

ارزیابی کیفی آب‌های سطحی با استفاده از شاخص‌های (NSFWQI) و (IRWQIsc) در رودخانه کشکان لرستان

نرگس قلاوند^۱، آرتیمس قاسمی دهنوی^{۲*}، زینب احمدنژاد^۳

۱- کارشناسی‌ارشد زیست‌محیطی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، لرستان، ایران.

۲- استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، لرستان، ایران.

۳- دکتری هیدروژئولوژی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، لرستان، ایران.

* نویسنده مسئول Ghasemi.a@lu.ac.ir

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۴/۰۵/۰۱

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۷/۰۸

چکیده

رودخانه‌ها در صورت رها شدن پساب‌های شهری، صنعتی و زه‌آب‌های کشاورزی از جمله آسیب‌پذیرترین منابع آبی می‌توانند باشند. یکی از روش‌های بررسی کیفیت آب‌های سطحی، استفاده از شاخص‌های کیفی و آلودگی، به‌صورت یک عدد منفرد و بدون بعد است و هر عدد تفسیر مشخصه‌هایی از کیفیت آب می‌باشد. حوضه آبریز رودخانه کشکان در استان لرستان، سرچشمه اصلی رودخانه کرخه است. در این تحقیق برای بررسی آلودگی رودخانه کشکان از نظر کیفی در سه نوبت (فصول تر و فصل خشک) نمونه‌برداری انجام گرفت. پارامترهای فیزیکی شامل کلی‌فرم مدفوعی (توتال و فکال) و شیمیایی شامل (BOD, EC, pH, P, NO₃, PO₄, COD, NTU) در آزمایشگاه مورد آزمایش قرار گرفتند. نتایج توسط شاخص‌های IRWQI, NSFWQI و روش‌های آماری بررسی شدند. نتایج شاخص NSF نشان داد در سه دوره نمونه‌برداری غالب ایستگاه‌ها در رده متوسط (با عدد بین ۵۰-۷۰) قرار دارد. همچنین نتایج شاخص IRWQI نشانگر این است که ایستگاه‌های نمونه‌برداری در بازه نسبتاً خوب تا نسبتاً بد (با عدد بین ۳۰ تا ۷۰) قرار گرفته و اغلب در وضعیت خوب و متوسط قرار دارند. نتایج بیانگر این است که آب رودخانه کشکان برای کشاورزی مناسب بوده و در برخی ایستگاه‌ها از نظر میزان فسفات در شرایط نامناسب قرار دارد. فاکتورهای تعیین شده توسط تحلیل عاملی نشان‌دهنده وجود آلودگی با منشأ زمین‌زاد و انسان‌زاد در منطقه بوده که لازم است تدابیر کافی به‌منظور کنترل بهتر کیفیت آب رودخانه صورت پذیرد.

کلیدواژه: آب‌های سطحی، آلودگی، شاخص، کشکان.

مقدمه

از «استانداردها و شاخص‌های کیفی آب‌های سطحی» یکی از پرکاربردترین و ساده‌ترین روش‌ها است (اسداله فردی و همکاران، ۲۰۰۴؛ کلانتری، ۱۴۰۳). بهره‌گیری از شاخص‌های کیفی آب یکی از ابزارهای مهم برای تصمیم‌گیری در مدیریت منابع آب می‌باشد (حسین‌زاده و همکاران، ۲۰۱۳). با استفاده از شاخص‌های کیفی حجم زیاد اطلاعات نمونه‌برداری شده، از اندازه‌گیری‌های کیفی آب به‌صورت یک عدد منفرد و بدون بعد تبدیل می‌شود که این عدد در یک مقیاس درجه‌بندی شده، دارای مفهوم و تعریف کیفی تفسیر شده‌ای است (جعفری سلیم، ۲۰۱۰). درمورد شاخص‌های کیفی مطالعاتی در سایر

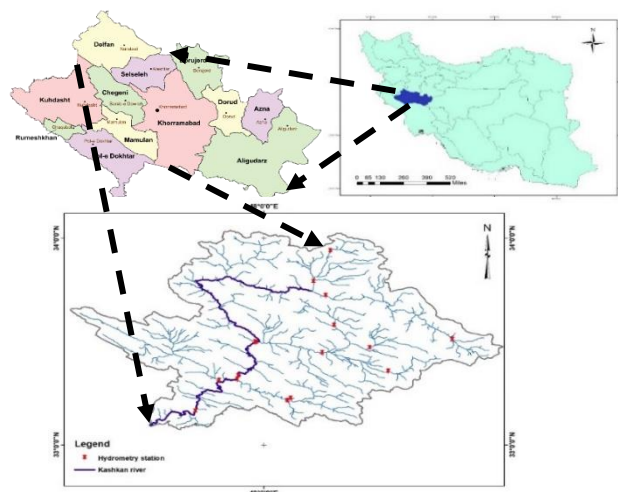
رودخانه‌ها به‌عنوان اصلی‌ترین منابع تأمین‌کننده آب برای انسان و سایر موجودات به‌شمار می‌روند (جعفری و همکاران، ۲۰۱۰) و همچنین مهم‌ترین منابع حیاتی تأمین آب دریاها، دریاچه‌ها و در اکثر موارد اصلی‌ترین شریان‌های انتقال و توزیع آب بخش‌های صنعت، کشاورزی و شهری محسوب می‌شوند (رفیعی و همکاران، ۲۰۲۰). روش‌های مختلفی برای تحلیل اطلاعات کیفی آب‌های سطحی و پهنه‌بندی کیفی آن‌ها در سطح دنیا مورد مطالعه قرار گرفته است (اصغری مقدم و محبی، ۱۳۹۵؛ ندیری و صدقی، ۱۳۹۸)، از آن میان استفاده

یکدیگر، پهنه‌بندی کیفی آب رودخانه کشکان با استفاده از شاخص‌های کیفی و آلودگی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی GIS.

موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز

حوضه آبریز کشکان از نظر موقعیت جغرافیایی در محدوده‌ی ۴۷ درجه و ۱۲ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۵۹ دقیقه طول شرقی و ۳۳ درجه و ۸ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲ دقیقه عرض شمالی، در بخش میانی سلسه جبال زاگرس واقع شده و حدود یک سوم خاک لرستان را در بر می‌گیرد (لشنی زند، ۱۳۷۶).

(شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز رودخانه کشکان.

Figure 1- Geographical location of the Kashkan River basin.

به دلیل اثر دوره‌های تر و خشک و یا به عبارتی اثر دوره‌های کم آبی و پرآبی رودخانه است). نمونه‌برداری دور اول در فروردین (فصل تر)، نمونه‌برداری دوم در آبان (فصل خشک) ۱۴۰۱ و نمونه‌برداری سوم (فصل تر) در خرداد ۱۴۰۲ انجام گرفت. در شکل ۲ موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری و ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه کشکان نشان داده شده است.

پس از نمونه‌برداری پارامترهای فیزیکی و شیمیایی مورد نیاز شاخص‌های کیفی مورد آزمایش قرار گرفت. این پارامترها شامل: فاکتور اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی (BOD)، فسفات (PO_4)، نیتрат (NO_3)، کدورت (NTU)، کل جامدات محلول (TDS)، دما، pH، کلیفرم کل (C.F) و هدایت الکتریکی (EC) در ایستگاه‌های نمونه‌برداری مورد سنجش بودند. پارامترهای دبی (توسط دستگاه مولینه) و T در محل نمونه‌برداری

نقاط کشور صورت گرفته است از آن جمله می‌توان به مطالعات صورت گرفته توسط حسین‌زاده و همکاران (۱۳۹۲)، ظهراپی و همکاران در سال ۱۳۹۳، یعقوب‌زاده و همکاران (۱۳۹۴) و امین‌پور شیان و همکاران (۱۳۹۵) اشاره نمود.

