

ارزیابی کیفیت آب رودخانه کارون بر اساس شاخص‌های NSFQI و IRWQIsc و تعیین وزن پارامترهای مؤثر در این دو شاخص با آنالیز خوشه‌ای و تحلیل سلسله مراتبی

چکیده

رودخانه کارون به عنوان مهم‌ترین رودخانه کشور محسوب می‌شود و جمعیت بسیاری را تحت پوشش قرار می‌دهد. به همین دلیل توجه به تغییرات کیفیت آن امری ضروری محسوب می‌شود. بدین منظور، جهت ارزیابی کیفی این رودخانه از داده‌های ده سال اخیر (۱۳۸۸ الی ۱۳۹۷) برداشت شده از سه ایستگاه ملاثانی، اهواز و فارسیات استفاده شد. پارامترهای موردبررسی در این تحقیق شامل کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، کربنات، بی‌کربنات، کلر، سولفات، هدایت الکتریکی، pH، کدورت، دما، کل املاح جامد و دی‌یو بود. به منظور ارزیابی کیفیت آب رودخانه کارون از دو استاندارد NSFQI و IRWQIsc استفاده شد. همچنین جهت ارزیابی این دو استاندارد، روش آنالیز خوشه‌ای به منظور خوشه‌بندی پارامترهای کیفی رودخانه کارون و تحلیل سلسله مراتبی به منظور وزن دهی به خوشه‌ها مورداستفاده قرار گرفتند. بر اساس استاندارد NSFQI، کیفیت رودخانه کارون بین ۶۲-۵۵ و بر اساس استاندارد IRWQIsc بین ۴۸-۳۹ قرار داشت؛ بنابراین کیفیت آب این رودخانه بر اساس دو استاندارد فوق به ترتیب در گروه‌های متوسط و نسبتاً بد-متوسط قرار داشت. نتایج خوشه‌بندی و وزن دهی به پارامترها نشان داد که پارامترهای SAR، کلسیم، سدیم، پتاسیم، هدایت الکتریکی، کل املاح جامد، کلر، سولفات و منیزیم بیشترین وزن را در هر سه ایستگاه مورد مطالعه داشتند. مقایسه این نتایج با دو استاندارد NSFQI و IRWQIsc نشان داد که استاندارد دوم با وضعیت موجود رودخانه کارون تطابق بیشتری داشت. گرچه این محققان پیشنهاد می‌کنند برای رودخانه کارون استاندارد نوینی بر اساس وزن‌های به‌دست‌آمده ایجاد شود.

واژگان کلیدی: اهواز، خوشه‌بندی پارامترها، روش AHP، کیفیت رودخانه.

مقدمه

رودخانه‌ها همواره به عنوان یکی از منابع اساسی تأمین آب برای مصارف گوناگون مطرح بوده‌اند. ارزیابی کیفیت آن‌ها بر اثر عوامل مختلف به مدیران و برنامه‌ریزان اجازه می‌دهد که درک بهتری از وضعیت رودخانه داشته باشند (Chigor et al., 2012). در حالت کلی، هر ماده‌ای و جسمی که مانع استفاده طبیعی از آب شود به عنوان آلوده‌کننده آب تلقی می‌گردد. به همین دلیل تعیین یک استاندارد واحد برای بررسی کیفیت آب رودخانه‌ها غیرممکن است. به همین دلیل شاخص‌های متعددی برای تعیین کیفیت آب رودخانه‌ها ارائه شده است. ارزیابی و شناخت کیفیت آب رودخانه‌ها با استفاده از طبقه‌بندی شاخص‌های کیفیت آب سبب ارائه نتایج دقیق‌تر و پیش‌بینی‌های سریع‌تر می‌گردد و این امکان را فراهم می‌نماید که با بیانی ساده بتوان کیفیت آب رودخانه‌ها را طبقه‌بندی نمود (دزفولی و همکاران، ۱۳۹۶).

شاخص کیفیت آب NSFQI یکی از شاخص‌های پرکاربرد جهت طبقه‌بندی کیفیت آب‌های سطحی است که بر اساس پارامترهای دما، کدورت، فسفات، نیتрат، کلی فرم مدفوعی، pH، BOD، TS و DO تعیین می‌گردد (Liou et al., 2003; Hernandez-Romero et al., 2004). این پارامترها در برآورد شاخص مذکور نقش یکسانی نداشته و دارای ضریب وزنی متفاوتی می‌باشد. این شاخص در سال ۱۹۷۰ با

سارا هوشمند^۱

اصلان اگدرنژاد^{۲*}

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.
۲. استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

*مسئول مکاتبات:

a_eigder@ymail.com

کد مقاله: ۱۴۰۰۳۰۸۲۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۳۰

این مقاله پژوهشی و برگرفته از پایان‌نامه

کارشناسی ارشد است.

