

بررسی تغییرات زمانی کیفیت آب رودخانه زاینده‌رود با استفاده از

شاخص $IRWQI_{SC}$

رسول زمانی احمد محمودی^{۱*}، سحر مینیان^۲، سمیرا بیاتی^۳، عاطفه چمنی^۴

^۱ گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

^۲ گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

^۳ گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

^۴ گروه علوم و مهندسی محیط زیست، مرکز تحقیقات پسماند و پساب، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۶/۲۹، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۲۵

چکیده

زمینه و هدف: بررسی کیفیت آب‌های سطحی به‌عنوان یکی از منابع حیاتی تأمین‌کننده آب، توجه بسیاری از محققان را از دیرباز تاکنون به خود جلب کرده است. ارزیابی کیفیت آب در یک رودخانه با استفاده از شاخص‌های کیفی مختلف صورت می‌گیرد. از جمله شاخص‌های مورد استفاده جهت طبقه‌بندی آب‌های سطحی براساس پارامترهای استاندارد، شاخص کیفیت آب‌های سطحی ایران ($IRWQI_{SC}$) می‌باشد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه تغییرات سالانه کیفیت آب رودخانه زاینده‌رود واقع در استان‌های چهارمحال و بختیاری و اصفهان با استفاده از این شاخص مورد ارزیابی قرار گرفت. به‌این ترتیب پارامترهای فیزیکوشیمیایی شامل BOD_5 ، COD ، DO ، pH ، EC ، نیترات، فسفات، آمونیوم، دما و سختی کل در ۷ ایستگاه انتخابی و در دوره دوازده ساله (۱۳۸۳ تا ۱۳۹۴) جهت محاسبه شاخص $IRWQI_{SC}$ استفاده شدند.

یافته‌ها: مقایسه مقدار هدایت الکتریکی در ایستگاه‌ها نشان داد که از بالادست به سمت پایین‌دست رودخانه هدایت الکتریکی افزایش یافته است و به‌طور کلی غلظت پارامترها در ایستگاه اول (تونل کوهرنگ) به مراتب کمتر از بقیه ایستگاه‌ها بود. همچنین نتایج نشان داد که در بیشتر سال‌ها کیفیت آب طبق مقادیر شاخص $IRWQI_{SC}$ در همه ایستگاه‌ها نسبتاً خوب بود. بهترین و پایین‌ترین کیفیت آب طبق این شاخص به‌ترتیب در سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۸۹ با مقدار $73/2$ و $49/6$ و در طبقه کیفیت آب خوب و متوسط قرار داشتند. **نتیجه‌گیری:** به‌طور کلی بر اساس میانگین دوازده ساله شاخص $IRWQI_{SC}$ در ایستگاه‌های انتخابی، کیفیت آب در ایستگاه‌های قراقوش، چمنار، پل زمان‌خان، تونل کوهرنگ، سودجان و هوره نسبتاً خوب و ایستگاه آزادگان متوسط بودند. شناسایی منابع آلاینده و کنترل آلاینده‌های ورودی به‌منظور حفاظت و جلوگیری از کاهش کیفیت رودخانه زاینده‌رود، امری ضروری است.

واژه‌های کلیدی: آب سطحی، شاخص کیفی، زاینده‌رود، $IRWQI_{SC}$

مقدمه

رودخانه‌ها به دلیل این که جزء سیستم‌های باز و منبع اصلی آب آشامیدنی محسوب می‌شوند و همیشه در معرض تغییر و تحول قرار گرفته‌اند^۱ برای بشر اهمیت بیشتری دارند^۲. با گذشت زمان و گسترش جوامع انسانی و در نتیجه افزایش استفاده از منابع آبی، میزان دخل و تصرف غیرطبیعی و تغییر شرایط کیفی آب رودخانه‌ها افزایش یافته است^۳. سلامت و کیفیت این منابع از بارزترین ویژگی‌هایی است که رسیدن به توسعه پایدار را ممکن می‌سازد^۴. امروزه مهم‌ترین نگرانی در مورد آب‌های سطحی، مسئله کیفیت آن‌ها برای مصارف مختلف از جمله شرب، کشاورزی و آبی‌پروری می‌باشد. کیفیت آب‌های سطحی تحت تأثیر شرایط آب و هوایی، میزان رسوب‌گذاری و خوردگی خاک، فعالیت‌های کشاورزی مانند عدم کنترل میزان مصرف مجاز کود و سم و خروجی فاضلاب شهری و روستایی است^۵. از عوامل کاهش کیفیت و افزایش آلودگی آب می‌توان به افزایش جمعیت، صنعتی‌شدن، شهرنشینی^۶، آلودگی ناشی از تخلیه انواع فاضلاب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی، شیرابه محل‌های دفع زباله و رواناب‌های سطحی اشاره نمود^۷. به منظور حفظ سلامت عمومی و مدیریت پایدار منابع آب، پایش مؤثر و به موقع کیفیت آب از اهمیت زیادی برخوردار است. لذا اولین گام مدیریت کارآمد، درک و بررسی کمی روند تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب رودخانه‌ها می‌باشد^۸. همچنین آگاهی از کیفیت منابع آب، در برنامه‌ریزی و توسعه منابع آب و حفاظت و کنترل آن‌ها ضروری است و برای انجام این برنامه‌ها، باید ابتدا وضعیت کیفی منابع آب بررسی شود تا براساس منبع ایجاد آلودگی، اقدام به کنترل و حذف آن گردد^۹. جهت تعیین وضعیت کیفی منابع آب از انواع متنوع شاخص‌های کیفیت آب استفاده می‌شود. شاخص کیفی آب معیاری جهت طبقه‌بندی آب سطحی بر مبنای استفاده از پارامترهای استاندارد است. در واقع ابزاری ریاضی بوده که تعداد زیادی از داده‌های مورد استفاده برای توصیف ویژگی‌های آب را به یک عدد تبدیل کرده و سطح کیفی آب را به دست می‌دهد^۳. شاخص کیفی IRWQIsc^۱ شاخص متداول کیفیت آب‌های