هدف از این پژوهش بررسی کیفی رودخانه کشکان با استفاده از شاخص‌های کیفی و استانداردهای موجود است. اهداف جزئی این پژوهش شامل موارد زیر است: اندازه‌گیری برخی از پارامترهای فیزیکی و شیمیایی کیفیت آب در حوضه آبریز کشکان، بررسی روند پارامترهای کیفی در حوضه آبریز کشکان، مشخص شدن شاخص کیفیت آب رودخانه با دو شاخص NSFQI و IRWQISc و مقایسه دو شاخص با

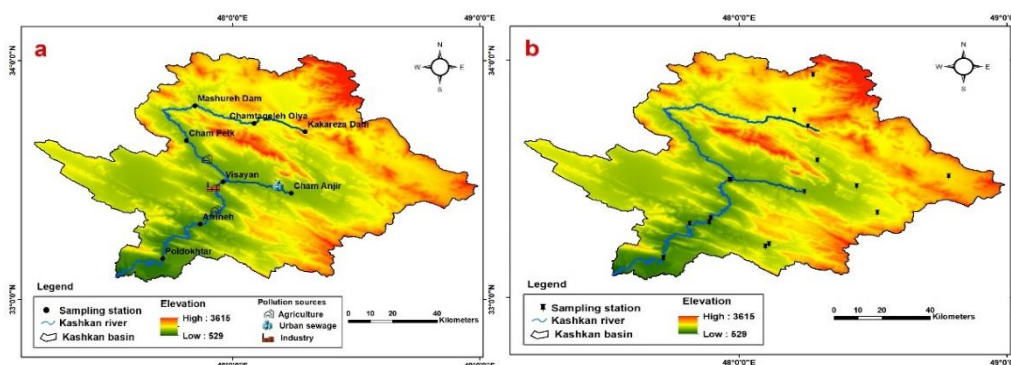
مواد و روش‌ها

در این مطالعه به منظور بررسی وضعیت کیفی رودخانه کشکان (بررسی شاخص‌های کیفی- آلودگی) تعدادی ایستگاه نمونه‌برداری بر روی رودخانه انتخاب گردید. ایستگاه‌ها به گونه‌ای انتخاب شدند که تأثیر منابع آلاینده در منطقه و کیفیت آب در کل مسیر را به خوبی بازگو کنند. انتخاب ایستگاه‌های نمونه‌برداری بر اساس مطالعات پیشین، وضعیت خروجی زیرحوضه‌ها، امکان دسترسی، توزیع مناسب و نظر کارشناسان آب منطقه‌ای و لزوم نمونه‌برداری از برخی نقاط خاص صورت گرفت. نمونه‌برداری در عمق ۳۰ سانتی‌متر انجام شد. تعداد نمونه‌برداری‌ها در سه نوبت صورت گرفت که یک نوبت به عنوان شاهد در نظر گرفته شد (انتخاب این دوره‌ها

اندازه‌گیری شد و دیگر پارامترها جهت سنجش به آزمایشگاه منتقل شدند. برای انجام آزمایش پارامترهای فیزیکی (ساخت توتال و فکال) از محیط کشت لوریل سولفات برات استفاده شد. نمونه‌برداری و تمام آزمایشات فیزیکی و شیمیایی براساس روش‌های استاندارد ارائه شده در کتاب استاندارد متد انجام گرفت. کدورت نیز توسط کدورت‌سنج مدل HACH ۲۱۰۰ اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری یون فسفات و نیتрат از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل ۴۵ LAMBDA ساخت شرکت ELMER PERKIN انگلستان استفاده شد. نیترات به روش مشتق و فسفات به روش رنگ‌سنجی اندازه‌گیری گردید و کل جامدات محلول نیز به روش تعیین جامدات محلول در ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد تعیین گردید. روش کمپلکسومتری برای اندازه‌گیری سختی کل به کار برده شد. در این روش با استفاده از محلول استاندارد EDTA و تامپون و همچنین معرف اریوکروم بلک تی، سختی آب اندازه‌گیری شد (روش

استاندارد آزمایشات آب و فاضلاب، ۲۱۱۲). برای اندازه‌گیری BOD مقدار ۳۰۰ میلی‌لیتر نمونه داخل ظرف‌های مخصوص دستگاه BOD سنج قرار داده شد و دستگاه برای ۵ روز تنظیم گردید. سپس به هر ویال ۴ سی‌سی نمونه + ۱/۵ سی‌سی محلول هضم + ۳/۵ سی‌سی اسید COD اضافه گردید، و نمونه‌ها در دستگاه الکتروترمال (۱۵۰ درجه به مدت ۲ ساعت) قرار گرفتند. در نهایت طول موج نمونه‌ها با دستگاه اسپکتروفتومتری در طول موج ۶۰۰ nm قرائت شد.

در این تحقیق برای تجزیه و تحلیل نتایج از روش‌های آماری با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS و Excel استفاده شد. طبقه‌بندی کیفی آب رودخانه بر اساس روش شاخص‌های NSFQI و IRWQI ارزیابی شد. همچنین اقدام به پهنه‌بندی کیفی آب رودخانه کشکان با استفاده از شاخص‌های کیفی و آلودگی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی GIS گردید.



شکل ۲- الف) موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری به همراه موقعیت برخی از منابع آلودگی و ب) ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه کشکان (بازه زمانی ۱۳۹۸-۱۳۴۷).

Figure 2- A) Location of sampling stations and some pollution sources, B) Hydrometric stations of the Kashkan basin (Time period 1968-2019).

محلول تغییر می‌کند. این شاخص از طریق معادله زیر محاسبه می‌گردد:

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

در رابطه I_i مقدار شاخص مربوط به پارامترهای کیفی از منحنی رتبه بندی‌شان و W_i ضریب وزنی مربوط به آن پارامتر است. برای محاسبه‌ی میزان ارزش کیفی اکسیژن محلول اول باید درصد اشباع اکسیژن محلول را محاسبه کرد، لذا میزان اکسیژن اندازه‌گیری شده را به ماکزیمم اکسیژن محلول در دمای نمونه‌برداری تقسیم و در صد ضرب می‌گردد (پورشینانی و همکاران، ۱۳۹۵). کیفیت آب رودخانه یا دریاچه با شاخص NSFQI به پنج محدوده عالی، خوب، متوسط، بد و بسیار بد (جدول ۱) طبقه‌بندی می‌شود.

شاخص NSFQI

شاخص شاخص کیفیت آب مؤسسه بهداشت ملی هست و یک ابزار ریاضی برای تبدیل اطلاعات شاخصه‌بندی آب به یک عدد ساده بدون واحد است که این عدد نشان‌دهنده سطح کیفیت آب است. این شاخص ۹ پارامتر کیفیت آب را مورد بررسی قرار می‌دهد؛ این ۹ پارامتر شامل اکسیژن محلول (DO)، کلیفرم مدفوعی (Coliform Fecal)، pH، اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی (BOD5)، تغییرات دما (ΔT)، فسفات کل (Phosphate)، نیترات (NO_3)، کدورت (Turbidity)، کل جامدات محلول (TDS) است. براساس اهمیت پارامترها به هر کدام وزنی داده خواهد شد، که این وزن دهی از عدد ۰/۱۷ برای غلظت اکسیژن محلول تا ۰/۰۷ برای غلظت کل جامدات

کیفیت آب رودخانه یا دریاچه با شاخص IRWQISC دو گروه بیشتر از شاخص NSFQI یعنی به هفت محدوده بسیار خوب، خوب، نسبتاً خوب، متوسط، نسبتاً بد، بد و بسیار بد طبقه‌بندی می‌شود (آقایی و همکاران، ۲۰۲۰).

