

Investigating the Water Quality of Farm Irrigation Channels in Lahijan County Using the NSFQI and SAR Index

Fatemeh Mehraban¹; Fatemeh Shariati^{1*}

^{*1.} Department of Environment, La.C., Islamic Azad University, Lahijan, Iran

^{*}Email Address: f.shariati@iau.ir

Article Info	ABSTRACT
Article Type: Research Paper Article History: Received Date: 2026/07/31 Revised Date: 2026/09/01 Accepted Date: 2026/10/28 Published Date: 2026/10/29 Keywords: NSFWQI, SAR, Wilcox, irrigation channel, irrigation standards.	This study was conducted to investigate the quality of agricultural water in Lahijan city during the irrigation seasons of 1404 to identify and investigate the status of parameters using NSFQI, SAR and Wilcox quality indices, their relationship with the type of channel, spatial changes relative to the initial location of water outflow from Sefidrood Dam, and comparison with irrigation standards, and to determine the general status of the water resources of the region. The study of parameters between 10 sampling stations and the results of Kruskal-Wallis and Dunn post-tests showed that parameters such as BOD, phosphate, turbidity and coliforms have significant differences between stations. The study of the status of parameters based on the degree of channels as an indicator of the level of pollution and the quality of water usable for irrigation showed that with increasing channel degree, parameters such as nitrate, phosphate, BOD and coliforms have increased and parameters such as DO have decreased. This trend shows that the sub-channels are directly affected by agricultural and human activities. Comparing the status of the parameters at the sampling stations with the initial water output from the Sefidrood Dam indicated a significant decrease in the quality of most important water parameters, including increased organic load, nitrate, phosphate, and turbidity. Also, the results of comparing the quality parameters of ten stations with irrigation water standards showed that some pollution parameters such as phosphate, BOD, turbidity, and coliforms have exceeded the permissible limits of irrigation water standards in several stations. This situation can lead to problems such as the accumulation of pollutants in the soil, reducing agricultural productivity, creating unsuitable conditions for plant growth, and threatening human and environmental health.

Cite this article: Fatemeh Mehraban, Fatemeh Shariati (2026) Investigating the Water Quality of Farm Irrigation Channels in Lahijan County Using the NSFQI and SAR Index, Journal of Environmental Sciences Studies, 11(3), Pages 11415- 11430.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Water pollution is one of the most important problems in the world and environmental concerns today. Determining water quality is of particular importance in water resources management (Zamani et al., 1401). The chemical composition of water is an important factor that must be considered before domestic use or irrigation purposes (Hosseinkhani and Najib, 2014). Factors such as rainfall, erosion, agricultural and urban activities, increased urbanization and industrialization affect the water quality of rivers. Therefore, proper prediction of possible changes in water quality is very important (Zamani et al., 1401). One of the very simple methods, devoid of any mathematical and statistical complexity, that can describe water quality conditions and be used as a powerful advanced tool for relevant decision-making is the use of the Water Quality Index (WQI). Since a large part of river water is allocated for agricultural purposes, their quality should be evaluated to protect public health and the environment (Ilderimi et al., 1402). A study of the quality indicators of the Tajan River showed that this river is in the medium class, mainly due to the discharge of urban wastewater, industries and agricultural farm effluents (Delbari et al., 1401). In a study of the quality indicators of the Ghaen River in the period 2007-2016, it was found that the water quality has decreased from upstream to downstream, which could be due to the increase in water salinity and the inflow of agricultural, industrial and urban drainage. (Khadempour et al., 1396). The water quality indicators of the Gorgan-Rud River were also in the poor quality class due to the presence of urban wastewater and agricultural drainage in urban areas (Gholizadeh et al., 1399). Water for irrigation canals in Lahijan city is supplied from Manjil Dam. Along the irrigation route, due to the incomplete completion of the urban sewage collection network and its lack of connection to the Lahijan city sewage treatment plant, the lack of implementation of the sewage collection network in marginal areas, and unsanitary garbage disposal and leachate leakage from the landfill, raw sewage and leachate have entered the irrigation canals directly and indirectly at various points, drastically changing the water quality of these canals. Therefore, it is necessary to have water quality information for the effective management of irrigation systems. So that any management decision that directly or indirectly affects the canal water can be made with more awareness. The aim of this study is to determine the water quality of agricultural canals in Lahijan city using the NSFQI quality index and the sodium absorption ratio SAR and compare their results with international standards. This study allows for the description of physicochemical properties and assessment of the suitability of surface canal water for irrigation and agriculture based on the analysis of quality parameters.

Materials and methods

Based on field visits, the main points of entry of wastewater and leachate into streams and agricultural networks were determined, and based on these points, 10 sampling stations were selected from various main and secondary canals of the farms. Considering the seasonality of irrigation of the farms, which are mainly rice cultivation, sampling was carried out in the irrigation months of May, June and July, and the samples were transferred to the laboratory for microbial testing of fecal coliform (FC) and measurement of biochemical oxygen demand (BOD), nitrate, phosphate, total suspended solids (TSS), sodium, calcium and magnesium, observing the cold chain, and other parameters including temperature, pH, dissolved oxygen (DO), turbidity and total dissolved solids (TDS) were measured using portable equipment at the sampling site. According to the results of the parameters, quality indices were calculated and examined at different sampling stations, and statistical analyses were performed based on NSFQI and SAR quality indices, Wilcox plots, Kruskal-Wallis statistical tests, and Dunn's post-test. Quality comparison was performed based on the grading of canals, primary irrigation source, and irrigation standards.

Results and discussion

Based on the NSFQI quality index, the irrigation canals of Lahijan city were ranked in the average to bad category. Station one had the best quality, which is probably due to the higher water discharge and the constant water flow in the stream, as well as the lower inflow of urban sewage and the inflow of leachate after treatment. Also, the worst quality was related to the two stations in the village of Tamoshel, which indicates the effects of direct leachate discharge to these canals and the diversity of the type and amount of pollutants discharged in these two stations. Evaluation of the canal quality based on the SAR irrigation indices showed that station one has the best quality and the other stations were ranked in the excellent, good and average category according to the month of sampling. According to

the Wilcox diagram, only station one was ranked slightly saline and suitable for irrigation, and the other stations were rated saline and with the necessary measures for proper irrigation. The study of parameters between stations showed that parameters such as BOD, phosphate, turbidity and coliforms differed significantly between stations, which statistical tests such as Kruskal–Wallis and Dunn's post-test also confirmed these differences significantly. Also, the study of the status of parameters according to the degree of the channels revealed that with increasing degree of the channel, some pollution parameters such as nitrate, phosphate, BOD and coliforms increased, while parameters such as DO (dissolved oxygen) decreased. Comparing the status of parameters at the sampling stations of the city with the initial water outlet from the Sefidrood Dam indicated a significant decrease in the quality of most important water parameters, including an increase in organic load, nitrate, phosphate and turbidity at the sampling stations. Comparing the parameters at ten stations with irrigation standards shows that important parameters such as phosphate, organic load (BOD) and turbidity have significantly exceeded the permitted standards in several stations.

Conclusion

The irrigation quality of the sampling stations was examined based on NSFQI and SAR quality indices and Wilcox plot, which showed that the sampling station, which is the upper Temoshel village stream, had the best quality, while the quality of the irrigation canals decreased sharply after entering the urban area due to various factors, including urban sewage, waste leachate, and agricultural runoff. The examination of parameters between the stations showed that parameters such as BOD, phosphate, turbidity, and coliforms differed significantly between the stations. These differences were mostly due to the entry of various pollutants into water sources in areas close to farms and urban areas. While the main stations had relatively better water quality. Statistical tests such as Kruskal–Wallis and Dunn's post-test also confirmed these differences significantly. The status of the parameters according to the degree of the channels showed that with the increase in the degree of the channel, from the main channel to degree 3 and degree 4, which are closer to the farms and more polluted areas, some pollution parameters such as nitrate, phosphate, BOD and coliforms increased, while parameters such as DO decreased. This trend shows that the side channels are directly affected by agricultural and human activities and the water quality in them is declining. Therefore, the degree of the channel is an indicator of the level of pollution and the quality of water usable for irrigation. Considering the comparison of the status of the parameters in the sampling stations of the city with the initial water outlet from the Sefidrood Dam, the results indicated a significant decrease in the quality of most important water parameters, including an increase in organic load, nitrate, phosphate and turbidity in the city compared to the water outlet from the dam. This indicates that after the water exits the dam and passes through different paths, pollutants enter the water and its quality decreases. Also, high levels of fecal coliform in some stations indicate significant microbial contamination that threatens the health of the ecosystem and agricultural products. Findings from comparing the results of quality parameters of ten stations with irrigation water standards showed that while some parameters such as magnesium, calcium and sodium are within acceptable limits, some pollution parameters such as phosphate, BOD, turbidity and coliforms have exceeded the permissible limits of irrigation water standards in several stations. This situation can lead to problems such as the accumulation of pollutants in the soil, reducing agricultural productivity, creating unsuitable conditions for plant growth and threatening human health and the environment. Therefore, it is essential to implement management programs to control pollutants, proper water treatment and continuous monitoring of the quality of water resources.