سطحی ایران است که توسط هاشمی و همکاران^{۱۰} ارائه شد. این شاخص، تلفیقی از شاخص‌های NSFQI^۲ و BCEQI^۳ می‌باشد که طبق نظرات کارشناسان حفاظت محیط زیست و با توجه به شرایط طبیعی و مسائل منابع آب در ایران طراحی شده و یک شاخص عمومی و کاربردی به منظور بیان کیفیت آب رودخانه در ایران است^{۱۱}. مطالعات زیادی در خصوص بررسی کیفیت آب رودخانه‌های متعدد در ایران و جهان انجام شده است که نشان می‌دهند کیفیت فیزیکی و شیمیایی و اثرات زیست محیطی بر رودخانه‌های مختلف از جمله فاکتورهای مؤثر بر کیفیت آب شرب و مصارف کشاورزی هستند^{۱۲}. نتایج مطالعه صادقی و همکاران^{۱۳} در بررسی وضعیت کیفیت آب رودخانه زرین‌گل استان گلستان نشان داد که کیفیت آب این رودخانه براساس شاخص NSFQI در طبقه متوسط و طبق شاخص IRWQIsc در دو طبقه متوسط و نسبتاً خوب قرار داشت. همچنین ایشان بیان کردند که پارامترهای کل جامدات، کدورت، نیترات، درجه حرارت و کلی فرم مدفوعی از مؤثرترین پارامترها بودند و با توجه به نتایج به دست آمده کیفیت آب رودخانه برای کشاورزی مناسب و برای مصارف شرب نامناسب بود. در تحقیق علی‌زاده و همکاران^{۱۴} روند مکانی شاخص‌های کیفی NSFQI، WQI و IRWQIsc در حوضه رودخانه‌های کن و کرج بررسی شد. طبق نتایج حاصل از این تحقیق رودخانه‌های کن و کرج بر اساس شاخص NSFQI به ترتیب دارای کیفیت بد و متوسط، بر اساس شاخص IRWQIsc به ترتیب دارای کیفیت بسیار بد و نسبتاً خوب و طبق شاخص WQI دارای کیفیت خوب بودند. همچنین نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که کیفیت آب رودخانه‌ها در بالادست حوضه با توجه به وضعیت متوسط NSFQI و خوب IRWQIsc برای شرب و کشاورزی مناسب می‌باشد و با حرکت از بالادست به پایین دست رودخانه‌ها، کیفیت آب کاهش می‌یابد. نتایج مطالعه خلیفه و خوش‌منظر^{۱۵} در بررسی کیفیت آب رودخانه زرينه‌رود در حوضه آبریز دریاچه ارومیه با استفاده از شاخص IRWQIsc نیز نشان داد که هیچ ایستگاهی در هیچ دوره‌ای در دامنه خیلی بد و بسیار خوب قرار

¹ Iran Water Quality Index for Surface Water

² National Sanitation Foundation Water Quality Index

³ British Columbia Water Quality Index

نداشت و تنها در فصل بهار ایستگاه شماره ۱۶ دارای کیفیت آب بد بود. ایشان تأثیر پارامتر EC و بهبود ضرایب مربوط به وزن‌دهی به پارامترهای مرتبط با فاضلاب خانگی در محاسبات آن را از مزایای این شاخص نسبت به شاخص‌های دیگر بیان نمودند.

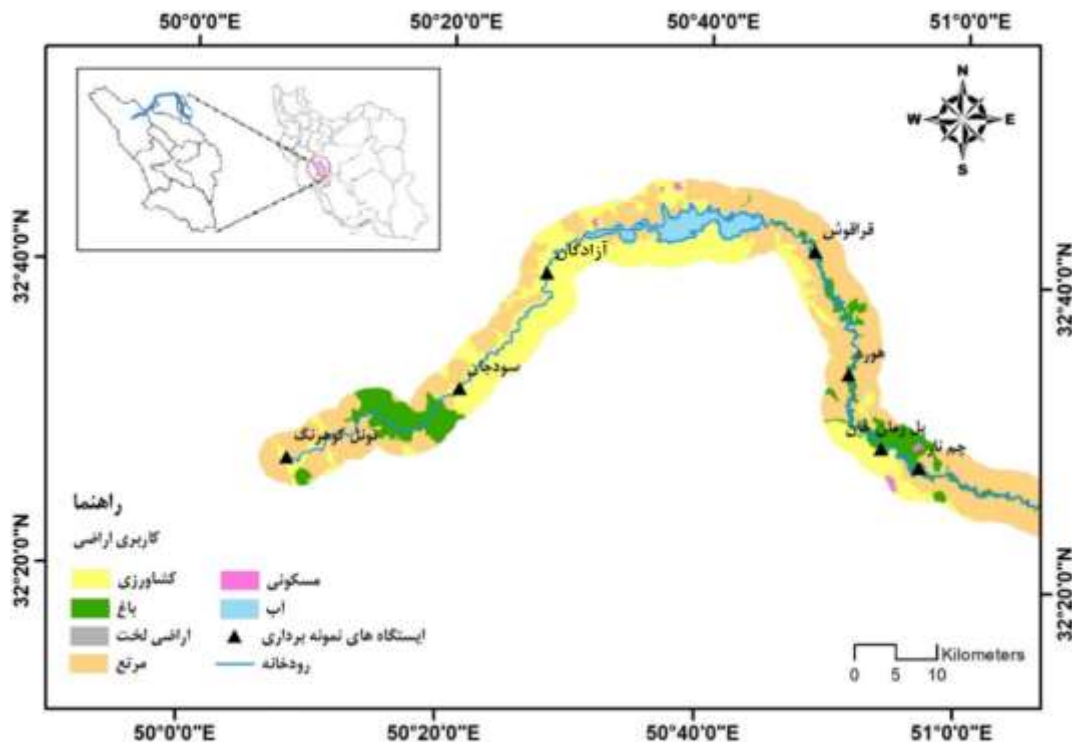
هدف از این تحقیق بررسی تغییرات سالانه کیفیت آب رودخانه زاینده‌رود در دوره دوازده ساله (۱۳۸۳-۱۳۹۴) می‌باشد. این رودخانه از نظر توسعه اجتماعی، اقتصادی و سیاسی از اهمیت بسیاری برخوردار بوده و تنها رودخانه حوضه مرکزی ایران با آب شیرین دائمی می‌باشد. همچنین تأمین آب آشامیدنی، حفظ حیات صنعتی و آب کشاورزی بر اهمیت این رودخانه می‌افزاید.^{۱۶} لذا بررسی کیفیت آب این رودخانه امری ضروری است. تاکنون کیفیت آب رودخانه زاینده‌رود با روش‌ها و شاخص‌های مختلفی ارزیابی گردیده است، ولی در این مطالعه به منظور بررسی کیفیت آب این رودخانه از شاخص کیفیت آب سطحی ایران IRWQI_{SC} استفاده شد. از جمله مزایای این شاخص کاراتر بودن آن به سبب استفاده از پارامتر EC که در طبقه‌بندی‌های کشاورزی آب نیز به کار می‌رود، در نظر گرفتن ضرایب مناسب هر یک از پارامترها در محاسبه شاخص با توجه به شرایط بومی ایران و دقت بالاتر در تمایز نمونه‌های مختلف به دلیل طبقه‌های بیشتر (هفت طبقه) برای کیفیت‌های مختلف آب می‌باشد. کارایی این شاخص در مطالعات متعددی در رودخانه‌ها، تالاب‌ها،