نتایج و بحث

به‌منظور ارزیابی بهتر رودخانه کشکان در نوبت دوم (فصل خشک) و سوم (فصل تر) نمونه‌برداری اقدام به اندازه‌گیری دبی در ایستگاه‌های نمونه‌برداری با دستگاه مولینه شد. در نمونه‌برداری نوبت دوم بیشترین دبی اندازه‌گیری شده مربوط به ایستگاه ویسیان به مقدار ۳/۶۹ مترمکعب بر ثانیه و کمترین مقدار دبی در ایستگاه سد معشوره به مقدار ۰/۱۲ مترمکعب بر ثانیه ثبت شده که نتایج آن در جدول ۲ نشان داده شده است. در نمونه‌برداری سوم بیشترین دبی مربوط به ایستگاه ۹ (پلدختر) به مقدار ۲۰/۲ متر مکعب بر ثانیه و کمترین دبی مربوط به ایستگاه ۱ (بندکاکارضا) به مقدار ۴/۲ متر مکعب بر ثانیه بوده است.

داده‌های جدول ۲ بیانگر این مطلب است که دبی نوبت سوم در مقایسه با نوبت دوم افزایش چشم‌گیری داشته است، این امر به دلیل افزایش میزان بارندگی در سال آبی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ نسبت به ۱۴۰۱-۱۴۰۰ می‌باشد. متوسط بارندگی مربوط به ایستگاه‌های هواشناسی حوضه آبریز کشکان در شکل ۳ نشان داده شده است، با توجه به شکل افزایش میزان بارندگی در سال آبی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ مشخص است. همچنین با توجه به داده‌های جدول ۳ لازم به ذکر است که افزایش بارندگی در نوبت سوم نمونه‌برداری (فصل تر) نسبت به نوبت دوم (فصل خشک) بارز می‌باشد و این افزایش به حدی آشکار بود که نمونه‌برداری آب رودخانه نیز با مشکلاتی همراه شد.

جدول ۱- طبقه‌بندی کیفیت آب رودخانه یا دریاچه با شاخص NSFQI

Table 1- Classification of river or lake water quality with NSFQI index.

Water quality	Index range	Group
Excellent	90-100	1
Good	70-90	2
Moderate	50-70	3
Bad	25-50	4
Very bad	0-25	5

شاخص IRWQI

شاخص پارامترهای متداول کیفیت منابع آب سطحی ایران IRWQISC از ۱۱ پارامتر برای تعیین شاخص استفاده می‌کند. ۷ پارامتر آن همانند روش مؤسسه بهداشت ملی است (NTU, pH, PO₄, DO, NO₃, BOD, C.F (Coliform)), (Turbidity) و پارامترهای آمونیوم (NH₄), اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (Demand Oxygen Chemical), سختی کل (Total Hardness) و هدایت الکتریکی (Electrical Conductivity) اضافه شده‌اند. در این شاخص نیز هر پارامتر وزن خاصی دارد و مقدار هر شاخص برای هر پارامتر با استفاده از منحنی رتبه‌بندی‌اش به‌دست می‌آید. این شاخص از طریق فرمول‌های زیر محاسبه شد.

$$IRWQI_{SC} = \left[\prod_{i=1}^n I_i^{W_i} \right]^{1/\gamma} \quad (2)$$

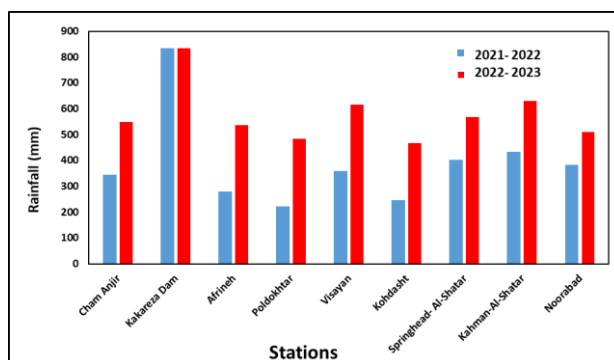
که در آن n تعداد پارامترها، I_i مقدار شاخص برای پارامتر i ام از منحنی رتبه‌بندی و W_i وزن پارامتر i ام می‌باشد و γ هم از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

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

جدول ۲- دبی اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های نوبت دوم (فصل خشک) و نوبت سوم (فصل تر).

Table 2- Measured discharge of stations in the second (dry season) and third (wet season) periods.

Number	Station	Second Discharge	Third Discharge
		(m ³ /s)	(m ³ /s)
1	Kakareza Dam	0.40	4.2
2	Chamtageleh Olya	0.46	7.5
3	Mashureh Dam	0.12	7
4	Cham Pelk	0.41	8.2
5	Cham Anjir	0.57	4.5
6	Visayan Doab	2.75	15.3
7	Visayan	3.69	16.3
8	Afrineh	0.49	17.2
9	Poldokhtar	0.67	20.2



شکل ۳- میانگین آمار بارندگی در ایستگاه‌های هواشناسی سال‌های آبی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ و ۱۴۰۱-۱۴۰۲.

Table 3- Average rainfall of meteorological stations for the water years 2021-2022 and 2022-2023.

جدول ۳- میانگین آمار بارندگی ایستگاه‌های هواشناسی در فصل خشک سال ۱۴۰۰-۱۴۰۱ و فصل تر سال ۱۴۰۱-۱۴۰۲.

Table 3- Average rainfall of meteorological stations in the dry season of 2021-2022 and the wet season of 2022-2023.

Station	2021-2022			2022-2023		
	June	July	August	March	April	May
Noorabad	0	0	0	113.5	44	6.5
Kahman-Al-Shatar	0	1	0	150	38.5	2.5
Springhead- Al-Shatar	0	0	0	156	25	10
Kakareza Dam	200	36	7	159	133	8
Khorramabad- Cham Anjir	0	0	0	119	27	1
Visayan	0	0	0	150	27	0
Poldokhtar	0	0	0	139	15	1
Afrineh	0	1.5	0	142	16.5	0
Kohdasht	0	0	0	130.5	37.5	2
Average rainfall (mm)	22.22	4.28	0.78	139.89	40.39	3.44

عددی شاخص کیفیت آب که در بازه ۷۰-۵۰ قرار گرفته‌اند لذا کیفیت آب در رده متوسط و با رنگ زرد نشان داده شده است. قرار گرفتن آب در این رده نشان‌دهنده‌ی این مطلب است که در صورت استفاده از این آب جهت تأمین آب شرب نیازمند تصفیه پیشرفته است. از طرف دیگر این آب مناسب برای پرورش شیلات و گونه‌های مقاوم آبی و نیز مناسب برای شرب حیوانات اهلی می‌باشد.

به‌منظور تعیین کیفیت آب در ایستگاه‌های نمونه‌برداری بر اساس شاخص NSF با استفاده از سایت مؤسسه تحقیقات آب به‌صورت آنلاین به آدرس زیر اقدام به محاسبه هر زیر شاخص و در نهایت محاسبه شاخص کل گردید (<https://www.water-research.net/watrqualindex/index.htm>). در جدول ۴ محاسبه هر زیر شاخص برای هر نمونه در نوبت اول نشان داده شده است وضعیت آب در ایستگاه‌های موجود بر اساس شاخص NSF اراده گردیده است. در همه ایستگاه‌ها با توجه به مقدار

جدول ۴- مقادیر زیر شاخص NSFQI هر پارامتر و مقادیر عددی شاخص NSFQI در ایستگاه‌های نمونه‌برداری نوبت اول.

Table 4 - NSFQI sub-index values for each parameter and numerical values of the NSFQI index at the first sampling stations.

