**Original Paper**

# Evaluation of water quality of Chehel-chai River in northern Iran based on NSFWQI, IRWQIsc and CWQI

***Mohammad Gholizadeh (Ph.D)**, Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Fisheries, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran. E-mail: gholizade_mohammad@yahoo.com ORCiD 0000-0002-2314-0714

**Mohammad Zibaei**, B.Sc in Fisheries, Faculty of Sciences, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran.

## Abstract

**Background and Objective:** The increasing development of agricultural and aquaculture activities along the rivers has reduced the quality of running water. The aim of this study was to evaluate Chehel-chai River water quality with national sanitation foundation water quality index (NSFWQI), Iran water quality index for surface water (IRWQISC), Canadian water quality index (CWQI).

**Methods:** This descriptive-analytical study, was performed on all of 7 sampling stations based on standard factors such as availability, land use type, geology and dispersion along the river, 12 water quality parameters including dissolved oxygen, fecal coliform, pH, biochemical oxygen demand (BOD), chemical oxygen demand (COD), temperature, organic phosphate, nitrate, ammonium, turbidity, total soluble solids and electrical conductivity and 5 cations (sodium, calcium and magnesium) and anion (chloride and sulfate) along the river for summer and autumn seasons 2018 (42 sample) with the standard method was measured.

**Results:** The amount of phosphate and turbidity increased from station 2 to downstream due to the existence of fish ponds and agricultural drainage. BOD, COD and fecal coliform values at station 6 have increased significantly with due to urban effluent output. River pollution in the summer has increased due to reduction of river flow and after station 3 (promenade) to the downstream, which is due to the entry of agricultural fertilizers and urban wastewater discharge. According to the average of IRWQISC and NSFWQI, the water quality of Chehel-chai River in the sampling station in the area of Minoodasht city (station 6) is in bad class. The CWQI index showed that the water of the Chehel-chai River is suitable for drinking and aquaculture at the border of the class, for agriculture in the bad class, and in terms of recreation and livestock use in the higher class.

**Conclusion:** The mean values of the above indices indicate high pollution quality class, and since this river is used for water supply for agricultural and aquaculture, management strategies are necessary.

**Keywords:** Water Quality, NSFWQI, IRWQISC, CWQI, River

**Received** 11 Apr 2020 **Revised** 7 Jul 2020 **Accepted** 8 Jul 2020

**Cite this article as:** Gholizadeh M, Zibaei M. [Evaluation of water quality of Chehel-chai River in northern Iran based on NSFWQI, IRWQIsc and CWQI]. J Gorgan Univ Med Sci. 2021 Winter; 22(4): 123-131. [Article in Persian]

تحقیقی

# ارزیابی کیفیت آب رودخانه چهل‌چای در استان گلستان بر اساس شاخص‌های کیفی NSFWQI ، IRWQISC و CWQI

* **دکتر محمد قلی زاده**، استادیار، گروه شیلات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران. ORCiD 0000-0002-2314-0714

**محمد زیبایی**، دانش آموخته کارشناسی شیلات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران.

## چکیده

**زمینه و هدف:** *توسعه روزافزون فعالیت‌های کشاورزی و آبزی‌پروری در حاشیه رودخانه‌ها موجب کاهش کیفیت آب‌های جاری شده است. این مطالعه به منظور ارزیابی کیفیت آب رودخانه چهل چای در استان گلستان بر اساس شاخص‌های کیفی NSFWQI ،IRWQISC و CWQI انجام شد.*

**روش بررسی:** *این مطالعه توصیفی – تحلیلی روی یکی از زیر حوزه‌های آبخیز گرگانرود انجام شد. از هر ۷ ایستگاه نمونه‌برداری انتخاب شده بر اساس فاکتورهای استاندارد در مجموع ٤۲ نمونه در طول رودخانه در فصول تابستان و پاییز به صورت ماهانه در سال ۱۳۹۷ بررسی شد. فاکتورهای استاندارد شامل قابل دسترسی بودن، نوع کاربری اراضی، زمین شناسی و پراکندگی در طول رودخانه بودند. ۱۲ پارامتر کیفی آب شامل اکسیژن محلول، کلیفرم مدفوعی، pH، اکسیژن خواهی بیوشیمیایی (Biochemical Oxygen Demand: BOD)، اکسیژن خواهی شیمیایی (Chemical Oxygen Demand: COD)، درجه حرارت، فسفات، نیترات، آمونیوم، کدورت، کل مواد جامد محلول و هدایت الکتریکی و ۵ کاتیون (سدیم، کلسیم و منیزیم) و آنیون (کلراید و سولفات) در طول رودخانه با استفاده از روش استاندارد اندازه‌گیری شدند.*

**یافته ها:** *در مقدار فسفات و کدورت از ایستگاه ۲ به سمت پایین دست، افزایش مشاهده شد. مقادیر BOD ، COD و کلیفرم مدفوعی در ایستگاه ٦ افزایش آماری معنی‌داری در مقایسه با میزان استاندارد WHO نشان داد (P<۰/۰۵). آلودگی رودخانه در فصل تابستان بعد از ایستگاه ۳ (تفرجگاه) به سمت پایین‌دست افزایش آماری معنی‌داری نشان داد (P<۰/۰۵) و این امر به دلیل ورود کودهای کشاورزی و تخلیه فاضلاب شهری بود. بر اساس میانگین شاخص IRWQISC و NSFWQI کیفیت آب رودخانه چهل چای در ایستگاه نمونه‌برداری در محدوده شهر مینودشت (ایستگاه ٦) در کلاسه بد ارزیابی شد. شاخص CWQI نشان داد که آب رودخانه چهل‌چای از نظر آشامیدن و آبزیان در مرز کلاسه مناسب، برای کشاورزی در کلاسه بد و از نظر تفریح و استفاده دام در رده عالی است.*

**نتیجه‌گیری:** *مقادیر میانگین شاخص های اندازه گیری شده، بیانگر کلاسه کیفی با آلودگی بالا بود. از آنجا که این رودخانه برای تامین آب کشاورزی و آبزی پروری استفاده می‌شود؛ اعمال راهکارهای مدیریتی ضروری به نظر می‌رسد.*

**کلید واژه‌ها:** *کیفیت آب ، NSFWQI ، IRWQISC ، CWQI ، رودخانه*

* نویسنده مسؤول : دکتر محمد قلی زاده ، پست الکترونیکی gholizade_mohammad@yahoo.com

نشانی : استان گلستان، گنبد کاووس، دانشگاه گنبد کاووس، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، گروه شیلات، تلفن ۰۱۷-۳۳۲۶۱۷۶۹

**وصول مقاله: ۱۳۹۹/۱/۲۳ ، اصلاح نهایی: ۱۳۹۹/٤/۱۷ ، پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/٤/۱۸**

## مقدمه

در یک دهه اخیر افت کیفی رودخانه ها به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه از جمله ایران، به تهدیدی برای سلامت انسان ها تبدیل شده است. از این‌رو مدیریت کارآمد منابع آب، حفاظت و مدیریت رودخانه‌ها و نهرها، به‌عنوان مهم‌ترین و قابل دسترس‌ترین منابع تامین آب شیرین، مستلزم اجرای برنامه های پایش مستمر و دقیق کیفی آب است (۱).

