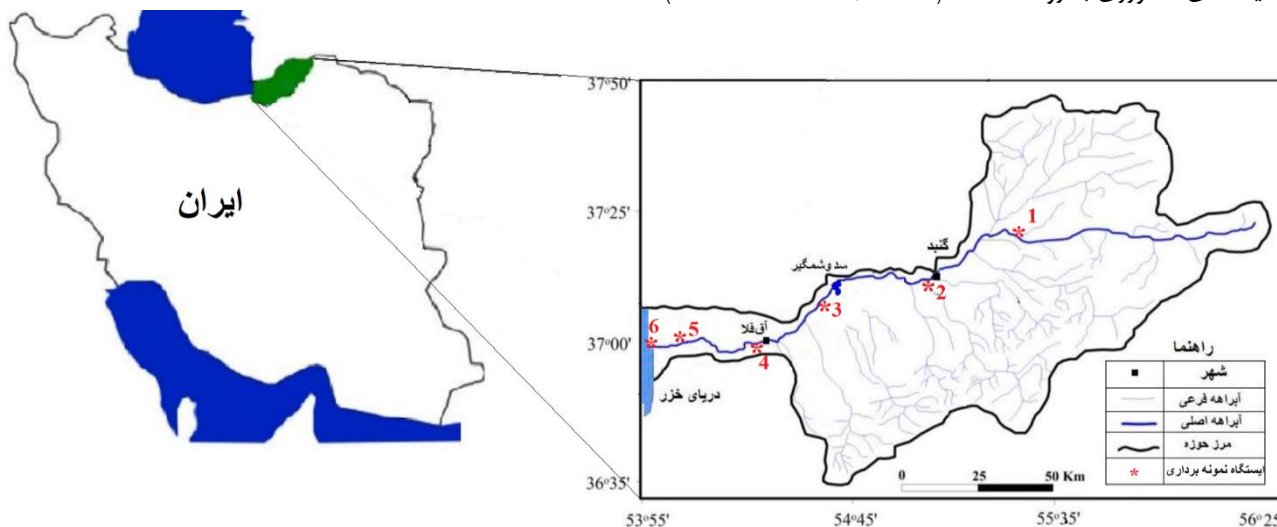
اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله علمی پژوهشی	این مطالعه با هدف بررسی فصلی کیفیت فیزیکی، شیمیایی و میکروبی آب رودخانه گرگانرود در استان گلستان با استفاده از شاخص کیفیت منابع آب سطحی ایران (Iran Water Quality Index for Surface Water Resources- (Conventional Parameters; IRWQI _{SC}) انجام شد. نمونه برداری از ۶ ایستگاه در چهار فصل سال ۱۴۰۰ صورت گرفت و بازده پارامتر کیفی شامل pH، BOD، COD، اکسیژن محلول، هدایت الکتریکی، آمونیوم، نیتрат، فسفات، سختی کل، کدورت و کلیفرم مدفوعی اندازه گیری گردید. نتایج نشان داد که محدوده شاخص IRWQI _{SC} در ایستگاه های مختلف بین ۱۵ تا ۴۸/۴ متغیر بود. ایستگاه مصب گرگانرود با مقدار ۴۸/۴ بهترین کیفیت (متوسط) و ایستگاه پل کمربندی آق قلا با مقدار ۱۵ بدترین کیفیت (خیلی بد) را نشان دادند. بیشترین مقادیر BOD (۵۳ میلی گرم در لیتر)، COD (۲۴۵ میلی گرم در لیتر)، EC (۱۰۹۹۰ میکروزیمنس بر سانتیمتر) و کلیفرم مدفوعی (۹۹۶ MPN/100 mL) در ایستگاه های پایین دست ثبت گردید. نتایج نشان دادند که کیفیت آب رودخانه گرگانرود در وضعیت مطلوبی قرار ندارد و در طبقات «نسبتاً بد» تا «خیلی بد» ارزیابی می شود. ورود فاضلاب های شهری تصفیه نشده، پساب های صنعتی و رواناب های کشاورزی حاوی کودها و سموم شیمیایی مهم ترین عوامل کاهش کیفیت آب هستند. با توجه به نقش حیاتی این رودخانه در تأمین آب کشاورزی و تغذیه تالاب بین المللی خلیج گرگان، پایش مستمر کیفیت آب، احداث و بهره برداری صحیح از تصفیه خانه های فاضلاب شهری و صنعتی، بهینه سازی مصرف کودهای شیمیایی در بخش کشاورزی و ایجاد نوارهای حفاظتی در حاشیه رودخانه ضروری می باشد.
کلید واژه ها: کیفیت آب، رودخانه گرگانرود، شاخص IRWQI _{SC} ، آلودگی آب، استان گلستان.	