Station	pH	NTU	BOD (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	PO ₄ (mg/l)	C.F (Coliform)	T (°C)	TDS (mg/l)	NSF
1	92	43	67	95	27	54	67	44	62
2	92	87	56	56	7	63	36	63	57
3	93	82	61	59	49	60	31	62	62
4	93	83	67	56	61	60	31	61	64
5	92	79	56	66	19	52	29	20	53
6	92	84	95	64	7	49	26	20	56
7	93	83	80	56	58	51	20	20	59
8	93	84	80	86	7	54	20	20	57
Weights	0.11	0.08	0.11	0.1	0.1	0.16	0.1	0.07	-

جدول ۵- مقادیر زیر شاخص NSFQWI هر پارامتر و مقادیر عددی شاخص NSFQWI در ایستگاه‌های نمونه‌برداری دوم.

Table 4 - NSFQWI sub-index values for each parameter and numerical values of the NSFQWI index at the second sampling stations.

Station	pH	NTU	BOD (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	PO ₄ (mg/l)	C.F (Coliform)	T (°C)	TDS (mg/l)	NSF
1	92	89	56	96	60	22	40	63	78
2	92	73	56	96	52	17	40	61	58
3	93	76	95	97	57	34	27	58	65
4	93	80	61	97	53	34	27	56	61
5	89	85	20	95	21	17	27	20	45
6	88	88	9	95	10	17	29	20	42
7	92	90	5	96	28	37	26	20	48
8	90	76	34	96	24	37	24	20	50
9	92	66	42	97	51	37	22	20	53
Weights	0.11	0.08	0.11	0.1	0.1	0.16	0.1	0.07	-

با توجه به جدول ۵ طبقه‌بندی کیفی آب از نظر شاخص کیفی و پلدختر در رده متوسط و ایستگاه‌های چمنجیر، دوآب NSFQWI، رودخانه کشکان در ایستگاه بندکاکارضا در رده ویسیان و ویسیان در رده بد قرار دارند. خوب، ایستگاه‌های چمنکله‌علیا، سدمعشوره، چمن پلک، آفرینه

جدول ۶-مقادیر زیر شاخص NSFQWI هر پارامتر و مقادیر عددی شاخص NSFQWI در ایستگاه‌های نمونه‌برداری سوم.

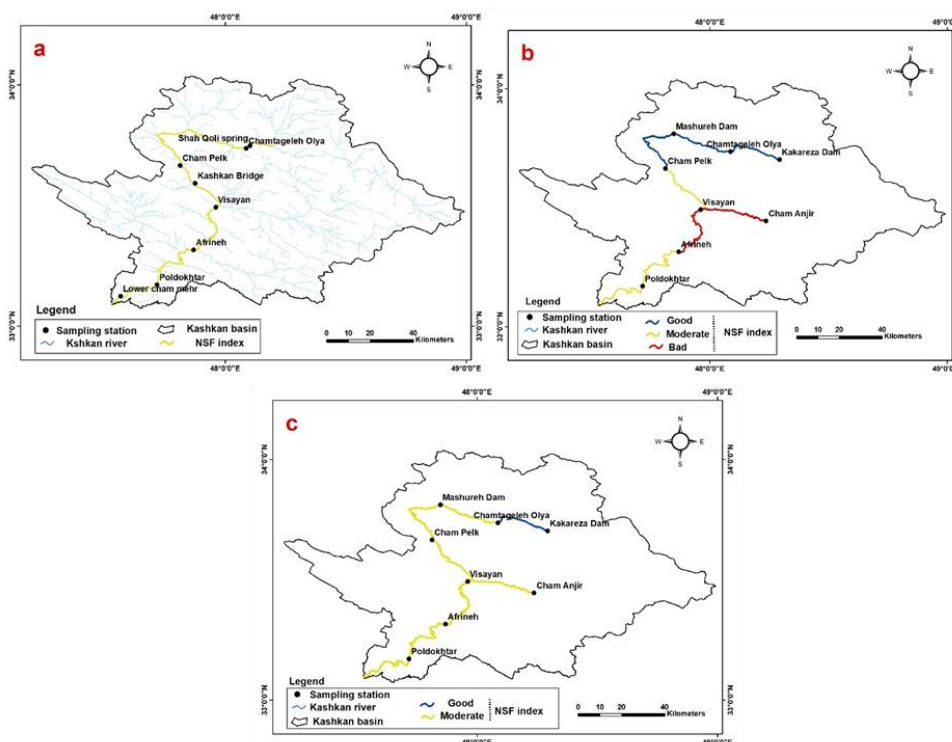
Table 4 - NSFQWI sub-index values for each parameter and numerical values of the NSFQWI index at the third sampling stations.

Station	pH	NTU	BOD (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	PO ₄ (mg/l)	C.F (Coliform)	T (°C)	TDS (mg/l)	NSF
1	80	44	80	97	26	60	26	65	73.47
2	72	47	54	52	9	63	25	67	63.93
3	70	95	56	96.5	41	63.2	17	70	67.12
4	55	69	56.5	96.3	42	63.1	17	58	62.67
5	93	94	55	80	28	56.1	23	50	69.97
6	87	93.5	51	82	12	54	16	56	60.52
7	88	76	78	84	26.2	58	16	20	61.96
8	88	62	80	98	28	56	16	20	62.3
9	90	52	79	98.2	17	55	16	20	60.37
Weights	0.11	0.08	0.11	0.1	0.1	0.16	0.1	0.07	-

باتوجه به جدول ۶، کیفیت آب از نظر شاخص NSFQWI در ایستگاه اول (بندکاکارضا) در وضعیت خوب و در بقیه ایستگاه‌های نمونه‌برداری در وضعیت متوسط قرار دارد. کیفیت آب در ایستگاه ۵ (چمن انجیر) متوسط نزدیک به خوب است.

پهنه‌بندی رودخانه کشکان با استفاده از شاخص NSFQWI

با توجه به طبقه‌بندی رودخانه بر اساس میزان آلودگی توسط شاخص NSFQWI، نقشه‌های پهنه‌بندی رودخانه کشکان توسط نرم‌افزار GIS ترسیم شد (شکل ۴). با توجه به پهنه‌بندی صورت گرفته مشاهده می‌گردد که به‌طور کلی در فصول تر (نوبت اول و سوم) کیفیت آب در حد متوسط بوده و در فصل خشک کیفیت در رده‌های خوب تا بد قرار گرفته است.



شکل ۴- مقایسه پهنه‌بندی رودخانه کشکان بر اساس شاخص NSF ایستگاه‌های نمونه‌برداری الف) نوبت اول (فصل تر)، ب) نوبت دوم (فصل خشک) و ج) نوبت سوم (فصل تر).

Figure 4- Comparison of the zoning of the Kashkan River based on the NSF index of sampling stations A) First period (wet season), B) Second period (dry season) and C) Third period (wet season).

شاخص IRWQIsc

جدول ۷- مقادیر زیر شاخص برای هر پارامتر و مقادیر عددی شاخص IRWQIsc در ایستگاه‌های نمونه‌برداری اول.

Table 7 - Sub-index values for each parameter and numerical values of the IRWQIsc index at the first sampling stations.

Station	PO ₄ (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	EC (μs/cm)	NTU	pH	C.F	TDS (mg/l)	IRWQI
1	27	95	67	85	65	43	92	54	44	60.09
2	7	56	56	84	82	87	92	63	63	53.93
3	49	59	61	82	80	82	93	60	62	66.43
4	69	56	67	85	79	83	93	60	61	69.53
5	19	66	56	80	60	79	92	52	20	51.95
6	7	64	95	90	54	84	92	49	20	49.94
7	58	56	80	89	55	83	93	51	20	60.47
8	7	86	80	88	50	84	93	54	20	50.69
Weights	0.087	0.108	0.117	0.093	0.096	0.062	0.051	0.140	0.059	-

جدول ۷ نشان‌دهنده‌ی این است که از نظر شاخص IRWQIsc ایستگاه‌های نمونه‌برداری ۱، ۳، ۴ و ۷ (چشمه شاه قلی، چم پلک، پل کشکان و پلدختر) در وضعیت نسبتاً خوب و ایستگاه‌های ۲، ۵، ۶ و ۸ (چمتکله علیا، ویسیان، آفرینه و چم‌مهر پایین) در وضعیت متوسط قرار دارند.