دریاچه‌ها و منابع آب زیرزمینی از ایران ثابت شده است، ولی تاکنون کیفیت آب رودخانه زاینده‌رود در یک دوره طولانی مدت بررسی نشده است، لذا با توجه به اهمیت رودخانه زاینده‌رود در ایران، کیفیت آب این رودخانه با استفاده از شاخص IRWQI_{SC} در یک دوره آماری ۱۲ ساله ۱۳۸۳-۱۳۹۴ بررسی گردید.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

رودخانه زاینده‌رود، یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های جاری در مرکز فلات ایران می‌باشد. حوضه آبریز این رودخانه با وسعت ۳۶ هزار کیلومتر مربع بین ۳۱° ۳۰' تا ۳۳° ۳۲' عرض شمالی و ۳۰° ۴۹' تا ۵۲° ۴۹' طول شرقی قرار دارد.^{۱۷} تأمین آب کشاورزی حوضه زاینده‌رود، تولید برق و تأمین آب مورد نیاز صنایع از اهمیت بسیاری برخوردار بوده و به دلیل همجواری با قطب‌های بزرگ جمعیتی، صنعتی و گردشگری، نقش مهمی در حیات اقتصادی منطقه ایفا می‌کند.^{۱۸} محدوده مورد مطالعه در این تحقیق بخشی از رودخانه زاینده‌رود واقع در استان‌های چهارمحال و بختیاری و اصفهان می‌باشد که تغییرات سالانه کیفیت آب آن در یک دوره دوازده ساله مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۱ نقشه منطقه مورد-مطالعه و موقعیت نقاط نمونه‌برداری شده را نشان می‌دهد.



شکل ۱: نقشه کاربری اراضی و ایستگاه‌های نمونه‌برداری در رودخانه مورد مطالعه

روش نمونه‌برداری

ایستگاه‌های نمونه‌برداری با در نظر گرفتن امکان دسترسی به محل، سهولت دسترسی به بستر رودخانه برای نمونه‌برداری و اختلاط کامل آب رودخانه صورت گرفت^{۱۸}. ایستگاه‌های انتخابی در این مطالعه شامل ایستگاه‌های تونل کوه‌رنگ، سودجان، آزادگان، قراقوش، هوره، چمنار و پل زمان‌خان می‌باشند. مشخصات جغرافیایی این ایستگاه‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. در نهایت وضعیت کیفی آب در ایستگاه‌های مورد مطالعه براساس جدول طبقه‌بندی شاخص IRWQI_{SC} مشخص گردید.

در این مطالعه به منظور شناخت کیفیت شیمیایی آب رودخانه زاینده‌رود از داده‌های برداشت شده توسط اداره کل حفاظت محیط زیست استان چهارمحال و بختیاری طی سال‌های ۱۳۸۳-۱۳۹۴ استفاده شد. پارامترهای کیفی آب مورد مطالعه شامل اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی (BOD_5)، نترات (NO_3^-)، اکسیژن محلول (DO)، دما (T)، اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD)، آمونیوم (NH_4^+)، فسفات (PO_4^{3-})، پتانسیل هیدروژن (pH)، هدایت الکتریکی (EC) و سختی کل (TH) بود. انتخاب

جدول ۱: مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های انتخابی رودخانه زاینده‌رود

شماره	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض
۱	تونل کوه‌رنگ	۴۱۸۴۱۶	۳۵۹۱۴۴۴
۲	سودجان	۱۳۹۱۹۷	۳۶۰۰۳۷۹
۳	آزادگان	۴۴۹۴۲۴	۳۶۱۴۷۱۳
۴	قواقوش	۴۸۱۷۰۷	۴۶۱۷۸۰۰
۵	هوره	۴۸۶۳۳۸	۳۶۰۳۳۷۶
۶	چمنار	۴۹۵۲۰۷	۳۵۹۲۲۹۱
۷	پل زمان‌خان	۴۹۰۵۵۹	۳۵۹۴۴۸۰

شاخص کیفیت منابع آب سطحی ایران

IRWQI_{SC}

به منظور بررسی کیفیت آب سطحی با استفاده از شاخص IRWQI_{SC}، پارامترهای مورد بررسی با روش استاندارد اندازه‌گیری شده و با توجه به منحنی‌های مربوط به هر پارامتر

(۱)

(۲)

$$IRWQI = \left[\prod_{i=1}^n I_i^{W_i} \right]^{\frac{1}{\gamma}}$$

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

درحالی‌که رتبه ۱ بدترین کیفیت را نشان می‌دهد. سپس از میانگین هندسی رتبه پارامترها طبق وزن متعلق به هر پارامتر شاخص IRWQI_{SC} محاسبه می‌شود. یکی از ویژگی‌های این روش عدم محدودیت در استفاده از تمام پارامترهای آن است.

که W_i وزن پارامتر i ام، n تعداد پارامترها و I_i مقدار شاخص برای پارامتر i ام از منحنی رتبه‌بندی هستند^{۱۰}. جهت هم‌مقیاس‌سازی، رتبه شاخص هر پارامتر طبق مقدار کیفی آن بین ۱ تا ۱۰۰ براساس منحنی‌های مربوط به معادله رتبه‌بندی می‌گردند که رتبه ۱۰۰ نشان‌دهنده کیفیت عالی است

جدول ۲: وزن پارامترها در شاخص IRWQI_{SC}^{۱۰}

ردیف	پارامتر	واحد	وزن پارامتر
۱	Do	%	۰/۰۹۷
۲	کلی فرم مدفوعی	MPN/100ml	۰/۱۴
۳	pH		۰/۰۵۱
۴	BOD ₅	mg/l	۰/۱۱۷
۵	NH ₄ ⁺	mg/l	۰/۰۹۰
۶	PO ₄ ³⁻	mg/l	۰/۰۸۷
۷	NO ₃ ⁻	mg/l	۰/۱۰۸
۸	کدورت	NTU	۰/۰۶۲
۹	COD	mg/l	۰/۰۹۳
۱۰	TH	mg/l CaCO ₃	۰/۰۵۹
۱۱	EC	μs/cm	۰/۰۹۶

جدول ۳: تفسیر آلودگی براساس مقدار عددی شاخص IRWQI_{SC}^{۱۰}

تفسیر	مقدار عددی شاخص
خیلی بد	< 15
بد	$15 - 29/9$
نسبتاً بد	$30 - 44/9$
متوسط	$45 - 55$
نسبتاً خوب	$55/1 - 70$
خوب	$70/1 - 85$
بسیار خوب	> 85