رودخانه‌ها به عنوان یکی از منابع اساسی تأمین آب برای کشاورزی، شرب و مصارف صنعتی مطرح است (۲). از طرفی با گذشت زمان و گسترش جوامع انسانی و به تبع آن افزایش استفاده از منابع آبی، دخل و تصرف غیرطبیعی و تغییر شرایط کیفی آب رودخانه‌ها افزایش یافته است (۳). آلودگی رودخانه‌ها، یکی از مهم‌ترین مشکلات دنیای امروز به ویژه در کشورهای در حال توسعه است. افزایش تقاضای آب، بالا رفتن سطح زندگی و گسترش آلودگی منابع آب در اثر توسعه فعالیت‌های کشاورزی، شهری و صنعتی موجب ایجاد وضع نامساعد زیست محیطی و تشدید آلودگی منابع آب شده و مدیریت معقول و منطقی آن را بسیار دشوار و پیچیده کرده است (۴). به دلیل اهمیت آب و مسایل مربوط به آن، تاکنون شاخص‌های زیست محیطی زیادی توسط سازمان‌ها و مؤسسات مختلف ارایه شده است. به‌طوری که در دهه

آخر قرن بیستم، تلاش‌های زیادی در زمینه ایجاد و یا بهبود شاخص‌های کنترل کیفیت آب ایجاد شده است (۵). Brown و همکاران (۶) با حمایت مؤسسه ملی بهداشت آمریکا شاخص کیفی آب (National Sanitation Foundation Water Quality Index: NSFWQI) را ارایه دادند. این شاخص پرکاربرد برای طبقه‌بندی کیفیت آب‌های سطحی است که دارای منحنی های استاندارد است و تاثیر ترکیبی از پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی را نشان می دهد که شامل اسیدیته، کدورت، دما، فسفات، نیترات، کلی فرم مدفوعی، اکسیژن محلول، اکسیژن خواهی زیستی و ذرات جامد کل است. همچنین به هر یک از پارامترها یک وزن و یا ارزش عددی نسبت داده می‌شود و در نهایت برای محاسبه شاخص نهایی از روابط ریاضی استفاده می‌گردد. مقیاس این شاخص کاهشی است؛ بدین صورت که با افزایش میزان آلودگی آب، مقادیر شاخص کاهش می‌یابد و در نهایت کیفیت آب را به وضعیت‌های بسیارخوب، خوب، متوسط، بد و خیلی بد درجه‌بندی می کند (۷). شاخص کیفیت آب های سطحی ایران (Iran Water Quality Index for Surface Water: IRWQISC) (۸)، یکی از شاخص‌های متداول کیفیت آب‌های سطحی و با هدف استفاده از روش های مناسب با شرایط طبیعی و مشکلات منابع ایران معرفی شده است. شاخص کیفی آب کانادا (Canadian Water Quality Index: CWQI) توسط محیط‌زیست بریتیش کلمبیای کانادا (CCME) در سال ۱۹۹۰ طراحی شده (۹) و یکی از شاخص‌های مهم و مفید برای ارزیابی آب‌های سطحی برای حفاظت از زندگی آبزیان و مصرف‌کننده‌ای آب است. این شاخص با توجه به پارامترهای فیزیکی شیمیایی و بیولوژیکی مورد نیاز، پهنه آبی را از نظر کیفی برای آشامیدن، کشاورزی، آبزیان، تفریح و سرگرمی و استفاده دام بررسی می‌کند. در این شاخص محدودیت فاکتور وجود ندارد و هرچه تعداد پارامترها بیشتر باشد؛ دقت ارزیابی بیشتر خواهد بود.

رودخانه چهل چای در استان گلستان یکی از سرشاخه های اصلی رودخانه گرگانرود است که از آب آن در مصارف شرب و کشاورزی استفاده می‌شود. لذا سلامت و کیفیت آب این رودخانه به عنوان یکی از عوامل دستیابی به توسعه پایدار است. بهره‌برداری از آب رودخانه مستلزم آگاهی از خصوصیات کیفی آن است (۵). در طول مسیر رودخانه فعالیت‌های کشاورزی وجود دارد که احتمالاً رواناب‌های ناشی از آنها وارد رودخانه می‌شود. بخشی از مسیر رودخانه چهل چای از داخل منطقه شهری عبور می کند. از آنجا که پساب‌های کشاورزی و فاضلاب‌های شهری از منابع مهم آلودگی رودخانه‌ها به آلاینده‌های میکروبی و تغییر خصوصیات کیفی رودخانه محسوب می‌شوند؛ بنابراین انجام مطالعه بر روی کیفیت رودخانه چهل‌چای و تعیین وضعیت کیفی منابع آب برای اتخاذ راهکارهای مناسب برای جلوگیری از کاهش کیفیت آب و یا بهبود آن ضروری به‌نظر می‌رسد. از طرفی پهنه‌بندی آلودگی و ارایه تصویر صحیح از وضعیت کیفی آب‌های سطحی باعث می‌شود تا هرگونه تصمیم‌گیری مدیریتی که اثرات زیست محیطی آن به صورت مستقیم یا غیرمستقیم متوجه آبهای سطحی کشور باشد؛ با آگاهی بیشتر اتخاذ گردد (۱۰). این مطالعه به منظور ارزیابی کیفیت آب رودخانه چهل چای در استان گلستان بر اساس شاخص‌های کیفی NSFWQI، IRWQISC و CWQI انجام شد. علت استفاده از این شاخص‌ها متداول بودن در تحقیقات علمی ایران و دنیا، جامع بودن، در دسترس بودن، نزدیک بودن به واقعیت های زمینی و مورد تایید بودن وزارت نیرو به عنوان استاندارد ملی ارزیابی کیفیت آب است.

## روش بررسی

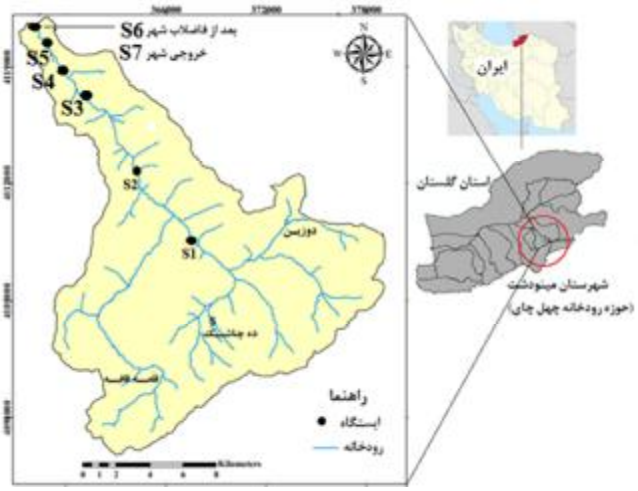
این مطالعه توصیفی – تحلیلی روی یکی از زیر حوزه های آبخیز گرگانرود طی شش‌ماهه دوم سال ۱۳۹۷ انجام شد.