منابع آب شیرین به ویژه رودخانه‌ها به عنوان شریان‌های حیاتی اکوسیستم‌های کره زمین، نقشی بی‌بدیل در تأمین آب شرب، کشاورزی، صنعت و پایداری محیط زیست ایفا می‌کنند (Sanusi et al., 2025; Khodami et al., 2026). این اکوسیستم‌های آبی نه تنها نیازهای اساسی جوامع انسانی را تأمین می‌کنند، بلکه پشتیبان تنوع زیستی غنی و چرخه‌های طبیعی حیاتی هستند. با این حال، در دهه‌های اخیر، رشد شتابان شهرنشینی، توسعه صنعتی و تشدید فعالیت‌های کشاورزی، فشارهای فزاینده‌ای بر کیفیت منابع آب سطحی در سراسر جهان وارد ساخته است (Varol, 2011; Essalmi et al., 2024). ورود آلاینده‌های شیمیایی آلی و معدنی، فاضلاب‌های تصفیه‌نشده شهری و صنعتی و رواناب‌های حاصل از زمین‌های کشاورزی به رودخانه‌ها، به یک نگرانی جهانی تبدیل شده و سلامت این منابع حیاتی را با مخاطرات جدی مواجه ساخته است. این آلودگی‌ها علاوه بر تهدید سلامت انسان و موجودات آبی، پیامدهای اقتصادی-اجتماعی نامطلوبی از جمله محدودیت در مصارف مختلف آب، هزینه‌های سنگین تصفیه و کاهش بهره‌وری منابع را به دنبال دارد (Sanusi et al., 2025; Xu et al., 2024). کشور ایران به دلیل موقعیت جغرافیایی و اقلیمی خود، در زمره مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان قرار دارد و با کمبود منابع آب شیرین مواجه است، ایران علی‌رغم دارا بودن حدود ۱ درصد جمعیت جهان، تنها ۰/۵۳ درصد از منابع آب قابل دسترسی جهان را در اختیار دارد. این وضعیت همراه با توزیع نامناسب مکانی و زمانی بارندگی، برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و کاهش روزافزون کیفیت منابع آب سطحی، کشور را با بحران جدی آب مواجه ساخته است (Roshani-Sefidkouhi et al., 2025). طی سالهای اخیر، ایران به مرحله تنش آبی و کم‌آبی شدید وارد شده است. بنابراین، حفاظت از کیفیت منابع آب موجود و جلوگیری از تخریب بیشتر آنها، یک ضرورت انکارناپذیر برای توسعه پایدار کشور محسوب می‌شود. یکی از چالش‌های اساسی در مدیریت کیفی منابع آب، حجم بالای داده‌های حاصل از پایش پارامترهای متعدد فیزیکی، شیمیایی و میکروبی است که تفسیر و تحلیل آنها را برای مدیران و برنامه‌ریزان دشوار می‌سازد. در این راستا، استفاده از شاخص‌های کیفیت آب (Water Quality Indices) به عنوان ابزاری کارآمد و ساده، مورد توجه پژوهشگران و نهادهای مسئول قرار گرفته است (Fang et al., 2025; Uddin et al., 2021). شاخص‌های کیفیت آب با تلفیق داده‌های چندین پارامتر کیفی و تبدیل آنها به یک عدد واحد، درک وضعیت کلی کیفیت آب را برای عموم مردم و تصمیم‌گیرندگان تسهیل می‌کنند. از جمله معروف‌ترین شاخص‌های بین‌المللی می‌توان به شاخص بنیاد ملی بهداشت آمریکا (National Sanitation Foundation Water Quality Index (NSFWQI)) و شاخص کیفیت آب سازمان بهداشت جهانی اشاره کرد (Uddin et al., 2021). با این حال، با توجه به شرایط اقلیمی، هیدرولوژیکی و آلاینده‌های خاص ایران، استفاده از شاخص‌های بین‌المللی بدون بومی‌سازی ممکن است نتایج کاملاً دقیقی را ارائه ندهد (Ebraheim et al., 2020). در پاسخ به این نیاز، سازمان حفاظت محیط زیست ایران اقدام به تدوین شاخص ملی کیفیت منابع آب سطحی با عنوان (Iranian Surface Water Quality Index – Conventional Parameters (IRWQIsc)) نموده است. این شاخص با بهره‌گیری از یازده پارامتر کلیدی شامل pH، اکسیژن محلول (DO)، اکسیژن خواهی بیوشیمیایی (BOD)، اکسیژن خواهی شیمیایی (COD)، هدایت الکتریکی (EC)، آمونیوم (NH₄)، نیترات (NO₃)، فسفات (PO₄)، سختی کل، کدورت و کلیفرم مدفوعی ارزیابی جامعی از کیفیت آب ارائه می‌دهد. در این شاخص، هر پارامتر بر اساس اهمیت آن در شرایط بومی ایران وزن‌دهی شده و مقادیر شاخص در هفت طبقه کیفی از «خیلی بد» (کمتر از ۱۵) تا «بسیار خوب» (بیشتر از ۸۵) طبقه‌بندی می‌گردد (Iranian Department of Environment, 2011; Roshani-Sefidkouhi et al., 2025). این شاخص در سال‌های اخیر به طور گسترده در مطالعات مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. رودخانه گرگانرود با طول حدود ۳۰۰ کیلومتر و حوضه آبریزی به وسعت ۱۰۲۵۰ کیلومتر مربع، یکی از مهم‌ترین و پرآب‌ترین رودخانه‌های استان گلستان و حوضه خزر محسوب می‌شود. این رودخانه از ارتفاعات پارک ملی گلستان سرچشمه گرفته و پس از عبور از شهرهای مهمی همچون گنبد کاووس و آق‌قلا، در نهایت به تالاب بین‌المللی خلیج گرگان و دریای خزر می‌ریزد. حوضه آبریز گرگانرود یکی از مناطق مهم کشاورزی استان به شمار می‌رود (Zare Garizi et al., 2024). کشت انواع محصولات زراعی، مصرف بالای کودهای شیمیایی و سموم دفع آفات در این حوضه، همراه با تخلیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی از شهرهای واقع در حاشیه رودخانه، فشار آلودگی قابل توجهی بر این منبع آبی وارد کرده است. علاوه بر این، برداشت بی‌رویه شن و ماسه از بستر رودخانه، ورود پساب‌های آبی‌پرووری و رواناب‌های سطحی حاصل از اراضی کشاورزی، کیفیت آب این رودخانه را با مخاطرات جدی مواجه ساخته است (Noroozi et al., 2020). علیرغم اهمیت بالای رودخانه گرگانرود برای استان گلستان و منطقه خزر، مطالعات جامع و سیستماتیک در خصوص ارزیابی فصلی کیفیت آب این رودخانه با استفاده از شاخص بومی IRWQIsc محدود است. اکثر مطالعات انجام شده در این حوضه عمدتاً بر روی پارامترهای محدود یا ایستگاه‌های خاص متمرکز بوده و رویکرد یکپارچه و مبتنی بر شاخص ملی را دنبال نکرده‌اند. با توجه به افزایش روزافزون فشارهای انسانی بر این رودخانه و لزوم اتخاذ تدابیر مدیریتی مؤثر برای حفاظت از آن، انجام یک مطالعه جامع با پوشش زمانی-مکانی مناسب و استفاده از شاخص معتبر IRWQIsc یک ضرورت علمی و اجرایی محسوب می‌شود. این مطالعه با هدف بررسی فصلی کیفیت فیزیکی، شیمیایی و میکروبی آب رودخانه گرگانرود با استفاده از شاخص IRWQIsc، شناسایی ایستگاه‌های بحرانی از نظر کیفیت آب و تعیین مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر کاهش کیفیت آب انجام شده است. نتایج این تحقیق می‌تواند مبنایی برای برنامه‌ریزی و اولویت‌بندی اقدامات کنترلی و مدیریتی در جهت کاهش آلودگی و حفاظت از این منبع ارزشمند آبی قرار گیرد.

۲- روش انجام تحقیق

• منطقه مورد مطالعه

رودخانه گرگانرود در استان گلستان و در محدوده جغرافیایی طول‌های ۵۴ درجه و ۲ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۲۲ دقیقه شرقی و عرض‌های ۳۶ درجه و ۲۲ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۴۷ دقیقه شمالی واقع شده است (شکل ۱). میانگین بارندگی سالانه در حوضه گرگانرود از ۲۰۰ میلی‌متر در شمال تا ۷۰۰ میلی‌متر در جنوب متغیر است و میانگین دمای سالانه منطقه بین ۱۵ تا ۱۸ درجه سانتی‌گراد ثبت شده است. کاربری اراضی حوضه شامل ۴۱ درصد مناطق جنگلی، ۲۰ درصد مراتع و ۳۹ درصد اراضی زراعی می‌باشد که این امر نشان‌دهنده نقش مهم کشاورزی در منطقه و پتانسیل بالای ورود آلاینده‌های کشاورزی به رودخانه است (Daechini et al., 2022).