FANPAYA

Knowledge Based Company
(PUBLISHERS)

بررسی کیفیت آب کانال‌های آبیاری مزارع شهرستان لاهیجان با استفاده از شاخص - های NSFQI و SAR

فاطمه مهربان^۱، فاطمه شریعتی^{۱*}^{۱*}-گروه محیط زیست، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران

*ایمیل نویسنده مسئول: f.shariati@iau.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله علمی پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۵/۰۹ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۶/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۸/۰۶ تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۸/۰۷ کلید واژه ها: NSFWQI SAR ویلکاکس، کانال آبیاری، استانداردهای آبیاری .	این مطالعه با هدف بررسی کیفیت آب کشاورزی شهر لاهیجان در فصول آبیاری سال ۱۴۰۴ انجام شد تا وضعیت پارامترها با استفاده از شاخص‌های کیفی NSFQI^۱، SAR^۲ و Wilcox^۳، ارتباط آنها با نوع کانال، تغییرات مکانی نسبت به محل اولیه خروج آب از سد سفیدرود و مقایسه با استانداردهای آبیاری و تعیین وضعیت کلی منابع آب منطقه شناسایی و بررسی شود. بررسی پارامترها بین ۱۰ ایستگاه نمونه‌برداری و نتایج آزمون‌های آماری کروسکال-والیس و پس‌آزمون دان نشان داد که پارامترهایی مانند BOD، فسفات، کدورت و کلیفرم‌ها بین ایستگاه‌ها تفاوت معنی‌داری دارند ($p < 0.05$). بررسی وضعیت پارامترها بر اساس درجه کانال‌ها به عنوان شاخصی از میزان آلودگی و کیفیت آب قابل استفاده برای آبیاری نشان داد که با افزایش درجه کانال، پارامترهایی مانند نیترات، فسفات، BOD و کلیفرم‌ها افزایش و پارامترهایی مانند DO کاهش یافته است. این روند نشان می‌دهد که کانال‌های فرعی تحت تأثیر مستقیم فعالیت‌های کشاورزی و انسانی قرار دارند. مقایسه وضعیت پارامترها در ایستگاه‌های نمونه‌برداری با خروجی اولیه آب از سد سفیدرود، حاکی از کاهش قابل توجه کیفیت اکثر پارامترهای مهم آب، از جمله افزایش بار آلی از 5 mg/l به 190 mg/l، نیترات از 37.5 mg/l به 64.1 mg/l، فسفات از 40 mg/l به 64.8 mg/l و کدورت از 5.14 NTU به 210 NTU بود. همچنین نتایج مقایسه پارامترهای کیفی ده ایستگاه با استانداردهای آب آبیاری نشان داد که برخی پارامترهای آلودگی مانند فسفات، BOD، کدورت و کلیفرم‌ها در چندین ایستگاه از حد مجاز استانداردهای آب آبیاری فراتر رفته‌اند. این وضعیت می‌تواند منجر به مشکلاتی مانند تجمع آلاینده‌ها در خاک، کاهش بهره‌وری کشاورزی، ایجاد شرایط نامناسب برای رشد گیاهان و تهدید سلامت انسان و محیط زیست شود.

ناشر: انتشارات فن پایا

DOI: 10.22034/jess.2026.586395.2464

¹ National Sanitation Foundation Water Quality Index² Sodium Absorption Ratio³ Wilcox

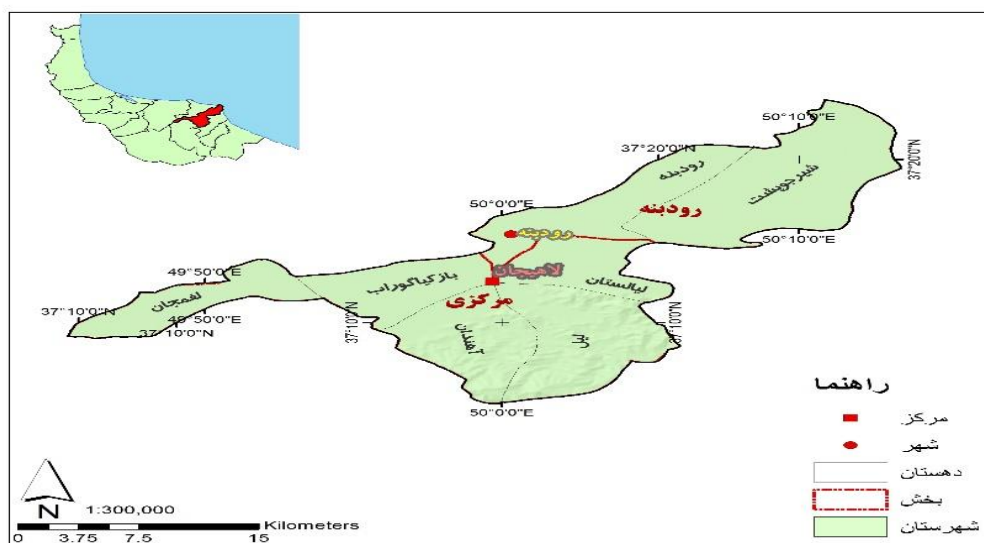
۱- مقدمه

آلودگی آب امروزه یکی از مهمترین معضلات جهان و نگرانی‌های زیست‌محیطی محسوب می‌شود. تعیین کیفیت آب در مدیریت منابع آب از اهمیت خاصی برخوردار است (زمانی و همکاران، ۱۴۰۱). ترکیب شیمیایی آب فاکتور مهمی است که قبل از استفاده خانگی یا هدف آبیاری، بایستی مورد توجه قرار گیرد (حسین خانی و نجیب، ۱۳۹۳). عواملی همچون بارندگی، فرسایش، فعالیت‌های کشاورزی و شهری، افزایش شهرنشینی و صنعتی شدن، کیفیت آب رودخانه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند. لذا پیش‌بینی مناسب تغییرات احتمالی در کیفیت آب بسیار اهمیت دارد (زمانی و همکاران، ۱۴۰۱). کیفیت آب از ویژگی‌های اصلی یک رودخانه است، حتی وقتی که هدف از آن بهره‌برداری برای مصارف و منابع انسانی نباشد (جودی و ستاری، ۱۳۹۵). یکی از روش‌های بسیار ساده و فاقد هرگونه پیچیدگی ریاضی و آماری که می‌تواند شرایط کیفی آب را بازگو کند و به عنوان یک ابزار پیشرفته قوی برای تصمیم‌گیری‌های مربوطه استفاده شود، استفاده از شاخص کیفی آب WQI است. از آنجا که بخش عظیمی از آب رودخانه‌ها به مصارف کشاورزی اختصاص داده می‌شود، کیفیت آنها باید برای حفظ سلامت عمومی و محیط زیست ارزیابی شود (ایلدرمی و همکاران، ۱۴۰۲). طی مطالعه‌ای بررسی شاخص‌های کیفی رودخانه تجن نشان داد که این رودخانه در کلاس متوسط قرار دارد که عمدتاً به دلیل تخلیه فاضلاب شهری، صنایع و پساب مزارع کشاورزی می‌باشد (دلبری و همکاران، ۱۴۰۱). در بررسی شاخص‌های کیفی رودخانه قائن در بازه زمانی ۱۳۸۶-۱۳۹۵ مشخص شد که کیفیت آب از بالادست به پایین‌دست روند کاهشی داشته که می‌تواند باعث افزایش شوری آب و ورود زه‌آب‌های کشاورزی، صنعتی و شهری باشد (خادم‌پور و همکاران، ۱۳۹۶). شاخص‌های کیفی آب رودخانه گرگان‌رود نیز به دلیل وجود فاضلاب‌های شهری، زه‌آب‌های کشاورزی در محدوده شهری در طبقه کیفی بد قرار گرفت (قلی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۹). بررسی کیفی آب‌های زیرزمینی در نعلما منطقه‌ای در جنوب غربی الجزایر نشان داد از ۱۶۶ نمونه آب زیرزمینی، ۴۲.۱۸٪ کیفیت عالی، ۳۴.۳۴٪ کیفیت بسیار خوب، ۶.۶۳٪ کیفیت خوب، ۹.۶۴٪ رضایت‌بخش و ۴.۲۱٪ برای آبیاری نامناسب در نظر گرفته شدند (ایناس و همکاران، ۲۰۲۴). مطالعه کیفی که بر اساس مدل اصلاح‌شده شاخص کیفیت آب (WQI) بنیاد ملی بهداشت (NSF) روی نمونه‌های آب از پنج مکان در سراسر نهرهای اصلی رودخانه ماهاناندا در هند سال ۲۰۲۱ انجام شد نشان داد که کیفیت آب رودخانه از کیفیت "خوب" تا "متوسط" برخوردار است و آب فقط برای اهداف محدود تحت شرایط خاص مناسب است (پروین و همکاران، ۲۰۲۲). آب کانال‌های آبیاری شهرستان لاهیجان از سد منجیل تامین می‌گردد. ورود فاضلاب خام به‌طور مستقیم و غیرمستقیم در نقاط مختلف در طول مسیر آبیاری و شیرابه جایگاه دفن زباله باعث شده کیفیت آب کانال‌های آبیاری نسبت به منبع اولیه به شدت تغییر کند. عدم اتصال شبکه جمع‌آوری فاضلاب شهری به تصفیه‌خانه فاضلاب شهر لاهیجان، عدم وجود شبکه جمع‌آوری فاضلاب در مناطق حاشیه شهر و روستایی شهرستان و عدم ساماندهی مناسب شیرابه جایگاه دفن زباله باعث ورود آلودگی به نهرها و کانال‌های آبیاری و تغییر کیفیت میکروبی و شیمیایی آب‌های آبیاری شده است. براساس برآورد اداره جهاد کشاورزی شهرستان لاهیجان ۸۲۵ هکتار از ۲۳۰۰۰ هکتار اراضی کشاورزی با آب‌های نامتعارف آبیاری می‌شوند. بنابراین با توجه به این که تغییرات کیفیتی آب آبیاری می‌تواند به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم بر محیط زیست، سلامت کشاورزان و محصولات کشاورزی اثرات نامطلوب بگذارد، لازم است برای مدیریت مؤثر سیستم‌های آبیاری اطلاعات کیفی آب مورد استفاده برای کشاورزی با توجه به شاخص‌های کیفی سنجیده شود. هدف از این مطالعه، بررسی تعیین کیفیت آب کانال‌های آبیاری در شهرستان لاهیجان با استفاده از شاخص کیفی NSFQI و نسبت جذب سدیم SAR است. شاخص‌های کیفی معیاری برای طبقه‌بندی آب‌های سطحی بر مبنای استفاده از پارامترهای استاندارد می‌باشد که هدف آن تشخیص به موقع هرگونه تغییر آب، تعیین میزان آلودگی، کنترل کیفیت و تدوین دستورالعمل‌های استاندارد می‌باشد. در این بررسی شاخص کیفی کانال‌های آبیاری در سطح شهرستان با شاخص کیفی منبع تامین کننده و همچنین نتایج پارامترها با استانداردهای جهانی مقایسه می‌گردد. این بررسی امکان توصیف ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی در نقاط مختلف کانال آبیاری و بر اساس نوع ورود آلودگی و ارزیابی مناسب بودن آب کانال‌های آبیاری و کشاورزی را براساس تجزیه و تحلیل پارامترهای کیفی فراهم می‌آورد تا با توجه به مخاطرات استفاده از آب‌های نامتعارف در آبیاری از جمله بروز مخاطرات بهداشتی، مسمومیت محصولات کشاورزی و حتی افزایش آلاینده‌های شیمیایی در آب‌های زیرزمینی منطقه، تصمیم‌گیری‌های مدیریتی با آگاهی و تدبیر بیشتری اتخاذ گردد.