حمایت بهداشت ملی آمریکا بر اساس نظرسنجی از تعداد زیادی از متخصصان ارائه گردید (Jonnalagadda and Mhere, 2001; Ramirez and Solano, 2004). استفاده از شاخص NSFQI بسیار متداول بوده و توسط بسیاری از محققان از جمله نصیر احمدی و همکاران (۱۳۹۱)، حسینیان و همکاران (۱۳۸۵)، سالاری و همکاران (۱۳۹۱)، عصار و همکاران (۱۳۹۳)، ظهیری و همکاران (۱۳۹۳)، ماه‌رویان و همکاران (۱۳۹۹)، رستمی و همکاران (۱۳۹۹)، پارسایی و همکاران (۱۳۹۹)، Karbassi و همکاران (۲۰۱۱)، Jose Maria و همکاران (۲۰۱۸)، Noori و همکاران (۲۰۱۹)، Azami و همکاران (۲۰۱۹) و Zotou و همکاران (۲۰۱۹) مورد استفاده قرار گرفته است. این محققان با استفاده از این شاخص، به ارزیابی آب رودخانه‌های مختلف پرداختند.

شاخص IRWQIsc نیز یکی دیگر از شاخص‌های ارائه شده برای تعیین کیفیت آب است که به منظور تعیین کیفیت منابع آب در ایران پیشنهاد شده است. این شاخص از ۱۱ پارامتر به منظور برآورد کیفیت آب استفاده می‌کند (بی‌نام، ۱۳۹۳). در این شاخص، خلاف شاخص‌های دیگر، پارامتر دمای آب نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد (بی‌نام، ۱۳۹۳). پارامترهای مورد استفاده در این شاخص نیز وزن یکسانی نداشته و ضرایب متفاوتی دارند. از جمله محققانی که از این شاخص برای سنجش کیفیت آب استفاده کرده‌اند می‌توان به شکوهی و مدبری (۱۳۹۷) و اعظمی و همکاران (۱۳۹۸) اشاره کرد. وزن‌های اعلام شده برای پارامترها دخیل در دو شاخص NSFQI و IRWQIsc بر اساس نظرسنجی عمومی تعیین شده‌اند؛ به همین دلیل برخی محققان پیشنهاد کرده‌اند که برای ارزیابی‌های محلی بهتر است این دو شاخص اصلاح شوند (فلاح و فاخران اصفهانی، ۱۳۹۶). به همین دلیل می‌بایست از روش‌های اصلاحی برای وزن دهی پارامترهای شاخص‌های کیفی آب استفاده کرد. یکی از روش‌های پیشنهادی برای اصلاح این دو شاخص، استفاده از آنالیز خوشه‌ای و روش تحلیل سلسله مراتبی است (سالاری و همکاران، ۱۳۹۱).

آنالیز خوشه‌ای فرایندی است که با استفاده از آن می‌توان پارامترهای با خصوصیات یکسان را در خوشه‌های واحد قرارداد. به دلیل قابلیت بالای این روش، در سال‌های اخیر توجهات زیادی به آن معطوف شده است و معمولاً از آن به عنوان طبقه‌بندی یا تحلیل گروه یاد می‌شود (Hajigholizadeh and Melesse, 2017; Du et al., 2017). روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) یکی از مهم‌ترین و جامع‌ترین روش‌های ارائه شده در زمینه‌ی تصمیم‌گیری است که امکان بررسی فرایند را به صورت سلسله مراتبی را فراهم می‌کند (Saaty and Vargas, 1998). درواقع این روش گزینه‌های مختلف مرتبط با مسئله را بر تصمیم‌گیری دخالت داده و اثرگذاری معیارها بر زیرمعیارها را مشخص می‌کند. از طرف دیگر، با گروه‌بندی پارامترها با استفاده از آنالیز خوشه‌ای، نظر دهی خبرگان برای تعیین اوزان پارامترهای شاخص‌های کیفیت آب راحت‌تر خواهد شد. به صورت کلی می‌توان گفت که استفاده هم‌زمان این دو روش، پس از ارزیابی گزینه‌های مختلف بر کیفیت آب، پارامترهای مؤثرتر را انتخاب می‌کند (خریدار و پویا، ۱۳۹۵؛ Ozcan and Çelebi, 2011) و سبب می‌شوند تا طبقه‌بندی کیفیت آب برای رودخانه با توجه به مسائل اجتماعی، اقتصادی و فنی در نظر گرفته شود. به همین دلیل محدودیت‌های موجود در دو شاخص NSFQI و IRWQIsc از بین رفته و درواقع شاخص‌های مذکور برای مکان مورد مطالعه اصلاح می‌شود.