**مشخصات حوضه مورد مطالعه:** حوزه آبخیز چهل چای با مساحتی حدود ۲۵۷۸۳/۲ هکتار در موقعیت جغرافیایی "۳۳ ′۲۲ °۵۵ الی "۳۰ ′۳۷ °۵۵ طول شرقی و "۳۰ ′۵۷ °۳۶ الی ۱۵ °۵۵ عرض شمالی قرار دارد. از شمال به شهر مینودشت، از غرب به ارتفاعات محمد زمان‌خان و دشت حلقه، از شرق به حوزه آبخیز رودخانه چهل چای و از جنوب به حوزه آبخیز تبل آباد محدود می گردد. این حوزه از لحاظ هیدرولوژیک به سه زیر حوزه تقسیم می‌شود. منطقه مورد مطالعه یکی از زیر حوزه‌های آبخیز گرگانرود است. اختلاف ارتفاع میان بالاترین و پایین‌ترین نقاط ۱۳۸۰ متر است. حداقل ارتفاع ۱۰۹ متر در محل پل احداثی مینودشت در شمال حوضه و مرتفع ترین نقطه آن در ارتفاع ۲۵۷۰ متر است. میزان بارندگی سالانه منطقه تقریباً ۷۶۰میلی‌متر است. سطح آبخیز را جنگل و اراضی زراعی پوشانده است. به لحاظ زمین شناسی حوضه مورد مطالعه شامل سازندهای پالئوزوئیک تا عهد حاضر است. از مهم‌ترین سازندهای حوضه می‌توان به سازندهای مبارک، خوش ییلاق، کشف رود، مزدوران، چمن بید و سازندهای عهد حاضر اشاره کرد که تقریباً در تمامی آنها تشکیلات آهکی وجود دارد (۱۱).

عوامل طبیعی (مانند شیب زیاد، سیل‌خیزی و وجود سازندهای حساس به فرسایش) و انسانی (مانند تغییر کاربری اراضی جنگلی و تبدیل آن به زمین‌های زراعتی، با استفاده نادرست از زمین و کشاورزی بر روی اراضی با شیب زیاد، چرای بیرویه دام در جنگل و جاده سازی غیراصولی) موجب بروز انواع فرسایش و حرکات توده‌ای در سطح آبخیز چهل‌چای شده است. عوامل بالا به همراه مواردی از جمله ورود فاضلاب‌ها، زباله‌ها و دیگر زائدات ناشی از فعالیت‌های انسانی می‌تواند موجب آلودگی آب‌های سطحی و تنزل

شدید کیفیت آب در این آبخیز شود. برای بررسی کیفیت آب رودخانه چهل چای، پس از بررسی نقشه ها و تصاویر هوایی منطقه مورد مطالعه و بازدیدهای میدانی، ۷ ایستگاه نمونه‌برداری در سال ۱۳۹۷ انتخاب که موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌ها در شکل یک نشان داده شده است.

هفت ایستگاه به صورت سیستماتیک (از عرض میانی) در رودخانه شامل ایستگاه اول قبل از استخر پرورش ماهی (منطقه بالادست)، ایستگاه دوم در محدوده جنگلی، ایستگاه




*شکل ۱ : مکان ایستگاه‌های نمونه برداری از رودخانه چهل‌چای، استان گلستان*

سوم توریستی (تفرجگاه چهل چای)، ایستگاه چهارم در محدوده فعالیت کشاورزی، ایستگاه پنجم قبل از ورود به شهر مینودشت، ایستگاه ششم بعد از ورودی فاضلاب شهری و ایستگاه هفتم خروجی شهر مینودشت انتخاب شدند. در هر ایستگاه ۱۲ پارامتر کیفی شامل اکسیژن محلول، کلیفرم مدفوعی، pH، اکسیژن خواهی بیوشیمیایی (Biochemical Oxygen Demand: BOD)، اکسیژن خواهی شیمیایی (Chemical Oxygen Demand: COD)، درجه حرارت، فسفات، نیترات، آمونیوم، کدورت، کل مواد جامد محلول و هدایت الکتریکی مورد بررسی قرار گرفتند. تعداد کل آزمایشات انجام شده با توجه به تعداد زمان‌های نمونه برداری (۶ ماه)، تعداد ایستگاه ها (۷ ایستگاه) و تعداد پارامترهای مورد سنجش (۱۲ پارامتر) برابر با ۵۰۴ آزمایش (۵۰۴=۱۲×۷×۶) بودند. در محل نمونه‌برداری برخی عوامل آب از جمله pH، هدایت الکتریکی، دما، اکسیژن محلول و کل جامدات محلول با دستگاه پرتابل (HACH sension TM 156-378) اندازه‌گیری شدند. غلظت آنیون‌های فسفات، سولفات و نیترات توسط دستگاه طیف سنج نوری، کلراید با کمک روش تیتراسیون و کاتیون‌های سدیم و پتاسیم توسط دستگاه نورسنج شعله ای، کلسیم و منیزیم توسط روش تیتراسیون در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه گنبد کاووس اندازه‌گیری شدند (۱۲).

**شاخص کیفی منابع آب:** میزان کیفیت آب رودخانه گرگانرود در محدوده شهر گنبد کاووس با شاخص‌های کیفی NSFWQI و IRWQISC بررسی و طبقه‌بندی گردید. با استفاده از نرم‌افزار آنلاین شاخص NSFWQI، ۹ پارامتر کیفیت آب (فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی) از رابطه زیر بر اساس حاصل ضرب دو عامل اصلی این شاخص یعنی وزن پارامتر (Wi) (جدول یک) و نیز ارزش کیفی هر پارامتر (Ii)، مطابق نمودارهای استاندارد محاسبه شد (۱).

$$NSFWQI = \sum_{i=1}^{n} Wi\ Ii$$

*جدول ۱ : پارامترهای مورد استفاده در شاخص‌های NSFWQI و IRWQISC*

| پارامتر | وزن پارامتر شاخص NSFWQI | وزن پارامتر شاخص IRWQI SC |
|---|---|---|
| اکسیژن محلول (mg/l) | ۰/۱۷ | ۰/۰۹۷ |
| کلی فرم مدفوعی MPN/100ml | ۰/۱۶ | ۰/۱٤ |
| pH | ۰/۱۱ | ۰/۰۵۱ |
| اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی (mg/l) | ۰/۱۱ | ۰/۱۱۷ |
| اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (mg/l) | – | ۰/۰۹۳ |
| تغییرات درجه حرارت (سانتی‌گراد) | ۰/۱ | – |
| فسفات (mg/l) | ۰/۱ | ۰/۰۸۷ |
| نیترات (mg/l) | ۰/۱ | ۰/۱۰۸ |
| آمونیوم (mg/l) | – | ۰/۰۹ |
| کدورت Turbidity | ۰/۰۸ | ۰/۰۶۲ |
| کل جامدات محلول (mg/l) | ۰/۰۷ | – |
| هدایت الکتریکی µmho/cm | – | ۰/۰۹۶ |