۲- روش انجام تحقیق

• محدوده مورد مطالعه

شهرستان لاهیجان، در شرق رودخانه سفیدرود و در مختصات جغرافیایی 37.2351°E 50.0393°N واقع شده است. مساحت این شهرستان ۴۰۷ کیلومتر مربع است و به لحاظ آب و هوایی دارای اقلیم معتدل و مرطوب با ریزش جوی ۱۲۰۰ تا ۱۵۰۰ میلیمتر در سال و رطوبت نسبی ۵۰ تا ۹۰ درصد و میانگین سالانه هوای ۱۶٫۱ درجه سانتی گراد می باشد (پرمايه و همکاران، ۱۳۹۹). سد سفیدرود بزرگترین سد مخزنی گیلان است بر اساس اطلاعات آب منطقه ای استان گیلان، این سد آب مورد نیاز ۱۷۲ هزار هکتار از مجموع ۲۳۸ هزار هکتار اراضی شالیزاری استان را تامین می کند؛ این سد بر روی رودخانه سفیدرود و در پایین دست محل تلاقی ۲ رودخانه قزل اوزن و شاهرود در ۷۵ کیلومتری جنوب شهر رشت و در مجاورت شهر منجیل احداث شده است. بر اساس برآورد اداره جهاد کشاورزی شهرستان لاهیجان، ۸۲۵ هکتار از ۲۳۰۰۰ هکتار اراضی کشاورزی شهرستان لاهیجان که غالباً مزارع برنج هستند توسط آب های نامتعارف آبیاری می گردند. بنابراین تعیین کیفیت آب کانال های آبیاری شهرستان برای پیشگیری از مخاطرات بهداشتی جهت کشاورزان منطقه و تولید محصول پایدار ضروری است. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه در شهرستان لاهیجان را نشان می دهد.



شکل ۱. منطقه مطالعاتی (سایت کلانشهر)

• انتخاب نقاط نمونه برداری

با توجه به بازدیدهای میدانی نقاط عمده ورود فاضلاب به نهرها و شبکه های کشاورزی تعیین گردید. جدول ۱ نقاط شناسایی شده ورود فاضلاب به نهرها و کانال های آبیاری مزارع را نشان می دهد.

جدول ۱. نقاط شناسایی شده ورود فاضلاب به نهرها و کانال های آبیاری مزارع در سال ۱۴۰۴ (منبع: داده های اداره محیط زیست)

ردیف	نقطه شناسایی شده	مختصات	
		X	Y
۱	خروجی پساب ضایعاتی	۴۱۵۹۷۷	۴۱۱۸۲۱۴
۲	ابتدای خیابان شهبازی-پشت ترمینال	۴۱۳۸۰۸	۴۱۱۸۸۳۱
۳	نهر حاشیه خیابان شهبازی	۴۱۱۳۴۹	۴۱۲۰۱۵۷
۴	نهر آبیاری خیابان یاسر ۶	۴۱۱۶۵۳	۴۱۱۹۹۸۶
۵	نهر آبیاری خیابان رسالت ۱۳	۴۱۱۳۴۹	۴۱۱۹۲۷۸
۶	نهر آبیاری رسالت ۳۵	۴۱۱۶۰۲	۴۱۲۰۶۷۷
۷	خروجی پساب شهرک صنعتی	۴۰۹۹۳۳۶	۴۱۲۰۶۹۳
۸	مخزن آبیاری ورودی خیابان هنرستان صدر	۴۰۸۹۹۲	۴۱۱۹۲۷۸
۹	جنب پل فرهنگیان	۴۱۰۶۷۶	۴۱۱۷۲۸۵
۱۰	خروجی پساب جایگاه زباله توموشل	۴۰۵۴۳۲	۴۱۱۱۴۱۸

برای بررسی کیفیت آب کانال های آبیاری ۱۰ ایستگاه نمونه برداری از کانال اصلی و کانال های آبیاری نزدیک مزارع در روستاهای مختلف سطح شهرستان لاهیجان انتخاب شد. جدول ۲ موقعیت و مختصات جغرافیایی ایستگاه های نمونه برداری را نشان می دهد.

جدول ۲. ایستگاههای نمونه برداری

ایستگاه	موقعیت	طول	عرض
۱	تموشل بالا	۳۷.۱۴۵۳۰۹۰	۴۹.۹۳۶۳۶۱۹
۲	تموشل پایین-پایین دست جایگاه زباله- نزدیک مزارع	۳۷.۱۴۸۹۴۷	۴۹.۹۳۷۸۰۹
۳	تموشل پایین- پایین دست جایگاه زباله، خروجی جنگل	۳۷.۱۴۸۳۸۲	۴۹.۹۳۹۰۲۲
۴	سه راهی گلرودبار کانال اصلی	۳۷.۱۵۵۶۳۱	۴۹.۹۳۶۱۱۰
۵	بوجایه بالا	۳۷.۱۴۸۵۷۸	۴۹.۹۶۸۱۱۹
۶	بیجاربنه پایین-کانال اصلی	۳۷.۲۲۶۲۸۳	۵۰.۰۲۶۳۲۸
۷	بیجاربنه پایین- جاده گاز نزدیک مزارع	۳۷.۲۱۴۷۵۶	۵۰.۰۱۸۷۹۴
۸	نخجیر کلايه-خ شهبازی	۳۷.۲۱۷۶۸۳	۵۰.۰۳۲۶۴۱
۹	لیالستان- نزدیک مزارع	۳۷.۲۰۵۷۹۶	۵۰.۰۵۶۶۶۱
۱۰	بازکیاگوراب	۳۷.۲۲۸۵۷۳	۴۹.۹۳۳۱۱۳

• روش نمونه برداری

با توجه به فصلی بودن کشت برنج و با توجه به برنامه اداره آب منطقه ای استان برای رهاسازی آب سد سفید رود که سالانه معمولاً از ۱۵ اردیبهشت انجام می گردد، نمونه برداری آب در نیمه اول سال و در ماه های اردیبهشت، خرداد و تیر سال ۱۴۰۴ از ۱۰ ایستگاه نمونه برداری انجام شد. ایستگاه های نمونه برداری در مناطق مختلف و عمدتاً در پایین دست نقاط ورود آلودگی انتخاب گردیدند.

• کنترل کیفی آنالیز

نمونه ها برای سنجش آزمون میکروبی و شیمیایی با رعایت زنجیره سرما به آزمایشگاه منتقل گردیدند. برای سنجش فیکال کلیفرم از روش MPN 15 لوله ای استفاده شد که یک تکنیک مبتنی بر احتمالات است و جمعیت باکتریایی در یک نمونه را بر اساس رقیق سازی متوالی و تشخیص رشد تفریقی با استفاده از نشانگرها (تشخیص گاز، تغییر رنگ و کدورت) تعیین می کند. برای سنجش نیترات، فسفات و کل جامدات معلق از اسپکتروفتومتر مدل ۶۱۰۰ ساخت wtw آلمان استفاده شد. برای سنجش نیترات از روش فتومتریک و استاندارد متد (NO3-B-۴۵۰۰) و معرف (اسید سولفوسالیسیلیک یا بروسین) و برای سنجش میزان فسفات از روش فتومتریک و استاندارد متد (۴۵۰۰ P-D) و معرف مولیدوانادات استفاده شد که بر اساس اندازه گیری میزان جذب نور در طول موج های خاص پس از واکنش با معرف ها می باشد. برای سنجش BOD از بی او دی سنج WTW آلمان مدل G21 و بر اساس استاندارد متد (BOD-D-۵۲۱۰) استفاده شد که اساس کار آن تعیین میزان اکسیژن مورد نیاز میکروارگانیسم ها برای تجزیه بیولوژیکی در مدت ۵ روز و در انکوباتور در دمای ۱۹ درجه سانتیگراد می باشد. برای سنجش سدیم جذبی از دستگاه فلیم فتومتر مدل JENWAY / PFP 7 ساخت کشور آمریکا استفاده شد. روش کار دستگاه طیف سنجی نشری است و بر اساس رابطه بین شدت نور ساطع شده و غلظت سدیم و با استفاده از محلول های استاندارد و با توجه به منحنی کالیبراسیون بدست می آید. برای سنجش کلسیم از روش تیتراسیون و استاندارد متد (B-۲۳۴۰) و برای سنجش منیزیم از روش محاسباتی استفاده شد. سایر پارامترها با استفاده از دستگاه های سنجش پرتابل در محل نمونه برداری اندازه گیری شدند. دما و pH با دستگاه پرتابل مدل pH- 222 لوترون ساخت تایوان، اکسیژن محلول با دستگاه پرتابل مدل HQ40d (مولتی پارامتر دوکاناله) شرکت Hach ساخت آمریکا، کدورت با استفاده از دستگاه کدورت سنج TESS ساخت تایوان و برای سنجش کل جامدات محلول از دستگاه پرتابل TDS-۳ کمپانی HM ساخت چین استفاده شد. جهت تعیین کیفیت از شاخص NSFQI استفاده شد. این شاخص پرکاربرد جهت طبقه بندی کیفیت آب های سطحی بوده که دارای منحنی های استاندارد است و تاثیر ترکیبی از پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی شامل pH، کدورت، دما، فسفات، نیترات، کلی فرم مدفوعی، اکسیژن محلول و اکسیژن خواهی زیستی، ذرات جامد کل را نشان می دهد. (لاریجانی و همکاران، ۱۴۰۱). شاخص کیفیت آب با استفاده از رابطه شماره ۱ بدست می آید. جدول ۳ و ۴ وزن دهی پارامترها و کلاس بندی آب ها بر اساس شاخص NSFQI نشان می دهد.