یافته‌ها

میانگین پارامترهای اندازه‌گیری شده کیفیت آب رودخانه زاینده‌رود در موقعیت‌های مکانی (ایستگاه‌های نمونه‌برداری) و تناوب‌های زمانی (مراحل مختلف نمونه‌برداری) طی دوره دوازده ساله (۱۳۸۳-۱۳۹۴) در جدول ۴ ارائه شده است. بیشترین و کمترین مقدار BOD_5 به ترتیب مربوط به ایستگاه سودجان ($4/22$ میلی‌گرم بر لیتر) و ایستگاه تونل کوه‌رنگ ($2/71$ میلی‌گرم بر لیتر) بود. مقدار COD بیشتر از 20 میلی‌گرم بر لیتر نیز نشان‌دهنده آلودگی رودخانه است. با توجه به استاندارد زیست محیطی ایران، میزان حداکثر COD موجود در آب‌های سطحی 60 میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد^{۱۹}. در مطالعه حاضر مقدار COD اندازه‌گیری شده در همه ایستگاه‌ها کمتر از 20 میلی‌گرم بر لیتر بود که نشان‌دهنده عدم وجود آلودگی در رودخانه زاینده‌رود بود.

مقادیر بالای کل مواد جامد و فسفات ناشی از مصرف کودهای فسفات در زمین‌های کشاورزی اطراف رودخانه و ورود آن‌ها به رودخانه سبب کاهش اکسیژن محلول می‌گردد. همه رودخانه‌ها ظرفیت مشخصی از خودپالایی را دارند. میزان اکسیژن محلول، تا زمانی که تخلیه مواد اکسیژن‌خواه در محدوده ظرفیت تصفیه خودپالایی باشد، بالا می‌ماند. چنان‌چه مقدار فاضلاب تخلیه شده به رودخانه افزایش یابد، ممکن است از ظرفیت خودپالایی تجاوز نموده و سبب تغییرات زیان‌آوری در

زندگی گیاهان و حیوانات شود^{۲۰}. براساس استاندارد کیفی آب رودخانه‌های کشور میزان اکسیژن محلول آب رودخانه‌ها باید بیشتر از 5 میلی‌گرم بر لیتر باشد^{۲۱}. طبق نتایج ارائه شده در جدول ۴ میزان DO در تمام ایستگاه‌ها در حد استاندارد بیشتر از 5 میلی‌گرم بر لیتر بود. در مورد EC و pH نیز نتایج این مطالعه نشان داد که در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه مقدار EC کمتر از حد استاندارد اتحادیه اروپا یعنی 500 میلی‌گرم بر لیتر بوده^{۲۲} و مقدار pH در محدوده استاندارد $6/5-9/5$ قرار داشتند^{۲۱}. مقایسه مقدار هدایت الکتریکی در ایستگاه‌ها نشان داد که از بالادست به سمت پایین‌دست رودخانه هدایت الکتریکی افزایش یافته است و به‌طور کلی غلظت یون‌ها در ایستگاه اول (تونل کوه‌رنگ) به مراتب کمتر از بقیه ایستگاه‌ها بود که با نتایج مطالعه خبری و همکاران^{۲۳} مطابقت دارد. همچنین طبق نتایج به‌دست آمده بیشترین میزان نیترات ($9/4$ میلی‌گرم بر لیتر) در ایستگاه آزادگان بود که از سطح مجاز نیترات در کاربری-های مختلف منابع آب طبق استانداردهای جهانی و ایران ۹- $6/5$ میلی‌گرم بر لیتر^{۲۲} به مقدار جزئی بیشتر بود. در مورد میزان آمونیوم و فسفات نیز ایستگاه قراقوش بیشترین میزان آمونیوم ($0/31$ میلی‌گرم بر لیتر) و ایستگاه تونل کوه‌رنگ و آزادگان بیشترین مقدار فسفات ($0/39$ میلی‌گرم بر لیتر) را داشتند. بررسی مقادیر دما و سختی کل آب در ۷ ایستگاه مورد مطالعه

در این تحقیق نیز نشان داد که کمترین میزان دما مربوط به ایستگاه پل زمان‌خان (۲۰/۸۳ درجه سانتی‌گراد) بود و مقدار سختی کل در این ۷ ایستگاه در مقایسه با استانداردهای ایران و جهان مناسب و کمتر از حد مجاز استاندارد در ایران (۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بود و محدودیتی را برای استفاده در مصارف مختلف ایجاد نمی‌کند.

جدول ۴: میانگین پارامترهای کیفی اندازه‌گیری شده طی دوره دوازده ساله مورد مطالعه

ایستگاه	BOD ₅	COD	DO	EC (mg/l)	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	NH ₄ ⁺	TH	T (°C)	pH
تونل کوه‌رنگ	۲/۷۱	۱۰/۱۱	۷/۱۷	۲۸۸/۱۲	۶/۵۶	۰/۳۹	۰/۱۶	۱۶۹/۷۵	۲۱/۱۵	۷/۷
سودجان	۴/۲۲	۱۵/۶۶	۷/۰۲	۳۳۳/۹۸	۶/۶۵	۰/۲۴	۰/۲۶	۱۸۲/۱۳	۲۱/۲۸	۷/۷۹
آزادگان	۴	۱۵/۲۷	۶/۶۵	۳۲۰/۱۸	۹/۴	۰/۳۹	۰/۲۶	۱۹۹/۵۶	۲۱/۱۳	۷/۷۲
قراقوش	۳/۳۳	۱۵/۲۲	۶/۶۵	۳۱۷/۶۹	۵/۰۲	۰/۲۳	۰/۳۱	۱۸۹/۵	۲۰/۹۶	۷/۶۶
هوره	۳/۲۹	۱۴/۹۳	۶/۵۱	۳۳۸/۸۱	۶/۶	۰/۳۴	۰/۲۷	۱۹۶/۱۸	۲۰/۸۶	۷/۷۳
پل زمان‌خان	۳/۵۵	۱۶/۲	۶/۲۳	۳۳۰/۷۴	۵/۲۷	۰/۲۴	۰/۱۸	۲۱۱/۸۷	۲۰/۸۳	۷/۵۷
چمن‌نار	۳/۹۸	۱۴/۷۸	۶/۶	۳۴۹/۵۴	۵/۲۵	۰/۱۶	۰/۲۱	۲۱۸/۸۷	۲۱/۷	۷/۶۸