جدول ۸- مقادیر زیر شاخص برای هر پارامتر و مقادیر عددی شاخص IRWQIsc در ایستگاه‌های نمونه‌برداری دوم.

Table 7 - Sub-index values for each parameter and numerical values of the IRWQIsc index at the second sampling stations.

Station	PO ₄ (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	EC (μs/cm)	NTU	pH	C.F	TDS (mg/l)	IRWQI
1	60	96	56	81	83	89	92	63	22	60.77
2	52	96	56	82	80	73	92	61	17	56.09
3	57	97	95	90	78	76	93	58	34	69.50

4	53	97	61	87	75	80	93	56	34	64.24
5	21	95	20	50	67	85	89	20	17	37.77
6	10	95	9	26	53	88	88	20	17	28.12
7	7	96	5	18	56	90	92	20	37	27.60
8	24	96	34	62	43	76	90	20	37	45.69
9	51	97	42	72	39	66	92	20	37	50.93
Weights	0.087	0.108	0.117	0.093	0.096	0.062	0.051	0.059	0.140	-

جدول ۸ بیانگر این است که کیفیت آب از نظر شاخص IRWQIsc در ایستگاه‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ (بندکاکارضا، چمتکله علیا، سدمعشوره و چم پلک) در وضعیت نسبتاً خوب، ایستگاه‌های ۸ و ۹ (آفرینه و پلدختر) در وضعیت متوسط، ایستگاه ۵ (چم انجیر) در وضعیت نسبتاً بد و ایستگاه‌های ۶ و ۷ (دوآب ویسیان و ویسیان) در وضعیت بد قرار دارند.

جدول ۹-مقادیر زیر شاخص برای هر پارامتر و مقادیر عددی شاخص IRWQIsc در ایستگاه‌های نمونه‌برداری سوم.

Table 7 - Sub-index values for each parameter and numerical values of the IRWQIsc index at the third sampling stations.

Station	PO ₄ (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	EC (μs/cm)	NTU	pH	C.F	TDS (mg/l)	IRWQI
1	9	58	77	87	81	47	43	84	70	56.27
2	4	10	57	85	84	50	38	87.5	68	39.25
3	23	64	60	82	86	84	36	87	66	62.99
4	24.5	64.2	68	85.5	77	66	33	87.2	64	62.44
5	10.2	36	59	79	70	83.2	56	80	63	52.34
6	5	41	54	81	75	83	51	77.2	63.5	48.68
7	8.5	44	75	90.2	53	67	52	79	40	50.67
8	10	75	77	90	12	58	52	81	24	44.61
9	6	75.2	74	91	10	52	52.2	77	23	40.36
Weights	0.087	0.108	0.117	0.093	0.096	0.062	0.051	0.140	0.059	-

با توجه به جدول ۹ در نمونه‌برداری نوبت سوم کیفیت آب براساس شاخص IRWQI در سه رده قرار گرفته است. در ایستگاه‌های ۱، ۳ و ۴ (بندکاکارضا، سدمعشوره و چم پلک) آب از نظر کیفیت در وضعیت نسبتاً خوبی قرار دارد و در ایستگاه‌های ۵، ۶ و ۷ (چم انجیر، دوآب ویسیان و ویسیان) وضعیت کیفی آب متوسط است. در ایستگاه‌های ۲، ۸ و ۹ (چمتکله علیا، آفرینه و پلدختر) وضعیت کیفی آب از نظر شاخص IRWQI در حالت نسبتاً بد قرار دارد.

بررسی استانداردهای کیفی آب

به‌منظور بررسی وضعیت آب رودخانه کشکان در این مرحله، نتایج آنالیز صورت گرفته در نوبت اول، دوم و سوم با استانداردهای موجود مقایسه گردید (جدول ۱۰).

جدول ۱۰- نتایج آنالیز پارامترهای اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های نمونه‌برداری (نوبت اول، دوم و سوم) با استانداردهای کیفی.

Table 10 - Results of parameters measured at sampling stations (first, second and third periods) with quality standards.

Station	PO ₄ (mg/l)			NO ₃ (mg/l)			BOD (mg/l)			NTU			pH			C.F			TDS (mg/l)		
	Period			Period			Period			Period			Period			Period			Period		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	1.99	0.5	2.1	2.10	0.53	2	3	5	3.4	43.40	3.66	43	7.51	7.21	6.7	4.3	1100	38	418.6	275.6	271.05
2	8.76	0.66	6.4	7.90	0.6	8	5	5	5.9	4.44	11.7	37	7.59	7.19	6.53	20	2400	20	270.4	286.65	258.05
3	0.73	0.56	0.97	6.30	0.4	1.57	4	1	5.1	6.89	10.17	2	7.40	7.32	6.4	26	290	23	283.4	309.4	236.6
4	0.42	0.65	0.8	7.80	0.46	1.4	3	4	4	6.68	7.84	14	7.39	7.37	6.1	27	290	22	286	328.9	319.8
5	3.60	2.95	1.84	4.80	1.52	3.8	5	15	5.7	8.59	5.26	3	7.52	7.07	7.3	53	2400	41	505.05	559.65	371.15
6	9.60	6.1	4.97	5.20	1.62	3.1	1	23	6	6.21	3.9	3.5	7.58	7.02	7	64	2400	45	648.7	638.3	337.35
7	0.54	7.82	1.95	7.60	1.37	2.9	2	46	3	6.40	2.95	11	7.45	7.19	7.1	54	210	48	637	585.65	601.25
8	8.34	2.58	1.8	3.20	0.73	1.3	2	10	3.4	5.85	9.98	20	7.41	7.12	7.1	44	210	40	744.9	988.65	1042.6
9	-	0.68	4.1	-	0.32	1.2	-	8	2.9	-	15.7	32	-	7.26	7.2	-	210	46	-	1123.2	1117.35

با توجه به استانداردهای موجود، تقسیم‌بندی آلودگی باکتریایی آب‌های خام در ۴ رده صورت گرفته است.

۱- کلی‌فرم مدفوعی

دارای مقادیر کدورت بیش از این مقدار هستند. از دیدگاه کشاورزی همه نمونه‌ها در حد مجاز استاندارد ملی ایران قرار گرفته‌اند. در نوبت دوم همه‌ی نمونه‌ها دارای مقادیر کدورت بیش از حد مجاز هستند و از دیدگاه کشاورزی همه نمونه‌ها در حد مجاز استاندارد ملی ایران قرار گرفته‌اند. همچنین نتایج نشان داد که ایستگاه‌های نمونه‌برداری سوم (فصل تر) از نظر کدورت بر اساس استاندارد کیفی WHO، ایستگاه‌های سدمعشوره و چمانجیر در حد مجاز قرار دارند و سایر ایستگاه‌ها دارای مقادیر بیش از حد مجاز هستند. از دیدگاه کشاورزی همه نمونه‌ها در حد مجاز استاندارد ملی ایران قرار دارند (جدول ۱۰).

۳- pH

نتایج مقایسه پارامتر pH بر اساس استاندارد ملی و WHO (حد مجاز استاندارد ملی ایران برای کشاورزی ۸/۵-۶، برای شرب ۸/۵-۶/۵ و استاندارد WHO برابر ۸/۵-۷ است) نشان می‌دهد که از دیدگاه استاندارد WHO، شرب و کشاورزی همه نمونه‌ها در نوبت اول دارای pH کمتر از ۸/۵ هستند و لذا در حدود مجاز تعیین شده قرار دارند. نتایج نوبت دوم بیان می‌کند که از دیدگاه استاندارد WHO، شرب و کشاورزی همه نمونه‌ها دارای pH کمتر از ۸/۵ هستند و لذا در حدود مجاز تعیین شده قرار دارند. در نوبت سوم (فصل تر) بررسی نتایج حاصل از آنالیز pH، از دیدگاه استاندارد WHO، شرب و کشاورزی در ایستگاه‌های نمونه‌برداری نشان‌دهنده‌ی این است که همه نمونه‌ها دارای pH کمتر از ۸/۵ هستند و همه‌ی نمونه‌ها در حد مجاز تعیین شده قرار دارند.