حوزه آبریز کارون مجموعاً بیش از ۷۰ درصد جمعیت، ۴۵ درصد از اراضی آبی و ۸۰ درصد از صنایع استان خوزستان را در خود جای داده است. همچنین استقرار فعالیت بیش از ۳۰ درصد صنایع مادر و طرح‌های عظیم نظیر قند دزفول، کاغذسازی پارس، کشت و صنعت‌ها و صنایع وابسته در آن مشهود است. در حال حاضر حجم بسیار بالایی از زه آب اراضی کشاورزی و همچنین فاضلاب صنعتی به این منابع آبی تخلیه می‌گردد. در رودخانه کارون ایستگاه‌های متعدد سنجش کیفیت آب وجود دارد لیکن سه ایستگاه ملاثانی، اهواز و فارسیات اهمیت بیشتری نسبت به سایر ایستگاه‌ها دارند. علت اهمیت این ایستگاه‌ها وجود تعداد داده زیاد در سال‌های اخیر، نزدیکی به شهرستان اهواز و تعدد پارامترهای کیفی مورد بررسی می‌باشد.

با توجه به اهمیت موضوع، در این تحقیق سعی شد روشی نوین برای وزن دهی به پارامترهای دخیل در کیفیت آب رودخانه کارون به کار گرفته شود. بدین منظور، ابتدا با استفاده از دو شاخص NSFQI و IRWQIsc، کیفیت آب رودخانه کارون تعیین شود. سپس با خوشه‌بندی پارامترهای کیفیت آب و وزن دهی به آن‌ها، وزن‌های جدیدی برای هر خوشه تعیین شد.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر باهدف تعیین کیفیت رودخانه کارون در محدوده شهر اهواز و با استفاده از داده‌های برداشت‌شده در بازه سال‌های ۱۳۸۸ الی ۱۳۹۷ انجام شد. این داده‌ها شامل کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، کربنات، بی‌کربنات، کلر، سولفات، هدایت الکتریکی، pH، کدورت، دما، کل املاح جامد و دبی بود. مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. برای تعیین دو شاخص $IRWQIsc$ و $NSFWQI$ ، از رابطه‌های ۱ و ۲ استفاده شد. اوزان هر کدام از این شاخص‌ها در جدول ۲ و رتبه‌بندی آن‌ها در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های اندازه‌گیری در رودخانه کارون.

نام ایستگاه	ملاطانی	اهواز	فارسیات
طول جغرافیایی	۵۲° ۴۸'	۴۱° ۴۸'	۵۳° ۴۸'
عرض جغرافیایی	۳۵° ۳۱'	۲۰° ۳۱'	۳۵° ۳۱'

$$IRWQIsc = \left[\prod_{i=1}^N I_i^{W_i} \right]^{\frac{1}{\sum_{i=1}^N W_i}} \quad \text{رابطه ۱:}$$

$$NSFWQI = \frac{\sum_{i=1}^N W_i I_i}{\sum_{i=1}^N W_i} \quad \text{رابطه ۲:}$$

که در این رابطه‌ها، W_i وزن هر پارامتر، I_i مقدار شاخص برای هر پارامتر با استفاده از منحنی رتبه‌بندی و N تعداد پارامترها می‌باشد.

جدول ۲: وزن پارامترهای مورد استفاده در شاخص‌های $IRWQIsc$ و $NSFWQI$.

ردیف	پارامتر	وزن پارامتر		توضیحات
		$IRWQIsc$	$NSFWQI$	
۱	کلی فرم مدفوعی	۰/۱۶	۰/۱۴۰	برحسب MPN/100 ml
۲	BOD5	۰/۱۱	۰/۱۱۷	برحسب میلی گرم بر لیتر
۳	نیترات	۰/۱۰	۰/۱۰۸	برحسب میلی گرم بر لیتر
۴	اکسیژن محلول	۰/۱۷	۰/۰۹۷	برحسب درصد اشباع
۵	فسفات	۰/۱۰	۰/۰۸۷	برحسب میلی گرم بر لیتر
۶	کدورت	۰/۰۸	۰/۰۶۲	برحسب NTU
۷	pH	۰/۱۷	۰/۰۵۱	واحد استاندارد
۸	TDS	۰/۰۷	-	برحسب میلی گرم بر لیتر
۹	تغییرات دمایی	۰/۱۰	-	-
۱۰	EC	-	۰/۰۹۶	برحسب میکرو زیمنس بر سانتی متر
۱۱	COD	-	۰/۰۹۳	برحسب میلی گرم بر لیتر
۱۲	آمونیم	-	۰/۰۹۰	برحسب میلی گرم بر لیتر
۱۳	TH	-	۰/۰۵۹	برحسب میلی گرم بر لیتر کربنات کلسیم