$$NSFWQI = \sum_{i=1}^n W_i I_i \quad (1)$$

جدول ۳. وزن دهی پارامترها بر اساس شاخص NSFQWI (رستمی و همکاران، ۱۳۹۹)

وزن	مقیاس	پارامترها
۰.۱۱	میلی گرم بر لیتر	BOD
۰.۱۷	درصد اشباع	DO
۰.۱۶	در ۱۰۰ میلی لیتر نمونه	F.C
۰.۱۰	میلی گرم بر لیتر	Nitrates
۰.۱۱	واحد	pH
۰.۱۰	درجه سانتی گراد	Temp
۰.۰۷	میلی گرم بر لیتر	TS
۰.۰۸	NTU	Turb
۰.۱۰	میلی گرم بر لیتر	Phosphate
۱	مجموع	

جدول ۴. کلاس بندی آب ها بر اساس شاخص NSFQWI (رستمی و همکاران، ۱۳۹۹)

محدوده شاخص	کیفیت آب	کلاس بندی نوع استفاده از منبع آبی
۹۰ - ۱۰۰	عالی	حالت طبیعی، در صورت استفاده از آن به عنوان آب شرب نیاز به تصفیه ندارد. برای پرورش شیلات و گونه های حساس آبی مناسب است.
۷۰ - ۹۰	خوب	در صورت استفاده به عنوان آب شرب نیاز به تصفیه متداول دارد، مناسب برای پرورش ماهی و گونه های حساس آبی، مقاصد تفریحی مانند شنا و..
۵۰ - ۷۰	متوسط	در صورت استفاده به عنوان آب شرب نیاز به تصفیه پیشرفته دارد، مناسب برای پرورش ماهی و گونه های حساس آبی، شرب حیوانات اهلی
۲۵ - ۵۰	بد	مناسب جهت آبیاری اراضی کشاورزی
۰ - ۲۵	خیلی بد	برای هیچکدام از مصارف مذکور مناسب نمی باشد و تنها توانایی حمایت از تعداد محدودی از اشکال آبی وجود دارد.

شاخص SAR با واحد mg/l تابعی از نسبت غلظت سدیم به غلظت کاتیون های دوظرفیتی مانند کلسیم و منیزیم است. آزمون SAR^4 با توجه به رابطه شماره ۲ محاسبه می گردد (جودی و ستاری، ۱۳۹۵). جدول ۵ رتبه بندی آب های کشاورزی بر اساس شاخص SAR را نشان می دهد.

رابطه شماره ۲:

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}^+}{\left[\frac{\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}}{2} \right]^{\frac{1}{2}}}$$

جدول ۵. مقدار SAR و کاربرد آن در کشاورزی (انجمن تخصصی علوم مهندسی آب، ۱۳۹۶)

امتیاز	SAR	کلاس
عالی	$10 >$	کم S1
خوب	$10 - 18$	متوسط S2
متوسط	$18 - 26$	زیاد S3
بد	$26 <$	خیلی زیاد S4

⁴ Sodium Absorption Ratio

در معیار ویلکاکس، شوری با پارامتر هدایت الکتریکی (EC) و سدیم با پارامتر نسبت جذب سدیم (SAR) سنجیده می‌شود. جهت ارزیابی وضعیت کیفی از لحاظ کشاورزی در این معیار از نمودار ویلکاکس استفاده می‌شود. در نمودار ویلکاکس محور افقی به میزان هدایت الکتریکی آب (بر حسب میکرومهموس بر سانتیمتر) و محور عمودی به نسبت جذبی سدیم (SAR) اختصاص دارد. نمودار ویلکاکس به ۱۶ رده تقسیم می‌گردد که آب‌های رده C1S1 بهترین و آب‌های رده C4S4 بدترین آب برای استفاده آبیاری می‌باشند (زمانی و همکاران، ۱۴۰۱). جدول ۶ رده بندی آب‌ها جهت استفاده در مصارف کشاورزی را بر اساس دیگرام ویلکاکس نشان می‌دهد.

جدول ۶. رده بندی آب جهت مصارف کشاورزی و کلاسی بندی با استفاده از دیگرام ویلکاکس (زمانی و همکاران، ۱۴۰۱)

طبقه	حدود SAR	طبقه	حدود EC	رده آب	نوع کیفیت برای کشاورزی
عالی S1	۰-۱۰	عالی C1	۲۵۰-۰	C1S1	شیرین، برای کشاورزی کاملاً بی ضرر
خوب S2	۱۰-۱۸	خوب C2	۲۵۰-۷۵۰	C2S1-C2S2-C1S2	کمی شور، برای کشاورزی تقریباً مناسب
متوسط S3	۱۸-۲۶	متوسط C3	۷۵۰-۲۲۵۰	C3S1-C3S2-C3S3-C2S3-C1S3	شور، برای کشاورزی با تمهیداتی مناسب
نامناسب S4	۲۶-۳۲	نامناسب C4	۲۲۵۰-۵۰۰۰	C4S1-C4S2-C4S4-C3S4-C2S4-C1S4	خیلی شور، برای کشاورزی مضر

۳- نتایج

نتایج نمونه برداری‌ها بر اساس پارامترهای شاخص NSFQWI در ماه‌های اردیبهشت، خرداد، تیر و بر اساس شاخص SAR در ماه‌های اردیبهشت و خرداد ۱۴۰۴ سنجش شد. با استفاده از داده‌های میانگین سه‌ماهه (اردیبهشت، خرداد و تیر ۱۴۰۴) بیشترین مقدار پارامترها از جمله BOD، کل جامدات، کدورت و فسفات در ایستگاه ۳ تموشل پایین محل ورود شیرابه زباله اندازه‌گیری شد. بیشترین مقدار اکسیژن محلول در کانال اصلی آبیاری ایستگاه شماره ۵ گلرودبار سنجش شد. بیشترین و کمترین مقدار نیترات به ترتیب در ایستگاه شماره ۴ بوجایه و ایستگاه شماره ۶ کانال اصلی بیجارینه اندازه‌گیری شد که نشان دهنده الگوی مصرف کودهای شیمیایی است. جداول ۷ و ۸ و ۹ نتایج مربوط به ۱۰ ایستگاه نمونه برداری بر اساس دو شاخص کیفی NSFQWI و SAR را نشان می‌دهد.

جدول ۷. نتایج نمونه برداری در ماه اردیبهشت سال ۱۴۰۴

اردیبهشت ۱۴۰۴												
ایستگاه	پارامترهای شاخص NSFQWI									پارامتر شاخص SAR		
	BOD (mg/l)	DO (mg/l)	F.C 100ml	NO ₃ (mg/l)	pH	Temp 0C	TS (mg/l)	Turb NTU	PO ₄ ³⁻ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)
۱	۱۰	۸.۲۰	۷	۲.۴۰	۸.۰۷	۲۵.۲۲	۳۳۷	۵۶۸	۰.۰۷	۱۹	۹.۱۹	۳۶.۰۷
۲	۹۰	۵.۲۰	۳۰	۱.۲۶	۸.۵۰	۲۶.۶۱	۱۲۵۸	۱۴۰	۱۶.۵۲	۸۴	۲۹.۰۹	۵۶.۱۱
۳	۶۵	۱.۷۰	۳۰	۱.۵۰	۸.۴۱	۲۶	۱۱۳۰	۱۹۷	۲۶.۸۱	۸۰	۲۶.۶۸	۴۰.۰۸
۴	۱۰	۸.۲۰	۴	۰.۶۰	۸.۶۴	۲۴	۱۴۳۳	۲۶۳	۲.۱۰	۶۳	۳۸.۷۷	۸۸.۱۸
۵	۵	۸.۲۰	۲	۳.۳۰	۸.۵۲	۲۵.۱۱	۱۲۰.۳	۱۲۶	۱.۵۴	۹۰	۲۹.۰۶	۸۴.۱۷
۶	۴۰	۸.۱۰	۶	۰.۵۰	۸.۷۴	۲۵.۲۰	۱۰۹۴	۷۵.۹	۴.۴۱	۶۳	۲۴.۷۴	۴۰.۰۸
۷	۸۰	۷.۱۰	۳۰	۱.۷۰	۸.۷۲	۲۵.۶۰	۸۸۱	۲۸.۴۰	۲.۳۱	۴۱	۳۳.۹۳	۷۲.۱۴
۸	۷۵	۵.۲۰	۵	۳.۵۰	۸.۵۴	۲۶.۲۰	۶۸۲	۵۶.۳۰	۴.۸۳	۳۲	۲۴.۲۳	۵۶.۱۱
۹	۶۵	۵.۴۴	۱۳۰	۴.۶۰	۸.۶۷	۲۵.۹۱	۶۷۳	۳۹.۹۰	۲.۲۴	۳۱	۳۰.۰۶	۵۸.۵۲
۱۰	۴۰	۸.۳۰	۲۷	۱۰.۱	۸.۶۴	۲۶.۷۰	۱۰۴۱	۱۳	۴.۴۱	۴۹	۲۹.۰۶	۸۰.۱۶
میانگین	۴۸	۶.۵۶	۲۷.۱۰	۲.۹۴	۸.۵۴	۲۵.۶۰	۹۷۳.۲۰	۹۴.۵۰	۶.۵۲	۵۵.۲۰	۲۷.۴۸	۶۱.۱۶