۴- کل جامدات محلول

بررسی TDS در منطقه و نقاط اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد که از نظر استاندارد ملی آب ایران برای شرب (۱۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) همه نمونه‌ها در حدود مجاز تعیین شده (کمتر از ۱۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) قرار گرفته‌اند. در نوبت دوم بررسی TDS در منطقه و نقاط اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد همه نمونه‌ها در حدود مجاز تعیین شده (کمتر از ۱۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) قرار دارند. همچنین در نوبت سوم (فصل تر) با توجه به جدول ۱۰ همه نمونه‌ها از نظر TDS در محدوده مجاز (کمتر از ۱۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) هستند.

۱- آلودگی باکتریایی که از طریق ضد عفونی کردن برطرف می‌شود (۲۰۰-۲۰ میلی‌لیتر).

۲- آلودگی باکتریایی که نیاز به روش‌های تصفیه پی در پی (انعقاد، صاف کردن و ضد عفونی) دارد (۲۰-۲۰۰۰ میلی‌لیتر).

۳- آلودگی زیاد که با روش‌های پرهزینه برطرف می‌شود (۲۰۰۰-۲۰۰۰۰ میلی‌لیتر).

۴- آلودگی خیلی بالای آب که غیر قابل قبول است (بیشتر از ۲۰۰۰۰ میلی‌لیتر).

براساس (جدول ۱۰) نتایج آنالیز کلی‌فرم مدفوعی بیانگر این مطلب است که در نمونه‌برداری اول نمونه چمتکله علیا در رده ۱ قرار دارد که نشان می‌دهد آلودگی باکتریایی در این منطقه از طریق ضد عفونی کردن برطرف می‌شود. سایر نمونه‌ها (نمونه‌های چشمه شاه قلی، چم پلک، پل کشکان، ویسیان، آفرینه، پلدختر و چم مهر پایین) در رده ۲ قرار می‌گیرند، لذا آلودگی باکتریایی در این مناطق نیاز به روش تصفیه پی در پی (انعقاد، صاف کردن و ضد عفونی) دارد. در نوبت دوم نتایج آنالیز کلی‌فرم مدفوعی بیانگر این مطلب است که نمونه‌های ایستگاه‌های بند کاکارضا، سدمعشوره، چم پلک، ویسیان، آفرینه و پلدختر در رده ۲ قرار دارد که نشان می‌دهد آلودگی باکتریایی در این مناطق نیاز به روش تصفیه پی در پی (انعقاد، صاف کردن و ضد عفونی) دارد. سایر نمونه‌ها (نمونه‌های چمتکله علیا، چم انجیر و دوآب ویسیان) در رده ۳ قرار می‌گیرند، و دارای کلونی‌های باکتریایی بیش از ۲۰۰۰ در میلی‌لیتر هستند که نشانگر آلودگی زیاد موجود در منطقه است که با روش‌های پرهزینه برطرف می‌شود. در نوبت سوم (فصل تر) کلیفرم مدفوعی بیانگر این مطلب است که نمونه‌های همه ایستگاه‌ها در رده دوم قرار دارند که آلودگی باکتریایی در این مناطق به روش تصفیه پی در پی (انعقاد، صاف کردن و ضد عفونی) از بین می‌رود (جدول ۱۰).

۲- کدورت

نتایج مقایسه پارامتر کدورت بر اساس استاندارد ملی و WHO (حد مجاز استاندارد ملی ایران برای کشاورزی ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر، حد مجاز استاندارد ملی ایران برای شرب حداکثر ۵ میلی‌گرم بر لیتر است و استاندارد WHO نیز ۵ میلی‌گرم بر لیتر است) بیان می‌کند که از نظر کدورت در نوبت اول نمونه چمتکله علیا در حد مجاز قرار دارد و سایر نمونه‌ها

۵-BOD

هستند) بیانگر این نکته است که نمونه‌های چم‌پلک و پلدختر دارای مقدار فسفات کمتر از $0/7$ میلی گرم بر لیتر هستند و از لحاظ پارامتر فسفات شرایط مناسبی دارند. در سایر نواحی حوضه مقدار فسفات بیشتر از $0/7$ میلی گرم بر لیتر است و از نظر این پارامتر دارای شرایط نامناسبی هستند. وجود فسفات بالا در نواحی پایین حوضه کشکان احتمالاً به دلیل وجود سازندهای حاوی فسیل، مصرف کودهای شیمیایی و سموم دفع آفات مختلف در اراضی حواشی رودخانه و نیز فاضلاب‌های ناشی از مصارف شوینده‌ها در مناطق مسکونی می‌باشد. در نوبت دوم نمونه‌های ایستگاه‌های بندکاکارضا، چمتکله علیا، سدمعشوره و چم‌پلک دارای مقدار فسفات کمتر از $0/7$ میلی گرم بر لیتر هستند و از لحاظ پارامتر فسفات شرایط مناسبی دارند. در سایر ایستگاه‌های حوضه مقدار فسفات بیشتر از $0/7$ میلی گرم بر لیتر است و از نظر این پارامتر دارای شرایط نامناسبی هستند. در نوبت سوم (فصل تر) نتایج حاصل از آنالیز فسفات بیانگر این مطلب است که مقدار فسفات در همه‌ی ایستگاه‌های نمونه‌برداری بیشتر از حد مجاز ($0/7$ میلی گرم بر لیتر) است و ایستگاه‌های نمونه‌برداری از نظر پارامتر فسفات در شرایط نامناسبی قرار دارند.

بررسی آماری

نتایج جدول ۱۱، مربوط به نمونه‌برداری اول بیانگر این مطلب است که چند عامل شیمیایی کیفیت آب را کنترل می‌کند و از بین این عوامل کدام عامل دارای اهمیت بیشتری است. در واقع واریانس کل اهمیت و مهم بودن فاکتورها را بیان می‌کند. نتایج حاصل از تحلیل عاملی نشان می‌دهد که ۳ فاکتور دارای اهمیت بالا هستند، این فاکتورها حدود $84/88\%$ از کل میزان اشتراک را در بر دارند. به طوری که از این مقدار فاکتور اول $46/81\%$ و فاکتور دوم $19/25\%$ و فاکتور سوم $18/80\%$ است. این ۳ فاکتور دارای واریانس بالا و اهمیت بالایی هستند، که مقادیر ویژه مؤلفه ۱ تا ۳ به ترتیب $5/618$ ، $2/311$ و $2/257$ و بیشتر از یک می‌باشد.

مقایسه مقادیر BOD نشان‌دهنده این مطلب است که بر اساس استاندارد WHO (6 میلی گرم بر لیتر) در همه نمونه‌ها مقدار اکسیژن بیوشیمیایی در حد مجاز (کمتر از 6 میلی گرم بر لیتر) قرار گرفته است. در نوبت دوم نتایج نشان‌دهنده این مطلب است که بر اساس استاندارد WHO نمونه‌های ایستگاه‌های چم‌انجیر، دوآب و یسیان، ویسیان، آفرینه و پلدختر بالاتر از حد مجاز (بیشتر از 6 میلی گرم بر لیتر) و اکسیژن بیوشیمیایی در نمونه بقیه‌ی ایستگاه‌ها، در حد مجاز (کمتر از 6 میلی گرم بر لیتر) قرار گرفته است. در نوبت سوم (فصل تر) مقایسه مقادیر BOD براساس استاندارد WHO نشان می‌دهد، فقط ایستگاه دو آب و یسیان بالاتر از حد مجاز است یعنی بیشتر از 6 میلی گرم بر لیتر و بقیه ایستگاه‌ها دارای مقادیر کمتر از 6 میلی گرم بر لیتر هستند و در وضعیت مجاز قرار دارند (جدول ۱۰).