جدول ۳: طبقه‌بندی آلودگی رودخانه بر اساس شاخص‌های NSFQI و IRWQIsc.

مقدار شاخص	معادل توصیفی	معادل توصیفی	معادل توصیفی
	NSFWQI		IRWQIsc
۲۵-۰	نسبتاً بد	>۱۵	خیلی بد
۵۰-۲۶	بد	۲۹-۱۵/۹	بد
۷۰-۵۱	متوسط	۴۴-۳۰/۹	نسبتاً بد
۹۰-۷۱	خوب	۵۵-۴۵	متوسط
۱۰۰-۹۱	عالی	۵۵/۷۰-۱	نسبتاً خوب
-	-	۷۰/۸۵-۱	خوب
-	-	<۸۵	بسیار خوب

به منظور دسته‌بندی پارامترهای هم خاصیت از تحلیل خوشه‌ای استفاده شد. برای این کار از نرم‌افزار Minitab 17 استفاده شد. سپس جهت وزن دهی به آن‌ها از روش AHP استفاده گردید. بدین منظور ابتدا ماتریس‌های مقایسه دوتایی برای پارامترهای کیفیت آب رودخانه کارون تشکیل شد. درواقع ماتریس مقایسه دوتایی، یک ماتریس $n \times n$ بوده (رابطه ۳) است که تخصیص امتیازات عددی مربوط به مقایسه زوجی اهمیت دو گزینه یا دو شاخص در آن بر اساس جدول ۴ صورت می‌گیرد.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad \text{رابطه ۳:}$$

در رابطه فوق a_{ij} ترجیح عنصر i نسبت به عنصر j می‌باشد. در مقایسه زوجی معیارها نسبت به یکدیگر بنا به شرط معکوسی رابطه (۴) برقرار است.

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}} \quad \text{رابطه ۴:}$$

جدول ۴: مقیاس انجام مقایسات زوجی (قدسی پور، ۱۳۸۵).

مقایسه نسبی شاخص‌ها (قضایات شفاهی)	امتیاز عددی
اهمیت مطلق	۹
اهمیت خیلی قوی	۷
اهمیت قوی	۵
اهمیت ضعیف	۳
اهمیت یکسان	۱
ترجیحات بین فاصله‌های بالا	۲، ۴، ۶ و ۸

سپس وزن نهایی هر الگو بر اساس رابطه ۵ و نرخ ناسازگاری بر اساس رابطه ۶ محاسبه شد.

$$A = \sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot w_j \quad \text{رابطه ۵:}$$

$$I.R = \frac{I.I}{R.I.I} \quad \text{رابطه ۶:}$$

که در روابط مذکور a_{ij} ترجیح عنصر i ام بر j ام است و w_j نشانگر اهمیت معیار، A ماتریس مقایسه زوجی، $R.I.I$ شاخص ناسازگاری تصادفی (رابطه ۷)، $I.I$ شاخص ناسازگاری (رابطه ۸) و $I.R$ نرخ ناسازگاری می باشد.

$$R.I.I = 1.98 \frac{n-2}{n} \quad \text{رابطه ۷:}$$

$$I.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} \quad \text{رابطه ۸:}$$

در رابطه‌های بالا، n تعداد معیارهای موجود در مسئله، $I.I$ شاخص ناسازگاری و $\lambda_{\max}$ میانگین عناصر برداری سازگاری است. برای استفاده از روش‌های AHP از نرم‌افزار Expert Choice استفاده شد.