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه (رودخانه گرگانرود و حوضه آبریز آن)

• ایستگاه‌های نمونه‌برداری

در این مطالعه، با توجه به منابع ورودی آلاینده‌های شهری، صنعتی و کشاورزی در طول مسیر رودخانه گرگانرود، تعداد ۶ ایستگاه نمونه‌برداری انتخاب گردید (شکل ۱ و جدول ۱). ایستگاه‌ها به گونه‌ای انتخاب شدند که نواحی بالادست (با حداقل آلودگی)، میان‌دست (تحت تأثیر آلاینده‌های شهری و کشاورزی) و پایین‌دست (تجمع آلاینده‌ها) را پوشش دهند.

جدول ۱. ایستگاه‌های مورد مطالعه رودخانه گرگانرود

شماره ایستگاه	نام ایستگاه
۱	پل شهر کالاله
۲	گنبد، پل گدم آباد
۳	خروجی سد وشمگیر، روستای شیخ آباد
۴	پل کمربندی آق قلا
۵	پل خواجه نفس
۶	مصب گرگانرود

• زمان و روش نمونه‌برداری

نمونه‌برداری در سال ۱۴۰۰ و در چهار فصل (بهار، تابستان، پاییز و زمستان) انجام گرفت. در هر ایستگاه، سه تکرار نمونه برداری شد. نمونه‌برداری از عمق ۲۰-۳۰ سانتی‌متری سطح آب انجام شد (APHA, 2017). نمونه‌ها بلافاصله در یخدان به آزمایشگاه منتقل شده و آنالیز شدند.

• پارامترهای اندازه‌گیری شده

در این مطالعه، ۱۱ پارامتر کیفی شامل pH، COD، BOD، اکسیژن محلول، هدایت الکتریکی، آمونیوم، نیترات، فسفات، سختی کل، کدورت و کلیفرم مدفوعی اندازه‌گیری شدند. پارامترهای pH، دما، EC و DO در محل نمونه‌برداری با استفاده از دستگاه مولتی‌پارامتر پرتابل (HACH, SensION 156) اندازه‌گیری شدند. کلیفرم مدفوعی به روش تخمیر چند لوله‌ای (MPN) و در سه مرحله احتمالی، تاییدی و تکمیلی با استفاده از محیط‌های کشت لوریل تریپتوز برات، برلیان گرین برات و EC برات در دماهای ۳۵ و ۴۴/۵ درجه سانتی‌گراد تعیین گردید (APHA, 2017).

• شاخص کیفیت آب IRWQI_{SC}

برای ارزیابی یکپارچه کیفیت آب از شاخص ملی کیفیت منابع آب سطحی ایران (IRWQI_{SC}) استفاده شد. برای این منظور مقدار Q value ثبت شده برای هر پارامتر را به توان ضریب وزنی پارامتر رسانده و سپس نتایج پارامترهای مختلف را ضرب می‌کنیم. نتیجه پایانی به توان مجموع ضرایب وزنی مشخص شده برای پارامترها می‌رسد (Iranian Department of Environment, 2011). این شاخص با استفاده از ۱۱ پارامتر ذکر شده در جدول ۲ و با اعمال وزن‌های اختصاصی هر پارامتر محاسبه می‌گردد.

$$IRWQI_{SC} = \left[\prod_{i=1}^n I_i^{w_i} \right]^{\frac{1}{\sum w_i}}$$

جدول ۲. پارامترهای متداول کیفیت منابع آب سطحی ایران (IRWQI_{SC})

ردیف	پارامتر	وزن	واحد
۱	کلیفرم مدفوعی	۰/۱۴	MPN/100 mL
۲	BOD ₅	۰/۱۱۷	mg/L
۳	نیتрат	۰/۱۰۸	mg/L
۴	اکسیژن محلول	۰/۰۹۷	درصد اشباع
۵	هدایت الکتریکی	۰/۰۹۶	μS/cm
۶	COD	۰/۰۹۳	mg/L
۷	آمونیم	۰/۰۹	mg/L
۸	فسفات	۰/۰۸۷	mg/L
۹	کدورت	۰/۰۶۲	NTU
۱۰	سختی کل	۰/۰۵۹	mg/L CaCO ₃
۱۱	pH	۰/۰۵۱	-

• تعیین محدوده کیفیت

از روی مقدار شاخص محاسبه شده طبقه کیفی آب، معادل آن از روی جدول ۳ مشخص می‌شود.

جدول ۳. مقادیر و توصیف شاخص کیفیت منابع آب سطحی ایران (IRWQI_{SC})

مقدار شاخص	توصیف
کمتر از ۱۵	خیلی بد
۱۵-۲۹	بد
۳۰-۴۴	نسبتا بد
۴۵-۵۵	متوسط
۵۵-۷۰	نسبتا خوب
۷۰-۸۵	خوب
بیشتر از ۸۵	بسیار خوب

• آنالیز داده ها

در این مطالعه برای محاسبه شاخص IRWQI_{SC} از نرم افزار Excel با فرمول نویسی اختصاصی استفاده گردید. برای مقایسه میانگین شاخص IRWQI_{SC} در نمونه‌های برداشت شده از ایستگاه‌های مختلف و فصول متفاوت، از آزمون آماری آنالیز واریانس یک طرفه (One-way ANOVA) با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۶ استفاده گردید. سطح معنی داری برای تمام آزمون‌ها ۰/۵ در نظر گرفته شد. همچنین برای رسم نمودارهای مربوطه از نرم افزار Excel استفاده شده است.