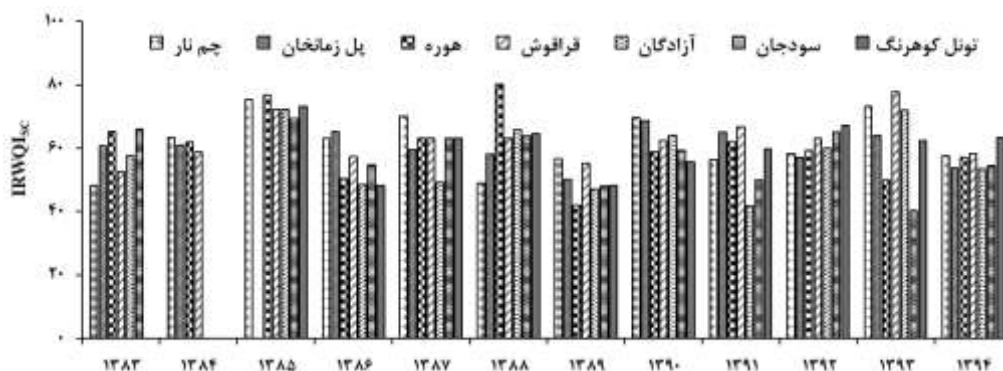
نتایج مربوط به شاخص کیفیت آب

در بررسی وضعیت کیفیت آب با استفاده از شاخص IRWQI_{SC} مقادیر بیشتر این شاخص، بالاتر بودن کیفیت آب را نشان می‌دهد. شکل ۲ مقادیر شاخص IRWQI_{SC} را در ایستگاه‌های انتخابی در سال‌های ۱۳۸۳-۱۳۹۴ نشان می‌دهد. طبق نتایج به دست آمده به طور متوسط بهترین کیفیت آب در سال ۱۳۸۵ بوده که کیفیت آب در ایستگاه‌های هوره، چمن‌نار، تونل کوه‌رنگ، قراقوش و آزادگان در طبقه خوب و ایستگاه سودجان در طبقه نسبتاً خوب قرار داشتند. به طور کلی نیز در بیشتر سال‌ها کیفیت آب طبق مقادیر شاخص IRWQI_{SC} در همه ایستگاه‌ها در طبقه نسبتاً خوب بوده است. با این حال کیفیت آب نسبتاً بد نیز در برخی ایستگاه‌ها مشاهده شد که شامل ایستگاه سودجان با مقدار شاخص IRWQI_{SC} برابر ۴۰/۳ در سال ۱۳۹۳، ایستگاه آزادگان با مقدار ۴۱/۷ در سال ۱۳۹۱ و ایستگاه هوره با مقدار ۴۲ در سال ۱۳۸۹ بود. به منظور بررسی روند تغییرات زمانی کیفیت آب در این ایستگاه‌ها نیز

معادله خط روند متوسط آن‌ها در جدول ۵ ارائه شده است. طبق این جدول ایستگاه‌های قراقوش و سودجان با شیب نسبتاً بیشتری نسبت به سایر ایستگاه‌ها به ترتیب افزایش و کاهش کیفیت آب را طی سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۴ نشان دادند. به طور کلی بر اساس میانگین دوازده ساله شاخص IRWQI_{SC} در ایستگاه‌های مورد مطالعه که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، کیفیت آب در تمام ایستگاه‌ها نسبتاً خوب و در ایستگاه آزادگان متوسط بود. به این ترتیب ایستگاه قراقوش با مقدار شاخص ۶۰/۲ بالاترین کیفیت آب و ایستگاه آزادگان با مقدار شاخص ۵۰/۱ کیفیت آب متوسط را در منطقه مورد مطالعه داشتند. طبق نقشه کاربری اراضی مناطق اطراف ایستگاه‌ها بیشترین مساحت از اراضی کشاورزی در اطراف ایستگاه آزادگان که دارای کیفیت آب پایین‌تری است مشاهده می‌شود. در اطراف ایستگاه قراقوش نیز که دارای بهترین کیفیت آب بوده مراع قرار داشتند. با این حال در اطراف برخی ایستگاه‌های دیگر نیز مانند پل زمان‌خان، سودجان و تونل کوه‌رنگ اراضی کشاورزی دیده می‌شود. همچنین با بررسی مقادیر پارامترهای کیفی آب در ایستگاه‌ها در

کشاورزی و صنایع ذکر نمودند. با این حال اثر کاربری اراضی را نمی‌توان نادیده گرفت چرا که در مطالعات متعددی به اثر این عامل بر کیفیت منابع آب اشاره شده است. در مطالعه علی-زاده و همکاران^{۱۴} یکی از دلایل بدتر بودن کیفیت آب، بالا بودن مقدار نیترات بیان شده است که نیترات تحت تأثیر کاربری اراضی اطراف رودخانه می‌باشد. در تحقیق خسروی و همکاران^{۲۴} نیز فعالیت‌های کشاورزی به عنوان مهم‌ترین عامل آلودگی به نیترات آب‌های زیرزمینی حاشیه زاینده‌رود تشخیص داده شد. مطالعه‌ای در ژاپن نیز در مورد تغییرات کیفی آب رودخانه‌ها نشان داد که نحوه استفاده از زمین‌های اطراف رودخانه‌ها بر نوع و مقدار آلودگی و تغییرات آن اثر قابل‌توجهی داشته است^{۲۵}. همچنین در مطالعه میرزایی و همکاران^{۲۶} نیترات و اکسیژن محلول به عنوان پارامترهایی که بیشترین میزان تأثیر را بر کیفیت آب دارند معرفی شدند.

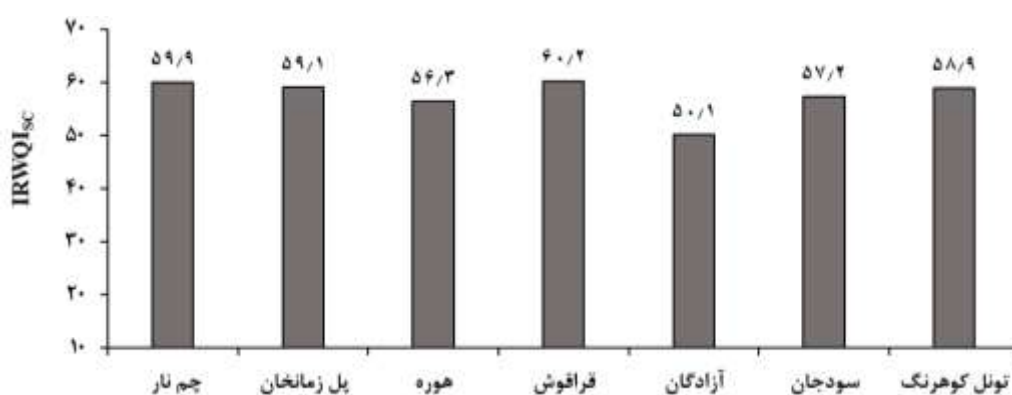
جدول ۴ مقادیر بالای نیترات، فسفات، آمونیوم و سایر پارامترها مختص به یک ایستگاه نیست لذا علت بالاتر یا پایین‌تر بودن کیفیت آب در هر ایستگاه نسبت به سایر ایستگاه‌ها متفاوت است. بنابراین به جز اثر کاربری اراضی عوامل دیگری در کیفیت آب مؤثر هستند از قبیل نوع کودهای مورد استفاده در اراضی کشاورزی، نزدیکی ایستگاه به صنایع آب و مکان‌های دفن زباله و ... که باید در این زمینه تحقیقات بیشتری صورت گیرد. در مطالعه خسروی و همکاران^{۲۴} نیز در ایستگاه پل چوم با این که مساحت کشاورزی اطراف آن کمتر از ایستگاه‌های موسیان، لنجان و زیار بود اما سختی و هدایت الکتریکی در این ایستگاه بیشتر از لنجان و زیار بود. ایشان دلیل این امر را تمرکز صنایع مهم بین ایستگاه‌های پل کله تا پل چوم بیان کردند، به‌طوری‌که ایستگاه پل چوم دقیقاً بعد از تصفیه‌خانه جنوب قرار داشت. لذا افزایش غلظت در این ایستگاه را ناشی از اثر تجمعی آلاینده‌های