نتایج

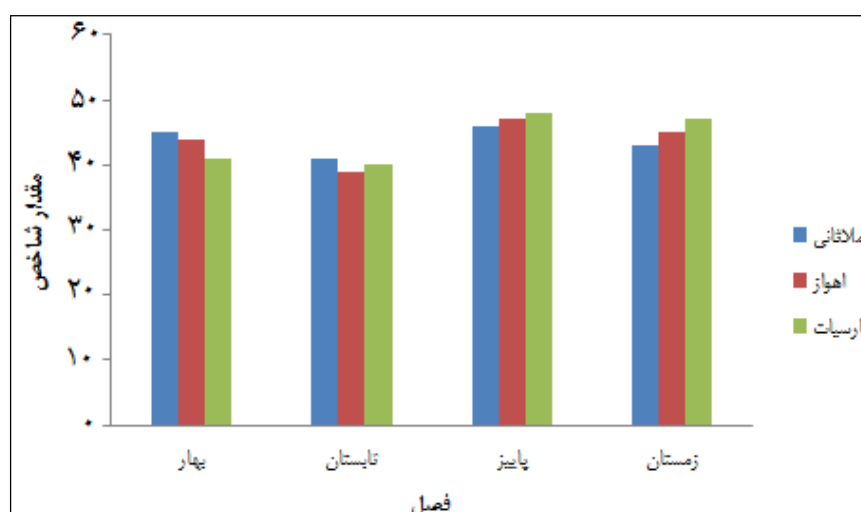
مقادیر میانگین و انحراف معیار پارامترهای مورد مطالعه در جدول ۵ نشان داده شده است. با مقایسه سه ایستگاه ملاثانی، اهواز و فارسیات مشاهده شد که پارامترهای SAR و EC در طول مسیر رودخانه افزایش داشتند، به طوری که مقدار آن‌ها از ایستگاه ملاثانی تا فارسیات به ترتیب ۱۹/۵ و ۲۰/۷ درصد افزایش داشت. این روند برای کاتیون‌ها و آنیون‌ها نیز مشاهده شد. فقط کربنات و پتاسیم روند متغیری در طول رودخانه داشتند، به طوری که مقدار آن‌ها در طول مسیر تقریباً ثابت بود. علت آن پایین بودن مقدار این دو یون در آب رودخانه کارون بود. اختلاف میانگین دمای آب رودخانه کارون از ایستگاه ملاثانی تا فارسیات برابر با ۱/۲ درجه سانتی‌گراد بود. پارامتر pH در طول مسیر رودخانه تقریباً ثابت بود. پارامتر TDS بین دو ایستگاه ملاثانی و اهواز به میزان ۶/۳ درصد و در بین دو ایستگاه ملاثانی و فارسیات ۱۸/۶ درصد افزایش داشت. مقادیر کدورت و دبی آب رودخانه کارون بین دو ایستگاه ملاثانی و اهواز روند کاهشی و بین دو ایستگاه اهواز و فارسیات روند افزایشی داشت.

جدول ۵: مقادیر آماری پارامترهای مورد مطالعه رودخانه کارون (سال ۱۳۹۷).

نام پارامتر	واحد	ایستگاه ملاثانی	ایستگاه اهواز	ایستگاه فارسیات
		میانگین	میانگین	میانگین
SAR	-	۴/۸	۵/۰۹	۵/۷۴
EC	میکرو موس بر سانتی‌متر	۲۱۶۹	۲۳۱۰	۲۶۱۹
Ca	میلی‌اکی‌والان بر لیتر	۷/۱۳	۷/۱۸	۸/۵۵
K	میلی‌اکی‌والان بر لیتر	۰/۰۹	۰/۱۱	۰/۰۳

نام پارامتر	واحد	ایستگاه ملاثانی		ایستگاه اهواز		ایستگاه فارسیات	
		میانگین	ضریب تغییرات	میانگین	ضریب تغییرات	میانگین	ضریب تغییرات
Na		۱۱/۳۱	۰/۴۴	۱۲/۳۶	۰/۴۳	۱۴/۳۲	۰/۲۴
Cl		۱۰/۹۸	۰/۴۴	۱۱/۸۵	۰/۴۲	۱۴/۱۴	۰/۲۳
CO ₃		.	.	.	.	.	.
HCO ₃		۳/۳۴	۰/۱۶	۳/۴۲	۰/۱۶	۳/۲۹	۰/۱۴
SO ₄		۷/۸۷	۰/۴۱	۸/۴۵	۰/۳۷	۹/۴۲	۰/۳۴
Mg		۳/۵۴	۰/۵۰	۴/۱۲	۰/۳۸	۴/۱۷	۰/۲۴
دما	درجه سانتی‌گراد	۲۱/۴	۰/۲۳	۲۲/۶	۰/۲۶	۲۲/۶	۰/۲۲
TDS	میلی‌گرم بر لیتر	۱۳۹۷	۰/۲۵	۱۴۸۵	۰/۳۳	۱۶۵۷	۰/۱۳
pH	-	۷/۵	۰/۰۲	۷/۵	۰/۰۲	۷/۴	۰/۰۲
کدورت	NTU	۱۴۶۸	۱/۹۷	۵۶۹/۱	۲/۷۰	۷۲۵/۴	۳/۳۰
دبی	مترمکعب بر ثانیه	۳۶۱/۶	۰/۹۱	۴۱۷/۴	۰/۹۸	۲۶۶/۵	۰/۳۹

