

Temporal Water Quality Patterns in the Talar River: A Multi-Index Approach Using IR-WQ_{ISC}, NSFQI, and WILCOX

A. Laki¹, A. Moridi^{2*}, R. Khalili³, and S. Sadeghi⁴

Abstract

In this study, the water quality of the Talar River was assessed using the National Sanitation Foundation Water Quality Index (NSFWQI), the Iranian Surface Water Quality Index (IRWQ_{ISC}), and the Wilcox diagram (WILCOX) at six different stations along the river over a hydrological year, from October 2022 to September 2023. Statistical analyses, including correlation matrix and dendrogram plots, were employed to investigate the relationships among various water quality parameters. In autumn, the poorest water quality based on the IRWQ_{ISC} index was observed at Station 4, with a score of 4.16, indicating a very poor water quality status. According to the NSFQI, the worst water quality was recorded at Station 5 during the summer, with a value of 63.23. Although some improvement in water quality was noted at Station 1 in spring due to increased rainfall, the Wilcox diagram—which considers only electrical conductivity (EC) and sodium adsorption ratio (SAR)—indicated the worst result at Station 6 in autumn. This result, classified as C3S2, reflects moderate quality for agricultural use. As we move downstream, a decline in water quality is observed across all indices, mainly due to intensified agricultural activities and urbanization. Additionally, reduced rainfall during certain months significantly contributed to the deterioration of water quality.

Keywords: Water Quality, Talar River, NSFQI, IRWQ_{ISC}, WILCOX Diagram.

Received: October 5, 2024

Accepted: February 20, 2025

الگوهای زمانی کیفیت آب در رودخانه تالار: با رویکرد شاخص چندگانه IR-WQ_{ISC}، NSFQI و WILCOX

علی لاکلی^۱، علی مریدی^{۲*}، رضا خلیلی^۳ و سام صادقی^۴

چکیده

در این پژوهش، کیفیت آب رودخانه تالار بر اساس شاخص‌های کیفیت آب بنیاد ملی بهداشت (NSFWQI)، کیفیت آب سطحی ایران (IRWQ_{ISC}) و دیاگرام ویلکوکس (WILCOX) در شش ایستگاه مختلف در طول رودخانه طی یک دوره آبی از مهر ۱۴۰۱ تا شهریور ۱۴۰۲ بررسی شد. سپس با استفاده از تحلیل‌های آماری، از جمله ماتریس همبستگی و نمودار دندروگرام، ارتباط پارامترهای مختلف تعیین‌کننده کیفیت آب مورد مطالعه قرار گرفت. در فصل پاییز، بدترین کیفیت آب رودخانه بر اساس شاخص IRWQ_{ISC} در ایستگاه چهارم مشاهده شد که برابر با ۴/۱۶ است و نشان‌دهنده کیفیت بسیار بد برای این رودخانه است. همچنین، بررسی کیفیت آب بر مبنای شاخص NSFQI نشان داد که بدترین کیفیت آب در ایستگاه پنجم و در فصل تابستان، با مقدار ۶۳/۲۳ مشاهده شده است. اگرچه در ایستگاه اول و در فصل بهار، به دلیل افزایش بارندگی‌ها، کیفیت آب رودخانه اندکی بهبود یافته است؛ اما بر اساس دیاگرام ویلکوکس که تنها به دو پارامتر هدایت الکتریکی (EC) و نسبت جذب سدیم (SAR) وابسته است، بدترین نتیجه در ایستگاه ششم و در فصل پاییز مشاهده شد. این نتیجه با طبقه‌بندی C3S2 بیانگر کیفیت متوسط برای مصارف کشاورزی است. با حرکت به سمت ایستگاه‌های پایین‌دست، مشاهده می‌شود که به دلیل افزایش فعالیت‌های کشاورزی و شهرنشینی، کیفیت آب در تمامی شاخص‌ها کاهش می‌یابد. علاوه بر این، کاهش بارندگی در برخی ماه‌ها نیز به این افت کیفیت کمک قابل توجهی می‌کند.

کلمات کلیدی: کیفیت آب، رودخانه تالار، NSFQI، IRWQ_{ISC}، دیاگرام WILCOX.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۷/۱۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۱۲/۲

1- M.Sc. Student, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

2*- Assistant Professor, Department of Water, Faculty of Civil Engineering, Water and Environment, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Email: a_moridi@sbu.ac.ir

3- Ph.D. Student, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

4- Master Student, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

*- Corresponding Author

Doi: [10.22034/iwrr.2025.482028.2790](https://doi.org/10.22034/iwrr.2025.482028.2790)

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، آب و مهندسی محیط‌زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

۲- استادیار، گروه آب، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

۳- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران، آب و مهندسی محیط‌زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

۴- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، آب و مهندسی محیط‌زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان تابستان ۱۴۰۴ امکان‌پذیر است.

۱- مقدمه

در بسیاری از کشورهای جهان از جمله ایران با گستردگی جوامع و پیشرفت صنعت، کیفیت آب رودخانه‌ها نزول پیدا کرده است. حال این مسئله به همراه مسائل دیگری از جمله: محدودیت منابع آب و نیاز روزافزون جوامع به این منابع، احتیاج اساسی ما را به پایش، کنترل و تصفیه آب‌های سطحی مؤکد است. به این منظور اولین و مهم‌ترین اقدام برای شناسایی کیفیت منابع آب، سنجش، تحلیل و تفسیر مستمر اطلاعات کیفی آب رودخانه‌ها به شمار می‌رود. در جهان امروز در بسیاری از کشورهای توسعه‌یافته مطالعات پهنه‌بندی کیفی آب رودخانه‌ها و مشخص نمودن منابع آلاینده آن‌ها، اصلی اساسی و ثابت‌شده در بخش مدیریت منابع آب است و سبب مدیریت صحیح کیفیت آب رودخانه‌ها شده است؛ اما در کشور ایران متأسفانه مطالعات پهنه‌بندی و سنجش، کنترل و پایش مستمر اطلاعات کیفی آب رودخانه‌ها به‌طور دقیق صورت نگرفته و تنها اطلاعات مقطعی برای تعدادی از رودهای کشور در این خصوص گزارش شده است (Naseri et al., 2020).

در کشورهایی از دنیا که مدیریت صحیح کیفیت آب رودخانه‌ها به عمل می‌آید، نمونه‌برداری و اندازه‌گیری کیفیت آب به‌صورت روزانه صورت می‌گیرد (Samani, 2020)، درحالی‌که در چند سال گذشته بدون انجام مطالعات جامع زیست‌محیطی، برای بالا بردن عمر مفید رودخانه تالار اقدام به تخلیه رسوب کرده‌اند که مزیدی بر مشکلات زیست‌محیطی تالار شد. مهم بودن و اهمیت داشتن رودخانه تالار بر این است که علاوه بر منبع حیات‌آزبان و منبع کشاورزی ساکنان حواشی رودخانه بودن، بلکه منبع آب شرب مصرفی اهالی و ساکنین شهرهای اطراف نیز است. پس می‌توان متوجه شد که بررسی کیفی و پهنه‌بندی آب بر اساس شاخص‌های استاندارد کیفی آب تأثیر بسزایی در مشخص شدن وضعیت کیفی آب رودخانه دارد و همچنین به توسعه پایدار و افزایش بهره‌وری از این رودخانه مهم کمک می‌کند.

برای ارزیابی کیفی آب‌های سطحی روش‌های متفاوتی در چند سال اخیر به کار گرفته شده است. شاخص آلودگی آب^۱ WQI به‌منظور ارزیابی سریع کیفیت آب کاربرد دارد که به‌وسیله آن آلودگی آب را در زمان کوتاه‌تری می‌توان به دست آورد بدون اینکه پیچیدگی‌های آماری و ریاضی وجود داشته باشد. با توجه به شرایط طبیعی و مشکلاتی که منابع آب کشور ما با آن روبه‌رو است، شاخصی به نام شاخص کیفیت منابع آب ایران^۲ IRWQIsc به وجود آمده است (Yonesi et al., 2022). یکی دیگر از متداول‌ترین روش‌های تعیین شاخص کیفیت آب در جهان، شاخص کیفیت آب ملی بنیاد ملی بهداشت^۳ (NSFWQI) است که با توجه به ساده و قابل‌فهم بودن آن در تحقیقات بررسی کیفیت منابع آب نقش مهمی ایفا می‌کند. در این

روش نیاز به اندازه‌گیری پارامترهایی نظیر pH^۴، BOD^۵، TDS، اکسیژن محلول در آب (DO^۶)، کدورت، دما، میزان فسفات، نیترات و کلی‌فرم مدفوعی که پس از اندازه‌گیری به هر یک از پارامترها، یک وزن یا یک مقدار عددی اختصاص داده می‌شود و در مرحله نهایی از روابط ریاضی برای محاسبه شاخص نهایی استفاده می‌شود. در شاخص NSFQI با افزایش میزان آلودگی ارزش شاخص پایین می‌آید یا به عبارتی یک شاخص با روند کاهشی است (Khalili et al., 2020).

(Yousefi et al., 2019) کیفیت آب سد بابا حیدر را در استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از شاخص NSFQI مورد بررسی قرار دادند. برای این منظور، هفت ایستگاه نمونه‌گیری انتخاب شدند و نمونه‌ها در سال‌های ۲۰۱۳-۲۰۱۲ جمع‌آوری شدند. نتایج نشان داد که کیفیت آب سد به‌طور کلی در محدوده امتیاز ۷۱ تا ۹۰ قرار دارد که نشان‌دهنده کیفیت خوب آب است. در بین تمامی ایستگاه‌ها، ایستگاه شماره ۶ بهترین وضعیت را داشت، زیرا در این ایستگاه تنها کلی‌فرم مدفوعی صفر یافت شد. (Mahrooyan et al., 2021) کیفیت آب رودخانه شاهرود را که یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های استان قزوین است، با استفاده از شاخص NSFQI بررسی کردند. نمونه‌گیری‌ها در دو فصل آبان ماه ۹۶ (پاییز) و تیرماه ۹۷ (تابستان) انجام شد و هر نمونه‌گیری دو نوبت و سه تکرار از ۷ ایستگاه طالقان، آلاموت، رجبی دشت، رازمیان، لوشان ۱ و لوشان ۲ صورت گرفت. نتایج نشان داد که کیفیت آب در تابستان در ایستگاه ۱ خوب و در سایر ایستگاه‌ها متوسط بود. در زمستان، کیفیت آب در ایستگاه‌های ۱ و ۴ خوب و در دیگر ایستگاه‌ها متوسط بود. به‌طور کلی، کیفیت آب رودخانه شاهرود مطلوب ارزیابی شد، اما افزایش نیترات و فسفات به دلیل وجود منازل و اراضی کشاورزی در حاشیه رودخانه مشاهده شد. (Akhoni Pourhosseini et al., 2024) کیفیت آب رودخانه بابل رود را با استفاده از مدل‌های عددی، فرا ابتکاری و شاخص NSFQI مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این مطالعه نشان داد که بر اساس شاخص NSFQI، کیفیت آب رودخانه بابل رود در طبقه متوسط تا خوب قرار دارد اما در ماه‌های مرداد و اردیبهشت نتایج متفاوت بوده و کیفیت بد برای ارزیابی آب این رودخانه به‌دست‌آمده است.

(Kheiri et al., 2022) کیفیت آب رودخانه مه‌آباد چای را با استفاده از شاخص کیفیت آب‌های سطحی ایران (IRWQIsc) مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که پارامترهای کلی‌فرم مدفوعی، BOD، COD^۷، نیترات، آمونیوم و کدورت بیشترین تأثیر را در تعیین کیفیت آب بر اساس این شاخص دارند. (Larijani et al., 2022) کیفیت آب رودخانه هراز را در مازندران با استفاده از شاخص‌های IRWQIsc و NSFQI مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که عوامل مختلفی بر کاهش کیفیت آب این رودخانه تأثیر دارند، اما از

۲- مواد و روش

۲-۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

در این تحقیق مطالعات و آزمایش‌ها بر روی رودخانه تالار واقع در سوادکوه مازندران صورت گرفته است. سرچشمه رودخانه تالار در ۸۰ کیلومتری جنوب شرقی قائم‌شهر، از دامنه کوه‌های شاه محمد قله، آسمانلو، چال میش و قدمگاه آغاز می‌شود و پس از گذشت از دره جاش و سرلش و دور زدن کوه‌های کرکس و اورم به نام کبیرود با رودهای آریم و دلاور رود مخلوط می‌شود و باگذشت ۲ کیلومتر با رودخانه سرخاب در هم می‌آمیزد و به رودخانه تالار تغییر نام می‌دهد. مساحت حوضه آبریز این رودخانه به‌طور حدودی ۲۹۰۵ کیلومترمربع و طول شاخه اصلی آن ۱۵۸ کیلومتر است. رودخانه تالار در مختصات جغرافیایی ۵۲ درجه و ۳۵ دقیقه و ۲۲/۲ ثانیه الی ۵۳ درجه و ۲۳ دقیقه ۳۴/۱۹ ثانیه طول جغرافیایی شرقی و ۳۵ درجه و ۴۴ دقیقه و ۲۳/۰۶ ثانیه الی ۳۶ درجه و ۱۹ دقیقه و ۱/۶ ثانیه عرض جغرافیایی شمالی قرار دارد (Khalili et al., 2021).