شکل ۲: مقادیر شاخص IRWQIsc در ایستگاه‌های انتخابی رودخانه زاینده‌رود در سال‌های ۱۳۸۳-۱۳۹۴

جدول ۵: معادله خط روند متوسط شاخص IRWQIsc در سال‌های ۱۳۸۳-۱۳۹۴

ایستگاه	معادله خط روند
چم نار	$y = 0.16x - 162.56$
پل زمان‌خان	$y = -0.21x + 347.23$
هوره	$y = -1.11x + 1595.16$
قراقوش	$y = 0.71x - 928.33$
آزادگان	$y = -0.02x + 91.58$
سودجان	$y = -1.51x + 2152.77$
تونل کوه‌رنگ	$y = 0.13x - 124.67$



شکل ۳: مقادیر میانگین دوازده ساله شاخص IRWQI_{SC} در ایستگاه‌های انتخابی رودخانه زاینده‌رود

بحث

بررسی کیفیت آب‌ها برای شرب، آبیاری و مصارف دیگر، همواره از اصلی‌ترین هدف مدیران آب بوده است. در طبیعت کیفیت آب رودخانه‌ها در درجه اول تابع سازندهای زمین‌شناسی حوزه آبخیز و مسیر جریان آب آن و در درجه دوم متأثر از رژیم آبدهی رودخانه و میزان تأثیر آب‌های زیرزمینی در تأمین آب رودخانه است. نحوه استفاده از این آب‌ها و کیفیت و کمیت آب برگشتی به رودخانه از طریق زهکش‌های طبیعی یا مصنوعی نیز از عوامل مهم در تعیین کیفیت آب رودخانه است. بررسی عوامل مختلف شاخص‌های کیفیت آب نشان می‌دهد که وضعیت موجود تا چه اندازه با توجه به استانداردهای ملی و بین‌المللی محیط زیست بحرانی

است^{۲۷}. رودخانه زاینده‌رود به دلیل عوامل توسعه شامل کشاورزی، شهری و روستایی می‌تواند دست‌خوش آن‌چنان تغییری شود که امکان استفاده از آب برای مصارف گوناگون به‌ویژه آشامیدن غیرممکن سازد. ورود پساب‌های صنعتی، شهری، روستایی و زه‌آب‌های کشاورزی، تغییر کاربری اراضی، عدم مدیریت صحیح عوامل آلاینده، در پاره‌ای از موارد از جمله عواملی است که سبب شده وضع کیفی رودخانه در طبقه نامطلوب قرار گیرد^{۲۸}. نتایج این مطالعه نشان داد که میزان غلظت نترات در ایستگاه آزادگان نسبت به سایر ایستگاه‌ها بیشتر بود. با توجه به نوع فعالیت‌های انسانی در اطراف رودخانه به نظر می‌رسد ورود پساب‌های کشاورزی مزارع اطراف در ناحیه بالادست یکی از منابع تأمین‌کننده نترات در این ایستگاه بوده است (نقشه کاربری اراضی در شکل ۱). در

مطالعه رادفر و علیپور نصیرمجله^{۲۹} در برر سی منشاء آلاینده نیترات رودخانه تجن در محدوده سد شهید رجایی تا مصب دریا نیز دلیل بیشتر بودن غلظت نیترات در یکی از ایستگاه‌های مورد مطالعه، کاربری اراضی متفاوت در محدوده هر یک از ایستگاه‌ها ذکر شد.

همچنین ایستگاه‌های تونل کوهرنگ و آزادگان دارای بیشترین مقدار فسفات بودند. غلظت ترکیبات فسفر کل در اکثر آب‌های طبیعی آلوده نشده کمتر از ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر است. بزرگترین منابع فسفات به‌عنوان آلاینده، شوینده‌ها و کودهای شیمیایی است. فاضلاب‌های خانگی و آب‌های جاری از کشت‌زارهایی که کود شیمیایی فسفات آن‌ها استفاده می‌شوند، مقادیر زیادی فسفات وارد آب‌های طبیعی می‌کنند.^{۳۰} میرزایی و همکاران^{۳۱} نیز در مطالعه خود در بررسی نقش کاربری اراضی در کیفیت آب رودخانه زاینده‌رود، میزان بالای نیترات و فسفات را در برخی ایستگاه‌های مورد مطالعه به کاربری کشاورزی در این ایستگاه‌ها و مصرف بالای سموم آفت‌کش نسبت دادند. در مطالعه دیگر میرزایی و همکاران^{۳۲} در ارزیابی کیفیت آب رودخانه زاینده‌رود، ایشان مهم‌ترین عامل ایجاد آلودگی در رودخانه زاینده‌رود را مراکز جمعیتی، توسعه سریع شهری، ورود فاضلاب صنعتی، استفاده بی‌رویه از کود و سموم در فعالیت‌های کشاورزی بیان کردند. بنابراین کنترل پساب‌های صنعتی، مسکونی، کشاورزی و عدم تزریق آن به بستر رودخانه توصیه می‌شود. با اعمال ضوابط کنترل آلودگی و به‌کاربردن شیوه‌های حفاظت از منابع آب و بازیابی آب‌های آلوده می‌توان به مشکل کمبود آب و آلودگی آن فایده‌آمده^{۳۳}. نتایج حاصل از این تحقیق را می‌توان از جهات مختلف بررسی نمود. نتایج بررسی شاخص IRWQISC در هفت ایستگاه و دوازده سال مورد مطالعه نشان داد که کیفیت آب نسبتاً خوب بوده است. همچنین بالاترین کیفیت آب از نظر مقدار این شاخص در ایستگاه هوره با مقدار ۸۰/۲ و در سال ۱۳۸۸ بود. از نظر بررسی میانگین کیفیت آب در هر ایستگاه در دوره دوازده ساله