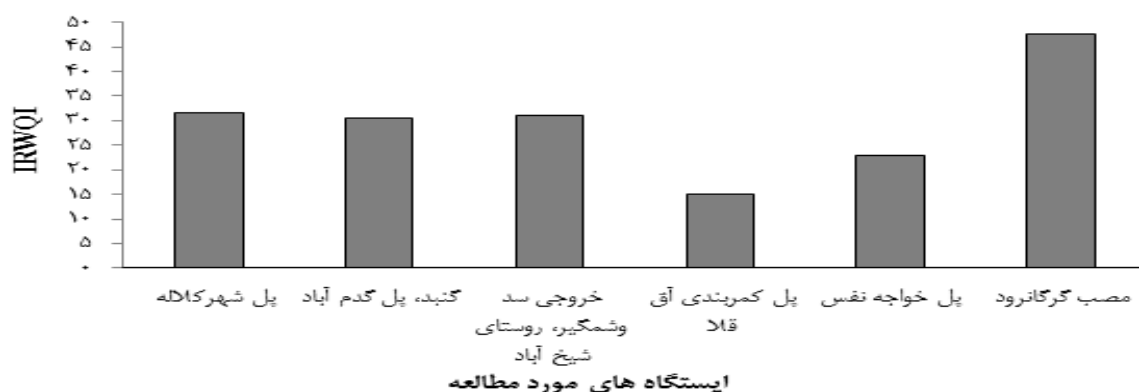
۳- نتایج

• نتایج پارامترهای کیفیت آب

جهت محاسبه شاخص کیفیت آب $IRWQI_{SC}$ ، یازده پارامتر کیفی شامل pH، BOD، COD، اکسیژن محلول (DO)، هدایت الکتریکی (EC)، آمونیوم (NH_4)، نیترات (NO_3)، فسفات (PO_4)، سختی کل، کدورت و کلیفرم مدفوعی در شش ایستگاه منتخب در طول رودخانه گرگانرود و در چهار فصل سال ۱۴۰۰ اندازه‌گیری شدند. نتایج اندازه‌گیری این پارامترها در جداول ۴ تا ۷ و مقایسه شاخص کیفیت آب بین ایستگاه‌های مختلف در شکل‌های ۲ تا ۵ ارائه شده است.

• کیفیت آب در فصل بهار

در فصل بهار، نتایج آنالیز پارامترهای کیفی نشان داد که مقادیر شاخص $IRWQI_{SC}$ در ایستگاه‌های مختلف بین ۱۵ تا ۴۷/۵ متغیر است (جدول ۴ و شکل ۲). ایستگاه پل کمربندی آق قلا با مقدار شاخص ۱۵ در طبقه «خیلی بد» و ایستگاه مصب گرگانرود با مقدار ۴۷/۵ در طبقه «متوسط» قرار گرفتند. ایستگاه‌های پل شهرکالاله (۳۱/۶)، گنبد، پل گدم آباد (۳۰/۵) و خروجی سد وشمگیر (۳۱) کیفیت «نسبتاً بد» و ایستگاه پل خواجه نفس (۲۲/۹) کیفیت «بد» را نشان دادند.



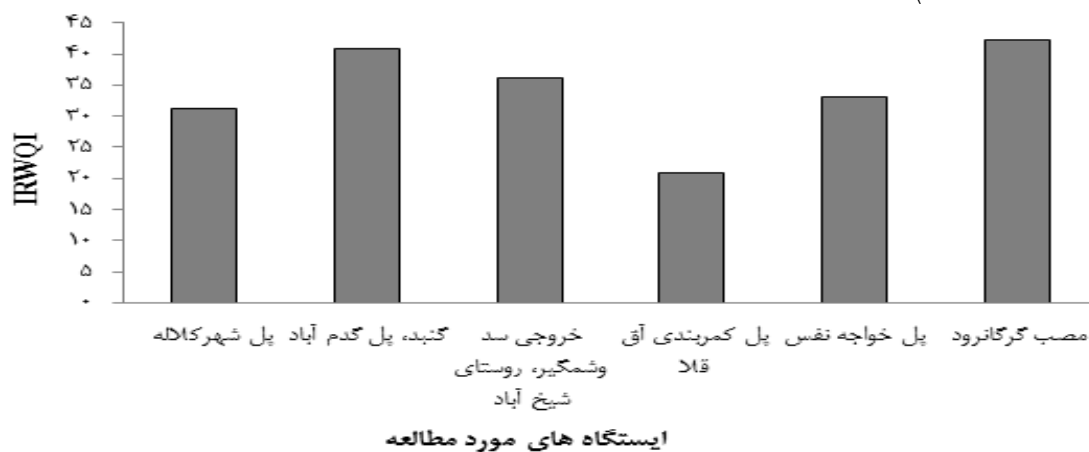
شکل ۲. شاخص کیفیت آب در ایستگاه‌های مختلف رودخانه گرگانرود در فصل بهار

پارامتر	ایستگاه	پل شهرکالاله	پل گدم آباد	خروجی سد وشمگیر، روستای شیخ آباد	پل کمربندی آق قلا	پل خواجه نفس	مصب گرگانرود
pH	۷/۵۱	۷/۵۱	۷/۵۵	۷/۲۸	۷/۵۱	۷/۲	۹
BOD	۲	۳	۱۵	۴۳	۵۳	۲۶	
COD	۰/۹	۳۵	۲۸	۲۱	۱۱	۸	
اکسیژن محلول	۷/۶	۱۷/۰۲	۷/۷	۱۱/۶۱	۷/۵۷	۹/۵۵	
هدایت الکتریکی (EC)	۷۴۴	۱۰۹۹۰	۲۴۵۰	۱۰۶۱۰	۶۳۲۰	۰/۴۳۹	
آمونیم	۰/۱۱	۰/۲	۰/۱	۰/۲۳	۰/۴۹	۰/۱۴۱	
نیترات	۱۲/۴	۴/۴۳	۱۰/۱۹	۶۰/۲	۵/۵	۱/۰۸	
فسفات	۷/۹	۰/۹	۰/۱۶	۱/۱	۰/۲۱	۰/۱۲	
سختی کل	۳۸۰	۲۵۲۰	۷۰۰	۱۵۲۰	۱۴۸۰	۴۸۰	
کدورت	۱۸۹	۲۳/۶۹	۱۳۴	۱۷۳	۶۹	۲۴/۳	
کلیفرم مدفوعی	۷۶۰	۹۲۲	۷۶۱	۵۹۵	۴۷۰	۲۹۵	
مقدار $IRWQI_{SC}$	۳۱/۶	۳۰/۵	۳۱	۱۵	۲۲/۹	۴۷/۵	
توصیف کیفیت	نسبتاً بد	نسبتاً بد	نسبتاً بد	خیلی بد	بد	متوسط	

جدول ۴. نتایج آنالیز پارامترهای مورد مطالعه در ایستگاه‌های مختلف رودخانه گرگانرود در فصل بهار