میان این عوامل، فعالیت‌های انسانی در مسیر رودخانه بیشترین تأثیر را داشته است. Sayad Beyranvand et al. (2024) به تحلیل کیفی آب رودخانه دو آب ویسیان در غرب ایران و در بازه زمانی ۱۹ ساله (۱۳۷۷-۱۳۹۵) پرداختند. طی مطالعات انجام‌شده در این بازه زمانی و بر مبنای شاخص کیفیت آب (WQI)، کیفیت آب این رودخانه در رتبه‌بندی عالی قرار داشت و همچنین قابل‌ذکر است که در این مطالعه نتایج نمودار ویلکاکس محدوده آب‌های خوب (C2S1) را برای آب این رودخانه و برای تمامی سال‌ها نشان داد تنها فقط در سال ۱۳۸۴ در رتبه‌بندی متوسط (C3S1) قرار داشت.

در این مطالعه برای نخستین بار به‌صورت هم‌زمان از سه شاخص معتبر $IRWQI_{sc}$ ، NSFQI و WILCOX برای تحلیل جامع کیفیت آب رودخانه تالار در استان مازندران استفاده شد و سپس در تحلیل آماری با استفاده از ماتریس همبستگی و نمودار دندروگرام به تأثیر پارامترهای مختلف کیفیت آب بر روی یکدیگر و ارتباط متقابل آن‌ها پرداخته شد. این روش ترکیبی نه‌تنها به رفع ابهامات و نواقص مطالعات پیشین کمک می‌کند، بلکه امکان ارزیابی چندبعدی و دقیق‌تر کیفیت آب را نیز فراهم می‌آورد.

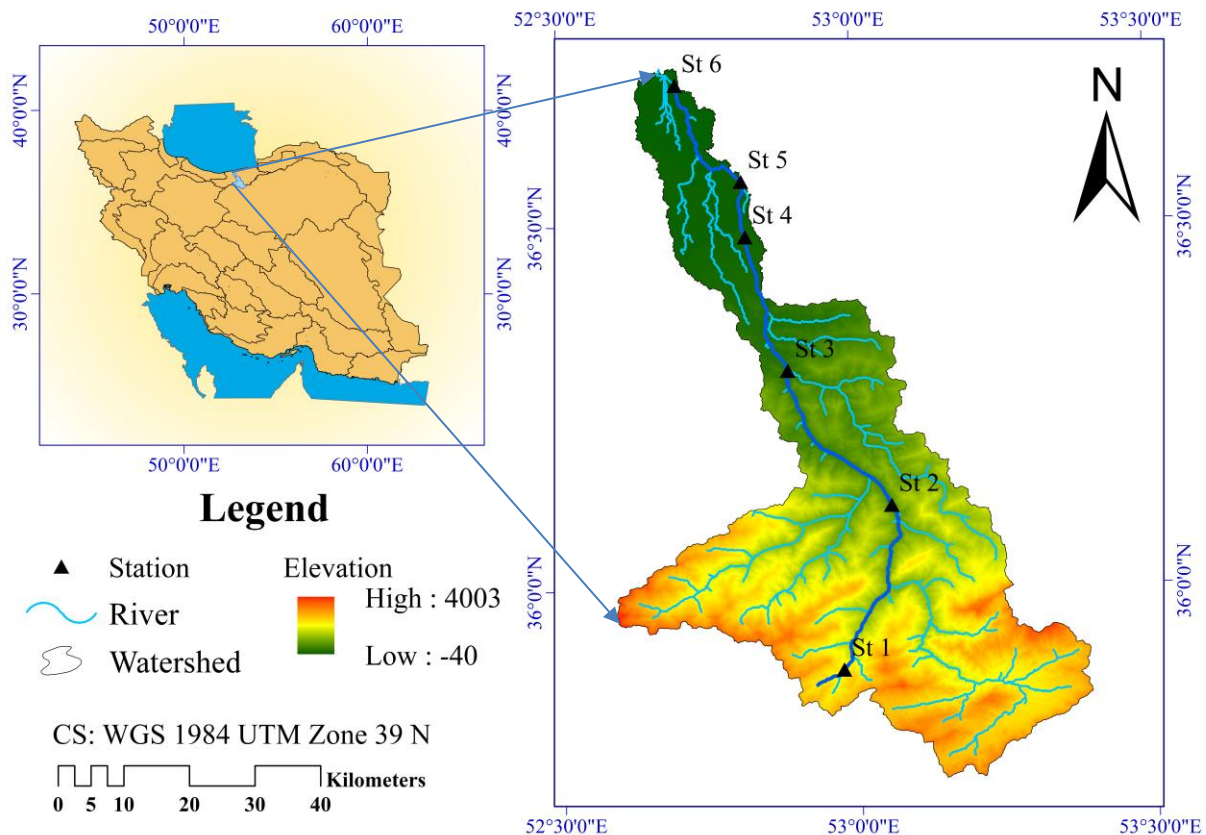


Fig. 1- Geographical location of the Talar river along with its basin map and Iran map

شکل ۱- موقعیت جغرافیایی رودخانه تالار به همراه نقشه حوضه آبریز و نقشه ایران

۲-۲- ایستگاه‌های نمونه‌برداری

ایستگاه اول (S1): ورسک (سه خط طلای راه‌آهن)، ایستگاه دوم (S2): پل سفید، ایستگاه سوم (S3): شیرگاه، ایستگاه چهارم (S4): پل تالار قائم‌شهر، ایستگاه پنجم (S5): کیاکلا، ایستگاه ششم (S6): عرب خیل (خروجی رودخانه به دریا).

در این مطالعه، ایستگاه‌های نمونه‌برداری در طول رودخانه به تعداد شش و در سال آبی (مهرماه ۱۴۰۱ تا شهریورماه ۱۴۰۲) و در چهارفصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان است. محل ایستگاه‌های نمونه‌برداری به شرح زیر است:

Table 1- Geographical location of the studied stations along the Talar River
جدول ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه در طول مسیر رودخانه تالار

Location of the studied stations			Stations
Average height of the basin (m)	Longitude	Latitude	
1608	678047	397327	S1
637	685267	399837	S2
253	669383	401878	S3
36	662855	403912	S4
6	662205	404754	S5
1	654998	406229	S6

$$IRWQI_{SC} = \left[\prod_{i=1}^n I_i^{W_i} \right]^{\frac{1}{\gamma}} \quad (1)$$

$$\gamma = \sum_{i=1}^n W_i \quad (2)$$

که در آن:
 W_i = وزن پارامتر i ام، n = تعداد پارامترها، I_i = مقدار شاخص برای پارامتر i ام از منحنی رتبه‌بندی، است.

۳-۲- شاخص پارامترهای متداول کیفیت منابع آب سطحی ایران (IRWQI_{SC}):

در بررسی کیفیت آب سطحی یک روش مورد استفاده IRWQI_{SC} است که در آن پارامترهای مورد بررسی با روش استاندارد اندازه‌گیری شده و با استفاده از منحنی‌های مربوط به هر پارامتر و رابطه زیر محاسبه می‌شود. مؤلفه‌های تعیین‌کننده در این شاخص به همراه وزن هر یک از آن‌ها در شکل ۲ ارائه شده است. در انتها وضعیت کیفیت آب بر اساس میزان عددی که برای این شاخص به دست آمده با استفاده از شکل ۳ مشخص می‌شود.

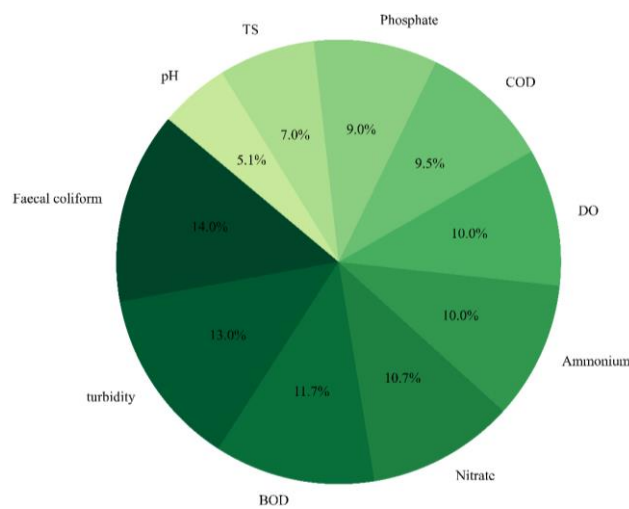


Fig. 2- Required parameters and selected weight to calculate the IRWQI_{SC} index
شکل ۲- پارامترهای مورد نیاز و وزن‌های انتخاب‌شده برای محاسبه شاخص IRWQI_{SC}

Water Quality Index Classification

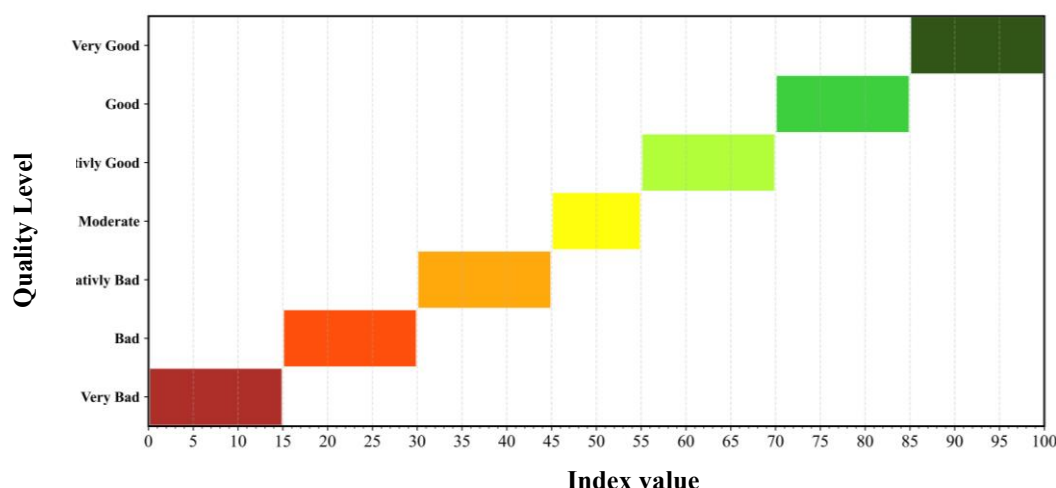


Fig. 3- Classification of IRWQIsc index
 شکل ۳- طبقه‌بندی شاخص IRWQIsc

$$NSFWQI = \sum_{i=1}^n W_i Q_i \quad (3)$$

I_i زیر شاخص آام، W_i ضریب وزنی شاخص آام. پس از اندازه‌گیری مشخصه‌های فوق، زیرشاخه هر یک از آن‌ها از روی منحنی‌های تبدیل به دست می‌آیند که با استفاده از این منحنی‌ها پارامترها به معیارهای صفر تا صد تبدیل می‌شوند. در این روش برای محاسبه شاخص نهایی هر یک از زیرشاخه‌های به‌دست‌آمده از منحنی‌های مربوطه در فاکتور وزنی خود ضرب شده و از حاصل جمع آن‌ها طبق رابطه ۳ شاخص نهایی به دست می‌آید (Nezhadafzali and Bayatani, 2024).