نتایج نشان‌دهنده بالاترین کیفیت آب در ایستگاه قراقوش و پایین‌ترین کیفیت آب در ایستگاه آزادگان (کیفیت متوسط از نظر شاخص IRWQISC) بود. همان‌طور که گفته شد در این ایستگاه مقادیر نیترات و فسفات در مقایسه با سایر ایستگاه‌ها بیشتر بود. لذا دلیل کیفیت پایین‌تر این ایستگاه را می‌توان بالا بودن مقادیر نیترات و فسفات نسبت به ایستگاه‌های دیگر ذکر نمود. در مطالعه دلبری و همکاران نیز در ارزیابی کیفیت آب رودخانه تجن، دلیل قرارگیری کیفیت آب در طبقه متوسط را مقدار نسبتاً بالای مواد مغذی به‌ویژه نیترات و FC ذکر کردند که از زه‌آب‌های کشاورزی، فعالیت‌های تفریحی، پرورش ماهی و دام‌داری در بالادست ایستگاه پایش منشأ گرفته‌اند. علاوه‌براین نتایج از نظر بررسی متوسط کیفیت آب در سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۴ نشان داد که سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۸۹ به‌ترتیب بالاترین و پایین‌ترین کیفیت آب را در طول دوره مورد مطالعه داشتند. همچنین طبق نتایج به‌دست آمده در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه علاوه بر بسترهای متفاوت آن‌ها خود پالایی صورت می‌گیرد و آلودگی کاهش می‌یابد. این نتایج با تحقیق عابدی کوپایی و همکاران^{۳۴} در بررسی توان خودپالایی رودخانه زاینده‌رود هم‌خوانی دارد.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه تغییرات سالانه کیفیت آب رودخانه زاینده‌رود که یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های جاری در مرکز فلات ایران است، با استفاده از این شاخص IRWQISC مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور میانگین دوازده ساله این شاخص در ایستگاه‌های قراقوش، چمنار، پل زمان‌خان، تونل کوهرنگ، سودجان، هوره و آزادگان محاسبه شد. نتایج نشان داد که کیفیت آب در ایستگاه آزادگان متوسط و در سایر ایستگاه‌های مورد مطالعه نسبتاً خوب بود. با توجه به این‌که در طول مسیر رودخانه زاینده‌رود آلاینده‌های بسیاری قرار دارند

(رواناب‌های شهری و پساب تصفیه‌خانه فاضلاب‌ها) به‌منظور حفاظت و جلوگیری از کاهش کیفیت آب این رودخانه، لازم است منابع آلاینده‌های ورودی به این رودخانه شناسایی گردند و برنامه‌ریزی‌های لازم مانند کشاورزی بدون استفاده از سموم و کودهای شیمیایی از ته و فسفات‌ها برای جلوگیری از آلودگی رودخانه به مواد مغذی و جلوگیری از تغذیه‌گرایی رودخانه و استفاده از روش‌های مبارزه بیولوژیکی و طبیعی جهت حفظ کیفیت آب صورت گیرند. همچنین پیشنهاد می‌شود مطالعاتی در زمینه شناسایی منابع آلاینده اطراف رودخانه، کاربری‌های اراضی، کودهای شیمیایی مورد استفاده در زمین‌های کشاورزی،

کارخانه‌ها، مرغ‌داری‌ها، دام‌داری‌ها و هر گونه منبع آلودگی اطراف رودخانه انجام شود تا برنامه‌ریزی‌های لازم جهت جلوگیری از ورود آلودگی‌های حاصل از این منابع آلاینده صورت گیرد. با توجه به اهمیت حفاظت رودخانه زاینده‌رود، ایجاد سیستم تصفیه مناسب برای خروجی پساب صنایع اطراف رودخانه و استفاده از کودهای ارگانیک به جای کودهای شیمیایی می‌توانند راهکارهای مناسبی باشند.

References

1. Nayyeri H, Zandi S. Water quality status of Tarwal river in Kurdistan province using IRWQIsc index and quality zoning based on IDW interpolation model. *Buletin Teknologi Tanaman* 2015;12:242-248 [In Persian].
2. Baird C. *Environmental Chemistry*. 3th ed. Tehran: University Publication Center. 2010 [In Persian].
3. Shokoohi A, Modaberi H. Evaluating and Comparing the Sensitivity of NSFQI and IRWQISC Models to Water Quality Parameters. *Iran-Water Resources Research* 2019;14(5):109-124 [In Persian].
4. Farzadkia M, Poureshgh Y, Joneidijafari A, et al. Water quality of Aghlaghan River based on NSFQI index and zoning it by Geographic Information System (GIS). *Journal of Occupational and Environmental Health* 2016;1(1):68-78. [In Persian]
5. Gholizadeh M, Heydari O. Evaluation of Gorganrood river water quality based on surface water quality indicators in Gonbad Kavous. *Iranian Journal of Health and Environment* 2020;13(1):33-48 [In Persian].
6. Effendi H. River water quality preliminary rapid assessment using pollution index. *Procedia Environmental Sciences* 2016;33:562-567.
7. Yusefzadeh A, Khorramabadi Shams G, Godini H, et al. The assessment of Khorramabad river water quality with national sanitation foundation water quality index and zoning by GIS. *Yafte* 2014;15(5):82-92 [In Persian].
8. Wang Q, Wu X, Zhao B, et al. Combined multivariate statistical techniques, Water Pollution Index (WPI) and Daniel trend test methods to evaluate temporal and spatial variations and trends of water quality at Shanchong River in the Northwest Basin of Lake Fuxian, China. *Plos One* 2015;10(4):1-17.
9. Moghadam Yekta N, Jozi SA, Karimi A. Study of quality and pollution of Urmia Gadarchay catchment, using water quality index and WRASTIC vulnerability model. *Journal of Environmental Science and Technology* 2020;22(2):79-91 [In Persian].
10. Hashemi H. *Guide to calculating water quality index in Iran*. Department of Environmental Engineering- Environmental Pollutants. Shahid Beheshti University. Institute of Environmental Sciences. 2011 [In Persian]
11. Samadi J. Survey of Spatial-Temporal Impact of Quantitative and Qualitative of Land Use Wastewaters on Choghakhor Wetland Pollution Using IRWQI Index and Statistical Methods. *Iranian Water Resources Research* 2016;11(3):159-171 [In Persian].
12. Samantray P, Mishra BK, Panda CR, et al. Assessment of water quality index in Mahanadi and Atharabanki Rivers and Taldanda Canal in Paradip Area, India. *Journal of Human Ecology* 2009;26(3):153-161.
13. Sadeghi M, Bay A, Bay N, et al. 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 [In Persian].
14. Alizadeh M, Mirzaei R, Syed Kia H. Determining the spatial trend of water quality indices across Kan and Karaj river basins. *Journal of Environmental Health Engineering* 2017;4(3):243-256 [In Persian].
15. Khalifeh S, Khoshnazar A. Evaluation of water quality in Zarrinehrood river using the standard quality index of Iran's surface water resources. *Journal of Water and Wastewater Science and Engineering* 2018;3(1):22-34 [In Persian].
16. Hajian Nejad M, Rahsepar AR. Effect of Isfahan Ccity and its wastewater treatment plant effluent on some parameters of the water quality of Zayandeh Rood river. *Journal of Health System Research* 2011;6(4):821-828 [In Persian].
17. Ebrahimi Dastgerdi H, Ebrahimi E, Fakheran S. Impacts of Zayandehrood Dam on the Macro-benthic Invertebrate and Water Quality of Zayandehrood River using BMWP and ASPT Biological Indices. *Iranian Journal of Applied Ecology* 2017;6(2):55-67 [In Persian].
18. Hatami R, Mahboobi soofiani N, Ebrahimi A, Hemami MR. Evaluating the aquaculture effluent impact on macroinvertebrate community and water quality using BMWP index. *Journal of Environmental Studies* 2012;37(59):43-54 [In Persian].
19. Chapman D.V. editor. *Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring*. CRC Press. 1996.
20. Khodam Mohammadi MM, Boustani F. Evaluation of Self-Purification Potency and the Role of Dissolved Oxygen in the Kor River Water Quality (Case study: Downstream of Doroodzan Dam to Tashk-Bakhtegan Lake). *Water Resources Engineering* 2016;9(30):87-96 [In Persian].
21. Boyd CE, Gautier D. Effluent composition and water quality standards. *Advocate* 2000;3:61-66.
22. WHO. *World Health Organization, Guidelines for drinking-water quality, Third edition*, World Health Organization (WHO) Geneva. 2004.
23. Khebri Z, Nejadkoorki F, Sodaie Zadeh H. The relationship between land use vector parameters and river water quality using GIS (Case study: Zayandehrood river). *RS & GIS for Natural Resources* 2015;6(1):79-89 [In Persian].
24. Khosravi Dehkordi A, Afyunim M, Mousavi F. Nitrate Concentration in Groundwater in the Zayanderoud River Basin. *Journal of Environmental Studies* 2006;32(39):33-40 [In Persian].
25. Teraoka H, Ogawa M. Behavior of elements in the Takahashi, Japan River basin. *American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America* 1984;13(3):453-459.