در شاخص کیفی IRWQISC، پارامترها شامل ۱۱ پارامتر فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی بودند (۳). برای محاسبه این شاخص، با توجه به منحنی‌های هر پارامترها، مقدار این شاخص با توجه به مقدار پارامترهای این مطالعه، از رابطه‌های زیر به دست آمدند (۸).

$$IRWQI\ SC = [\prod_{i=1}^{n} I_i^{Wi}]^{\frac{1}{\gamma}}$$

$$\gamma = \sum_{i=1}^{n} Wi$$

که در آن Wi، n و Ii به ترتیب بیانگر وزن پارامتر i ام، تعداد پارامترها و مقدار شاخص برای پارامتر i ام منحنی رتبه‌بندی هستند. معادل توصیفی شاخص های کیفی نامبرده و محدوده کیفیت آب در زیر آمده است.

NSFWQI در محدوده ۱۰۰-۹۰، ۹۰-۷۰، ۷۰-۵۰، ۵۰-۲۵ و ۲۵-۰ به ترتیب شامل عالی، خوب، متوسط، بد و خیلی بد است.

IRWQI SC در محدوده کمتر از ۱۵، ۲۹/۹-۱۵، ۴۴/۹-۳۰، ۵۵-۴۵، ۷۰-۵۵/۱، ۸۵-۷۰/۱ و بیشتر از ۸۵ به ترتیب شامل خیلی بد، بد، نسبتاً بد، متوسط، نسبتاً خوب، خوب و بسیار خوب است.

CWQI در محدوده ۱۰۰-۹۵، ۹۴-۸۰، ۷۹-۶۵، ۶۴-۴۵ و ۴۴-۰ شامل عالی (بدون نیاز به تصفیه)، خوب (نیاز به تصفیه خیلی کم)، نسبتاً خوب (نیاز به تصفیه دارد)، مرزی (نیاز به تصفیه فراوان) و بد (در حد خطرناک و تقریباً در همه موارد نیاز به تصفیه) است.

شاخص CWQI با استفاده از داده‌های جمع آوری شده در سال ۱۳۹۷ و به‌منظور بالا بردن دقت شاخص از داده‌های کیفی و کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی با فرمول مربوطه محاسبه می‌شود. نرم‌افزار طراحی شده غلظت ۲۲ فاکتور مختلف را مورد بررسی قرار می‌دهد که در این مطالعه ۱۳ پارامتر شامل: فسفات، سولفات، نیترات ، کلراید، سدیم و پتاسیم، کلسیم و منیزیم، اکسیژن محلول، pH، درجه حرارت، کدورت و هدایت الکتریکی محاسبه شد و با استانداردهای (۱۳) داده شده به نرم‌افزار مقایسه گردید. حداقل چهار بار نمونه‌برداری و چهار پارامتر برای استفاده از این شاخص مورد نیاز است. رابطه اصلی برای اندازه‌گیری شاخص CWQI به صورت زیر است.

$$CWQI = 100 - \left[\frac{\sqrt{F_1^2+F_2^2+F_3^2}}{1.732}\right]$$

شاخص CWQI با عددی بین صفر تا ۱۰۰ ذکر می‌شود. هر اندازه مقدار این شاخص بالاتر باشد؛ نشان‌دهنده کیفیت بهتر آب مورد آزمایش است. روش محاسبه شاخص CWQI در زیر آمده است.

فاکتور بازه (F1) از تقسیم پارامترهای بیشتر از حد استاندارد بر کل پارامترهای اندازه‌گیری شده در یک دوره نمونه‌برداری به‌دست می‌آید و به‌صورت درصد بیان می‌شود.

$$F1=\frac{\text{تعداد پارامترهای رد شده}}{\text{تعداد کل پارامترها}}\times 100$$

فاکتور فراوانی (F2) از تقسیم تعداد دفعاتی که در مجموع کل اندازه‌گیری‌های پارامترها از استاندارد تجاوز نموده به کل دفعات اندازه‌گیری است و به صورت درصد بیان می‌شود.

$$F2=\frac{\text{تعداد آزمایش‌های رد شده}}{\text{تعداد کل آزمایش‌ها}}\times 100$$

فاکتور دامنه (F3) که مقدار آن با استفاده از رابطه ذکر شده به دست می‌آید. ابتدا مقدار پارامترهایی را که غلظت آن‌ها (در یک زمان خاص) از مقدار استاندارد بیشتر است را بر مقدار استاندارد پارامتر مورد نظر تقسیم، و از آن یک واحد کم می‌کنیم تا میزان تخطی به‌دست آید. سپس با محاسبه میانگین تخطی نرمالیزه (nse) که از تقسیم مجموع کل تخطی‌ها بر تعداد دفعات اندازه‌گیری به‌دست می‌آید و با استفاده از رابطه ذکر شده مقدار F3 را محاسبه می‌کنیم.

$$\text{انحراف پارامتر مورد نظر} = \frac{\text{مقدار تست رد شده}}{\text{مقدار استاندارد}} - ۱$$

$$\text{انحراف پارامتر مورد نظر} = \frac{\text{مقدار استاندارد}}{\text{مقدار تست رد شده}} - ۱$$

$$\text{میانگین تخطی} = \frac{\text{مجموع کل انحراف}}{\text{تعداد دفعات اندازه گیری شده}} - ۱$$

$$F3 = \frac{\text{میانگین تخطی}}{0.01\left(\text{میانگین تخطی}\right)+0.01}$$

**تحلیل آماری داده‌ها:** به منظور بررسی نرمال بودن توزیع داده ها از آزمون شاپیرو - ویلک و برای بررسی همگن بودن داده ها از آزمون لون استفاده شد. برای بررسی تفاوت بین ایستگاه های مورد مطالعه از آزمون ناپارامتری کروسکال‌والیس استفاده شد و در صورت وجود اختلاف آماری معنی‌دار، آزمون من‌ویتنی ایستگاه های مختلف را از هم جدا کرد. در این مطالعه برای تجزیه و تحلیل آماری داده ها و بررسی نرمال بودن آنها از نرم‌افزار آماری SPSS-26 در سطح معنی‌داری کمتر از ۰/۰۵ استفاده شد.