۴-۲- شاخص پارامترهای کیفی آب بنیاد ملی بهداشت (NSFWQI):

در سال ۱۹۷۰ با حمایت بهداشتی ملی آمریکا، براون و همکارانش یک شاخص کیفی کاهش ارائه کردند. آن‌ها در ابتدا حدود ۳۵ پارامتر آلودگی را معرفی کرده و سپس بر اساس نظر افراد متخصص حدود ۹ پارامتر را برای ایجاد شاخص اصلی انتخاب کردند که شامل پارامترهای زیر هستند: BOD₅، اکسیژن محلول (DO)، کلیفرم مدفوعی، نیترات، pH، تغییرات درجه حرارت، TDS، فسفات کل، کدورت؛ در محاسبه شاخص NSFWQI باید دقت شود که میزان غلظت اکسیژن موردتوجه نیست بلکه میزان درصد اشباع اکسیژن محلول موردنیاز است (Zamani-Ahmadmahmoodi et al., 2023). شاخص NSFWQI با استفاده از رابطه روبه‌رو به دست می‌آید:

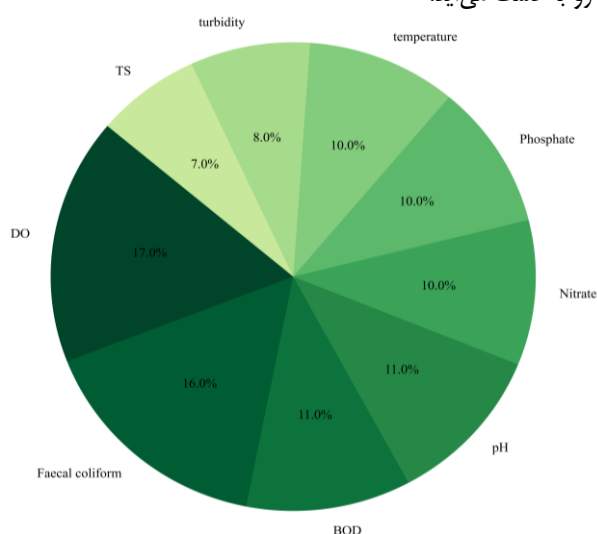


Fig. 4- Required parameters and selected weight to calculate the NSFWQI index
 شکل ۴- پارامترهای موردنیاز و وزن‌های انتخاب‌شده برای محاسبه شاخص NSFWQI

Water Quality Index Classification

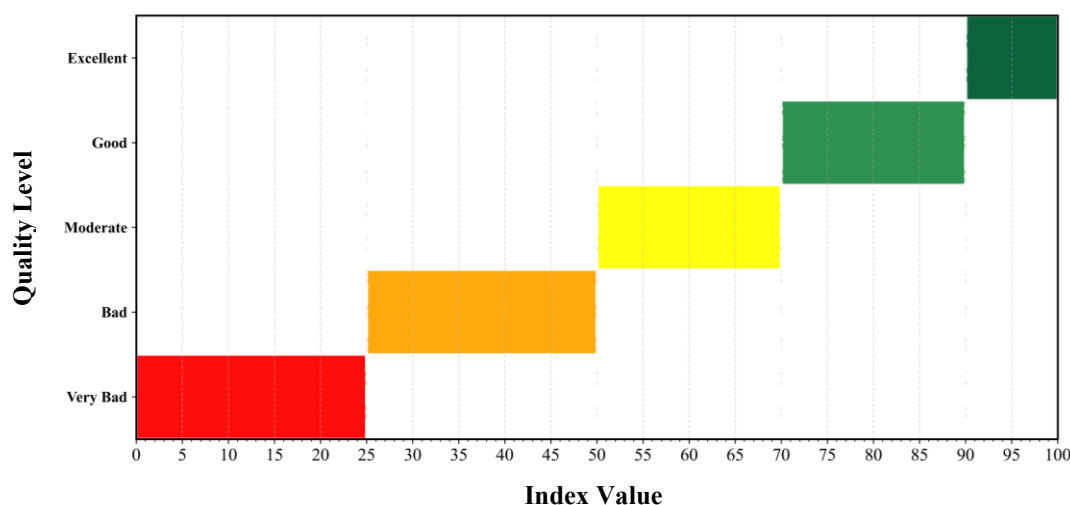


Fig. 5- Classification of NSFQI index
شکل ۵- طبقه‌بندی شاخص NSFQI

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{((Ca^{+2} + mg^{+2})/2)}} \quad (4)$$

با محاسبه SAR (نسبت جذب سدیم)، حال با قرار دادن مقدار EC در محور افقی نمودار و مقدار نسبت جذب سدیم در محور عمودی نمودار، این دو خط را ادامه می‌دهیم تا در نقطه‌ای مشترک همدیگر را قطع نمایند. با نقطه اشتراک بین این دو خط می‌توان در مورد آب رودخانه بر اساس کیفیت آب کشاورزی ویلکوکس قضاوت نمود.

در این شاخص S نماینده SAR و C نماینده EC (هدایت الکتریکی است) گروه‌های مذکور در دیاگرام به صورت زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

- آب‌های خیلی خوب که دارای EC کمتر از ۲۵۰ میکروموس بر سانتیمتر بوده و در کلاس C₁S₁ قرار دارند؛
- آب‌های خوب که مربوط به یکی از کلاس‌های C₂S₂ و C₂S₁ هستند؛

- آب‌های متوسط که مربوط به کلاس‌های C₃S₃، C₃S₂، C₃S₁، C₂S₃ و C₁S₃ بوده و برای آبیاری زمین‌های درشت‌بافت و با زهکشی مناسب است؛

- آب‌های نامناسب که در کلاس‌های C₄S₃، C₄S₂، C₁S₄، C₂S₄، C₃S₄، C₄S₄ و C₄S₁ قرار دارند؛ و هرچه اندیکس بزرگ‌تر باشد کیفیت آب نامناسب‌تر می‌شود.

برای طبقه‌بندی آب‌های کشاورزی از جدول‌های ۲ و ۳ استفاده می‌شود (Akbarpour Bazargani et al., 2024).

در محاسبه NSFQI برای تعیین Q_i از نمودارهای استاندارد تهیه‌شده توسط دانشگاه ویلکوکس استفاده می‌شود (Radwan et al., 2019).

نمونه‌های برداشت‌شده پس از آنالیز کیفی برای هر ایستگاه شاخص کیفیت با استفاده از جداول، منحنی‌ها و نرم‌افزار NSFQI Calculator محاسبه می‌شود. در این مطالعه برای کنترل و پایش آب‌های سطحی از برنامه Calculating NSF Water Quality Index که توسط بریان اورام تهیه شده است، استفاده شد. در این مطالعه با استفاده از نرم‌افزار محاسبه NSFQI، دو پارامتر اصلی این شاخص یعنی W_i و Q_i محاسبه شد و سپس با جمع حاصل ضرب این ۲ عامل برای تمامی پارامترها شاخص NSFQI به صورت یک عدد مجزا برای هر ایستگاه به دست آمد.

۲-۵- شاخص دیاگرام ویلکوکس (WILCOX):

یکی از طبقه‌بندی‌های متداول برای بررسی آب‌های کشاورزی، طبقه‌بندی بر اساس دیاگرام ویلکوکس است؛ که توسط وزارت کشاورزی آمریکا ارائه شده است. این شاخص امروزه روش بسیار متداولی در طبقه‌بندی آب‌ها به لحاظ کشاورزی محسوب می‌شود. برای محاسبه این شاخص پارامترهای: هدایت الکتریکی، کلسیم، منیزیم و سدیم مورد نیاز است. برای محاسبه این شاخص نیاز به دو عامل هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم است که هر یک از این دو عامل به ۴ قسم تقسیم می‌شوند که در مجموع باعث پدید آمدن ۱۶ گروه می‌شود. برای محاسبه نسبت جذب سدیم از رابطه ۴ استفاده می‌شود:

Table 2- Classification of water for agriculture based on SAR ratio

جدول ۲- طبقه‌بندی آب برای کشاورزی بر اساس نسبت SAR

SAR	Classification
<10	S ₁
10-18	S ₂
18-26	S ₃
>26	S ₄

Table 3- Classification of water for agriculture based on electricity conductivity

جدول ۳- طبقه‌بندی آب برای کشاورزی بر اساس هدایت الکتریکی

EC (µs/cm)	Classification
100-250	C ₁
250-750	C ₂
750-2250	C ₃
>2250	C ₄

گروه‌ها، بر اساس ویژگی‌های متشابه آن‌ها استفاده می‌شود. هر مشاهده به‌عنوان یک خوشه جداگانه در نظر گرفته می‌شود. سپس، شبیه‌ترین خوشه‌ها باهم ترکیب می‌شوند تا یک خوشه جدید را تشکیل دهند؛ و این فرآیند تا زمانی تکرار می‌شود که مشاهدات به یک خوشه تعلق داشته باشند. فاصله خوشه‌ها از یکدیگر بیانگر تشابه و عدم تشابه پارامترها نسبت به یکدیگر را بیان می‌کند. به این صورت که هر چه فاصله دو خوشه از یکدیگر بیشتر باشد، دو پارامتر تشابه کمتری نسبت به یکدیگر دارند و اگر فاصله دو خوشه از یکدیگر کمتر باشد، دو پارامتر تشابه بیشتری نسبت به یکدیگر دارند (Han et al., 2024).

۳- نتایج و بحث

در جدول ۴ نتیجه بررسی پارامترهای فیزیکی و شیمیایی بر روی رودخانه تالار نشان داده شده است. اطلاعات به‌صورت فصلی برای یک سال آبی نمایش داده شده‌اند. کیفیت آب مسئله‌ای جهانی است؛ چراکه تأثیر مستقیم بر سلامت انسان، پایداری طبیعت و به‌طور کلی محیط‌زیست دارد. پارامتری که نقش مهمی در بررسی ویژگی شیمیایی آب دارد و می‌تواند نقش مهمی در تعیین کیفیت آب داشته باشد، pH است (Zainurin et al., 2023). کمترین مقدار متعلق به ایستگاه ۱ در ماه آبان و ایستگاه ۲ در ماه فروردین و بیشترین مقدار pH متعلق به ایستگاه ۵ در ماه شهریور است. پایین بودن بیش‌ازحد pH می‌تواند ناشی از ورود فاضلاب‌های روستایی، شهری و صنعتی و یا همچنین ورود سموم و کود استفاده شده در زمین‌های کشاورزی به داخل آب رودخانه باشد (Mazlomi Mochani et al. 2023). غلظت اکسیژن محلول (DO) پارامتر شناخته شده و مهمی برای تعیین کیفیت آب است که نمایانگر تعادل بین تولید و مصرف اکسیژن است. عوامل متعددی بر اندازه‌گیری

۲-۶- تحلیل آماری

۲-۶-۱- ضریب همبستگی پیرسون

برای تعیین میزان همبستگی بین دو متغیر کمی، از ضریب همبستگی پیرسون استفاده می‌شود. این ضریب از تقسیم کوواریانس بر حاصل ضرب انحراف معیار دو متغیر تصادفی به دست می‌آید و مقادیر آن بین -۱ تا ۱ متغیر است. ضریب همبستگی مثبت نشان‌دهنده رابطه مستقیم بین دو متغیر است، درحالی‌که ضریب همبستگی منفی بیانگر رابطه معکوس بین آن‌هاست. مقدار صفر نیز نشان‌دهنده نبود همبستگی بین دو متغیر است (Makarem and Mozafari, 2024). در این بخش، رابطه بین پارامترهای کیفی آب و شاخص‌های IRWQI، NSFQI و WILCOX بررسی می‌شود. با این تحلیل، تأثیر مثبت یا منفی هر یک از پارامترها بر نتایج نهایی این شاخص‌ها نمایش داده می‌شود. هدف از روش تحلیل آماری مورد استفاده، بررسی میزان همبستگی بین هر یک از پارامترها و شاخص‌های مذکور است (Ketabi et al., 2024).

$$\text{Cov} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \quad (5)$$

$$\text{std} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (6)$$

$$\text{Correlation Coefficient} = \frac{\text{Cov}_{(x,y)}}{\text{std}_x \times \text{std}_y} \quad (7)$$

۲-۶-۲- نمودار دندروگرام

تجزیه و تحلیل آماری به‌وسیله نمودار دندروگرام یکی از تکنیک‌های چند متغیره است که معمولاً برای طبقه‌بندی نمونه‌های موردنظر به

رودخانه و در برخی از ماه‌های سال را می‌توان معلول بارندگی‌های انجام‌شده و رقیق شدن آلاینده‌ها در طول رودخانه دانست. پارامتر هدایت الکتریکی (EC^8) بیانگر میزان قابلیت آب در هدایت جریان الکتریسیته است. این پارامتر نسبت به تغییر دما حساس است؛ چراکه با افزایش دما، جنبش یون‌ها و موکول‌ها در آب افزایش می‌یابد که منجر به افزایش هدایت الکتریکی می‌شود (Dewangan et al., 2023). بیشترین میزان میانگین این شاخص در ایستگاه ۶ به اندازه $755/25$ ($\mu S/cm$) است که در بازه استاندارد قرار می‌گیرد. هر چه این شاخص میزان بالاتری داشته باشد، شرایط بدتری را به وجود می‌آورد. بالا بودن هدایت الکتریکی در بعضی از ایستگاه‌ها و در بعضی از ماه‌های سال می‌تواند به دلیل تأثیری باشد که ورود آلاینده‌ها و فاضلاب به داخل آب‌دارند چراکه مقدار نمک در رودخانه را بالا برده و در نتیجه هدایت الکتریکی افزایش می‌یابد. کدورت پارامتر شهودی آب است که بیانگر شفافیت آب نیز است. این پارامتر وابسته به ذرات کلوئیدی است و از آنجایی که ذرات کلوئیدی می‌توانند از میکروارگانیسم‌ها محافظت کنند، شرایط به وجود آمدن میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا را فراهم می‌آورند. این ذرات می‌توانند سبب پراکندگی و شکست نور تابیده‌شده به سطح آب شوند و همچنین مانع عبور بخشی یا تمام نور تابیده‌شده به آن شوند (Fahimah et al., 2023).