• کیفیت آب در فصل تابستان

در فصل تابستان، گستره تغییرات شاخص $IRWQI_{ISC}$ بین ۲۰/۸ تا ۴۲/۳ بود (جدول ۵ و شکل ۳). کیفیت آب در ایستگاه‌های پل شهرکالاله (۳۱/۲)، گنبد، پل گدم آباد (۴۰/۸)، خروجی سد وشمگیر (۳۶/۱)، پل خواجه نفس (۳۳) و مصب گرگانرود (۴۲/۳) در طبقه «نسبتاً بد» قرار گرفت. تنها ایستگاه پل کمربندی آق قلا با مقدار ۲۰/۸ در طبقه «بد» بود. مقادیر کدورت در این فصل در ایستگاه‌های پایین‌دست (پل خواجه نفس با ۸۶۳ NTU و پل کمربندی آق قلا با ۸۸۲ NTU) بسیار بالا بوده که نشان‌دهنده ورود ذرات معلق ناشی از فرسایش اراضی کشاورزی و فعالیت‌های ساختمانی در حاشیه رودخانه است. مقادیر کلیفرم مدفوعی در تابستان نسبت به بهار افزایش یافته و در ایستگاه گنبد، پل گدم آباد به ۹۹۶ MPN/100mL رسیده است. دمای بالاتر در فصل تابستان شرایط را برای رشد و تکثیر میکروارگانیسم‌ها مساعدتر می‌کند (Noroozi et al., 2020).



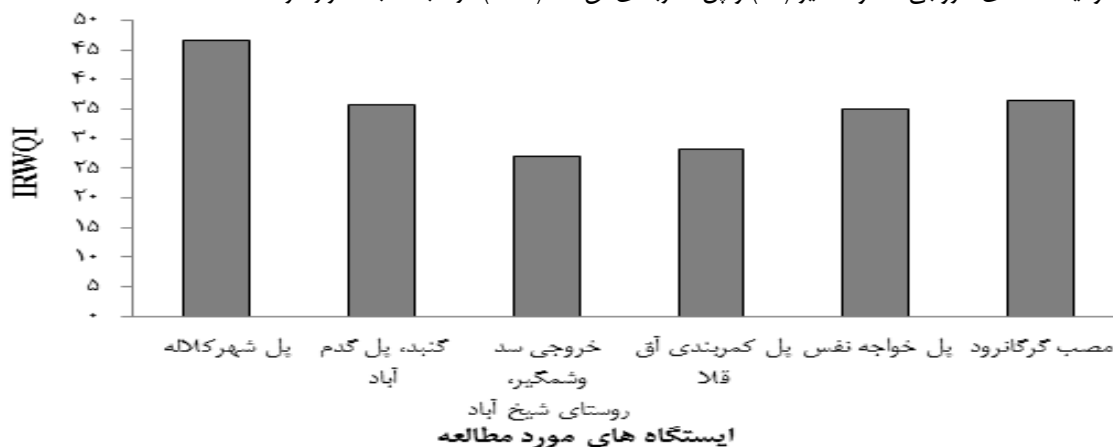
شکل ۳. شاخص کیفیت آب در ایستگاه‌های مختلف رودخانه گرگانرود در فصل تابستان

ایستگاه	پارامتر	پل شهرکالاله	گنبد، پل گدم آباد	خروجی سد وشمگیر، روستای شیخ آباد	پل کمربندی آق قلا	پل خواجه نفس	مصب گرگانرود
pH	۷/۲۳	۶/۹	۷/۱۸	۷/۲	۶/۶	۹/۱	
BOD	۱	۰/۹۶	۰/۶۰	۶	۸	۱۶	
COD	۳	۱۶	۲۱	۳۵	۴۶	۲۴	
اکسیژن محلول	۶/۶۶	۲/۴	۸/۷۷	۷/۶	۱/۲۷	۸/۳	
هدایت الکتریکی	۷۵۶	۵۱۸۰	۳۳۱۰	۷۱۸۰	۲۰۴۶	۱۰۵۲	
آمونیم	۰/۲۵	۰/۴۱	۰/۰۵	۰/۴۸	۰/۲۱	۱/۴۹	
نیترات	۱۵	۸/۳	۷/۱	۴۱/۳	۳/۸	۰/۱۳	
فسفات	۷/۳۶	۰/۱	۰/۲	۲/۲۵	۰/۴	۰/۰۶	
سختی کل	۴۱۰	۹/۸	۸۱۲	۹۶۰	۸۱۲	۶۲۰	
کدورت	۲۵۹	۲۲/۹۲	۷۳۵	۸۸۲	۸۶۳	۱۰۵/۳	
کلیفرم مدفوعی	۸۵۰	۹۹۶	۸۴۱	۷۹۰	۶۳۰	۵۰۴	
مقدار $IRWQI_{ISC}$	۳۱/۲	۴۰/۸	۳۶/۱	۲۰/۸	۳۳	۴۲/۳	
توصیف کیفیت	نسبتاً بد	نسبتاً بد	نسبتاً بد	بد	نسبتاً بد	نسبتاً بد	نسبتاً بد

جدول ۵. نتایج آنالیز پارامترهای مورد مطالعه در ایستگاه‌های مختلف رودخانه گرگانرود در فصل تابستان

• کیفیت آب در فصل پاییز

نتایج فصل پاییز نشان می‌دهد که مقادیر شاخص $IRWQI_{ISC}$ بین ۲۷ تا ۴۶/۶ متغیر است (شکل ۴ و جدول ۶). ایستگاه پل شهر کلاله با مقدار ۴۶/۶ بهترین کیفیت را در طبقه «متوسط» داشت. ایستگاه‌های گنبد پل گدم آباد (۳۵/۷)، پل خواجه نفس (۳۵) و مصب گرگانرود (۳۶/۵) در طبقه «نسبتاً بد» و ایستگاه‌های خروجی سد وشمگیر (۲۷) و پل کمربندی آق قلا (۲۸/۱) در طبقه «بد» قرار گرفتند.



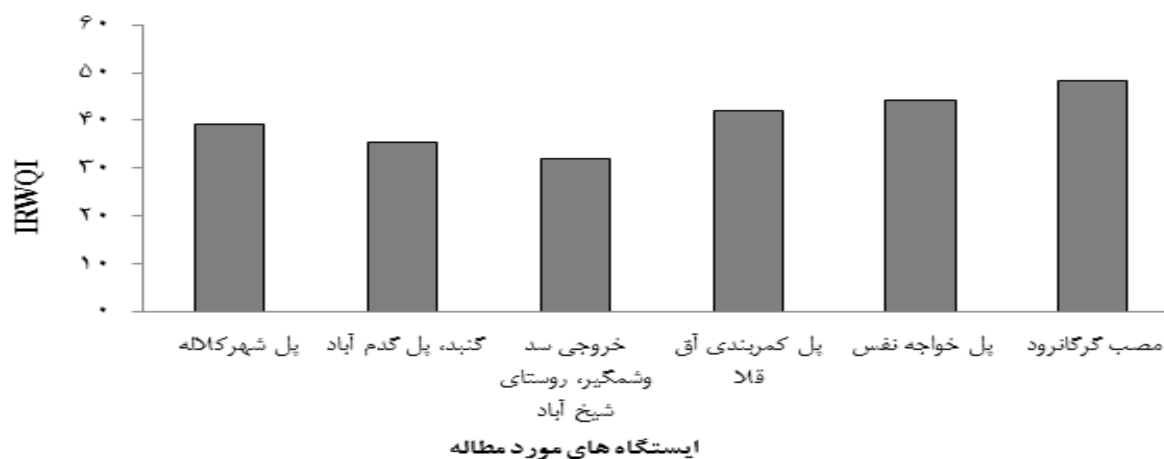
شکل ۴. شاخص کیفیت آب در ایستگاه‌های مختلف رودخانه گرگانرود در فصل پاییز