۶-نیتрат

با توجه به نتایج جدول ۱۰، نیترات در ایستگاه‌های نمونه‌برداری نوبت اول بر اساس استاندارد WHO (50 میلی گرم بر لیتر) در حد مجاز کمتر از 50 میلی گرم بر لیتر قرار دارد و از نظر نیترات در این نواحی کیفیت آب مورد قبول است. در نوبت دوم نیترات در ایستگاه‌های نمونه‌برداری در حد مجاز کمتر از 50 میلی گرم بر لیتر قرار دارد و از نظر نیترات در این نواحی کیفیت آب مورد قبول است. در نوبت سوم نیترات در ایستگاه‌های نمونه‌برداری در حد مجاز یعنی کمتر از 50 میلی گرم بر لیتر است و از نظر نیترات کیفیت آب در ایستگاه‌های نمونه‌برداری مورد قبول است.

۷-فسفات

نتایج جدول ۱۰ با توجه به استاندارد کیفیت آب رودخانه‌ها برای فسفات (مقادیر بیشتر از $0/7$ میلی گرم بر لیتر نشانگر آب‌هایی هستند که تقریباً شرایط نامناسبی دارند، کلاس 1A با مقادیر بیشتر از $0/4$ بیان‌کننده آب‌هایی هستند با ارزش کیفی بسیار خوب و شرایط سخت‌گیرانه‌ای نسبت به بقیه کلاس‌ها دارند، و کلاس 1B با مقادیر بین $0/4-0/7$ شامل آب‌هایی با ارزش کیفی خوب ولی کمی پایین‌تر از کلاس 1A

جدول ۱۱- جدول مقادیر ویژه برای تعیین تعداد عامل‌های رودخانه کشکان (فصل تر).

Table 11 - Table of eigenvalues for determining the number of factors of the Kashkan River (wet season).

Initial eigenvalues			
Component	Cumulative %	% of Variance	Total
1	46.815	46.815	5.618
2	66.072	19.257	2.311
3	84.880	18.808	2.257
4	92.211	7.332	.880
5	98.946	6.735	.808
6	99.965	1.019	.122
7	100.000	.035	.004
8	100.000	1.563E-14	1.876E-15
9	100.000	5.281E-15	6.337E-16
10	100.000	7.784E-16	9.341E-17
11	100.000	1.899E-16	2.279E-17
12	100.000	-4.194E-15	-5.033E-16

اولین قدم در تعیین کیفیت آب رودخانه‌ها، کسب آگاهی از تغییرات کیفی آب رودخانه‌ها در ابعاد زمان و مکان و همچنین مشخص نمودن منابع اصلی و انواع آلوده‌کننده‌های آب می‌باشد. در این راستا بررسی کیفی رودخانه کشکان با استفاده از شاخص‌ها و روش‌های آماری نشان داد که به‌طور کلی کیفیت آب رودخانه در رده متوسط قرار دارد و بیانگر این مطلب است که در فصل تر و با افزایش حجم بارش کیفیت رودخانه به‌دلیل کاهش املاح و مواد معلق نسبت به حجم کل رودخانه در وضعیت بهتری قرار دارد. در فصل خشک کاهش دبی و افزایش فعالیت‌های کشاورزی و نیز افزایش میزان املاح نسبت به حجم آب رودخانه سبب کاهش کیفیت آب رودخانه می‌گردد. تأثیر فرآیند انحلال و هوازدگی سازندهای کربناته و وجود سازندهای حاوی فسفات، در منطقه بیانگر تأثیر عوامل زمین‌زاد بر روی کیفیت آب رودخانه کشکان است. علاوه‌براین مصرف کودهای شیمیایی و سموم دفع آفات مختلف در اراضی حواشی رودخانه و نیز فاضلاب‌های ناشی از مصارف شوینده‌ها در مناطق مسکونی سبب تأثیر عامل انسان‌زاد بر کیفیت رودخانه بوده که لازم است تدابیر لازم در راستای کنترل این آلودگی‌ها صورت پذیرد. همچنین کیفیت آب رودخانه کشکان از نظر آلودگی باکتریایی نیاز به روش‌های ضدعفونی کردن و تصفیه پی در پی (انعقاد، صاف کردن و ضدعفونی) دارد لذا در تصمیم‌گیری به‌منظور اهداف خاص باید این مهم در نظر گرفته شود.

سپاسگزاری

این پروژه با حمایت گروه تحقیقات کاربردی شرکت آب منطقه‌ای لرستان تحت قرارداد شماره 25/10/0011699 با

جدول ۱۲- نتایج مدل عاملی و تفکیک عامل‌ها رودخانه کشکان (فصل تر).

Table 12- Results of the factor model and factor separation for the Kashkan River (wet season).

Component			
	1	2	3
pH		.825	
TURB			-.959
EC	.950		
COD	-.786		
BOD	-.836		
NO ₃			.764
PO ₄		.940	
P		.940	
FC	.879		
Total	.879		
T	.622		.745
TDS	.950		

نتایج بارهای عاملی به‌دست آمده در سه مؤلفه پس از چرخش، در جدول ۱۱ ارائه شده است. به‌منظور جلوگیری از شلوغی جدول، بارهای عاملی کمتر از ۰/۵ نمایش داده نشده است، فاکتور ۱ شامل EC، FC، T، TDS است که همبستگی بالایی باهم دارند و این پارامترها دارای بار عاملی بالایی هستند و همبستگی معکوسی با COD و BOD دارند و در فاکتور ۲ بار عاملی pH، PO₄، TDS بالا است و این فاکتورها با هم همبستگی دارند. در فاکتور ۳، دما و NO₃ با هم همبستگی و ارتباط قوی دارند و با NTU همبستگی معکوسی را نشان می‌دهند. با توجه به فاکتورهای تعیین شده و وجود هم بستگی بالا با FC، T، TDS، در فاکتور اول و PO₄، P در فاکتور دوم و نیز نیترات در فاکتور سوم می‌تواند بیانگر وجود آلودگی با منشأ انسان‌زاد در منطقه باشد.

نتیجه‌گیری

رفیعی، ن.، آذری، آ.، ۲۰۲۰. ارزیابی اثرات احداث تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری و کشاورزی بر بهبود روند کیفی و آلودگی رودخانه دز. نشریه مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه تبریز، ۵۰(۹۸)، ۳۳-۴۱.

رهنما، س.، سیاری، ن.، ۱۳۹۵. معرفی شاخص‌های کیفی آب جهت طبقه‌بندی و مصارف آب‌های نامتعارف در بخش‌های مختلف.

کلانتری، ن.، زروش، ن.، علیجانی، ف.، دانشیان، ح.، باشتی، م.، ۱۴۰۳. بررسی کیفیت منابع آب زیرزمینی با تأکید بر منشأ و تعیین شاخص آلودگی نترات با استفاده از روش‌های هیدروشیمیایی و تکنیک‌های آماری چند متغیره در بخش جنوبی آبخوان بهبهان استان خوزستان. مجله هیدروژئولوژی دانشگاه تبریز، ۹(۱)، ۴۰-۵۶.

مرادی هرنجی، ع.، شکوهی، ع.، ۱۳۹۷. ارزیابی و پهنه‌بندی کیفی رودخانه‌ها با استفاده از شاخص آب (NSFWQI) و مقایسه آن با شاخص کیفیت آب‌های سطحی ایران IRWQIsc. کارشناسی ارشد. دانشگاه بین‌المللی خمینی.