کیفیت آب رودخانه کارون بر اساس شاخص IRWQIsc بین بازه‌ی ۴۸-۳۹ قرار داشت. بر اساس این نتایج کیفیت آب این رودخانه در گروه نسبتاً بد تا متوسط قرار داشت. متوسط فصلی این شاخص برای بازه زمانی مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است. بیشترین و کمترین مقدار این شاخص در ایستگاه ملاثانی به ترتیب برابر ۴۶ و ۴۱ به دست آمد. بیشترین و کمترین مقدار این شاخص نیز برای ایستگاه اهواز به ترتیب برابر ۴۷ و ۳۹ تعیین شد. به همین صورت برای ایستگاه فارسیات نیز بیشترین و کمترین مقدار این شاخص برابر ۴۸ و ۴۰ مشاهده شد. نتایج به دست آمده برای شاخص NSFQI نیز نشان داد که مقدار این شاخص بین ۶۲-۵۵ متغیر بود (شکل ۲)؛ بنابراین کیفیت آب این رودخانه در هر سه ایستگاه مورد مطالعه در دسته متوسط قرار داشت.

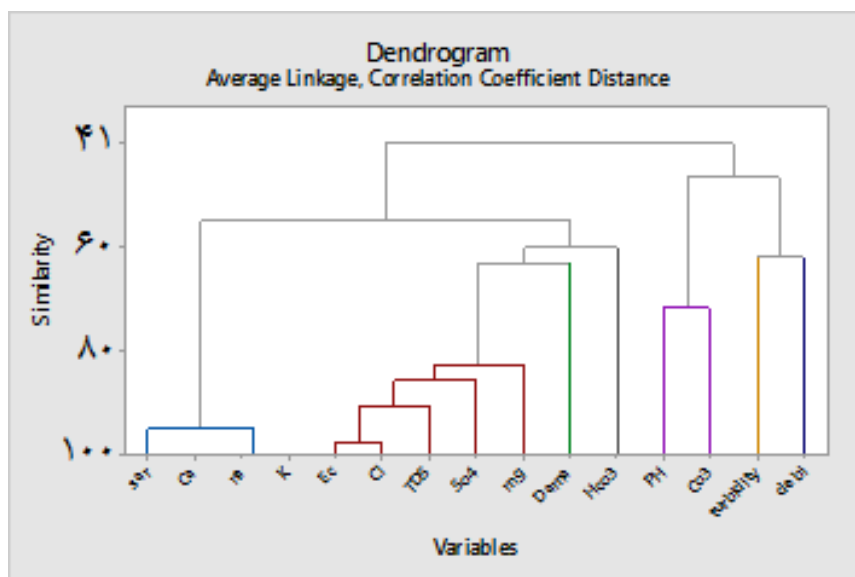


شکل ۱: مقدار شاخص IRWQIsc در رودخانه کارون برای هر فصل (سال ۱۳۹۷).

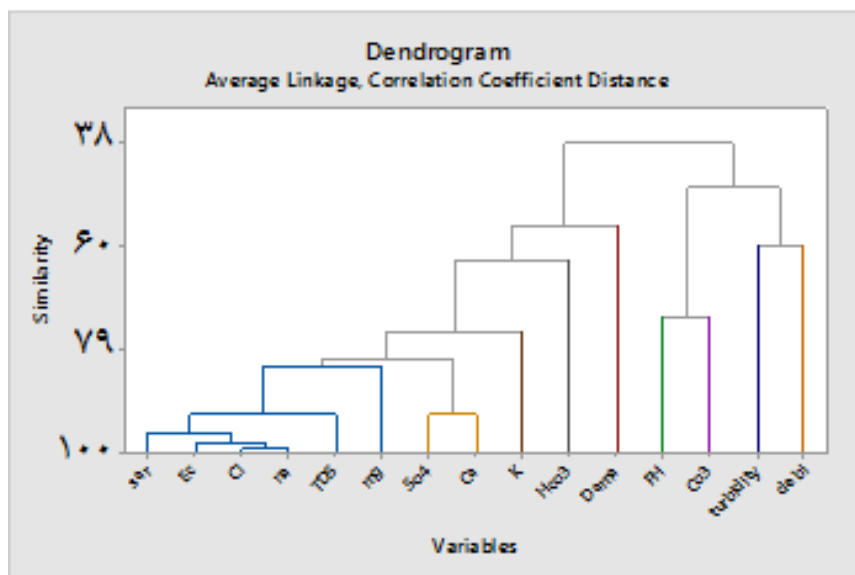


شکل ۲: مقدار شاخص NSFQI برای هر فصل (سال ۱۳۹۷).