اکسیژن محلول (DO) اثرگذارند که می‌توان به فعالیت‌های فتوسنتزی، هوادهی و هوادهی مجدد اشاره کرد (Yang, 2023). در ایستگاه پنجم در فصل تابستان کمترین میزان اکسیژن محلول (DO) محاسبه شده است که می‌تواند متقابلاً به دلیل بالا رفتن میزان دمای آب باشد؛ چراکه با بالا رفتن دمای آب، جنبش مولکول‌ها افزایش می‌یابد و سبب کاهش میزان اکسیژن محلول در آب می‌شود و تأثیر بسیار منفی در تغذیه آبزیان و باکتری‌هایی که برای بقا نیاز به مصرف اکسیژن دارند، می‌گذارد. BOD5 شاخص بسیار مهمی است که نمایان میزان آلودگی در آب و فاضلاب است و به‌طور گسترده‌ای در پایش کیفیت آب، کنترل آلودگی و مدیریت آب تأثیرگذار است. این شاخص در واقع بیان‌کننده میزان اکسیژن موردنیاز میکروارگانیسم‌های هوازی برای تخریب مواد آلی است (Qi and Han, 2021). محاسبه این پارامتر در سیستم گسترده آب‌های طبیعی، بر روی تعداد زیادی نمونه به‌هم‌ریخته صورت می‌گیرد و این موضوع باعث می‌شود تا اندازه‌گیری BOD5 عملی دشوار باشد (Liu and Chen, 2023). با توجه به داده‌های به‌دست‌آمده می‌توان مشاهده کرد که بیشترین میانگین شاخص BOD5 در طی یک سال برای ایستگاه شماره ۴ است و کمترین میانگین شاخص BOD5 در مدت یک سال به ایستگاه شماره ۱ تخصیص یافته است. دلیل پایین آمدن BOD5 در بخش‌هایی از

Table 4- Statistical characteristics of the Talar river water quality data
جدول ۴- مشخصات آماری داده‌های کیفیت رودخانه تالار

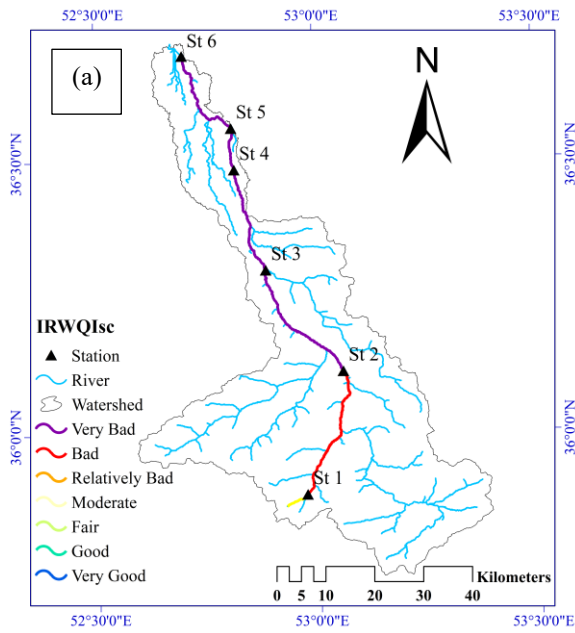
Station Number	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Season	Spring						Summer					
pH	5.69	5.4	5.68	5.91	6.62	6.36	5.86	6.18	6.35	7.25	7.78	7.77
TSS	37.63	48.2	52.5	74.03	126	220.56	105.43	142.76	114.66	241.86	241.33	307
TDS	152.3	158.4	189	290.96	290.6	352.76	50.23	39.26	103.98	45.62	113.71	112.35
EC	82.13	141.6	280	543.66	583.3	835.33	216	335.00	348.33	595	942.33	1147.6
Tur	5.39	10.96	159	69.46	36.2	25.83	2.55	5.00	17.56	175	144.66	46.34
BOD	1	10	23.3	43.33	60	40	6.66	30	106.66	93.33	113.33	46.34
COD	1.33	19.66	46.3	85.66	119	78.33	14.33	61.66	213.66	187.67	227.33	134.66
DO	11.26	11.10	10.3	9.96	7.41	5.02	9.32	5.84	3.86	3.47	1.47	2.39
T	8.76	9.18	9.04	9.70	12.7	13.03	17.34	18.00	13.25	15.12	18.28	15.68
Fecal Coliform	1510	$>10^5$	$>10^8$	$>10^8$	$>10^8$	$>10^8$	1571.6	$>10^{10}$	$>10^{10}$	$>10^{10}$	$>10^{10}$	$>10^{10}$
NO ₃	1.2	2.72	3.36	2.64	3.2	3.2	6.8	5.2	10.16	11.68	17.24	46.34
PO ₄	7.97	20.14	34.1	38.86	36.51	32.96	2.52	14.50	33	45	41.01	31.29
SAR	0.05	0.08	0.13	0.31	0.61	0.78	0.07	0.39	0.68	0.84	0.98	0.97
Unit	$EC \times 10^{-6}: (\mu S/cm)$ Cl: (mg/lit)						DO: (mg/lit) T: (°C)			Tur: (NTU)		

Continued Table 4- Statistical characteristics of the Talar river water quality data
ادامه جدول ۴- مشخصات آماری داده‌های کیفیت رودخانه تالار

Station Number	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Season	Autumn						Winter					
pH	5.54	6.96	7.06	7.06	7.61	7.38	5.88	5.93	6.39	6.34	6.99	6.83
TSS	73.5	142	149.9	286.3	375	456.67	71.33	174.46	191.45	251.73	424.6	446.3
TDS	16.26	44.2	667.3	370	428.33	493	34.83	103.93	195.88	360.93	380.3	348.6
EC	166.6	313	338.6	595	825	949.33	156.13	193.43	233.46	535	881.3	988
Tur	1.99	55.3	66.46	168.3	187.33	50.03	1.04	17.86	237.76	125.53	57.83	23.35
BOD	4.66	20	50	103.3	70	43.33	2.16	26.66	66.66	86.66	56.66	40
COD	9	40	100	206.3	138.33	109.27	5.66	53.66	133.66	172.33	113.6	79
DO	9.76	7.6	5.65	4.68	3.86	3.63	11.08	10	9.16	8.63	7.40	4.67
T	8.76	9.18	9.04	9.70	12.7	13.03	17.34	18	13.25	15.12	18.28	15.68
Fecal Coliform	1268.33	10 ⁶	10 ⁸ >	10 ⁸ >	10 ⁸ >	10 ⁸ >	1950	10 ⁷ >	10 ⁸ >	10 ⁷ >	10 ⁸ >	10 ⁸ >
NO ₃	7.68	12.4	13.03	18.79	20.26	39.08	2.72	2.72	3.2	5.43	9.2	5.36
PO ₄	4.9	13.3	17.68	46.4	35.95	40.49	6.79	16.46	29.7	46.93	41.56	34.38
SAR	1.99	1.59	2.01	5.26	8.70	10.55	0.07	0.26	0.60	0.80	1.12	0.92
Unit	EC × 10 ⁻⁶ : (μS/cm) Cl: (mg/lit)						DO: (mg/lit) T: (°C)			Tur: (NTU)		

و مقادیر به‌دست‌آمده برای شاخص (NSFWQI) در شکل‌های ۷ و ۸ نمایان شده است. در شکل ۹ و ۱۰ نیز پهنه‌بندی کیفیت رودخانه بر اساس شاخص WILCOX به نمایش گذاشته شده است. همان‌طور که در شکل‌های ۶ تا ۱۰ قابل مشاهده است در شاخص‌های IRWQI_{sc}، WILCOX و NSFQI در ایستگاه یک به ترتیب شرایط نسبتاً بد، متوسط و خیلی خوب (خطر قلیائی شدن کم و خطر کم برای خاک) وجود دارد و این در حالی است که ایستگاه یک، با توجه به دور بودن از مناطق شهری و صنعتی بهترین شرایط را در میان سایر ایستگاه‌ها دارد. حال اگر از پایین‌دست به سمت ایستگاه‌های بالادست برویم، شرایط به‌مراتب خطرناک‌تر می‌شد که نتایج هم‌راستا با پژوهش (Shaker Donyavi et al., 2023) است. در فصل تابستان و در ایستگاه پنج شاهد کمترین میزان عددی شاخص NSFQI هستیم که به دلیل کاهش بارندگی‌ها در این فصل و در نتیجه آن پایین آمدن دبی رودخانه در اواسط فصل و بالا رفتن میزان آلاینده‌ها این اتفاق افتاده است. در ایستگاه یک در فصل تابستان می‌توان مشاهده کرد که مقدار پارامترهای DO، BOD₅، کدورت و کلیفرم مدفوعی در حد استاندارد است ولی با توجه به پایین بودن pH آب و اثرات متقابلی که این پارامترها بر روی هم می‌گذارند، باعث شده است تا این ایستگاه از نظر شاخص کیفی NSFQI دارای کیفیت مناسبی نباشد؛ Bagheri et al. (2024) در پژوهشی به بررسی کیفیت آب رودخانه سرداب رود پرداختند و در این پژوهش بیان شد بر اساس شاخص NSFQI کیفیت آب این رودخانه در ایستگاه‌های بالادست کاهش

کمترین مقدار میانگین کدورت در طی یک سال مربوط به ایستگاه ۱ است و بیشترین مقدار میانگین در طی یک سال مربوط به ایستگاه ۴ واقع در میان دست رودخانه است. به‌غیر از ایستگاه ۱ کدورت باقی ایستگاه‌ها حتی به حداکثر میزان مجاز کدورت که ۵ NTU است، نزدیک نیستند و به‌شدت بالاتر هستند. علت این اتفاق را می‌توان نزدیک بودن شهرها و مناطق مسکونی به این ایستگاه‌ها دانست که سبب ورود فاضلاب‌ها و مواد آلوده‌کننده به این بخش‌ها می‌شود. ورود پساب فاضلاب‌های شهری در زمان طوفان سبب افزایش کلیفرم مدفوعی می‌شود (Orr et al., 2023). ورود رواناب‌ها و فاضلاب‌های صنعتی و کشاورزی به داخل آب رودخانه نیز مشکلاتی را برای کیفیت آب به وجود می‌آورد و سبب افزایش پارامتر کلیفرم مدفوعی می‌شود (Xie et al., 2023). افزایش تصاعدی و چشمگیر این پارامتر از ایستگاه ۱ تا ایستگاه ۶ بیانگر کاهش کیفیت شدید آب رودخانه است. منابع آلاینده زیادی در طول مسیر هستند که سبب آلودگی آب رودخانه می‌شوند و از جمله این آلودگی‌ها می‌توان به خروجی فاضلاب‌های شهری و صنعتی، شیرابه و پساب‌های محل‌های دفن زائدات اشاره کرد. منابع آلاینده در مسیر ایستگاه‌های اول، دوم و سوم را معادن فعال تشکیل دادند؛ اما در ادامه و در مسیر ایستگاه‌های چهار، پنج و شش شهرک‌های صنعتی، لندفیل‌ها، کارخانه‌ها و کشتارگاه‌ها عوامل اصلی آلودگی آب رودخانه تالار بودند. در شش ایستگاه بررسی‌شده در فصول مختلف سال، مقادیر به‌دست‌آمده برای شاخص کیفیت آب ایران (IRWQI_{sc}) در شکل ۶



پیدا می‌کند که می‌تواند به دلیل افزایش مناطق مسکونی و به‌کارگیری زمین‌های اطراف رودخانه برای دام‌پروری و کشاورزی باشد. با توجه به دیاگرام WILCOX کیفیت خیلی خوب را از آب در ایستگاه ۱ می‌توانیم مشاهده کنیم ولی با بررسی ایستگاه‌های دیگر و به‌خصوص بالادست، به دلیل افزایش هدایت الکتریکی آب رودخانه که ناشی از افزایش یون‌های موجود در آب است، کاهش کیفیت آب را از نظر این شاخص می‌توانیم مشاهده کنیم. در ادامه می‌توان اشاره کرد که با توجه به تخلیه مستقیم فاضلاب‌های شهری، صنعتی و روستایی به داخل رودخانه و یا انباشتن و دور ریختن زباله‌ها و مواد زائد در کنار رودخانه و همچنین ورود کودهای کشاورزی سمی به داخل آب رودخانه از طریق سیلاب‌ها در ایستگاه‌های بالادست، سبب آلودگی آب در طول رودخانه و در نتیجه کاهش کیفیت آن می‌شود.