جدول ۸. نتایج نمونه برداری در ماه خرداد سال ۱۴۰۴

خرداد ۱۴۰۴												
ایستگاه	پارامترهای شاخص NSFQI									پارامتر شاخص SAR		
	BOD (mg/l)	DO (mg/l)	F.C 100ml	NO ₃ (mg/l)	pH	Temp 0C	TS (mg/l)	Turb NTU	PO ₄ ³⁻ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)
۱	۶۵	۸.۴۱	۲۲۰	۲.۲۳	۸.۴۰	۲۴.۵۰	۲۷۸	۳.۲۹	۰.۰۵	۱۸	۱۹.۴۰	۳۲.۰۸
۲	۱۷۵	۴.۷۳	۲۰	۱.۱۹	۷.۶۴	۲۴.۵۰	۱۳۰.۲	۱۴۰	۱۷.۲۰	۱۱۰	۳۳.۹۲	۸۰.۱۶
۳	۱۹۰	۱.۳۰	۵	۱.۳۹	۷.۵۴	۲۴.۵۰	۱۱۳۹	۱۴۹	۲۷.۳۰	۱۲۰	۹.۶۳	۷۲.۱۴
۴	۵۰	۸.۳۷	۱۷	۰.۵۱	۷.۷۲	۲۵.۱۰	۱۱۹۸	۱۴.۱	۲.۲۰	۱۴۰	۳۸.۷۸	۸۰.۱۶
۵	۵۵	۸.۲۰	۹۴	۴.۵۵	۷.۷۵	۲۳.۵۰	۲۷۸	۳۳.۵۰	۱.۷۱	۱۲۰	۴۳.۶۳	۸۸.۱۷
۶	۵۰	۸.۵۱	۷	۰.۳۱	۷.۸۳	۲۴.۳۰	۱۰۵۲	۴۲.۲۰	۴.۴۱	۱۳۰	۲۹.۱۹	۵۶.۱۲
۷	۶۵	۷.۴۶	۹	۱.۵۷	۷.۷۷	۲۶.۶۰	۱۰۱۷	۱۴.۹۰	۲.۳۱	۱۱۰	۴۸.۵۱	۷۲.۱۴
۸	۸۰	۵.۰۸	۹	۰.۳۷	۷.۷۶	۲۵.۲۰	۹۸۰	۱۱۷	۵.۴۶	۱۰۸	۴۰.۰۸	۴۰.۰۸
۹	۸۰	۵.۳۸	۴۵	۰.۵۷	۷.۷۶	۲۵	۹۳۹	۳۶	۲.۸۰	۱۱۰	۳۳.۹۳	۷۲.۱۴
۱۰	۵۰	۸.۴۸	۲۲	۰.۹۴	۷.۶۶	۲۶.۴۰	۱۱۰۸	۴.۷۲	۳.۹۰	۱۴۰	۳۸.۷۷	۸۸.۸۷
میانگین	۸۶	۶.۵۹	۴۴.۸۰	۱.۳۶	۷.۷۸	۲۴.۹۶	۹۲۹.۱۰	۵۵.۴۷	۶.۷۳	۱۱۰.۶	۳۳.۵۸	۶۸.۲۰

جدول ۹. نتایج نمونه برداری در ماه تیر سال ۱۴۰۴

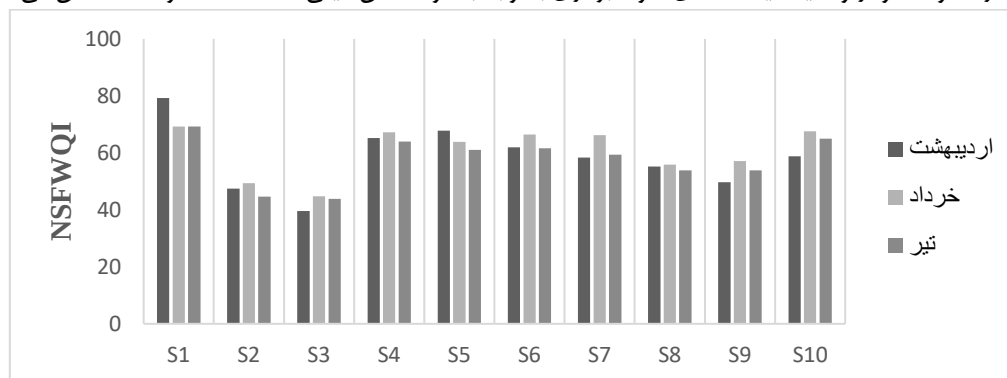
تیر ۱۴۰۴									
ایستگاه	پارامترهای شاخص NSFQI								
	BOD (mg/l)	DO (mg/l)	F.C 100ml	NO ₃ (mg/l)	pH	Temp 0C	TS (mg/l)	Turb NTU	PO ₄ ³⁻ (mg/l)
۱	۷۵	۷.۷۷	۱۹۰	۲.۵۰	۸.۲۰	۲۵.۴۰	۲۹۸	۱.۱۰	۰.۱۲
۲	۱۸۰	۳.۷۳	۲۰	۱.۳۰	۸.۵۰	۲۶.۶۰	۱۳۳۵	۱۶۸	۱۹.۳۰
۳	۱۹۰	۰.۹۰	۵	۱.۵۰	۷.۸۰	۲۶.۲۰	۱۴۲۵	۲۱۰	۲۴.۵۰
۴	۶۰	۸.۲۰	۲۰	۵۰.	۸.۶۴	۲۴.۴۰	۹۷۸	۱۳.۲۰	۲.۴۰
۵	۵۵	۷.۷۳	۸۵	۴.۳۰	۷.۷۵	۲۵.۴۰	۴۳۷	۳۴	۱.۹۰
۶	۶۰	۶.۸۰	۱۵	۰.۴۳	۷.۸۳	۲۵.۵۰	۱۱۲۰	۵۲	۵.۱۰
۷	۷۰	۶.۵۰	۲۰	۱.۶۴	۷.۷۰	۲۵.۶۰	۱۱۷۸	۶۴	۲.۴۰
۸	۹۰	۴.۸۰	۲۰	۰.۵۰	۷.۶۶	۲۶	۱۰۲۸	۱۲۸	۶.۶۴
۹	۸۰	۴.۲۳	۵۰	۰.۶۳	۷.۷۷	۲۵.۹۰	۹۸۵	۴۲	۳.۳۰
۱۰	۵۵	۷.۲۰	۳۰	۱.۰۲	۷.۸	۲۶.۴۰	۸۷۸	۵.۲۰	۳.۸۰
میانگین	۹۱.۵۰	۵.۷۸	۴۵.۵۰	۱.۴۰	۷.۹۶	۲۵.۷۰	۹۶۶.۲۰	۷۲.۰۵	۶.۹۵

با توجه به وزن پارامترها بر اساس شاخص های کیفی NSFQI و SAR شاخص های مربوطه تعیین مقدار و رده بندی ایستگاه های نمونه برداری انجام شد (جدول شماره ۹). بر اساس شاخص NSFQI ایستگاه یک نهر تموشل بالا در وضعیت کیفی خوب قرار گرفت. کیفیت بهتر آب این ایستگاه می تواند نشان دهنده ورود کمتر فاضلاب شهری به آب و ورود شیرابه بعد از تصفیه ناقص باشد. همچنین ایستگاه های ۲ و ۳ مربوط به روستای تموشل پایین کانال درجه ۳ و ۴ در وضعیت کیفی بد قرار گرفتند که نشان دهنده اثرات تخلیه مستقیم شیرابه به این کانال ها و نوع و میزان آلاینده های تخلیه شده در این دو ایستگاه است. با توجه به شاخص SAR تنها ایستگاه یک نهر تموشل بالا در هر دو مرحله نمونه برداری در ماه اردیبهشت و خرداد در رتبه کیفیت عالی قرار گرفت و سایر ایستگاه ها با توجه به ماه نمونه برداری در رتبه عالی، خوب و متوسط قرار داشتند.

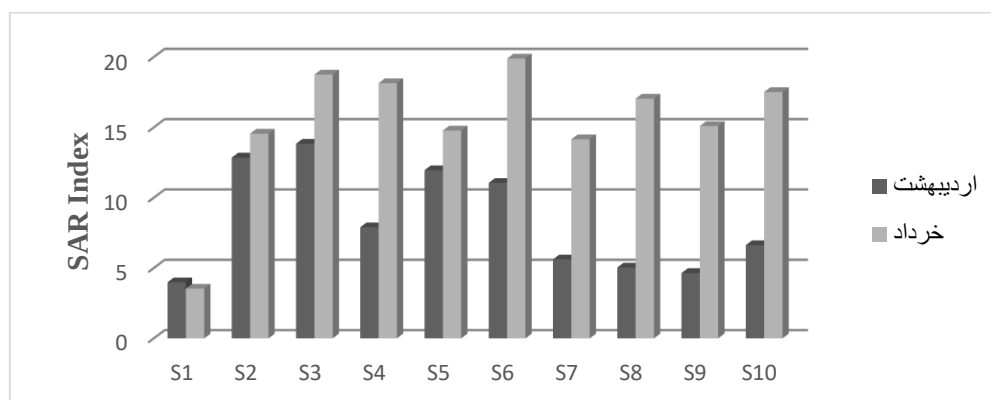
جدول ۱۰. محاسبه شاخص NSFQI و SAR بر اساس نتایج ماه های نمونه برداری در ۱۰ ایستگاه نمونه برداری

ایستگاه	NSFWQI Quality Index					SAR Quality Index			
	اردیبهشت	خرداد	تیر	میانگین	رده بندی	اردیبهشت	خرداد	میانگین	رده بندی
S1	۷۹.۳۰	۶۹.۳۰	۶۹.۳۰	۷۲.۶۳	خوب	۳.۹۹	۳.۵۴	۳.۷۷	عالی
S2	۴۷.۴۰	۴۹.۴۰	۴۴.۶۰	۴۷.۱۳	بد	۱۲.۸۶	۱۴.۵۶	۱۳.۷۱	خوب
S3	۳۹.۶۰	۴۴.۸۰	۴۳.۸۰	۴۲.۷۳	بد	۱۳.۸۴	۱۸.۷۶	۱۶.۳۰	خوب
S4	۶۵.۲۰	۶۷.۲۰	۶۴	۶۵.۴۷	متوسط	۷.۹۰	۱۸.۱۵	۱۳.۰۳	خوب
S5	۶۷.۸۰	۶۳.۹۰	۶۱.۱۰	۶۴.۲۷	متوسط	۱۱.۹۶	۱۴.۷۸	۱۳.۳۷	خوب
S6	۶۲	۶۶.۴۰	۶۱.۶۰	۶۳.۳۳	متوسط	۱۱.۰۶	۱۹.۹	۱۵.۴۸	خوب
S7	۵۸.۳۰	۶۶.۲۰	۵۹.۴۰	۶۱.۳۰	متوسط	۵.۶۲	۱۴.۱۶	۹.۸۹	عالی
S8	۵۵.۲۰	۵۵.۹۰	۵۳.۹۰	۵۵	متوسط	۵.۰۴	۱۷.۰۵	۱۱.۰۵	خوب
S9	۴۹.۷۰	۵۵.۹۰	۵۳.۸۰	۵۳.۱۳	متوسط	۴.۶۵	۱۵.۱۰	۹.۸۸	عالی
S10	۵۸.۸۰۰	۶۷.۶۰	۶۵	۶۳.۸۰	متوسط	۶.۶۳	۱۷.۵۲	۱۲.۰۸	خوب

شکل های شماره ۲ و ۳ نمودار وضعیت ایستگاه های نمونه برداری با توجه به دو شاخص کیفی NSFQI و SAR نشان می دهد.