پارامتر	ایستگاه	پل شهر کلاله	گنبد، پل گدم آباد	خروجی سد وشمگیر، روستای شیخ آباد	پل کمربندی آق قلا	پل خواجه نفس	مصب گرگانرود
pH	۸/۳	۷/۶۷	۷/۴۷	۸/۱۴	۸/۰۳	۸/۱۶	
BOD	۸/۸	۱۶	۹/۳	۱۷	۱۴	۱۸	
COD	۲۷	۶۷	۲۴۵	۱۱۳	۸۴	۵۶	
اکسیژن محلول	۹/۴۱	۳/۶۲	۷/۰۲	۷/۸۳	۷/۳	۷/۴۲	
هدایت الکتریکی	۰/۳۲	۳/۰۸	۴/۳۹	۴/۸	۴/۷۵	۴/۶۶	
آمونیم	۰/۵۲	۲/۳	۱/۶۴	۰/۹۵۳	۱/۰۳۶	۰/۷۶۲	
نیترات	۴/۳۶	۲/۰۱	۱/۳۵	۴/۴۸	۲/۱۸	۲/۳۹	
فسفات	۰/۳۳	۰/۳۹	۰/۳۲	۰/۳۴	۰/۴۳	۱/۲۵	
سختی کل	۱۹۰	۶۱۰	۵۴۰	۵۷۰	۵۲۵	۴۲۵	
کدورت	۹۷/۴	۱۵۹/۰۲	۹۷۹	۴۶۳/۳	۳۱۹/۲	۱۶۳/۵	
کلی فرم مدفوعی	۴۶۰	۶۴۰	۸۱۰	۷۳۳	۶۱۰	۳۳۰	
مقدار $IRWQI_{ISC}$	۴۶/۶	۳۵/۷	۲۷	۲۸/۱	۳۵	۳۶/۵	
توصیف کیفیت	متوسط	نسبتاً بد	بد	بد	نسبتاً بد	نسبتاً بد	

جدول ۶. نتایج آنالیز پارامترهای مورد مطالعه در ایستگاه‌های مختلف رودخانه گرگانرود در فصل پاییز

• کیفیت آب در فصل زمستان

در فصل زمستان، مقادیر شاخص $IRWQI_{ISC}$ بین ۳۲/۱ تا ۴۸/۴ متغیر بود (شکل ۵ و جدول ۷). ایستگاه مصب گرگانرود با مقدار ۴۸/۴ بالاترین کیفیت را در طبقه «متوسط» داشت. ایستگاه‌های پل شهر کلاله (۳۹/۲)، گنبد پل گدم آباد (۳۵/۶)، خروجی سد وشمگیر (۳۲/۱)، پل کمربندی آق قلا (۴۱/۹) و پل خواجه نفس (۴۴/۲) همگی در طبقه «نسبتاً بد» قرار گرفتند. بررسی نتایج زمستان نشان می‌دهد که کیفیت آب در ایستگاه مصب گرگانرود نسبت به سایر فصول بهبود یافته است. این بهبود را می‌توان به افزایش دبی رودخانه ناشی از بارندگی‌های فصلی و اثر رقیق‌سازی نسبت داد (Uddin et al., 2021; Henley et al., 2000; Nasrollahzadeh Saravi et al., 2025). با این حال، مقادیر کدورت در ایستگاه پل شهر کلاله ۶۵۴/۱ NTU بسیار بالا بوده که نشان‌دهنده فرسایش شدید خاک در بالادست حوضه و ورود رسوبات به رودخانه در فصل بارندگی می‌باشد.



شکل ۵. شاخص کیفیت آب در ایستگاه های مختلف رودخانه گرگانرود در فصل زمستان

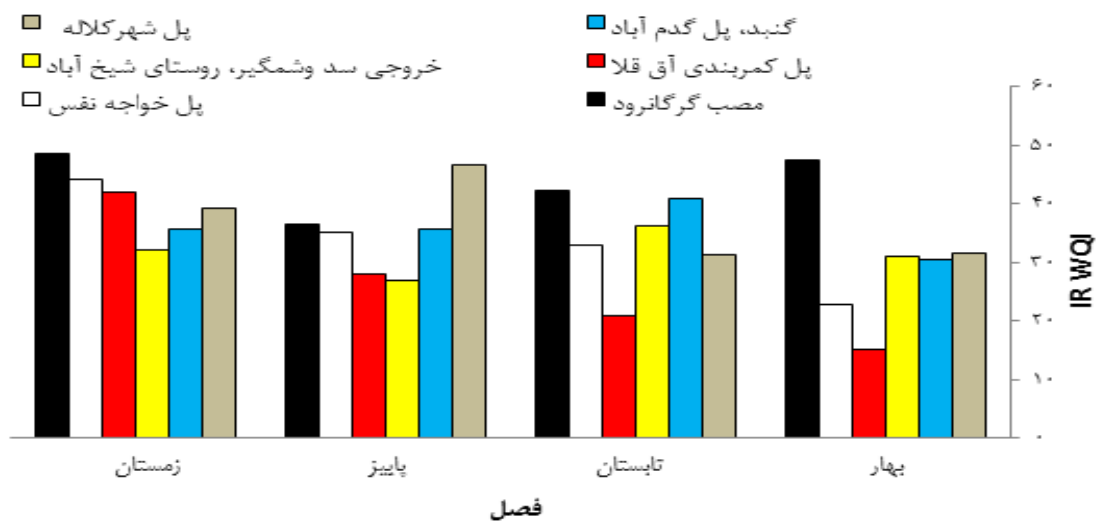
پارامتر	ایستگاه	پل شهرکالاله	گنبد، پل گدم آباد	خروجی سد وشمگیر، روستای شیخ آباد	پل کمربندی آق قلا	پل خواجه نفس	مصب گرگانرود
pH	۷/۹۴	۷/۶۴	۸/۰۲	۸/۲۱	۸/۱۰	۷/۲۰	۷/۲۰
BOD	۷/۶	۱۹	۹/۷	۷/۵	۴/۹	۱۲	۱۲
COD	۸۵	۵۲	۷۰	۱۷	۱۱	۲۳	۲۳
اکسیژن محلول	۹/۹۸	۹/۵۹	۹/۰۳	۱۱/۹۱	۱۰/۶۳	۱۲/۹۲	۱۲/۹۲
هدایت الکتریکی	۳/۶	۲۶۲۰	۲۷۲۰	۶۷۱۰	۶۱۱۰	۶/۴۰	۶/۴۰
آمونیم	۰/۸۵	۰/۳۸	۰/۴۹	۰/۲۸	۰/۳۳	۰/۲۷	۰/۲۷
نترات	۴/۶۸	۳/۵۱	۲/۶۰	۴/۷۸	۴/۳۰	۴/۴۳	۴/۴۳
فسفات	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶
سختی کل	۱۴۰	۵۸۰	۴۳۰	۴۰۰	۵۰۰	۳۸۰	۳۸۰
کدورت	۶۵۴/۱	۱۹/۴	۷۳/۲	۲۱/۷	۷۲/۲۰	۹۰/۴۰	۹۰/۴۰
کلی فرم مدفوعی	۳۰۲	۶۲۵	۵۹۴	۶۸۷	۴۳۱	۱۸۵	۱۸۵
مقدار IRWQI _{SC}	۳۹/۲	۳۵/۶	۳۲/۱	۴۱/۹	۴۴/۲	۴۸/۴	۴۸/۴
توصیف کیفیت	نسبتاً بد	نسبتاً بد	نسبتاً بد	نسبتاً بد	نسبتاً بد	متوسط	متوسط