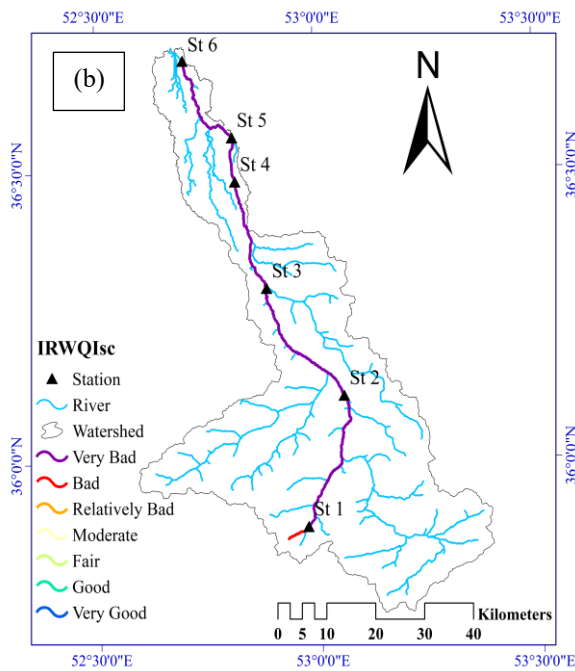
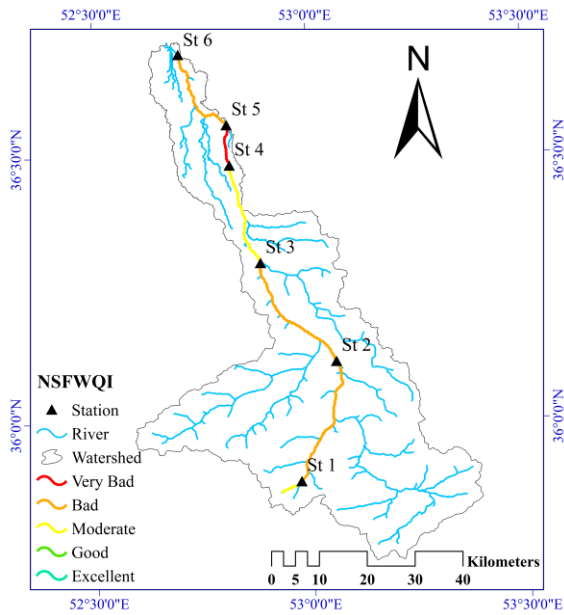


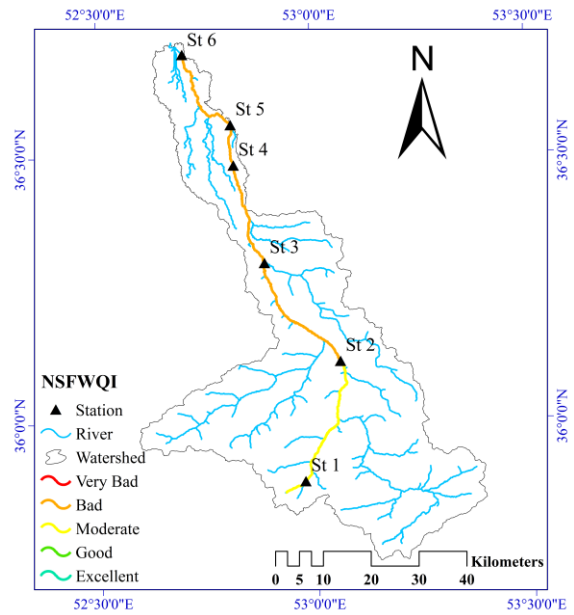
Fig. 6- River water quality changes based on IRWQIsc index in a) spring and winter b) summer and autumn

شکل ۶- تغییر کیفیت آب رودخانه تالار بر اساس شاخص

IRWQIsc (a) بهار و زمستان (b) تابستان و پاییز

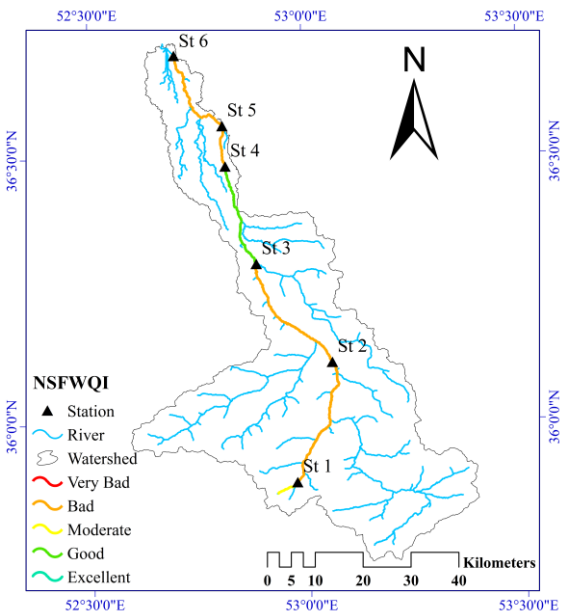


(b)

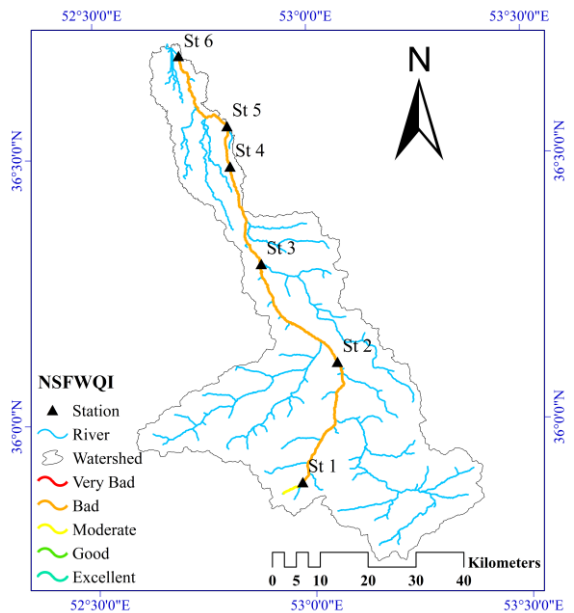


(a)

Fig. 7- River water quality changes based on NSFQI index in a) spring b) summer
 شکل ۷- تغییر کیفیت آب رودخانه تالار بر اساس شاخص NSFQI (a بهار (b تابستان



(b)



(a)

Fig. 8- River water quality changes based on NSFQI index in a) autumn b) winter
 شکل ۸- تغییر کیفیت آب رودخانه تالار بر اساس شاخص NSFQI (a پاییز (b زمستان

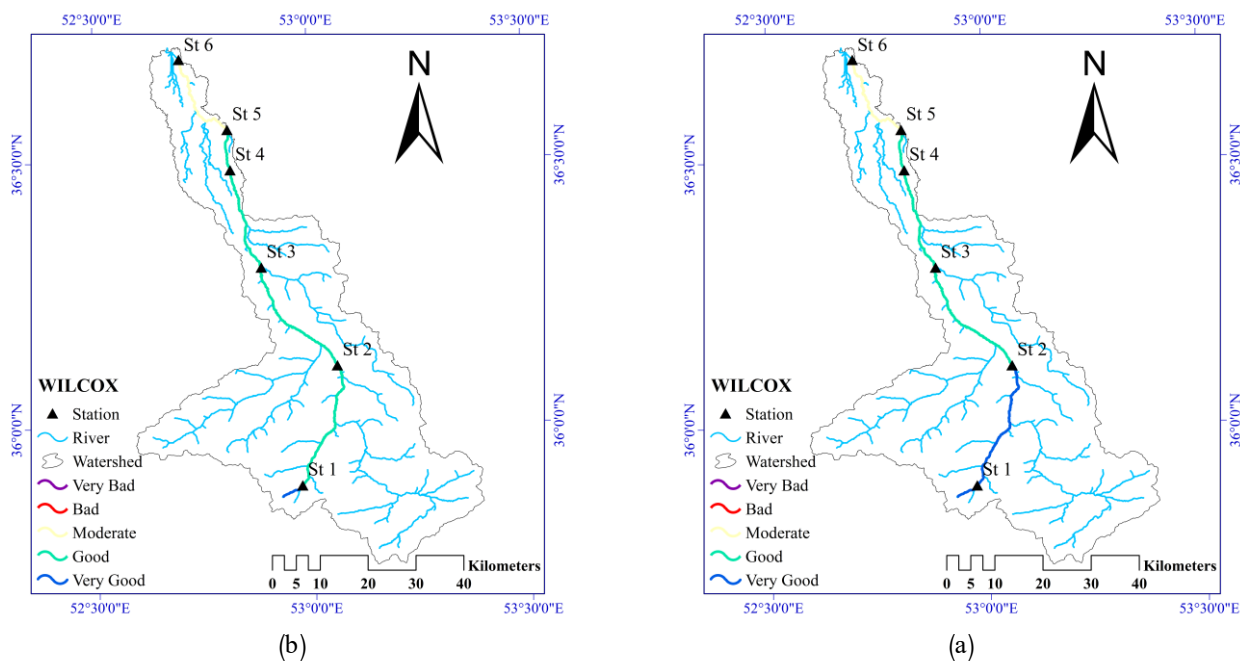


Fig. 9- River water quality changes based on WILCOX diagram in a) spring b) summer

شکل ۹- تغییر کیفیت آب رودخانه تالار بر اساس نمودار WILCOX (a) بهار (b) تابستان

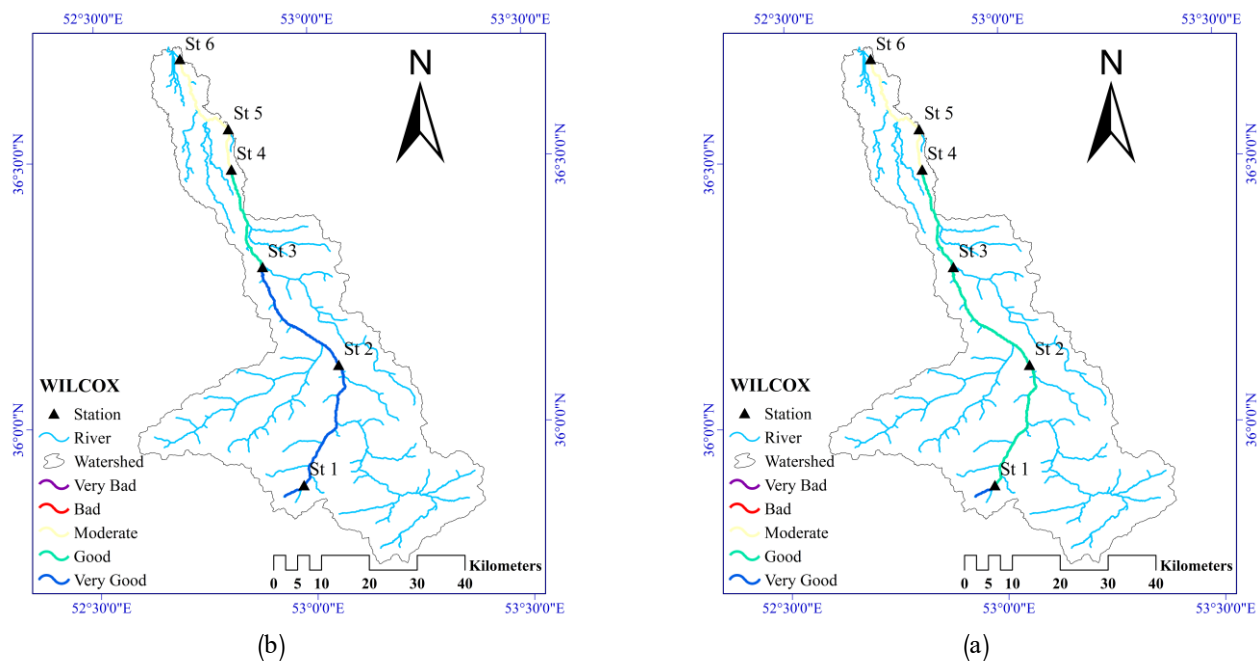


Fig. 10- River water quality changes based on WILCOX diagram in a) autumn b) winter

شکل ۱۰- تغییر کیفیت آب رودخانه تالار بر اساس نمودار WILCOX (a) پاییز (b) زمستان

Table 5- Descriptive equivalent of IRWQI_{sc} and NSFQI indices in six sampling stations at spring, summer, autumn, and winter seasons

جدول ۵- معادل توصیفی شاخص‌های IRWQI_{sc} و NSFQI در شش ایستگاه نمونه‌گیری در فصل‌های بهار، تابستان، پاییز و زمستان