26. Mirzaei R, Abbasi N, Sakizadeh M. Water quality assessment of rivers in Bushehr Province by using water quality index during 2011-2013 years. *Iranian South Medical Journal* 2017;20(5):470-480 [In Persian].
27. Blocksom KA, Kurtenbach JP, Klemm DJ. Development and evaluation of the lake macroinvertebrate integrity index (LMII) for New Jersey lakes and reservoirs. *Environmental Monitoring and Assessment* 2002;77(3):311-333.
28. Movahedi Nasab M. Trophic status of Zayandeh-rood dam water (Isfahan) in two seasons, spring and summer. MSc Thesis. Isfahan University of Technology. 2012 [In Persian].
29. Radafr M, Alipour nasimahaleh F. Investigating the source of Nitrate pollutant in Tajn River from Shahid Rajaei Dam to the mouth of the river to the sea using Load Duration Curves. *Water and Soil Science* 2023; doi:10.22034/ws.2023.54777.2510 [In Persian].
30. American Water Works Association. Water treatment plant design. Second edition, New York: McGraw-Hill. 199.
31. Mirzai M, Solgi E, Salmanmahiny A. Role of land use in quality of water in Zayanderood River. *Water Resources Engineering* 2018;11(38):61-70 [In Persian].
32. Mirzaei M, Solgi E, Salman-Mahiny A. Evaluation of surface water quality by NSFQI index and pollution risk assessment, using WRASTIC index in 2015. *Archives of Hygiene Sciences* 2016;5(4):264-277.
33. Mirzai M, Nazari A, Yari A. The quality classification of Jajrood River's area. *Journal of Environmental Studies* 2005;31(37):17-26 [In Persian].
34. Abedi-Koupai J, Nasri Z, Talebi KH, et al. Investigation of Zayandehrud water pollution by diazinon and its assimilative capacity. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources* 2011;15(56):1-20 [In Persian].

Evaluation of Water Quality Changes in Zayandehroud River Using IRWQI_{sc} Quality Index

Rasool Zamani-Ahmadmahoody^{1*}, Sahar Aminian² and Samira Bayati³, Atefeh Chamani⁴

1.Department of Environmental Engineering, Natural Resources and Geosciences Faculty, Shahrekord University, Iran.

2.Department of Fisheries, Natural Resources and Geosciences Faculty, Shahrekord University, Iran.

3.Department of Natural Engineering, Natural Resources and Geosciences Faculty, Shahrekord University, Iran.

4.Environmental sciences and Engineering Department, Waste and Wastewater Research Center, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

Email: rasoolzamani@yahoo.com

Received: 20 September 2023 , Accepted: 17 October 2023

ABSTRACT

Background: The examination of the quality of surface water, which is crucial for water supply, has attracted the interest of numerous researchers for a long time. Various indicators are employed to evaluate the quality of water in rivers, and among these indices is the Iran Surface Water Quality Index (IRWQI_{sc}).

Methods: In this study, water quality changes of Zayandehroud River located in Chaharmahal va Bakhtiari and Isfahan provinces were evaluated using IRWQI_{sc} yearly. Physicochemical parameters including BOD₅, COD, DO, pH, EC, nitrate, phosphate, ammonium, temperature and total hardness were used to calculate the IRWQI_{sc} index in 7 selected stations for 12 years (2004-2015).

Results: Comparison electrical (EC) values in the stations showed that, EC increased from the upstream to the downstream of Zayandehroud River, and the concentration of parameters in the first station (Kouhrang tunnel) was much lower than the other stations in most years. The results of IRWQI_{sc} index showed that values were relatively good in all stations. The best and lowest water quality according to this index were good and moderate in 2006 and 2010 with the values of 73.2 and 49.6, respectively.

Conclusion: Overall, based on the twelve-year average of IRWQI_{sc} index, in the selected stations water quality was moderately good in Gharaghush, Cham-nar, Zamankhan Bridge, Kouhrang tunnel, Sudegan and Horeh stations, and was medium in Azadegan station. Identification of pollution sources and controlling inputted pollutants is necessary to protect and prevent the water quality decreasing of the Zayandehroud River.

Keywords: Surface water, Quality index, Zayandehroud, IRWQI_{sc}