جدول ۷. نتایج آنالیز پارامترهای مورد مطالعه در ایستگاه های مختلف رودخانه گرگانرود در فصل زمستان

• تحلیل مکانی کیفیت آب

بررسی الگوی مکانی شاخص IRWQI_{SC} در طول رودخانه گرگانرود (طی فصول مختلف) نشان می‌دهد که کیفیت آب از بالادست به پایین‌دست دارای یک روند کاهشی-افزایشی مشخص است (شکل ۶). ایستگاه پل شهرکالاله در بالادست رودخانه دارای کیفیت نسبتاً بهتری (بجز مصب گرگانرود) در بین ایستگاه‌هاست که نشان‌دهنده حداقل تأثیرپذیری از منابع آلودگی انسانی می‌باشد. با عبور رودخانه از شهر گنبد کاووس (ایستگاه گنبد، پل گدم آباد)، کیفیت آب کاهش یافته که ناشی از ورود فاضلاب‌های شهری و رواناب‌های کشاورزی است (Noroozi et al., 2020). در ایستگاه خروجی سد وشمگیر، کیفیت آب نوسانات فصلی نشان می‌دهد که می‌تواند ناشی از اثر سد در ته‌نشینی برخی آلاینده‌ها باشد. بحرانی‌ترین نقطه در طول رودخانه، ایستگاه پل کمربندی آق قلا با کمترین مقادیر شاخص IRWQI_{SC} است که در طبقه «خیلی بد» تا «بد» قرار می‌گیرد. در ادامه مسیر، ایستگاه پل خواجه نفس بهبود نسبی کیفیت را نشان می‌دهد که حاکی از شروع فرآیندهای خودپالایی رودخانه است (Rahnama et al., 2025; Tian et al., 2011). در نهایت، ایستگاه مصب گرگانرود با بالاترین مقادیر شاخص IRWQI_{SC} بهترین کیفیت را دارد که می‌تواند ناشی از اثر رقیق‌سازی ناشی از ورود آب شاخه‌های فرعی، فرآیندهای ته‌نشینی و تجزیه بیولوژیکی آلاینده‌ها در طول مسیر باشد (Uddin et al., 2021). این الگوی

مکانی نشان می‌دهد که رودخانه گرگانرود علی‌رغم دریافت بار آلودگی قابل توجه در بخش‌های میانی، دارای ظرفیت خودپالایی نسبی است، اما کیفیت آب در اغلب ایستگاه‌ها در محدوده «متوسط» تا «نسبتاً بد» قرار دارد. بر اساس نتایج این مطالعه، ایستگاه پل کمربندی آق قلا به عنوان بحرانی‌ترین ایستگاه از نظر کیفیت آب در تمام فصول شناسایی شد. مقادیر بالای پارامترهای اندازه‌گیری شده در این ایستگاه نشان‌دهنده ورود قابل توجه آلاینده‌ها به رودخانه در این محدوده است. علل اصلی آلودگی در این ایستگاه عبارتند از: ورود فاضلاب‌های شهری تصفیه‌نشده از شهر آق قلا، ورود پساب‌های صنعتی واحدهای صنعتی واقع در حاشیه رودخانه، رواناب‌های کشاورزی حاوی کودها و سموم شیمیایی و ورود زباله و نخاله‌های ساختمانی به بستر رودخانه (Roshani-Sefidkouhi et al., 2025). این یافته با نتایج یافته‌های Noroozi و همکاران (۲۰۲۰) بر روی رودخانه زیارت که بیشترین آلودگی را در ایستگاه‌های پایین‌دست و تحت تأثیر فعالیت‌های شهری و صنعتی گزارش کردند، مطابقت دارد (Noroozi et al., 2020). نتایج این مطالعه با یافته‌های تحقیقات مشابه در ایران قابل مقایسه است. Roshani-Sefidkouhi و همکاران (۲۰۲۵) در بررسی کیفیت آب رودخانه تالار با استفاده از شاخص IRWQIsc، مقادیر بین ۱۲/۳ تا ۲۱/۶ را گزارش کردند که در طبقه «خیلی بد» تا «بد» قرار می‌گیرد (Roshani-Sefidkouhi et al., 2025). Ebraheim و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای بر روی رودخانه سفیدرود نشان دادند که شاخص IRWQIsc در محدوده ۴۹ تا ۵۶ قرار دارد که کیفیت «متوسط» تا «نسبتاً خوب» را نشان می‌دهد (Ebraheim et al., 2020). Noroozi و همکاران (۲۰۲۰) نیز در بررسی رودخانه زیارت (از سرشاخه‌های حوضه گرگانرود) با استفاده از شاخص NSFQI، مقادیر بین ۲۹/۶۸ تا ۶۴/۷۸ را گزارش کردند که نشان‌دهنده کیفیت «بد» تا «متوسط» است (Noroozi et al., 2020). مقایسه نتایج نشان می‌دهد که کیفیت آب رودخانه گرگانرود در محدوده پایین‌تر نسبت به میانگین کشوری قرار دارد و این موضوع ضرورت اقدامات مدیریتی فوری را دوجندان می‌کند.