## یافته‌ها

مشخصه‌های کلی شاخص CWQI رودخانه چهل‌چای در جدول ۲ آمده است. محدوده مقدار pH از ایستگاه های نمونه برداری از ۶/۸۸ تا ۷/۶۴ (میانگین ۷/۶۲) متغیر است که در محدوده خنثی تا قلیایی قرار می گیرد. کمترین مقدار pH در ایستگاه ۵ به میزان ۶/۸۸ مشاهده شد. میانگین مقدار کل مواد جامد محلول در آب ۵۱۲/۸ میلی گرم بر لیتر بود. میزان هدایت الکتریکی نمونه‌های آب رودخانه از ۵۹۶ تا ۱۱۰۲ میکروزیمنس بر سانتی متر متغیر بودند. بیشترین مقدار هدایت الکتریکی مربوط به ایستگاه ۵ به میزان ۱۱۰۲ میکروزیمنس بر سانتی‌متر در محدوده شهر مینودشت بود. کمترین مقدار آن مربوط به ایستگاه ۲ در محدوده جنگل بود.

طبق استاندارد WHO و ملی ماهیان گرم آبی مقدار اکسیژن محلول، BOD و COD در رودخانه چهل‌چای بیشتر از حداکثر مجاز تعیین شد. ایستگاه‌های نمونه‌برداری ۵ و ۶ وضعیت کیفی آب نامناسب داشته و در فصول مختلف خارج از استانداردهای ملی برای کشاورزی و آبزی‌پروری قرار دارند. مقدار میانگین کلیفرم و اکسیژن محلول در ایستگاه‌های شهری با خروجی فاضلاب به طور معنی‌داری (P<۰/۰۵) بیش از حداکثر مجاز در استاندارد ملی است. غلظت سدیم در نمونه‌های آب رودخانه چهل‌چای از ۲۹/۲ تا ۳۸/۸ میلی گرم بر لیتر متغیر بود. میانگین غلظت پتاسیم اندازه‌گیری شده از رودخانه، ۴/۳۶ میلی گرم بر لیتر بود و بیشترین مقدار در ایستگاه ۵ به میزان ۱۳/۶ میلی گرم بر لیتر مشاهده گردید. میانگین غلظت کلسیم در آب رودخانه چهل‌چای ۸۰/۸ میلی گرم بر لیتر تعیین شد. کمترین

جدول ۲ : میانگین فاکتورهای اندازه‌گیری شده در طول ایستگاه‌های نمونه‌برداری و مقایسه با استانداردهای مختلف

| پارامتر | ایستگاه ۱ | ایستگاه۲ | ایستگاه ۳ | ایستگاه٤ | ایستگاه ٥ | ایستگاه٦ | ایستگاه ۷ | استاندارد WHO (2006) | استاندارد آبزیان (ماهیان گرم آبی) | استاندارد کشاورزی FAO |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| اکسیژن محلول (ppm) | ۸/۰٤±۱/۱ | ۷/۸۸±۱/۲ | ٦/۷۱±۱/۳ | ٦/٤±۰/٦ | ٦/۲±۰/٤ | ۳/۲±۰/۲ | ٥/۹±۰/۳ | ٥ | ٥ | |
| کلیفرم مدفوعی (MPN/100ml) | ٤۷±۷ | ٤۹±۹ | ٥۱±۱۱ | ٥٤±۹ | ٥۸±۱۲ | ۱٤٤±۱۹ | ۹۸±۱۳ | ۰ | ۰ | ۲۰۰ |
| pH | ۷/٦۹±۰/۲ | ۷/۸٤±۰/۳ | ۷/۷٦±۰/۳ | ۷/۸±۰/٥ | ۷/۷±۰/۳ | ٦/۹±۰/۲ | ۷/٦±۰/۳ | ٦/٥-۸/٥ | ۹-٦ | ٦/٥-۸/٤ |
| اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی (ppm) | ٤/۳±۰/۲ | ۱۰/۲±۰/٤ | ۱٦/۱±۰/٦ | ۱٦/۳±۱/۲ | ۱۸±۱/۱ | ٦۱±۱/۲ | ۱۱ ±۱/۱ | ٥ | ٦ | ٥۰ |
| اکسیژن مورد نیاز شیمیایی(ppm) | ۸ ±۰/٥ | ۱۹±۱/۱ | ۲۱±۱/۳ | ۲۷±۲/۱ | ۳۰±۱/۳ | ۱۰۳± ٦ | ۱۷±۳ | ۱۰ | – | ۸ |
| درجه حرارت (C°) | ۱۳/۱±۰/۲ | ۱٤/۳±۰/۸ | ۱٥±۱/۲ | ۱٥±۱/۳ | ۱٥/۳±۱/۱ | ۱٦±۱/۳ | ۱٦/۲±۱/۷ | ۳۲/۳-۲٦/۳ | – | |
| فسفات (ppm) | ۲/۱±۰/۱ | ۲/٤±۰/۱ | ۳±۰/۱ | ۳/۸±۰/۳ | ۳/۱±۱ | ٥/۱±۱/۲ | ۲/٥±۱ | ۰/۰٥ | ώ۰/۱۳ | ۰-۲ |
| نیترات (ppm) | ۳/۷±۰/۱ | ٥/٤±۰/۹ | ۷/۲±۰/۸ | ۸/٦±۰/٥ | ۷/۳±۰/٥ | ۱٥ ±۱/٥ | ۳/٤±۰/٥ | ٥۰ | – | ۰-۱۰ |
| آمونیوم (ppm) | ۰/۰۱±۰/۱ | ۰/۰۱±۰/۱ | ۰/۰۲±۰/۰ | ۰/۰۲±۰/۰ | ۰/۰۲±۰/۰ | ۰/۰۳±۰/۰ | ۰/۰۱±۰/۰ | ۱/٥ | ≤ ۱ | ۰-٥ |
| کدورت (NTU) | ۳/۲±۰/۲ | ٥/٤±۰/۳ | ۷/٤±۱/۱ | ۸/٦±۰/۹ | ۷/۱±۱/٥ | ۱٥/۷±۳ | ٥/۸±۰/٥ | ٥ | ٥ | |
| کل جامدات محلول (mg/L) | ۳۷٥±۳۳ | ٥۰٥±٤٤ | ٥٥۱±۳٥ | ٥٤۱±۲٦ | ٤۹۲±۳۳ | ٦۹۷±۲۷ | ٤٥۸±۲۱ | ۱۰۰۰ | ٥۰۰ | ۱٥۰۰ |
| هدایت الکتریکی (µ mhos/cm) | ٥۹۲±۱۹ | ۷۹٤±۳٦ | ۸۷۱±۳۱ | ۸۷۹±۲۱ | ۷۹٤±۲۲ | ۱۱۱۲±۳۰ | ۷٤٤±۲٦ | ۲٥۰ | | ۱٥۰۰ |
| سدیم | ۳۷/٥± ٦ | ۳٦/۸±۸ | ۳٥±٥ | ۳٤/۷± ۳ | ۳٥/٤±٦ | ۳۸/۸±٤ | ۲۹/۲±۷ | | | ۱٤۰ |
| منیزیم | ۲٥/٥±۷ | ۳٦/٥±٦ | ۳۸/۸±۸ | ٤٤/۹±۱۲ | ۳۸/۸±۱۰ | ٥۲/۳±۸ | ۲٥/۲±۸ | ۱٥۰ | | |
| کلسیم | ٥۷/۱±۸ | ۸٥/۳±۱٤ | ۸۹/۷±۱٤ | ۷٥/٤±۱۳ | ۸۹/۷±۱۷ | ۱۱٦±۲۱ | ٦۱/۲±۱۷ | ۷٥ | | |
| کلراید | ۷۷/۹±۱۱ | ۹۹/۱±۱٤ | ۱۱۳/٤±۹ | ۱۰٦/۳±۷ | ۱۱۱/٤±۹ | ۸۸±۱۱ | ٦۱/۱±۱۳ | ۲۰۰ | | ۲٥۰ |
| سولفات | ٥۰±۱۱ | ٥۰±۱۱ | ۱۰۲±۲٥ | ۱۰۰±۲۲ | ۱۰٤±۱۷ | ۸٤±۱٦ | ۷۸±۱۲ | ۲۰۰ | | |