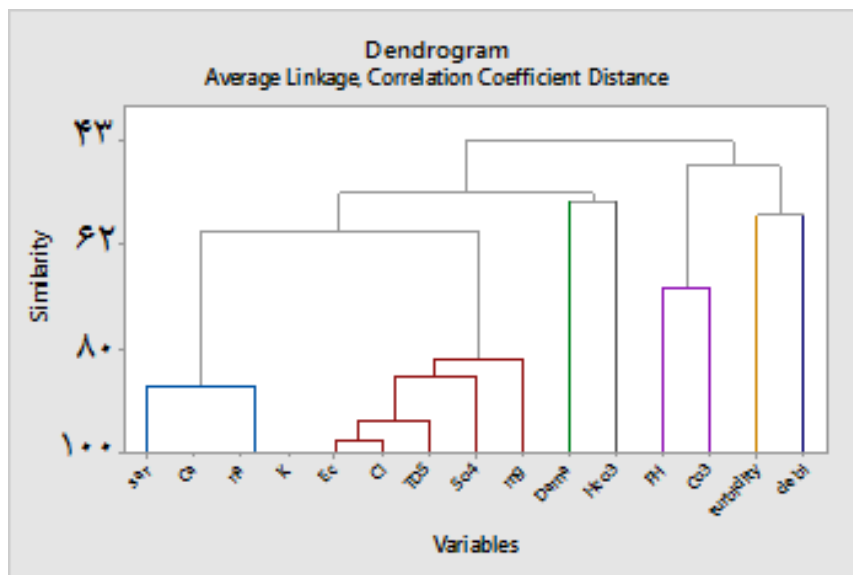
نتایج تحلیل خوشه‌ای ابتدا برای هر ایستگاه به صورت جداگانه به دست آمد تا بتوان در مورد خوشه‌بندی نهایی تصمیم‌گیری بهتری نمود. سپس خوشه‌بندی برای کلیه داده‌های مورد استفاده انجام شد. با توجه به اینکه تعداد داده‌های برداشت شده تنها در بازه ده‌ساله بود، تفکیک خوشه‌بندی برای هر فصل انجام نشد. بدین ترتیب، بر اساس اختلاف بین سطح تشابه داده‌ها در ایستگاه اهواز، تعداد خوشه‌ها برابر با هفت بود. دندروگراف خوشه‌ها در شکل ۳ نشان داده شده است. بر اساس این دندروگراف، پارامترهای SAR، کلسیم، سدیم و پتاسیم در یک خوشه قرار گرفتند. بر اساس این نتایج، EC، TDS، کلر و سولفات در خوشه دوم، دما در خوشه سوم، pH و کربنات در خوشه چهارم، بی‌کربنات در خوشه پنجم، کدورت در خوشه ششم و دی‌اکسید کربن در خوشه هفتم قرار گرفت (جدول ۶). نتایج خوشه‌بندی برای ایستگاه فارسیات در شکل ۴ نشان داده شده است. سطح تشابه خوشه‌های ایجاد شده ۳۸/۸۵۸۸ درصد بود. بر اساس این سطح تشابه، نه خوشه مطابق جدول ۷ ایجاد شد. برای این ایستگاه، خوشه نخست شامل SAR، هدایت الکتریکی، املاح کل، کلر، منیزیم و سدیم بود. دما در خوشه دوم، pH در خوشه سوم، کربنات در خوشه چهارم، بی‌کربنات در خوشه پنجم، سولفات و کلسیم در خوشه ششم، کدورت در خوشه هفتم، پتاسیم در خوشه هشتم و دی‌اکسید کربن در خوشه نهم قرار گرفتند. بر اساس این نتایج، مشاهده گردید که در این ایستگاه تقریباً هر کدام از پارامترها اثر مستقلی بر کیفیت آب دارند. نتایج خوشه‌بندی برای ایستگاه ملاتانی در شکل ۶ نشان داده شده است. بر اساس این نتایج، سطح تشابه خوشه‌ها برابر با ۴۱/۴۳۱۳ درصد بود. مقایسه سطوح تشابه نشان داد که ده خوشه در این ایستگاه وجود داشت. بر اساس این نتایج، پارامترهای SAR، هدایت الکتریکی، کل املاح جامد، کلر و سدیم در خوشه اول، دما در خوشه دوم، pH در خوشه سوم، کربنات در خوشه چهارم، بی‌کربنات در خوشه پنجم، سولفات و کلسیم در خوشه ششم، کدورت در خوشه هفتم، منیزیم در خوشه هشتم، پتاسیم در خوشه نهم و دی‌اکسید کربن در خوشه دهم قرار گرفت.