Spring					Summer				
Station	Index IRWQI		Index NSFQI		Station	Index IRWQI		Index NSFQI	
	Value	Classification	Value	Classification		Value	Classification	Value	Classification
1	42.16	Relatively Bad	67.66	Moderate	1	29.2	Bad	56.56	Moderate
2	28.6	Bad	52.43	Moderate	2	12.86	Very Bad	41.63	Bad
3	14.06	Very Bad	45.8	Bad	3	6.83	Very Bad	33.53	Bad
4	13.86	Very Bad	43.76	Bad	4	5.26	Very Bad	65.92	Moderate
5	10.6	Very Bad	42.26	Bad	5	4.43	Very Bad	23.63	Bad
6	12.66	Very Bad	36.5	Bad	6	5.26	Very Bad	29.06	Very Bad

Autumn					Winter				
Station	Index IRWQI		Index NSFQI		Station	Index IRWQI		Index NSFQI	
	Value	Classification	Value	Classification		Value	Classification	Value	Classification
1	29.6	Bad	55.26	Moderate	1	41.5	Relatively Bad	62.3	Moderate
2	11	Very Bad	39.26	Bad	2	17.76	Bad	49.2	Bad
3	6.83	Very Bad	30.5	Bad	3	11.56	Very Bad	40.56	Bad
4	4.16	Very Bad	25.3	Bad	4	9.36	Very Bad	72.48	Good
5	4.23	Very Bad	27.03	Bad	5	8.03	Very Bad	38.13	Bad
6	4.9	Very Bad	26.83	Bad	6	9.56	Very Bad	35.3	Bad

Table 6- Descriptive equivalent of WILCOX index in six sampling stations at all seasons

جدول ۶- معادل توصیفی شاخص WILCOX در شش ایستگاه نمونه‌گیری در تمام فصل‌های سال

Spring					Summer					Autumn					Winter				
Station	Index WILCOX		Index WILCOX		Station	Index WILCOX		Index WILCOX		Station	Index WILCOX		Index WILCOX		Station	Index WILCOX		Index WILCOX	
	Value	Classification	Value	Classification		Value	Classification	Value	Classification		Value	Classification	Value	Classification		Value	Classification	Value	Classification
1	C1S1	Very Good	C1S1	Very Good	1	C1S1	Very Good	C1S1	Very Good	1	C1S1	Very Good	C1S1	Very Good	1	C1S1	Very Good	C1S1	Very Good
2	C1S1	Very Good	C2S1	Good	2	C2S1	Good	C1S1	Very Good	2	C2S1	Good	C1S1	Very Good	2	C2S1	Good	C1S1	Very Good
3	C2S1	Good	C2S1	Good	3	C2S1	Good	C1S1	Very Good	3	C2S1	Good	C1S1	Very Good	3	C2S1	Good	C1S1	Very Good
4	C2S1	Good	C2S1	Good	4	C2S1	Good	C2S1	Good	4	C2S1	Good	C2S1	Good	4	C2S1	Good	C2S1	Good
5	C2S1	Good	C3S1	Moderate	5	C3S2	Moderate	C3S1	Moderate	5	C3S2	Moderate	C3S1	Moderate	5	C3S2	Moderate	C3S1	Moderate
6	C3S1	Moderate	C3S1	Moderate	6	C3S2	Moderate	C3S1	Moderate	6	C3S2	Moderate	C3S1	Moderate	6	C3S2	Moderate	C3S1	Moderate

۳-۱- تحلیل آماری

۰/۹۹-، همبستگی مثبت بین پارامتر pH و پارامترهای BOD، COD و دما (به ترتیب برابر با ۰/۸۸، ۰/۸۸ و ۰/۹۴)، همبستگی مثبت بین پارامتر TDS و EC (برابر با ۰/۹۹)، همبستگی منفی بین پارامتر TDS و DO (برابر با ۰/۸۹-)، همبستگی منفی بین EC و DO (برابر با ۰/۹۲-)، همبستگی مثبت بین پارامتر EC و دما (برابر با ۰/۸۸)، همبستگی مثبت بین BOD و COD (برابر با ۱/۰۰)، همبستگی منفی بین DO و دما (برابر با ۰/۹۶-) وجود دارد. افزایش دما سبب کاهش

تحلیل‌های آماری پارامترهای مختلف آب رودخانه تالار برای چهارفصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان صورت گرفته است. همان‌طور که از شکل ۱۲ (a) قابل مشاهده است، همبستگی مثبت و قوی بین پارامتر کل جامد معلق (TSS^۹) و پارامترهای EC، TDS، دما و کلیفرم مدفوعی (به ترتیب برابر با ۰/۹۱، ۰/۸۸، ۰/۹۲ و ۰/۹۲)، همبستگی قوی و منفی بین پارامتر کل جامد معلق (TSS) و DO (برابر با

می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش TSS، میزان کلیفرم مدفوعی افزایش پیدا می‌کند. بسیاری از جامدات معلق، به‌ویژه مواد آلی توسط میکروارگانیسم‌ها تجزیه می‌شوند. این فرآیند اکسیژن مصرف می‌کند منجر به کاهش سطح اکسیژن محلول می‌شود که در پی آن همبستگی منفی بین دو پارامتر TSS و DO نتیجه شده است. در شرایطی خاص دو پارامتر DO و EC می‌توانند رابطه عکس داشته باشند. به این صورت که اگر به علت غلظت بالای مواد آلی محلول میزان EC بالا باشد، این مواد آلی توسط میکروارگانیسم‌ها تجزیه می‌شوند که این عمل مصرف‌کننده اکسیژن است و منجر به کاهش سطح DO می‌شود. افزایش دما باعث افزایش انرژی جنبشی یون‌ها در محلول می‌شود و حرکت آن‌ها را سریع‌تر می‌کند. این افزایش حرکت، توانایی محلول برای هدایت الکتریسیته را بهبود می‌بخشد و سبب رابطه مستقیم EC و دما می‌شود.

میزان اکسیژن محلول در آب می‌شود که در پی آن سبب افزایش متابولیسم فعالیت میکروبی و در نهایت درهم شکستن بیشتر مواد ارگانیک می‌شود به همین علت همبستگی بین دو پارامتر دما و DO منفی و قابل توجه است. با افزایش TDS، با توجه به اینکه میزان مواد یونی محلول در آب افزایش پیدا می‌کند، EC نیز افزایش می‌یابد و در ارتباط بین دو پارامتر TSS و EC، به دلیل معلق بودن مواد جامدی نظیر گل، لای، شن به همراه باکتری‌ها و مواد ارگانیک، با افزایش TSS، پارامتر EC نیز افزایش می‌یابد. حال با توجه به مواد معلق که پیش‌تر ذکر شدند می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش TSS دمای آب افزایش می‌یابد؛ زیرا این مواد جامد معلق نور و گرمای تابیده‌شده از خورشید را جذب می‌کنند و گرمای مدنظر را به آب اطراف خود منتقل می‌کنند. با زیاد شدن TSS، فرصت انتقال باکتری‌های کلیفرم مدفوعی توسط ذرات معلق در آب به وجود می‌آید و بنابراین

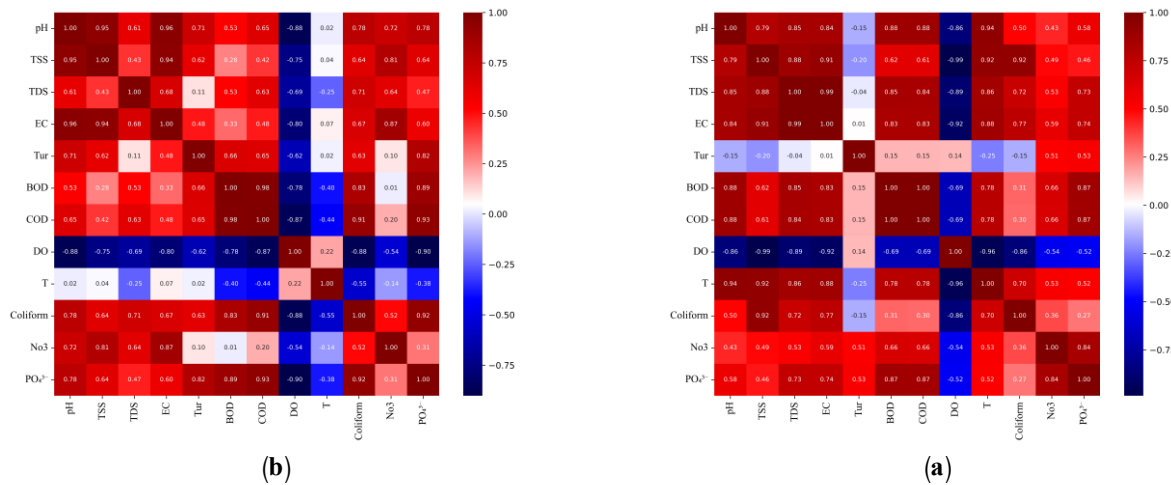


Fig. 12- Correlation coefficients matrix of water quality parameters a) spring b) summer
 شکل ۱۲- ماتریس ضرایب همبستگی پارامترهای تعیین کیفیت آب (a) بهار (b) تابستان

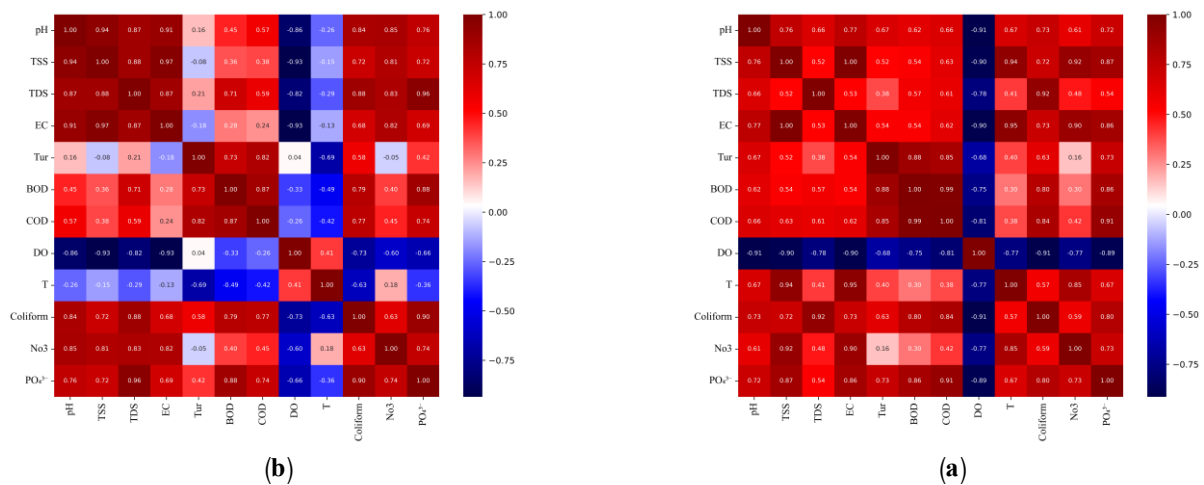


Fig. 13- Correlation coefficients matrix of water quality parameters a) autumn b) winter
 شکل ۱۳- ماتریس ضرایب همبستگی پارامترهای تعیین کیفیت آب (a) پاییز (b) زمستان