جدول ۳ : مشخصه‌های کلی شاخص CWQI رودخانه چهل‌چای

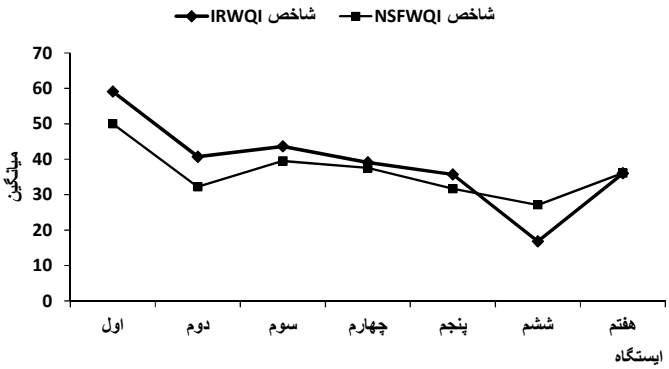
| داده | دام | کشاورزی | تفریح | آبزیان | آشامیدن | کلی |
|---|---|---|---|---|---|---|
| F1 | | ۱۰۰ | | ٥۰ | ۲۰ | ۳۸ |
| F2 | | ۲۹ | | ٥۰ | ۲۰ | ۲۹ |
| F3 | | ۱ | | ۲۳ | ٥۷ | ٤۷ |
| CWQI | ۱۰۰ | ٤۰ | ۱۰۰ | ٥۷ | ٦۳ | ٦۱ |
| کلاسه‌بندی | عالی | بد | عالی | مرزی | مرزی | مرزی |
| شرح | بدون نیاز به تصفیه | تقریبا در تمامی موارد نیاز به تصفیه داشته و در حد خطرناک قرار دارد. | بدون نیاز به تصفیه | نیاز به تصفیه فراوان | نیاز به تصفیه فراوان | نیاز به تصفیه فراوان |
| پارامترهای رد شده | | کلراید | | اکسیژن محلول | کدورت | کدورت اکسیژن محلول |

و بیشترین غلظت کلسیم به ترتیب مربوط بـه ایسـتگاه ۲ و ایسـتگاه ۵ به ترتیب با مقادیر ۵۷/۱ میلی گرم بر لیتر و ۱۱۶/۲ میلی گـرم بـر لیتـر بودند. محدوده تغییرات غلظـت منیـزیم در نمونـه‌هـای آب از ۲۵/۵ الی ۵۲/۲ میلی گرم بر لیتر تعیین شدند.

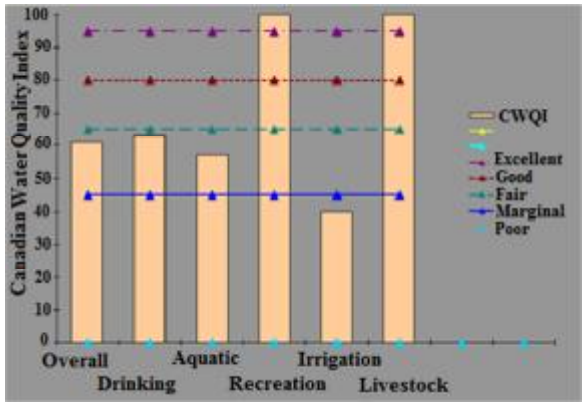
بـر اسـاس میـانگین شـاخص IRWQISC کیفیـت آب رودخانـه چهل چای در ایستگاه‌های نمونه‌برداری در محدوده شـهر مینودشـت (ایستگاه ۶) در بـدترین وضـعیت کیفـی آب (بـه میـزان ۱۶/۸) قـرار داشت (شکل ۲). ایستگاه اول (بالادست رودخانه) با بیشـترین میـزان میانگین این شاخص (به میزان ۵۹/۱) از لحاظ کیفیت آب در کلاسه نسبتاً خوب و دیگر ایستگاه‌های نمونه‌برداری در کلاسه نسبتاً بد قرار گرفتند. دامنه شاخص NSFWQI در ایستگاه‌های مطالعاتی بین ۲۷/۱ و ۴۹ تعیین شد (شکل ۲). با توجه به نتایج به دست آمـده از بررسـی این شاخص نیز کیفیت آب ایستگاه ۱ را در کلاسه متوسط و کیفیت آب سایر ایستگاه‌ها را در کلاسه بد قرار داد.

بررسی شاخص CWQI نشان داد که آب رودخانه چهل چای بـه طور کلی از نظر کیفـی در مـرز کلاسـه مناسـب، همچنـین از نظـر آشامیدن و آبزیان در مرز کلاسه مناسب، برای کشاورزی در کلاسه بد و از نظر تفریح و استفاده دام در رده عالی قـرار مـی‌گیـرد (شـکل ۳). خلاصه‌ای از پارامترهای اندازه‌گیری شده این شاخص در جدول ۳ آورده شـده اسـت. در ایـن شـاخص تعـداد ۲ پـارامتر رد شـده

(اکسیژن محلول و کدورت) که بیش از استانداردها بودند.