شکل ۲. شاخص NSFQI در ایستگاه های نمونه برداری



شکل ۳. شاخص SAR در ایستگاه های نمونه برداری

بر اساس نمودار شکل شماره ۲، ایستگاه یک وضعیت مطلوب تری نسبت به سایر ایستگاه های نمونه برداری با توجه به دو شاخص فوق داشت. با توجه به اینکه ایستگاه یک نهر دائمی روستا بوده که جهت آبیاری مزارع استفاده می شود، وضعیت مطلوب این ایستگاه می تواند به دلیل دائمی بودن جریان آب و دبی بیشتر آب نهر و احتمالاً فرایند خودپالایی بهتر باشد. ارزیابی کیفی Parwin و همکاران (۲۰۲۲) در رودخانه ماهاناندا بر اساس شاخص کیفی NSFQI نشان داد که اکثر پارامترها در وضعیت نامطلوبی قرار دارند. نتایج پایین دست رودخانه قسمت شهری نتیجه کیفیت متوسط و نتایج بیرون از شهر نتیجه خوب را نشان داد که به خوبی نشانگر اثرات تنش شهری را بر کیفیت آب رودخانه است. Enas و همکاران (۲۰۲۴) در ارزیابی کیفی آب های زیرزمینی در نما منطقه ای در جنوب غربی الجزایر بر اساس شاخص SAR، تمامی نمونه ها را برای آبیاری مناسب ارزیابی کردند. صیاد و همکاران (۱۴۰۳) بر اساس شاخص های کیفی آبیاری، کیفیت آب رودخانه خرم آباد دو آب و یسان را عالی ارزیابی کردند.

• وضعیت کیفی پایاب سد سفیدرود

در این بخش کیفیت آب کانال‌های آبیاری در شهرستان لاهیجان بر اساس داده‌های ۱۰ ایستگاه نمونه‌برداری در سه ماهه اردیبهشت، خرداد و تیر ۱۴۰۴ با کیفیت آب اولیه منبع یعنی پایاب سد سفیدرود در همان بازه زمانی مقایسه گردید. از آنجا که هنوز آلاینده‌های انسانی یا کشاورزی وارد آب خروجی سد سفیدرود نشده، انتظار می‌رود کیفیت آب آن بهتر باشد و با عبور آب از مسیر کانال‌ها به دلیل ورود آلاینده‌ها و فاضلاب‌ها کیفیت آب در ایستگاه‌های مختلف کاهش یابد. با مقایسه این دو منبع، می‌توان میزان کاهش کیفیت و تغییرات پارامترهای شاخص آلودگی را به طور دقیق‌تر سنجید. تحلیل آماری مقایسه میانگین پارامترهای هر ایستگاه با پارامترهای پایاب سد سفیدرود به صورت زیر انجام شد:

- از آزمون t مستقل یا آزمون من-ویتنی (برای داده‌های غیر نرمال) برای مقایسه هر پارامتر بین داده‌های ایستگاه‌ها (میانگین کل ۱۰ ایستگاه) و داده‌های سد استفاده شد.
- به دلیل این که داده‌های سد سفیدرود به صورت میانگین فصلی است و داده‌های ایستگاه‌ها میانگین سه ماهه، تطابق زمانی دارند.
- پارامترهای قابل مقایسه شامل کلیفرم مدفوعی، کدورت، کل جامدات، فسفات، نیتрат، اکسیژن محلول، اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی و سایر شاخص‌های مهم کیفیت آب می‌باشند (جدول شماره ۱۱).

جدول ۱۱. مقایسه پارامترهای ایستگاه‌های نمونه‌برداری با پایاب سد سفیدرود (۱۴۰۴)

پایاب سفیدرود	ایستگاه‌های نمونه‌برداری										پارامتر
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	
۱۱۰۰>	۱۹۰	۲۰	۵	۲۰	۸۵	۱۵	۲۰	۲۰	۵۰	۳۰	F.C (100/ml)
۵۲۰	۱۸	۱۱۰	۷۲.۱۴	۱۴۰	۱۲۰	۱۳۰	۱۱۰	۴۰.۰۸	۷۲.۱۴	۸.۸۷	TH (mg/l)
۰.۰۴	۰.۱۲	۱۹.۳۰	۲۴.۵۰	۲.۴۰	۱.۹۰	۵.۱۰	۲.۴۰	۶.۶۴	۳.۳۰	۳.۸۰	PO ₄ ³⁻ (mg/l)
۵.۳۷	۲.۵۰	۱.۳۰	۱.۵۰	۰.۵۰	۴.۳۰	۰.۴۳	۱.۶۴	۰.۵۰	۰.۶۳	۱.۰۲	NO ₃ (mg/l)
۵	۷۵	۱۸۰	۱۹۰	۶۰	۵۵	۶۰	۷۰	۹۰	۸۰	۵۵	BOD (mg/l)
۶.۸۱	۷.۷۷	۳.۷۳	۰.۹۰	۸.۲۰	۷.۷۳	۶.۸۰	۶.۵۰	۴.۸۰	۴.۲۳	۷.۲۰	DO (mg/l)
۱۶۴۸	۲۹۸	۱۳۳۵	۱۴۲۵	۹۷۸	۴۳۷	۱۱۲۰	۱۱۷۸	۱۰۲۸	۹۸۵	۸۷۸	TS (mg/l)
۱۴.۵۰	۴.۱۰	۱۶۸	۲۱۰	۱۳.۲۰	۳۴	۵۲	۶۴	۱۲۸	۴۲	۵.۲۰	Turb (NTU)
۲۲.۲۰	۲۵.۴۰	۲۶۶۰	۲۶.۲۰	۲۴.۴۰	۲۵.۴۰	۲۵.۵۰	۲۵.۶۰	۲۶	۲۵.۹۰	۲۶.۴۰	Temp (°C)
۸.۴۲۰	۸.۲۰	۸.۵۰	۷.۸۰	۸.۶۴	۷.۷۵	۷.۸۳	۷.۷۰	۷.۶۶	۷.۷۷	۷.۸۰	pH

با توجه به نتایج پارامترهای پایاب سد سفیدرود به عنوان منبع تامین آب های کشاورزی منطقه مربوط به فصل بهار سال ۱۴۰۴ که از آب منطقه ای استان گیلان اخذ گردید، شاخص کیفی بر اساس شاخص NSFQWI محاسبه گردید که بر این اساس وضعیت کیفی خروجی این سد در فصل بهار در وضعیت متوسط قرار داشت (جدول شماره ۱۲).

جدول ۱۲. وضعیت کیفی پایاب سفیدرود (منبع: داده های اداره آب منطقه ای استان گیلان ۱۴۰۴)

پایاب سفیدرود بهار ۱۴۰۴			
پارامترها	پایاب سفیدرود	شاخص NSFQWI	وضعیت کیفی
Temp (°C)	۲۲.۲	۸۹.۸	متوسط
pH	۸.۴۲	۷۰.۹۵	
Turb (NTU)	۱۴.۵۰	۶۸.۶۶	
TS (mg/l)	۱۶۴۸	۲۰	
DO (mg/l)	۶.۸۱	۷۴.۲	
BOD (mg/l)	۵	۵۵.۹۹	
NO ₃ (mg/l)	۵.۳۷	۶۶.۲۳	
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	۰.۰۴	۹۸.۲۷	
F.C (100/ml)	۱۱۰۰<	۲۱.۰۳	

• طبقه بندی آب از نظر مصرف در بخش کشاورزی بر اساس معیار ویلکاکس

با توجه به نتایج SAR و EC محاسبه شده، ایستگاه‌های نمونه‌برداری از نظر مصرف برای کشاورزی رتبه بندی شدند. بر اساس این رتبه‌بندی بهترین آب برای کشاورزی در ایستگاه یک مشاهده شد یعنی کمی شور و تقریباً مناسب برای کشاورزی است و سایر ایستگاه‌ها بر اساس نمودار ویلکاکس شور بودند یعنی با تمهیداتی جهت مصارف کشاورزی مناسب می‌باشند (جدول شماره ۱۳). Simsir و همکاران (۲۰۲۴) کیفیت آب رودخانه بیلدیز را در هر دو فصل بارندگی و خشک به ترتیب C3S1 و C2S1 ارزیابی کردند. Fadi و همکاران (۲۰۲۴) بر اساس نمودار ویلکاکس، ۹۳.۶٪ نمونه‌های منابع آب در استان المونیه در کشور مصر را مشکوک و دارای محتوای بالای سدیم ارزیابی کردند که در صورت استفاده برای آبیاری می‌تواند سبب اختلال رشد در گیاهان شود.