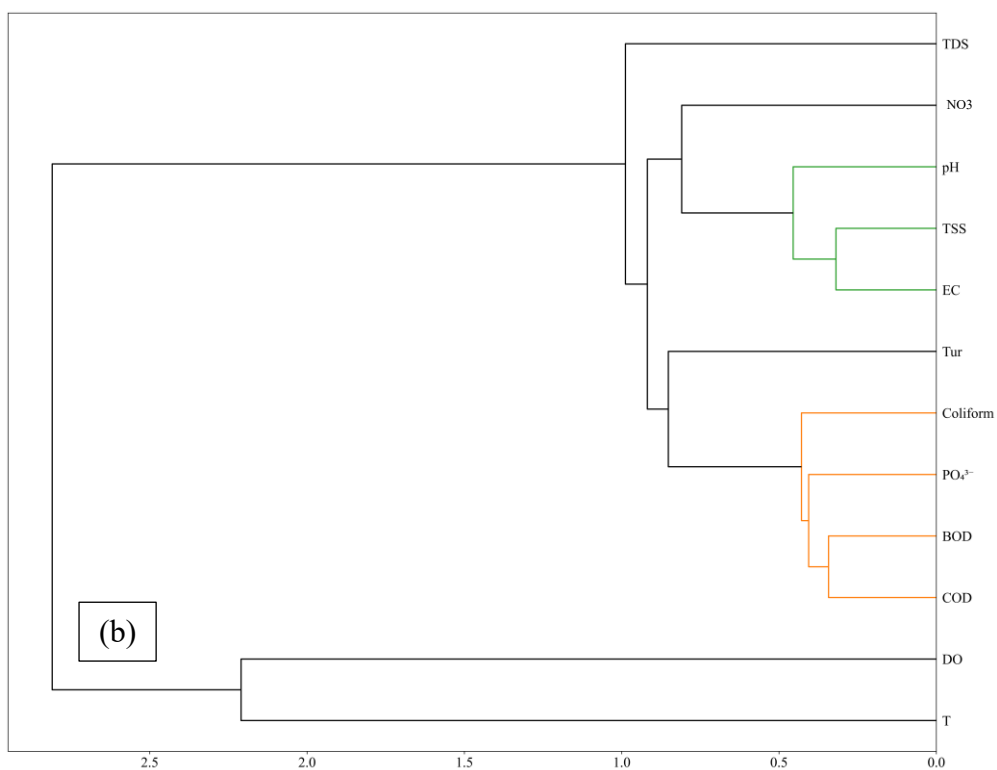
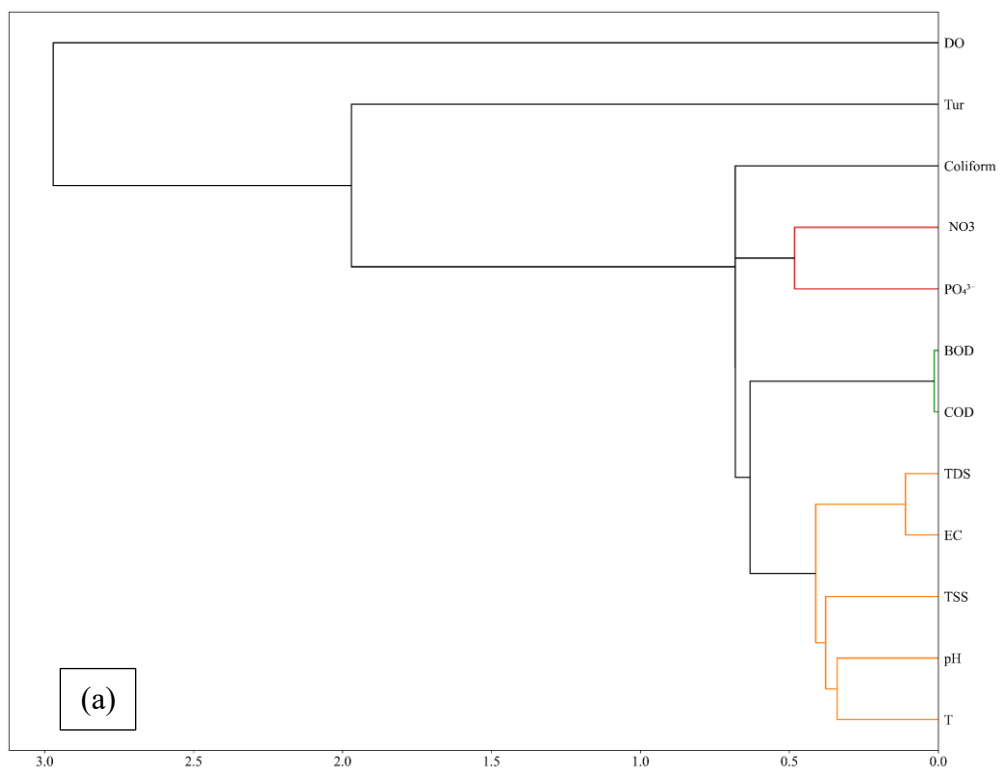


Fig. 14- Dendrogram of water quality parameters a) spring b) summer
شکل ۱۴- دندروگرام پارامترهای تعیین کیفیت آب (a) بهار (b) تابستان

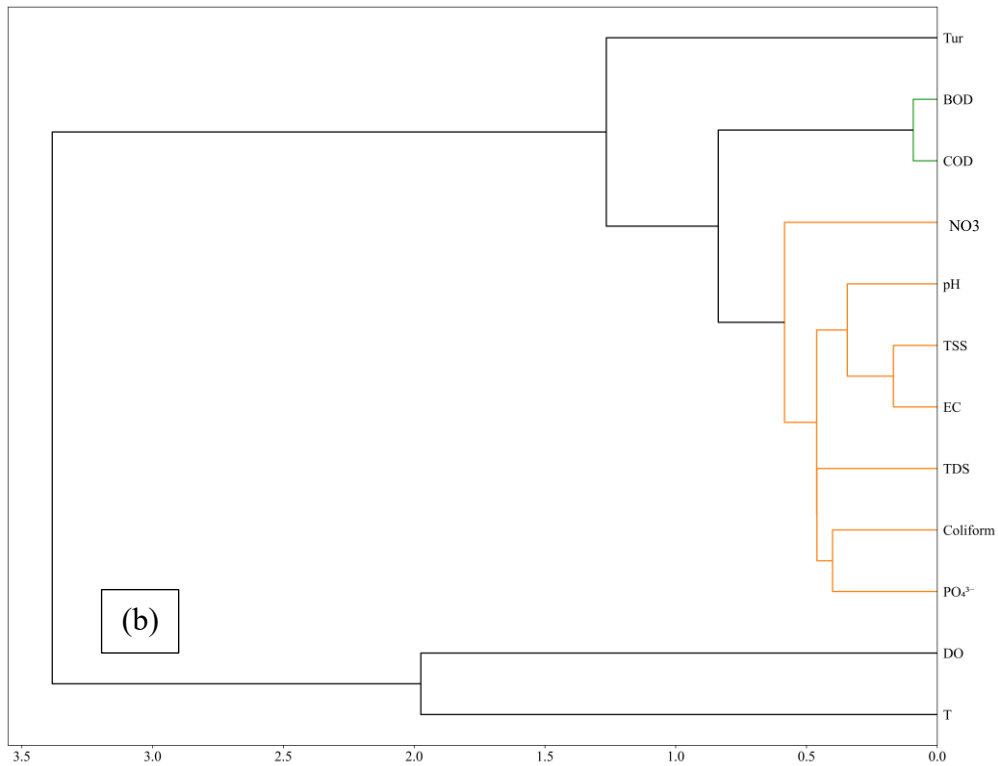
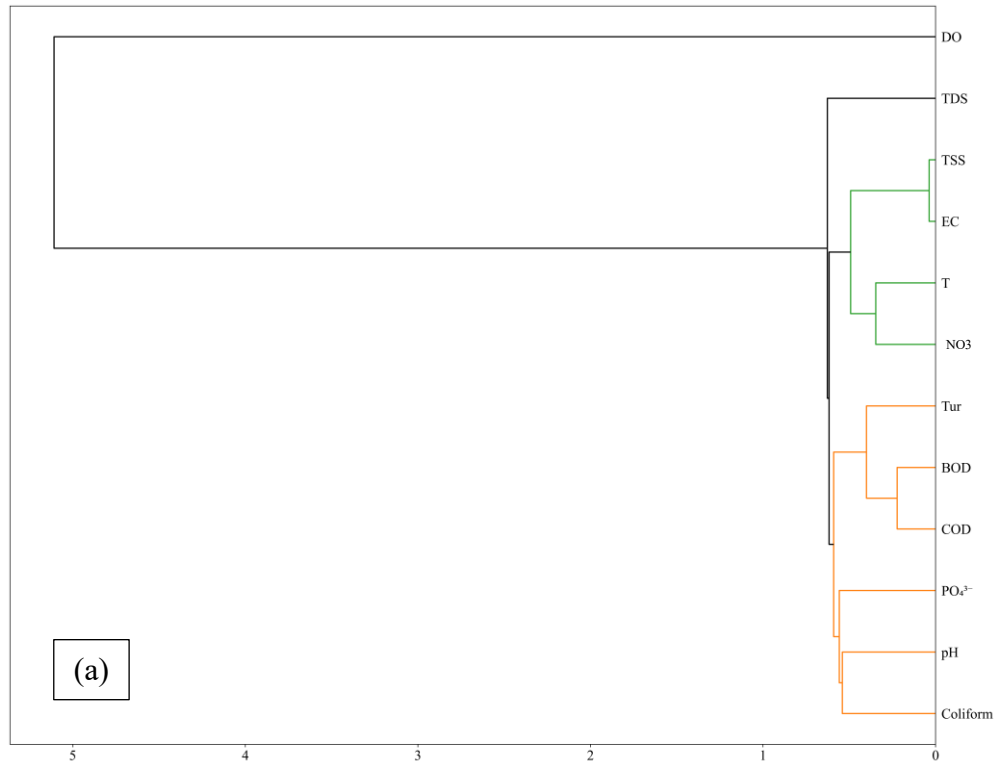


Fig. 15- Dendrogram of water quality parameters a) autumn b) winter
 شکل ۱۵- دندروگرام پارامترهای تعیین کیفیت آب (a) پاییز (b) زمستان

پارامترهای تعیین‌کننده کیفیت آب در نمودارهای شکل ۱۴ و ۱۵ در چهارفصل سال، برای بررسی تأثیرگذاری پارامترهای مختلف بر روی یکدیگر و همچنین برای بررسی تشابه‌ها و عدم تشابه‌های پارامترها نمایش داده شده‌اند. فصل بهار در دندروگرام شکل ۱۴ (a) مورد بررسی واقع شده است و همان‌طور که مشخص است، دوازده پارامتر بر روی نمودار نمایش داده و به سه خوشه تقسیم شده‌اند. در خوشه اول فقط پارامتر DO آمده است که نمایان عدم تشابه این پارامتر با سایرین است. در خوشه دوم پارامترهای کدورت، کلیفرم مدفوعی، نیترات، فسفات، BOD، COD، TDS، EC، TSS، pH و دما قرار دارند. باوجود قرار گرفتن همه این پارامترها در زیرمجموعه خوشه دوم، ولی می‌توان مشاهده کرد که پارامتر کدورت بافاصله قابل‌توجهی از سایرین قرار دارد و عدم تشابه این پارامتر را با باقی پارامترها گویا است. سه پارامتری که تشکیل‌دهنده محتوای میکروبی آب رودخانه هستند، یعنی نیترات، فسفات و کلیفرم مدفوعی ارتباط محکم و قوی با یکدیگر دارند که می‌تواند معلول ورود فاضلاب‌های خانگی و کشاورزی باشد. نزدیک‌ترین ارتباط بین BOD و COD است. سه پارامتر EC، TDS و TSS مرتبط با هدایت الکتریکی، شوری و مواد جامد در آب هستند، با یکدیگر ارتباط بسیار نزدیکی دارند. در آخر با توجه به تأییدی که دما بر pH داشته، باعث شده که این دو پارامتر باهم تشابه زیادی داشته باشند.

در دندروگرام شکل ۱۴ (b)، آنالیز خوشه‌ای فصل تابستان به نمایش گذاشته شده است. این نمودار دارای دو خوشه است که خوشه دوم شامل دو پارامتر DO و دما است. باوجوداینکه این دو پارامتر در یک خوشه قرار گرفته‌اند ولی فاصله قابل‌توجهی بین این دو پارامتر قرار دارد که بیانگر تشابه و ارتباط اندک آن‌ها با یکدیگر است. در خوشه اول سایر پارامترها با یکدیگر مرتبط شده‌اند که پارامتر TDS کمترین تشابه را با سایرین دارد و در شاخه‌ای جدا قرار گرفته است و عدم تشابه آن با پارامتر کدورت نکته‌ای غیرقابل‌انتظار و حائز اهمیت است. چهار پارامتر نیترات، pH، TSS و EC تشابه و ارتباط نزدیکی با یکدیگر دارند ولی این تشابه و ارتباط نزدیک در چهار پارامتر کلیفرم مدفوعی، BOD، COD و فسفات به میزان بیشتری قابل مشاهده است؛ اما پارامتر کدورت که با کلیفرم مدفوعی، BOD، COD و فسفات در نهایت در زیر یک شاخه قرار گرفته است، با فاصله بیشتری نسبت به باقی پارامترها از آن‌ها قرار دارد.

آنالیز خوشه‌ای فصل پاییز در شکل ۱۵ (a) قابل مشاهده است. در این فصل مانند فصل بهار یک خوشه تنها به پارامتر DO اختصاص داده شده است و سایر پارامترها در خوشه دوم به یکدیگر مرتبط شده‌اند منتها با این تفاوت که پارامترهای زیرمجموعه خوشه دوم ارتباط بسیار نزدیک‌تری با یکدیگر نسبت به فصل بهار دارند. در این نمودار سه

پارامتر TDS، TSS و EC باهم تشابه زیادی دارند که بیانگر ارتباط نزدیک جامدات موجود در آب و تأثیر آن‌ها در هدایت الکتریکی آب است. سه پارامتر BOD، COD و فسفات دارای ارتباط نزدیک با یکدیگر هستند که بر کدورت آب نیز تأثیر به‌سزایی دارند. تشابه دو پارامتر دما و نیترات نیز زیاد است که در تصویر قابل مشاهده است؛ اما در نهایت می‌توان دید که pH و کلیفرم مدفوعی با یکدیگر تشابه زیادی دارند و به‌تنهایی در یک خوشه قرار گرفته‌اند.