شکل ۶. مقادیر شاخص IRWQIsc در ایستگاه‌های مختلف در فصول مشابه

۴- نتیجه‌گیری

تأمین آب سالم و بهداشتی و حفاظت از منابع آب در برابر آلودگی، یکی از دغدغه‌های اساسی دولت و مراکز تصمیم‌گیری است. این مطالعه با هدف بررسی فصلی کیفیت فیزیکی، شیمیایی و میکروبی آب رودخانه گرگانرود با استفاده از شاخص ملی IRWQI انجام شد و نتایج آن نشان داد که کیفیت آب این رودخانه در وضعیت مطلوبی قرار ندارد. نتایج حاصل از محاسبه شاخص IRWQI نشان داد که کیفیت آب در اکثر ایستگاه‌ها و فصول در طبقات «نسبتاً بد» تا «خیلی بد» قرار دارد. تنها ایستگاه مصب گرگانرود در برخی فصول کیفیت «متوسط» را نشان داد. ایستگاه پل کمربندی آق قلا به عنوان بحرانی‌ترین نقطه از نظر آلودگی شناسایی شد. مهم‌ترین عوامل مؤثر بر کاهش کیفیت آب رودخانه گرگانرود عبارتند از: ورود فاضلاب‌های شهری و صنعتی تصفیه‌نشده، رواناب‌های کشاورزی حاوی کودها و سموم شیمیایی و فرسایش خاک در حوضه آبریز. با توجه به اهمیت رودخانه گرگانرود به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع آب سطحی استان گلستان و نقش آن در تغذیه تالاب بین‌المللی خلیج گرگان، اقدامات فوری و بلندمدت برای کنترل آلودگی و حفاظت از این منبع ارزشمند آبی ضروری است. پایش مستمر کیفیت آب، احداث و بهره‌برداری صحیح از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری و صنعتی، بهینه‌سازی مصرف کودهای شیمیایی در بخش کشاورزی، ایجاد نوارهای حفاظتی در حاشیه رودخانه و افزایش آگاهی عمومی مهم‌ترین راهکارهای بهبود وضعیت کیفی این رودخانه هستند. توصیه می‌شود در مطالعات آتی، پارامترهای بیشتری از جمله فلزات سنگین، آفت‌کش‌ها و ترکیبات آلی پایدار مورد سنجش قرار گیرد و دوره زمانی پایش به چندین سال متوالی افزایش یابد تا روند تغییرات کیفی آب بهتر شناسایی شود.

تقدیر و تشکر

نگارندگان از همکاری اداره کل حفاظت از محیط زیست استان گلستان و دانشگاه غیر انتفاعی گلستان جهت همکاری در انجام این کار تحقیقاتی صمیمانه قدردانی می‌کنند.

منابع

- APHA. 2017. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (23rd ed.). American Public Health Association, Washington, DC.
- Daechini, F., et al. 2022. Performance assessment of five water balance models for runoff simulation in the Gorganrood Watershed, Journal of Water and Soil Science, Vol. 26, No. 2, P. 263–281. (In Persian)
- Ebraheim, G., et al. 2020. A comparative study on the performance of NSFQIm and IRWQIsc in water quality assessment of Sefidroud River in northern Iran, Environmental Monitoring and Assessment, Vol. 192, Article 677.
- Essalmi, S., et al. 2024. Design and application of metal organic frameworks for heavy metals adsorption in water: a review, RSC Advances, Vol. 14, P. 9365–9390.
- Fang, K., et al. 2025. Spatial distribution, source identification, and risk assessment of heavy metals in sediments of the Yellow River basin, China, Applied Sciences, Vol. 15, P. 1-19.
- Henley, W.F., et al. 2000. Effects of sedimentation and turbidity on lotic food webs: A concise review for natural resource managers, Reviews in Fisheries Science, Vol. 8, No. 2, P. 125–139.
- Iranian Department of Environment (IDOE). 2011. Iran water quality index for surface water resources-conventional parameters (IRWQISC). <https://www.doe.ir/Portal/file/?696074/>
- Khodami, S., et al. 2026. Assessment of heavy metal pollution (Iron, Zinc, Copper, Cadmium, Lead, and Mercury) in the sediments of the Khersan 3 dam reservoir using geochemical indicators, Journal of Environmental Science Studies, Vol. 10, No. 4, P. 10992-11001. (In Persian)
- Nasrollahzadeh Saravi, H., et al. 2025. Spatiotemporal analysis of water quality and identification of pollution hotspots in the Sirvan River basin using the Inverse Distance Weighting (IDW) method, Iranian Water Research Journal, Vol. 19, No. 4, P. 103–114. (In Persian).
- Noroozi, N., et al. 2020. Study of changes in water quality index of Ziarat River at 2018 in Gorgan, Journal of Research in Environmental Health, Vol. 6, No. 3, P. 250–259. (In Persian).
- Rahnema, B., et al. 2025. Modelling the summer and winter variations of water chemical parameters in the Gheshlaqh, Gaveroud, and Sirvan rivers, Journal of Environmental Science Studies, Vol. 10, No. 3, P. 10786–10797. (In Persian)
- Roshani-Sefidkouhi, M., et al. 2025. Water quality assessment using IRWQIsc and NSFQI water quality indicators; A case study: Talar River (Iran), Heliyon, Vol. 11, No. 2, Article e41812.
- Sanusi, I.O., et al. 2025. Heavy metal contamination, human health impact, and remediation techniques in water bodies: a review, Discover Environment, Vol. 3, Article 268.
- Tian, S., et al. 2011. Study on the Self-purification of Juma River, Procedia Environmental Sciences, Vol. 11, P. 1328–1333.
- Uddin, M.G., et al. 2021. A review of water quality index models and their use for assessing surface water quality, Ecological Indicators, Vol. 122, Article 107218.
- Varol, M. 2011. Assessment of heavy metal contamination in sediments of the Tigris River (Turkey) using pollution indices and multivariate statistical techniques, Journal of Hazardous Materials, Vol. 195, P. 355–364.
- Xu, W., et al. 2024. Introduction of heavy metals contamination in the water and soil: a review on source, toxicity and remediation methods, Green Chemistry Letters and Reviews, Vol. 17, No. 1, Article 2404235.
- Zare Garizi, A., et al. 2024. Evaluation of surface water quality of the Gorganrood River basin for different uses with Canadian (CCME) Water Quality Index Approach, Journal of Water and Soil Science, Vol. 28, No. 1, P. 127–143. (In Persian)