ندیری، ع.، صدقی، ز.، ۱۳۹۸. ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان‌های چندگانه با استفاده از روش‌های DRASTIC، SINTACS. مجله هیدروژئولوژی دانشگاه تبریز، ۲(۴)، ۱۷۱-۱۸۶.

یعقوب‌زاده، ص.، ۲۰۱۵. بررسی میزان آلودگی میکروبی آب‌های سطحی رودخانه هراز. مجله پژوهش‌های سلولی و مولکولی (مجله زیست‌شناسی ایران) (علمی)، ۲۸(۱)، ۱۳۶-۱۴۴.

Aghaei, M., Heshmatpour, Q., Seydian, S.M., 2020. Investigating the water quality of the Chehelchay River using the IRWQIsc index. Quarterly Journal of Environmental Science and Technology. 22(5), 153-166 [In Persian].

Amin Pourshiani, S., Mohammadi, M., Khaledian, M.R., Mirroshandel, A.A., 2016. Assessment of water quality of the Gazrudbar River using the NSFWQI quality index and the Liou pollution index. [In Persian].

Asadollah Fardi, G., Afshar, A., Sheikhistani, N., 2004. A review of the surface water quality index method and its application in zoning of the Karun River part. Civil Engineering, (27) 77-87. [In Persian].

Asghari Moghadam, A., Mohebi, Y., 2016. Evaluation of factors affecting the chemical quality of groundwater in the Kahriz plain using statistical and

شناسه ملی طرح LOSE 1-00009 و همچنین با پشتیبانی و حمایت دبیرخانه شورای عالی، تحقیقات و فناوری به انجام رسیده است، بدینوسیله مراحل سپاس و قدردانی را از حمایت ایشان داریم.

منابع

اسداله فردی، غ.، افشار، ع.، شیخستانی، ن.، ۲۰۰۴. مروری بر روش شاخص‌های کیفی آب‌های سطحی و کاربرد آن در پهنه‌بندی قسمتی از رودخانه کارون. مهندسی عمران، ۷۷(۲۷)، ۸۷-۹۲.

اصغری مقدم، ا.، محبی، ی.، ۱۳۹۵. ارزیابی عوامل موثر بر کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی دشت کهز با استفاده از روش‌های آماری و هیدروشیمیایی. هیدروژئولوژی، ۱(۱)، ۷۶-۹۲.

آقایی، م.، حشمت‌پور، ق.، سیدیان، س.م.، ۲۰۲۰. بررسی کیفیت آب رودخانه چهل‌چای با استفاده از شاخص IRWQIsc. فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۲۲(۵)، ۱۵۳-۱۶۶.

امین پورشیانی، س.، محمدی، م.، خالدیان، م.ر.، میرروشندل، ا.ا.، ۱۳۹۵. ارزیابی کیفیت آب رودخانه گازرودبار با استفاده از شاخص کیفی NSFWQI و شاخص آلودگی Liou.

جعفری مقدم، ا.، حشمت‌پور، ع.، فتح‌آبادی، ع.، اکبری، ر.، ۱۳۹۶. بررسی کیفیت آب رودخانه باقرآباد با استفاده از شاخص IRWQIsc. کارشناسی ارشد، دانشگاه گنبد کاووس.

جعفری، س.، نبی بیدهندی، ب.، طاهریون، س.، اردستانی، م.، ۲۰۱۰. بررسی کیفیت آب رودخانه قشلاق با استفاده از شاخص‌های کیفی آب. فصلنامه علوم محیطی، ۲(۲)، ۷.

حسین‌زاده، ا.، خرسندی، ح.، رحیمی، ن.، حسین‌زاده، س.، علیپور، م.، ۲۰۱۳. ارزیابی کیفیت آب رودخانه آیدوغموش با استفاده از شاخص کیفیت NSFWQI و شاخص آلودگی Liou. مجله مطالعات علوم پزشکی، ۲۴(۲)، ۱۵۶-۱۶۲.

رضایی، ا.، شاه‌نژاد، ب.، یونسی، ح.، ۲۰۱۹. ارزیابی مدل‌های هوشمند در برآورد میزان مواد جامد محلول در آب رودخانه کشکان، استان لرستان. مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۱(۱)، ۱۴۷-۱۶۵.

amount of dissolved solids in the water of Kashkan River, Lorestan Province. *Watershed Engineering and Management*, 11(1), 147-165. [In Persian].

Yaghoobzadeh, P., 2015. Investigation of the level of microbial contamination of surface waters of the Haraz River. *Journal of Cellular and Molecular Research (Iranian Journal of Biology) (Scientific)*, 28(1), 136-144. [In Persian].

Yousefi, H., Mohammadi, A., Noorollahi, Y., 2019. Analyzing the water quality of Babaheydar Dam in Farsan using NSFQI analytical method. *J. Watersh Manage. Res.*, 9(18), 1-11.

hydrochemical methods. *Journal of Hydrogeology, University of Tabriz*, 1 (1), 76-92. [In Persian].

Hoseinzadeh, E., Khorsandi, H., Wei, C., Alipour, M., 2015. Evaluation of Aydughmush River water quality using the national sanitation foundation water quality index (NSFWQI), river pollution index (RPI), and forestry water quality index (FWQI). *Desal. Water Treat*, 54(11), 2994-3002.

Hosseinzadeh, A., Khorsandi, H., Rahimi, N., Hosseinzadeh, S., Alipour, M., 2013. Evaluation of water quality of Aydoghamush River using NSFQI quality index and Liou pollution index. *Journal of Medical Sciences Studies*, 24(2), 156-162. [In Persian].

Jafari Moghadam, A., Heshmatpour, A., Fathabadi, A., Akbari, R., 2017. Studying the water quality of Bagherabad River using the IRWQIsc index. Master's degree, Gonbad Kavous University. [In Persian].

Jafari, S., Nabi Bidhendi, B., Taheriyoun, S., Ardestani, M., 2010. Investigation of water quality of Qeshlaq River using water quality indices. *Quarterly Journal of Environmental Sciences*, 7(2). [In Persian].

Kalantari, N., Zarroush, N., Alijani, F., Daneshian, H., Bashti, M., 2014. Investigation of the quality of groundwater resources with emphasis on the origin and determination of nitrate pollution index using hydrochemical methods and multivariate statistical techniques in the southern part of Behbahan aquifer, Khuzestan province. *Journal of Hydrogeology, University of Tabriz*, 9 (1), 40-56. [In Persian].

Mahrooyan, F., Taghavi, L., Sarai Tabrizi, M., Babazadeh, H., 2018. Water quality assessment of Qazvin River using NSFQI Index for water quality Classification. *J. Ecobio.*, 12(1), 99-112.

Moradi Haranji, A., Shokoohi, A., 2018. Evaluation and zoning of river quality using the water index (NSFWQI) and its comparison with the Iranian surface water quality index IRWQIsc. Master's degree. Khomeini International University. [In Persian].

Nadiri, A., Sedghi, Z., 2019. Vulnerability assessment of multiple aquifers using DRASTIC, SINTACS methods. *Journal of Hydrogeology, University of Tabriz*, 2 (4), 171-186. [In Persian].

Rafiei, N., Azari, A., 2020. Evaluation of the effects of constructing urban and agricultural wastewater treatment plants on improving the quality and pollution of the Dez River. *Journal of Civil and Environmental Engineering, University of Tabriz*, 50(98), 33-41. [In Persian].

Rahnama, S., Sayari, N., 2016. Introducing water quality indices for the classification and use of unconventional waters in different parts [In Persian].

Rezaei, A., Shahinejad, B., Younesi, H., 2019. Evaluation of intelligent models in estimating the