اما در سرانجام می‌توان آنالیز خوشه‌ای فصل زمستان را در شکل ۱۵ (b) مشاهده کرد. در این فصل آنالیز را می‌توان به چهار شاخه تقسیم کرد. سه پارامتر DO، کدورت و دما هرکدام به‌تنهایی در یک شاخه قرار گرفته‌اند که بین دو پارامتر DO و دما تشابه کمی مشاهده می‌شود با توجه به این که این دو پارامتر در نهایت در یک شاخه قرار گرفته‌اند. همان‌طور که در دندروگرام چهارفصل مشاهده شد، DO در همه فصول به‌تنهایی یک شاخه را به خود اختصاص داده است. دندروگرام این فصل از جهاتی شبیه دندروگرام فصل تابستان است؛ چراکه در این دو فصل پارامترهای دما، DO، کدورت، نیترات و TDS به‌تنهایی در شاخه‌ای مجزا از سایرین قرار دارند. همچنین، تشابه دو پارامتر BOD و COD نیز قابل مشاهده است و نکته‌ای که قابل توجه است این است که از آنجایی که در تعریف مفهوم COD، مفهوم BOD نیز جای دارد، این دو پارامتر هم در دندروگرام همه فصول سال در کنار یکدیگر قرار دارند و به‌تنهایی یک خوشه را در بر گرفته‌اند. پارامترهای EC و TSS همان‌طور که انتظار می‌رفت با یکدیگر تشابه زیادی دارند که در نهایت با pH در یک خوشه قرار گرفته‌اند. کلیفرم مدفوعی و فسفات با یکدیگر تشابه بالایی دارند که در نهایت با پارامتر TDS مرتبط می‌شوند و در یک خوشه قرار می‌گیرند. نکته‌ای که در انتها شاید بد نباشد بیان کنیم این است که ارتباط پارامترها در این فصل تشابه بالایی با ارتباط پارامترها در فصل تابستان دارد منتها با این تفاوت که تشابه و ارتباط پارامترها در فصل زمستان بسیار نزدیک‌تر از فصل تابستان است.

۴- نتیجه‌گیری

با توجه به الگوی پیش‌برده شده توسط بشریت در طول تاریخ، مشاهده شده است که جوامع زیادی از طریق ارتباط با رودخانه‌ها شکل گرفته‌اند و هرچه زمان جلوتر رفته است، انسان در آلوده‌تر کردن منابع آبی برای رفع نیازهای روزمره خود کم نگذاشته است. حال رودخانه تالار از نظر بررسی کیفی بسیار حائز اهمیت است؛ چراکه به دلیل تخلیه فاضلاب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی در این رودخانه، آسیب‌های فراوان و شدیدی به آب رودخانه تالار وارد شده است. برای انجام این مهم، آزمایشاتی بر روی آب رودخانه تالار صورت گرفته‌اند و پارامترهای کیفی موردنیاز برای یک سال آبی به‌صورت ماهانه و در

پی‌نوشت‌ها

- 1- Water Quality Index
- 2- Iran Water Quality Index for Surface Water Resources-Conventional Parameters
- 3- National Sanitation Foundation Water Quality Index
- 4- Biochemical Oxygen Demand
- 5- Total Dissolved Solids
- 6- Dissolved Oxygen
- 7- Chemical Oxygen Demand
- 8- Electrical Conductivity
- 9- Total Suspended Solids

شش ایستگاه که از پایین‌دست تا بالادست رودخانه مشخص شده‌اند، به‌دست آمده‌اند و تحلیل و بررسی‌های موردنیاز بر اساس شاخص‌های کیفی $IRWQI_{SC}$ ، $NSFWQI$ و $WILCOX$ انجام گرفته است. در بررسی‌های انجام شده از طریق شاخص $IRWQI_{SC}$ متوجه می‌شویم که وضعیت کیفیت آب در ایستگاه‌های ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ بد است که دلیل آن می‌تواند مقدار نسبتاً بالای نیترات و فسفات و کلیفرم مدفوعی باشد که ناشی از کاربری‌های مسکونی و تفریحی است و فقط در ایستگاه ۱ شرایط در ماه‌های خرداد، بهمن و اسفند به‌مراتب کمی بهتر است که به دلیل قرار داشتن ایستگاه در پایین‌دست رودخانه و بارندگی در ماه‌های ذکرشده، امری طبیعی است. در نتایج به‌دست‌آمده توسط شاخص $NSFWQI$ که برای طبقه‌بندی آب‌های آشامیدنی مورد استفاده قرار می‌گیرد، نتایج به میزان زیادی متشابه شاخص کیفی $IRWQI_{SC}$ است و شرایط بسیار نامساعدی را برای آب رودخانه تالار نمایش می‌دهد. در ایستگاه‌های ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ کیفیت آب در رده بسیار بد و بد قرار دارد و در ایستگاه ۱ آب دارای کیفیت متوسط است؛ اما با توجه به شاخص $WILCOX$ که یکی از طبقه‌بندی‌های متداول برای بررسی آب‌های کشاورزی است، می‌توان مشاهده کرد که در ایستگاه‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ کیفیت آب رودخانه در طول مسیر از $C1S1$ تا $C3S1$ تغییر پیدا می‌کند که بیان‌گر کیفیت مناسب آب این رودخانه برای کشاورزی است و تنها در ایستگاه‌های بالادست از کیفیت آن کاسته می‌شود. میزان آسیب‌های واردشده به این رودخانه بسیار بالا است و برای رفع هرچه بهتر و سریع‌تر این آسیب‌ها باید تمهیدات شدید مدیریتی، زیست‌محیطی و اقتصادی را اعمال کرد.

- Akbarpour Bazargani M, Amiri E, and Ashouri M (2024) Statistical and graphical analyses of water quality and quantity for the rivers in North Iran (Case study: Polroud and Sefidroud rivers). *Caspian Journal of Environmental Sciences* 1-14 (In Persian)
- Akhoni Pourhosseini F, Ebrahimi K, and Omid MH (2024) Investigating river water quality involving numerical and intelligent models and NSFQI Index, case Study Babolroud River, Iran. *Irrigation and Water Engineering* 15(1):221-239 (In Persian)
- Bagheri helia, Mazlomi Mochani M, Khalili R, and Moridi A (2024) Seasonal changes in the water quality of Sardab river: Dual perspectives of the Iran Water Quality Index for Surface Water Resources- Conventional Parameters (IRWQIsc) and the National Sanitation Foundation Water Quality Index (NSFWQI). *Water and Irrigation Management, Univrsity of Tehran Press* 14(1):223-234 (In Persian)
- Dewangan SK, Kadri MA, Saruta S, Yadav S and Minj N (2023) Temperature effect on Electrical Conductivity (EC) & Total Dissolved Solids (TDS) of water: A REVIEW. *International Journal of Research and Analytical Reviews (IJRAR)* 10(2):514-520
- Fahimah N, Salami IRS, Oginawati K, and Thaher YN (2023) Variations of groundwater turbidity in the Bandung regency, Indonesia: From community-used water quality monitoring data. *HydroResearch* 6:216-227
- Han X, Tang F, and Liu A-L (2024) Drinking water quality evaluation in supply systems in Wuhan, China: application of entropy weight water quality index and multivariate statistical analysis. *Environmental Science and Pollution Research* 31(1):280-292
- Ketabi N, Dadkhah Tehrani M, Moridi A, and Khalili R (2024) Assessment of the Water Quality of Tajan River (Sari) Using NSFQI and IRWQISC Quality Indices. *Journal of Research in Environmental Health* 10(1):96-109 (In Persian)
- Khalili R, Montaseri H, Motaghi H, and Jalili MB (2021) Water quality assessment of the Talar River in Mazandaran Province based on a combination of water quality indicators and multivariate modeling. *Water and Soil Management and Modelling* 1(4):30-47 (In Persian)
- Kheiri SAR, Nazarnejad H, and Asadzadeh F (2022) Analytical assessment of Mahabadchai river water quality using Iran water quality index. *Iranian Journal of Health and Environment* 14(4):629-642 (In Persian)
- Kkhalili R, Parvinnia M, and 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 (In Persian)
- Larijani S, Hossein B, Kavian A, and Ziaei AN (2022) Sensitivity assessment of two water quality models NSFQI and IRWQISC in Haraz River. *Iranian Irrigation and Drainage Association* 16(4):816-830 (In Persian)
- Liu YZ and Chen Z (2023) Prediction of biochemical oxygen demand with genetic algorithm-based support vector regression. *Water Quality Research Journal, IWA Publishing* 58(2):87-98
- Radwan A A M, Abdelmoneim M A, Basiony A I, and El-Alfy M A (2019) Water pollution monitoring in Idku Lake (Egypt) using phytoplankton and NSF-WQI. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries, The Egyptian Society for the Development of Fisheries and Human Health (ESDFHH)* 23(4):465-481
- Mahrooyan F, Taghavi L, Sarai Tabrizi M, and Babazadeh H (2021) Water quality assessment of Qazvin River using NSFQI Index for water quality classification. *Journal of Wetland Ecobiology* 12(1):99-112 (In Persian)
- Makarem N and Mozafari M (2024) Hydrochemical Study of surface and groundwater resources of Lanjanat Plain. *Water and Soil Science. University of Tabriz* 34(2):121-135 (In Persian)
- Mazlomi Mochani M, Hatami A, Moridi A, and Khalili R (2023) Sensitivity assessment of the National Sanitation Foundation Water Quality Index (NSFWQI) and Iran Water Quality Index for Surface Water Resources (IRWQIsc) on the water quality of the Neka River. *Water and Irrigation Management, University of Tehran, College of Aburairhan* 13(3):581-592 (In Persian)
- Naseri E, Saadi T, and Javadi S (2020) Detection and attribution of climate change effects on entered runoff to Karaj Dam in the past periods. *Iran-Water Resources Research* 16(3):306-321 (In Persian)
- Nezhadafzali K and Bayatani F (2024) Water quality areas of the Karun River based on NSFQI quality index and using geographic information system. *Journal of Environmental Science Studies* 9(2):8251-8264 (In Persian)
- Orr I, Mazari K, Shukle JT, Li R, and Filippelli GM (2023) The impact of combined sewer outflows on urban water quality: Spatio-temporal patterns of fecal coliform in indianapolis. *Environmental Pollution* 327:121531

- Qi M, Han Y, Zhao Z, and Li Y (2021) Integrated determination of chemical oxygen demand and biochemical oxygen demand. *Polish Journal of Environmental Studies* 30(2):1785–1794
- Samani S (2020) Providing sustainable global groundwater resources management models to improve the sustainability plan in Iran. *Iran-Water Resources Research* 16(2):271–291 (In Persian)
- Sayad Beyranvand F, Heidarpour M, and Sabzevari Y (2024) Comprehensive analysis of the water quality of Doab Veisian River in the Western of Iran. *Applied Research in Water Engineering* 2(1):79–95 (In Persian)
- Shaker Donyavi A, cheloyan P, Moridi A, and khalili R (2023) Assessment of spatio-temporal changes in water quality of babolroud river using IRWQIsc, NSFQI, and CCME Water Quality Index. *Water and Irrigation Management* 13(2):551–563 (In Persian)
- Xie Z, Chen S, Huang J, Li D, and Lu X (2023) Patterns and drivers of fecal coliform exports in a typhoon-affected watershed: insights from 10-year observations and SWAT model. *Journal of Cleaner Production* 406:137044
- Yang J (2023) Predicting water quality through daily concentration of dissolved oxygen using improved artificial intelligence. *Scientific Reports, Nature Publishing Group UK London* 13(1):20370
- Yonesi H, Arshia A, Torabipoudeh H, Shahinejad B, Sayedipour M, and Vahdatpour N (2022) Evaluating groundwater quality in Zayandehrood Southern Sub-Basin Aquifers. *Desert Ecosystem Engineering* 9(26):103–115 (In Persian)
- Yousefi H, Mohammadi A, and Noorollahi Y (2019) Analyzing the water quality of Babaheydar Dam in Farsan using NSFQI analytical method. *Journal of Watershed Management Research* 9(18):1–11 (In Persian)
- Zainurin SN, Ismail WZW, Mahamud SNI, Ismail I, Jamaludin J, and Ab. Aziz NA (2023) Integration of sensing framework with a decision support system for monitoring water quality in agriculture. *Agriculture* 13(5):1000
- Zamani-Ahmadm Mahmoodi R, Aminian S, Bayati S, and Chamani A (2023) Evaluation of water quality changes in Zayandehroud River using IRWQISC Quality Index. *Journal of Environmental Health Engineering* 10(4):398-411 (In Persian)