جدول ۱۳. رتبه بندی آب ایستگاه‌های نمونه برداری براساس نمودار ویلکاکس

رتبه بندی بر اساس نمودار ویلکاکس	رتبه بندی جهت آبیاری	کلاس	رده بندی بر اساس EC	مقدار EC	کلاس	رده بندی بر اساس SAR شاخص	مقدار SAR	ایستگاه
کمی شور	C2S1	C2	خوب	۳۹۲	S1	عالی	۳.۵۴	۱
شور	C3S2	C3	متوسط	۱۸۰۱	S2	خوب	۱۴.۵۶	۲
شور	C3S3	C3	متوسط	۱۸۰۱	S3	متوسط	۱۸.۷۶	۳
شور	C3S3	C3	متوسط	۱۸۶۶	S3	متوسط	۱۸.۱۵	۴
شور	C3S2	C3	متوسط	۱۹۶۶	S2	خوب	۱۴.۷۸	۵
شور	C3S3	C3	متوسط	۱۸۳۰	S3	متوسط	۱۹.۹۰	۶
شور	C3S2	C3	متوسط	۱۸۷۲	S2	خوب	۱۴.۱۶	۷
شور	C3S2	C3	متوسط	۱۳۶۶	S2	خوب	۱۷.۰۵	۸
شور	C3S2	C3	متوسط	۱۵۴۵	S2	خوب	۱۵.۱۰	۹
شور	C3S2	C3	متوسط	۱۹۸۳	S2	خوب	۱۷.۵۲	۱۰

• ارتباط وضعیت پارامترهای کیفیت آب با درجه کانال‌ها

برای بررسی ارتباط وضعیت پارامترهای کیفیت آب با درجه کانال‌ها، ابتدا ایستگاه‌های نمونه‌برداری بر اساس درجه کانال مربوطه دسته‌بندی شدند تا تأثیر افزایش درجه کانال (معمولاً به معنای نزدیکی بیشتر به مزارع و منابع آلودگی است) بر کیفیت آب مشخص گردد. با محاسبه میانگین مقادیر پارامترها در هر گروه درجه کانال، روند تغییر کیفیت آب در رابطه با افزایش یا کاهش درجه کانال قابل مشاهده است (جدول شماره ۱۴).

جدول ۱۴. میانگین مقادیر پارامترهای اصلی کیفیت آب را برای هر گروه درجه کانال

درجه کانال					پارامتر
درجه ۲	درجه ۳	اصلی	درجه ۴	نهر	
۹۰	۸۷.۵۰	۶۰	۱۵۳.۳۳	۷۵	BOD (mg/l)
۴۸۰	۵.۵۲	۷.۵۰	۳.۳۸	۷.۷۷	DO (mg/l)
۲۰	۳۸.۷۵	۱۷.۵۰	۲۷.۵۰	۱۹۰	F.C (100/ml)
۰.۵۰	۲.۱۴	۰.۵۴	۱.۰۶	۲.۵۰	NO ₃ (mg/l)
۷.۶۶	۷.۷۳	۸.۲۴	۷.۷۸	۸.۲۰	pH
۲۶	۲۵.۷۵۰	۲۶.۰۵	۲۶.۰۵	۲۵.۴۰	Temp(OC)
۱۰۲۸	۹۸۲.۵۰	۱۰۴۹	۱۲۰۵	۲۹۸	TS (mg/l)
۱۲۸	۴۷	۵۲	۱۱۷	۴.۱۰	Turb (NTU)
۶۶۴	۶.۱۸	۳.۷۵	۱۳.۹۰	۰.۱۲	PO ₄ ³⁻ (mg/l)
۱۰۸	۱۱۵	۱۳۵	۱۱۰	۱۸	Na ⁺ (mg/l)
۴۰.۰۸	۳۸.۹۱	۳۳.۹۹	۲۱.۷۸	۱۹.۴۰	Mg ²⁺ (mg/l)
۴۰.۰۸	۷۸.۳۲	۶۸.۱۴	۷۲.۱۴	۳۲.۰۶	Ca ²⁺ (mg/l)

با مشاهده جدول ۱۳ می‌توان دریافت که برخی پارامترها مانند BOD در کانال‌های درجه ۴ (که به منابع آلودگی نزدیک‌تر هستند) به طور قابل توجهی بالاتر است که نشان‌دهنده آلودگی بیشتر است. همچنین مقادیر DO که نشانه اکسیژن محلول و کیفیت بهتر آب است، در کانال‌های اصلی بیشتر از کانال‌های فرعی مشاهده می‌شود. نیتрат‌ها و فسفات‌ها نیز در کانال‌های درجه ۳ و ۴ مقادیر بالاتری دارند. بر اساس نتایج آزمون کروسکال-والیس، وضعیت بسیاری از پارامترهای کیفیت آب با درجه کانال‌ها رابطه معناداری دارد ($p < 0.05$). به طور خاص، میزان اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی (BOD)، اکسیژن محلول (DO)، فیکال کلیفرم (F.C)، نیترات، جامدات محلول (TS)، کدورت، فسفات و سدیم بین کانال‌های با درجات مختلف تفاوت معنی‌دار نشان می‌دهند ($p < 0.05$). این نتایج نشان می‌دهد که کیفیت آب در کانال‌های درجه ۳ و ۴ که به مزارع و منابع آلوده‌کننده نزدیک‌تر هستند، از نظر این پارامترها نامطلوب‌تر است. از سوی دیگر، پارامترهایی مانند pH، دما، منیزیم و کلسیم تفاوت معناداری بین درجه کانال‌ها نداشتند ($p < 0.05$) که نشان‌دهنده پایداری این پارامترها در طی مسیر کانال‌ها است (جدول شماره ۱۵).

جدول ۱۵. نتایج آزمون کروسکال-والیس برای بررسی ارتباط وضعیت پارامترها با درجه کانال‌ها

پارامتر	نتیجه آزمون	مقدار p	مقدار آماره χ^2
BOD (mg/l)	معنادار	۰.۰۰۵۴	۱۴.۷۵
DO (mg/l)	معنادار	۰.۰۰۳۱	۱۶.۲۰
F.C (100/ml)	معنادار	۰.۰۰۱۲	۱۲.۸۰
NO ₃ (mg/l)	معنادار	۰.۰۰۳۳	۱۰.۴۵
pH	غیرمعنادار	۰.۵۲	۳.۲۵
Temp(0C)	غیرمعنادار	۰.۶۱	۲.۷۰
TS (mg/l)	معنادار	۰.۰۰۱۸	۱۱.۹۰
Turb (NTU)	معنادار	۰.۰۰۰۹	۱۳.۶۰
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	معنادار	۰.۰۰۰۴	۱۵.۱۰
Na ⁺ (mg/l)	معنادار	۰.۰۰۴	۹.۸۰
Mg ²⁺ (mg/l)	غیرمعنادار	۰.۱۱	۷.۵۰
Ca ²⁺ (mg/l)	غیرمعنادار	۰.۱۴	۶.۹۰

پس از مشخص شدن وجود تفاوت معنادار در برخی پارامترها بین درجات مختلف کانال‌ها با آزمون کروسکال-والیس، به منظور تعیین دقیق اینکه کدام درجه‌های کانال نسبت به یکدیگر تفاوت معنی‌دار دارند ($p < 0.05$)، از پس‌آزمون دان (Dunn) استفاده شد. این آزمون چندانکه کمک می‌کند جزئیات تغییرات کیفیت آب، در کانال‌های اصلی، درجه ۲، درجه ۳، درجه ۴ و نهر مشخص گردد (جدول شماره ۱۶).

جدول ۱۶. وضعیت پارامترها در کانال‌های با درجات مختلف بر اساس پس‌آزمون دان

تفاوت معنادار پارامترها بین کانال با درجات متفاوت بر اساس آزمون دان												
گروه‌ها	BOD mg/l	DO mg/l	F.C 100 ml	NO ₃ mg/l	pH	دما .C	TS mg/l	کدورت NTU	PO ₄ ³⁻ mg/l	Na ⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Ca ²⁺ mg/l
کانال درجه ۴ - کانال اصلی	بله	بله	بله	بله	خیر	خیر	بله	بله	بله	خیر	خیر	خیر
کانال درجه ۳ - کانال اصلی	بله	بله	بله	بله	خیر	بله	بله	بله	خیر	بله	بله	بله
کانال درجه ۴ - کانال درجه ۳	خیر	خیر	خیر	خیر	خیر	-	خیر	خیر	-	-	-	-

این روند نشان می‌دهد که کانال‌های فرعی تحت تأثیر مستقیم فعالیت‌های کشاورزی و انسانی قرار دارند و کیفیت آب در آن‌ها رو به افت است. مسیرهای اصلی ورود نیترات به منابع آب عبارتند از تخلیه پساب، استفاده بی‌رویه کودهای شیمیایی در کشاورزی و کمبود سیستم‌های جمع‌آوری فاضلاب و شیرابه به دست آمده از محل دفن زباله‌های جامد شهری و صنعتی است (سلگی و همکاران، ۱۴۰۳). بنابراین، درجه کانال به عنوان شاخصی از سطح آلودگی و کیفیت آب قابل استفاده جهت آبیاری است.

- مقایسه پارامترهای کیفیت آب در ایستگاه‌های نمونه‌برداری با استانداردهای آبیاری
در نهایت نتایج پارامترهای کیفی ده ایستگاه با استانداردهای آب آبیاری مقایسه شد (جدول شماره ۱۷).

جدول ۱۷. مقایسه پارامترهای ایستگاه‌های نمونه‌برداری با استانداردهای آبیاری

پارامتر	حد مجاز استاندارد	حداکثر مقدار در ایستگاه‌ها	آیا در حد مجاز است؟
F.C (100/ml)	کمتر از ۱۰۰۰	۱۹۰	بله
T.C (100/ml)	کمتر از ۱۰۰۰	۱۹۰	بله
Mg ²⁺ (mg/l)	کمتر از ۱۵۰	۹۰	بله
Ca ²⁺ (mg/l)	کمتر از ۱۵۰	۸۳	بله
Na ⁺ (mg/l)	کمتر از ۲۶۰	۱۴۰	بله
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	کمتر از ۰.۵	۲۴.۵	خیر
NO ₃ (mg/l)	کمتر از ۱۰	۴.۳	بله
BOD (mg/l)	کمتر از ۳۰	۱۹۰	خیر
DO (mg/l)	بیشتر از ۵	۸.۲۰	بله
TS (mg/l)	کمتر از ۱۵۰۰	۱۴۲۵	بله
Turb (NTU)	کمتر از ۵۰	۲۱۰	خیر
pH	۶.۵ تا ۸.۵	۸.۶۴	کمی بالاتر

یافته‌های حاصل از مقایسه نتایج پارامترها با استانداردهای آبیاری نشان داد که در حالی که برخی پارامترها مانند منیزیم، کلسیم و سدیم در محدوده قابل قبول قرار دارند، برخی پارامترهای آلودگی مانند فسفات، BOD، کدورت و کلیفرم‌ها در چندین ایستگاه از حد مجاز استانداردهای آب آبیاری فراتر رفته‌اند. این وضعیت می‌تواند مشکلاتی مانند تجمع مواد آلاینده در خاک، کاهش بهره‌وری کشاورزی، ایجاد شرایط نامناسب برای رشد گیاهان و تهدید بهداشت انسانی و محیط زیست را به دنبال داشته باشد. بنابراین، ضروری است برنامه‌های مدیریتی جهت کنترل آلاینده‌ها، تصفیه مناسب آب و پایش مستمر کیفیت منابع آبی اجرا شود.