***شکل ۲ : روند تغییرات مکانی شاخص‌های IRWQI و NSFWQI در ایستگاه‌های مطالعاتی از رودخانه چهل‌چای، استان گلستان***




***شکل ۳ : شرایط کیفی به‌دست آمده از نرم‌افزار CWQI در ایستگاه‌های مطالعاتی از رودخانه چهل‌چای، استان گلستان***

## بحث

با توجه به نتایج این مطالعه، ایستگاه اول در بالادست رودخانه چهل چای و دور از دسترس فعالیت انسانی واقع شده در هر سه شاخص شرایط خوب ارزیابی شد. ایستگاه دوم در محدوده جنگلی و با فاصله از مزرعه پرورش ماهی قزل آلای رنگین کمان قرار گرفته و در کلاسه کیفی بد قرار گرفت. ایستگاه‌هایی که در محدوده تفرجگاه و کشاورزی بودند؛ در کلاسه بد قرار گرفتند. ایستگاه ۶ در محدوده شهری با ورود فاضلاب شهری در هر سه شاخص در کلاسه بد قرار دارند و به شدت روی فاکتورهای اکسیژن محلول، BOD و COD تاثیرگذار بود. همچنین بیشترین میزان کلی فرم در این ایستگاه به دلیل ورود فاضلاب مشاهده شد. مقدار میانگین کلیفرم و اکسیژن محلول در ایستگاه های شهری با خروجی فاضلاب به‌طور معنی‌داری بیش از حداکثر مجاز در استاندارد ملی بود. با توجه به الگوی مکانی عوامل کیفی آب، کمترین غلظت عوامل محیطی در مناطق بالادست دیده شد و با جریان رودخانه، بر مقدار عوامل افزوده شده است. افزایش مقادیر نیترات، آمونیوم، فسفات و کلیفرم مدفوعی در مناطق پایین دست رودخانه می‌تواند ناشی از ورودی پساب های شهری و زه آب های کشاورزی باشد که در ایستگاه‌های انتهای وضعیت تجمعی پیدا کرده است.

کاهش مقادیر شاخص‌های NSFWQI و IRWQISC در ایستگاه های پایین دست رودخانه ادامه داشته است. دلیل این امر می تواند بی‌توجهی به ورود فاضلاب های انسانی به داخل رودخانه باشد (۱۳). نتایج حاصل از این مطالعه با نتایج برخی مطالعات (۱۶-۱۴) مبنی بر کاهش کیفیت آب در پایین دست رودخانه مطابقت دارد. روستاهای همجوار رودخانه بدون هیچگونه ممانعت قانونی انواع زباله و فاضلاب‌ها را به داخل رودخانه می‌ریزند. دلیل قرارگیری کیفیت آب در طبقه متوسط تا بد، مقدار نسبتاً بالای مواد مغذی به خصوص نیترات و وجود کلیفرم مدفوعی است که ناشی از زه آب‌های کشاورزی (ناشی از کاربرد کودهای شیمیایی و حیوانی)، دام‌های آزاد و فعالیت‌های تفرجی در ایستگاه های پایین دست است. مطابق با استاندارد کیفیت آب ایران، میزان حد مجاز کلی فرم مدفوعی برای فعالیت‌های کشاورزی، MNP ۵۰۰ در ۱۰۰mm نمونه است (۱۷) که در اکثر ایستگاه‌ها پایین تر از حد مجاز بودند. بنابراین با توجه به کیفیت آب رودخانه چهل چای، پتانسیل کشاورزی و فعالیت‌های آبزی‌پروری به شدت به دلیل عدم رعایت اصول توسعه پایدار، غیر قابل قبول شده است. مطالعه میرزایی و همکاران نشان داد که کاهش مقدار عددی شاخص NSFWQI و در نتیجه تنزل کیفیت آب رودخانه جاجرود در برخی از ایستگاه های نمونه بردای به علت تمرکز جمعیت و در نتیجه ورود بار آلودگی (افزایش مقادیر کلیفرم ها و جامدات معلق) است (۱۸) که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد. همچنین مصرف بی‌رویه و غیراصولی آب در مصارف مختلف از جمله کشاورزی و عدم توازن تولید و مصرف آب در ایران باعث تخریب کیفیت منابع آب می شود. در مطالعه شعبانی و همکاران در زمینه بررسی اثر فعالیت‌های کشاورزی بر کیفیت آب رودخانه سیکان، مقدار افزایشی در پارامترهای کیفی آب مانند BOD ، COD ، فسفات و نیترات مشاهده شد. آنها فعالیت‌های کشاورزی را به عنوان دلیل اصلی افزایش نسبی عوامل ذکر شده معرفی کردند (۱۹).

شاخص CWQI برای مصرف کشاورزی از بالادست به پایین‌دست روندکاهشی داشت که ممکن است به دلیل افزایش شوری آب در جهت پایین دست یا ورود زه‌آب‌های کشاورزی، روستایی و شهری (پسابهای خانگی) باشد. میزان آلودگی و غلظت فاکتورهای نامطلوب از بالادست به پایین‌دست افزایش می‌یابد و کیفیت آب را برای حیات ماهی‌ها و بی‌مهرگان نامطلوب می‌سازد، به طوری که در اکثر ایستگاه‌ها نیاز به تصفیه برای مصرف آبزی‌پروری دارد.

ایستگاه‌های انتهایی که در محدوده زمین‌های کشاورزی، مناطق

مسکونی و زباله‌های روستایی قرار دارد؛ می‌تواند از عوامل تأثیرگذار بر میزان فسفات در آب باشند. بنابراین علت بالا بودن میزان فسفات و نیترات را استفاده از سموم فسفاته و نیتراته دانست (۲۰) که با مطالعه حاضر مطابقت دارد. این مطالعه برای فصول پاییز و زمستان انجام شده است و نکته‌ای که وجود دارد و می‌تواند بر مقدار واقعی پارامترها تأثیرگذار باشد؛ آن است که در این فصول در مقایسه با فصل بهار و تابستان، آب دارای کیفیت بهتری است. زیرا در این مواقع حجم آب رودخانه‌ها بر اثر بارندگی افزایش یافته و این عامل باعث کاهش اثر سوء آلاینده‌ها بر جامعه زیستی می‌شود. همچنین اغلب بیشترین مقدار سمپاشی کشاورزی در استان در فصل بهار انجام می شود که مطمئناً باعث ورود مقادیری از ترکیبات فسفاته و نیتراته به آب رودخانه‌ها می‌شود و کیفیت آب رودخانه‌ها را تحت تأثیر قرار خواهد داد.

با توجه به الگوی مکانی پارامترهای کیفی آب، کمترین غلظت پارامترها به جز کدورت در مناطق بالادست دیده شد و به تدریج با جریان رودخانه، بر مقدار پارامترها افزوده شده است. با توجه به نقشه های کاربری سرزمین و مطالعات اخیر به نظر می رسد که افزایش ناگهانی نیترات، آمونیوم، فسفات و کلیفرم مدفوعی، در پایین دست رودخانه می‌تواند ناشی از ورود پساب‌های شهری و زه‌آبهای کشاورزی باشد که در نقاط انتهایی حالت تجمعی پیدا کرده است.