۴- نتیجه‌گیری

براساس شاخص کیفی NSFQI کانال‌های آبیاری شهرستان لاهیجان در رتبه‌های متوسط تا بد قرار گرفتند. بر اساس این شاخص بهترین کیفیت مربوط به ایستگاه ۱ نهر تموشل بالا بود که احتمالاً به دلیل دبی بیشتر آب و دائمی بودن جریان آب در نهر می‌باشد. ارزیابی کیفیت کانال‌ها بر اساس شاخص‌های آبیاری SAR به منظور بهره‌برداری در کشاورزی تفاوت معناداری را در ایستگاه‌های مختلف نمونه‌برداری نشان داد ($p < 0.05$). با توجه به این شاخص تنها ایستگاه یک نهر تموشل بالا در هر دو مرحله نمونه‌برداری در ماه اردیبهشت و خرداد در رتبه کیفیت عالی قرار گرفت و سایر ایستگاه‌ها با توجه به ماه نمونه‌برداری در رتبه عالی، خوب و متوسط قرار داشتند. همچنین بر اساس نمودار ویلکاکس که ایستگاه‌ها را بر حسب مقدار سدیم جذبی و EC مورد ارزیابی قرار می‌دهد، تنها ایستگاه یک در رتبه کمی شور و مناسب جهت آبیاری قرار داشت و سایر ایستگاه‌ها در رتبه شور و با تمهیدات لازم برای آبیاری مناسب ارزیابی گردیدند. بررسی پارامترها بین ایستگاه‌ها نشان داد پارامترهایی مانند BOD، فسفات، کدورت و کلیفرم‌ها به طور معناداری بین ایستگاه‌ها تفاوت داشتند ($p < 0.05$). این اختلاف‌ها غالباً ناشی از ورود آلاینده‌های مختلف به منابع آبی در مناطق نزدیک به مزارع و مناطق شهری بود. به عنوان مثال، افزایش بار آلی و میکروبی در ایستگاه‌های فرعی و کانال‌های درجه ۴ بیانگر تأثیر پساب‌ها و شیرابه‌های محلی بر کیفیت آب است، در حالی که ایستگاه‌های اصلی کیفیت آب به نسبت بهتری داشتند. آزمون‌های آماری مانند Kruskal-Wallis و پس‌آزمون Dunn نیز این تفاوت‌ها را به صورت معنادار ($p < 0.05$) تأیید کردند. همچنین وضعیت پارامترها با توجه به درجه کانال‌ها بررسی شد و مشخص گردید که با افزایش درجه کانال (از کانال اصلی به درجه ۳ و درجه ۴ که به مزارع و مناطق آلوده‌تر نزدیک‌تر هستند) برخی پارامترهای آلودگی مانند نیترات، فسفات، BOD و کلیفرم‌ها روند افزایشی داشتند، در حالی که پارامترهایی مانند DO (اکسیژن محلول) کاهش یافت. با توجه به مقایسه وضعیت پارامترها در ایستگاه‌های نمونه‌برداری شهرستان با آب اولیه خروجی از سد سفیدرود نتایج بیانگر کاهش کیفیت قابل توجه در اکثر پارامترهای مهم آب از جمله افزایش بار آلی، نیترات، فسفات و کدورت در شهرستان نسبت به آب خروجی از سد بود. این نشان می‌دهد که پس از خروج آب از سد و عبور از مسیرهای مختلف، آلاینده‌ها به آب وارد شده و کیفیت آن کاهش یافته است. همچنین، مقادیر بالای فیکال کلیفرم در برخی ایستگاه‌ها نشان‌دهنده آلودگی میکروبی قابل توجه است که سلامت اکوسیستم و محصولات کشاورزی را تهدید می‌کند. غلظت باکتری کلیفرم مدفوعی در رودخانه می‌تواند شاخص ورود فاضلاب انسانی و حیوانی به رودخانه باشند (هوشمند و همکاران، ۱۳۹۸).

منابع

- APHA, (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water. 23RD. 4500 P-D
- Fadl, M. E., ElFadl, D. M. A., Hussien, E. A. A., Zekari, M., Shams, E. M., Drosos, M., ... & Megahed, H. A. (2024). Irrigation Water Quality Assessment in Egyptian Arid Lands, Utilizing Irrigation Water Quality Index and Geo-Spatial Techniques. Sustainability (2071-1050), 16(14).
- <http://www.environmentalhealth.ir/Water-quality-classification>
- <https://kalanshahr.ir/52136>
- <https://waterse.ir/classification-location-and-route-of-channals>
- Hussein, E. E., Derdour, A., Zerouali, B., Almaliki, A., Wong, Y. J., Ballesta-de los Santos, M., Minh Ngoc, P., Hashim, M. A., & Elbeltagi, A. (2024). Groundwater Quality Assessment and Irrigation Water Quality Index Prediction Using Machine Learning Algorithms. *Water*, 16(2), 264. <https://doi.org/10.3390/w16020264>
- Parween, S., Siddique, N. A., Diganta, M. T. M., Olbert, A. I., & Uddin, M. G. (2022). Assessment of urban river water quality using modified NSF water quality index model at Siliguri city, West Bengal, India. *Environmental and Sustainability Indicators*, 16, 100202.
- Şimşir, M., Yıldız, S., Karakuş, C. B., & Özbek, D. Ü. (2025). Suitability of Water Quality for Irrigation Purposes Using GIS-Based Irrigation Water Quality Index. *Irrigation and Drainage*
- Solgi, E., & Nasiri, M. (2019). Zoning of Some Drinking Water Quality Parameters Using GIS (Case Study: Malyer City). *Irrigation and Water Engineering*, 9(4), 177-190
- ایلدرمی، حسن زاده، & هدایت زاده. (۲۰۲۳). ارزیابی جامع کیفیت آب‌های سطحی و تناسب آنها برای مصارف شرب و آبیاری: مطالعه موردی حوضه رودخانه کارون و دز. *هیدروژئومورفولوژی*, ۱۰ (۳۴)، ۳۱-۱.
- پرمایه، رحیم، رضانی پور، مهرداد، بزرگمهر، کیا، و حقزاد، آمنه. (۱۳۹۹). عوامل مؤثر بر توسعه گردشگری شهر لاهیجان. *جغرافیای فضای گردشگری*, ۹ (۳۴)، ۲۷-۴۷.
- حسینخانی، & نجیب. (۲۰۱۴). ارزیابی کیفیت آب حوضه آبریز سد شهریار جهت مصارف خانگی و آبیاری با استفاده از شاخص‌های شیمیایی و نقشه برداری GIS در ناحیه میانه، جنوب شرقی استان آذربایجان شرقی. *زمین شناسی کاربردی پیشرفته*, ۴ (۴)، ۱-۱۲.
- خادم پور، & شهیدی. (۲۰۱۷). ارزیابی کیفی آب‌های سطحی با استفاده از روش CWQI و نرم‌افزار Aquachem (مطالعه موردی: رودخانه قاین در خراسان جنوبی). *مجله پژوهش در بهداشت محیط*, ۳ (۳)، ۱۷۹-۱۸۶.
- دلبری، رضایی توابع، کامران، میر واقفی، لاهیجان زاده، باقرزاده کریمی، ... & عرفان. (۲۰۲۲). ارزیابی کیفیت آب رودخانه تجن با استفاده از شاخص IRWQIsc. *مجله علوم آبی پروری*, ۱۰ (۲)، ۸۳-۹۸.
- رستمی، محمدحسین، & وحیدی، حسین. (۲۰۲۰). ارزیابی کیفی رودخانه کنگیر ایوان با استفاده از شاخص NSFQI و تأثیر کاهش بار آلاینده‌های نقطه ای در افزایش میزان شاخص با استفاده از مدل QUAL2KW.
- رضازاده جودی، & ستاری. (۲۰۱۶). ارزیابی و مقایسه عملکرد روش‌های داده کاوی در تخمین شاخص کیفی SAR (مطالعه موردی: رودخانه آبی چای آذربایجان شرقی). *پژوهش آب ایران*, ۱۰ (۳)، ۲۱-۲۹.
- زمانی، احمد محمودی، رسول، فتحی، احسان، بیاتی، سمیرا، و اکبری، زینب. (۱۴۰۱). ارزیابی کیفیت آب رودخانه‌های حوزه آبخیز بهشت آباد با استفاده از روش‌های مختلف (با تأکید بر آبیاری). *محیط زیست و توسعه فرابخشی*, ۷ (۷۵)، ۳۹-۳۹. SID. <https://sid.ir/paper/1044835/fa>
- صیاد بیرانوند، فرزین، حیدرپور، منوچهر و سبزواری، یاسر. (۱۴۰۳). تحلیل جامع کیفیت آب رودخانه دوآب و سیسان در غرب ایران. *پژوهش‌های کاربردی مهندسی آب*, ۲ (۱)، ۷۹-۹۵. doi: 10.22034/arwe.2024.2028689.1017.۹۵-۷۹
- قلی زاده محمد، & حیدری امید. (۲۰۲۰). ارزیابی کیفیت آب رودخانه گرگان رود بر پایه شاخص‌های کیفی آب‌های سطحی در محدوده شهر گنبد کاووس.
- لاریجانی، شمیم، بانزاد، کاویان، عطالله، ضیائی، & علی نقی. (۲۰۲۲). ارزیابی حساسیت دو مدل کیفیت آب NSFQI و IRWQISC در رودخانه هراز. *نشریه آبیاری و زهکشی ایران*, ۱۶ (۴)، ۸۱۶-۸۳۰.
- هوشمند، آهنگرزاده، دهقان مدیسه، & سید مرتضایی. (۲۰۲۰). بررسی کیفیت آب دریاچه سد سیمره با استفاده از شاخص‌های باکتریایی و ارتباط آن با برخی از فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی آب. *مجله علمی شبيلات ایران*, ۲۸ (۶)، ۸۹-۹۷.