با توجه به فعالیت‌های کشاورزی در اطراف رودخانه چهل‌چای و استفاده از کودهای گوناگون و سموم آفت‌کش‌ها، مقدار زیادی مواد آلوده‌کننده وارد دریاچه می‌شود. علاوه بر آن، به دلیل عدم وجود سیستم جمع‌آوری فاضلاب و تصفیه‌خانه، پساب روستاهای حاشیه ای نیز به رودخانه می‌ریزند که آلاینده های زیادی را وارد رودخانه می‌نماید. پیشنهاد تهیه الگوی کشت مناسب، جلوگیری از احداث و توسعه فعالیت‌های انسانی از جمله تفرجگاه و مکان های تفریحی، احداث شبکه‌های جمع‌آوری و تصفیه خانه‌های فاضلاب برای روستاهای اطراف، اطلاع رسانی و ترویج فرهنگ مصرف بهینه و اهمیت ارزش ذاتی آب از عوامل حیاتی در بهبود کیفیت آب رودخانه چهل چای و رسیدن به اهداف توسعه پایدار منابع آب است که بایستی در برنامه‌های توسعه قرار گیرند.

## نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که کیفیت آب رودخانه چهل چای از نظر آشامیدن و آبزیان در مرز رده مناسب، از نظر کشاورزی در رده بد و از نظر تفریح و استفاده دام در رده عالی قرار می‌گیرد. این شاخص گویای آن است که وضعیت کیفیت آب رودخانه برای زندگی آبزیان در شرایط نسبتاً مناسب قرار دارد و اگر مدیریت مناسب اعمال نگردد؛ روند کاهش کیفیت آب در چند سال آینده اتفاق می‌افتد. دلیل این که کیفیت آب از نظر آشامیدن خوب و برای آبزیان بد است؛ آن است که غلظت بعضی از پارامترهای مهم برای آشامیدن در آب رودخانه چهل‌چای پایین و مرز کلاسه مناسب بوده و علاوه بر آن آبزیان به کدورت و اکسیژن محلول حساس‌تر هستند. همچنین ایستگاه‌های پایین‌دست از جمله ایستگاه ۶ که نزدیک به شهرستان مینودشت است؛ با توجه به اثر فاضلاب‌های این شهر دارای بدترین کیفیت و ایستگاه اول در بالادست رودخانه بهترین کیفیت آب را دارا است.

## تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل طرح تحقیقاتی (شماره ۳۹۸۳۴۲) مصوب دانشگاه گنبد کاووس بود. بدین‌وسیله از آقای ارسلان بهلکه به خاطر نمونه‌برداری و از دانشگاه گنبد کاووس برای فراهم آوردن امکانات لازم تشکر می‌نماییم.

## References

1. Aazami J, Esmaili Sari A, Abdoli A, Sohrabi H, Van den Brink PJ. Assessment of ecological quality of the Tajan River in Iran using a multimetric macroinvertebrate index and species traits. Environ Manag. 2015; 56(1): 260-69. DOI: 10.1007/s00267-015-0489-x

2. Ehteshami M, Biglarijoo N, Salari M. Assessment and Quality Classification of Water in Karun, Dez and Karkheh Rivers. Journal of River Engineering. 2014; 2(8): 1-6.

3. Hossieni P, Ildoromi AR, Hossieni AR. [Assimilative capacity of the River Karun using index NSFWQI in the rang Zergan-Kut Amir (during the 5 year)]. Human and Environment. 2013; 11(25): 1-11. [Article in Persian]

4. Salari M, Radmanesh F, Zarei H. [Quantitative and Qualitative Assessment of Karoon River Water Using NSFWQI Index and AHP Method]. Human and Environmental. 2013; 10(23): 13-22. [Article in Persian]

5. Gholizadeh M, Heydari O. [Evaluation of Gorganrood river water quality based on surface water quality indicators in Gonbad Kavous]. Health Environ. 2020; 13(1): 33-48. [Article in Persian]

6. Brown RM, McClelland NI, Deininger RA, O'Connor MF. A water quality index - Crashing the psychological barrier. Proceedings of a Symposium Held during the AAAS Meeting; 26-31 December 1971. Philadelphia: Pennsylvania.

7. Samantray P, Mishra BK, Panda CR, Rout SP. Assessment of water quality index in mahanadi and atharabanki rivers and Taldanda Canal in Paradip Area, India. J Hum Ecol. 2009; 26(3): 153-61.

8. Hashemi S, Farzampour T, Ramzani S, Khoshroo G. [Guidelines for calculating Iran Water Quality Index]. Tehran: Department of Environment of Iran Publication. 2012; p: 1-42. [Persian]

9. Neary B, Hébert S, Khan H, Saffran K, Swain L, Williamson D. Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life. CCME, Water Quality Index 1.0, Technical Report. Canadian Council of Ministers of the Environment, 2001.

10. Javidi Sabbaghian R, Zarghami M, Nejadhashemi AP, Sharifi MB, Herman MR, Daneshvar F. Application of risk-based multiple criteria decision analysis for selection of the best agricultural scenario for effective watershed management. J Environ Manage. 2016 Mar; 168: 260-72. DOI: 10.1016/j.jenvman.2015.11.038

11. Shirzadnia J, Heshmatpour A, Fathabady A, Akbari R. [Role of Sub-Basin in Water Quality of Chehelchay River]. Journal Environment and Water Engineernig. 2018; 3(4): 378-89. [Article in Persian]

12. Rice EW, Baird RB, Eaton AD. Standard methods for the examination of water and wastewater. 23nd ed. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. 2017; p: 1546.

13. WHO. Evaluation of certain contaminants in food. eighty-third report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. WHO technical report series no. 1002.

14. Aminpour S, Mohammadi M, Khaledian M, Mir Roshandel A. Water quality evaluation of Gazroudbar River using NSFWQI and Liou indices. Wetland Ecobiology. 2016; 8(1): 63-74. [Article in Persian]

15. Alizadeh M, Mirzaei R, Kia SH. [Determining the Spatial Trend of Water Quality Indices across Kan and Karaj River Basins]. Journal of Environmental Health Engineering. 2017; 4(3): 256-43. DOI: 10.18869/acadpub.jehe.4.3.253 [Article in Persian]

16. Sadeghi M, Bay A, Bay N, Soflaie N, Mehdinejad MH, Malla M. [The survey of Zarin-Gol River water quality in Golestan Province using NSF-WQI and IRWQISC]. Journal of Health in the Field. 2015, 3(3): 27-33. [Article in Persian]

17. Semiromi FB, Hassani A, Torabian A, Karbassi A, Hosseinzadeh Lotfi F. Water quality index development using fuzzy logic: A case study of the Karoon River of Iran. Afr J Biotechnol. 2011; 10(50): 10125-33. DOI: 10.5897/AJB11.1608

18. Mirzaie M, Nazari AR, Yari A. [Quality zoning of Jajrood River]. Journal of Environmental Studies. 2005; 31(37): 17-26. [Article in Persian]

19. Sabahi H, Faizi M, Veisi H, Asilan K. [Study on the influence of agricultural activities on water quality of Sikan river]. Environmental Sciences. 2010; 8(2): 23-30. [Article in Persian]

20. Gholizadeh M, Alinejad M. [Assessment of spatial variability of some parameters affecting three water quality of Zarin Gol River in Golestan Province]. Environmental Sciences. 2018; 16(1):111-26. [Article in Persian]