شکل ۳: دندروگراف خوشه‌بندی پارامترها برای ایستگاه اهواز.



شکل ۴: دندروگراف اولیه خوشه‌بندی پارامترها برای ایستگاه فارسیات.

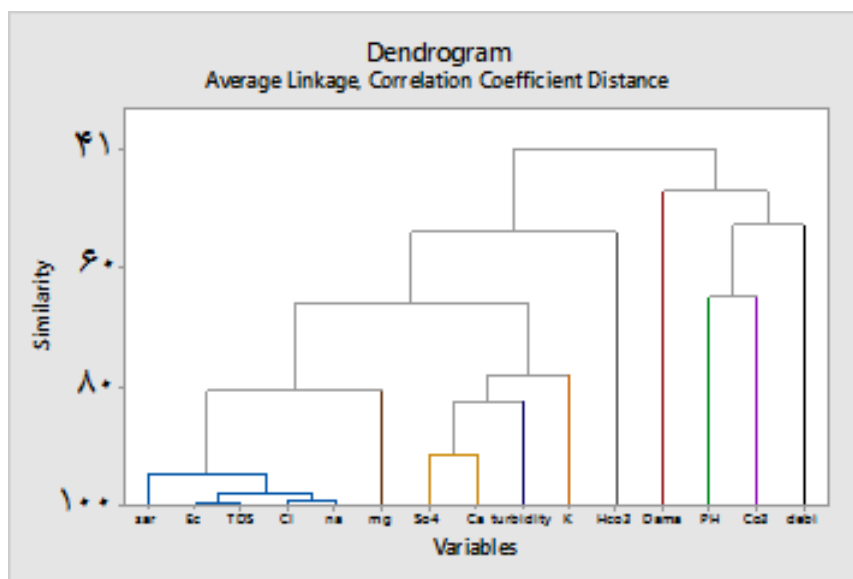


شکل ۵: دندروگراف اولیه خوشه‌بندی پارامترها برای ایستگاه ملاثانی (سال ۱۳۹۷).

جدول ۶: نتایج خوشه‌بندی پارامترها برای ایستگاه‌های اهواز، فارسیات و ملاثانی (سال ۱۳۹۷).

تعداد خوشه	اهواز	فارسیات	ملاثانی
۱	SAR Ca Na K	SAR EC TDS Cl Mg Na	SAR EC TDS Cl Na
۲	EC TDS Cl SO ₄ Mg	دما	دما
۳	دما	pH	pH
۴	PH CO ₃	CO ₃	CO ₃
۵	HCO ₃	HCO ₃	HCO ₃
۶	کدورت	SO ₄ Ca	SO ₄ Ca
۷	دبی	کدورت	کدورت
۸	-	K	Mg
۹	-	دبی	K
۱۰	-	-	دبی

به‌منظور تعیین یک شاخص عمومی برای کلیه ایستگاه‌های موجود در رودخانه کارون، داده‌های موجود در هر سه ایستگاه به‌صورت هم‌زمان برای خوشه‌بندی در نظر گرفته شدند. نتایج به‌دست‌آمده در شکل ۶ نشان داده‌شده است. با توجه به این نتایج، سطح تشابه برای خوشه‌ها برابر با ۴۱/۴۳۱۳ درصد بود. بر اساس خوشه‌بندی پارامترها با توجه به اختلاف بین سطوح تشابه، تعداد خوشه‌ها برابر با هفت تعیین شد. پارامترهای موجود در این خوشه‌ها در جدول ۷ نشان داده‌شده است. بر اساس این نتایج، SAR، کلسیم، سدیم و پتاسیم در خوشه اول، هدایت الکتریکی، کلر، سولفات و منیزیم در خوشه دوم، دما در خوشه سوم، pH و کربنات در خوشه چهارم، بی‌کربنات در خوشه پنجم، کدورت در خوشه ششم و دبی در خوشه هفتم قرار گرفت. همچنین، وزن دهی برای خوشه‌های ایجادشده برای هر ایستگاه نیز انجام شد (جدول ۷).



شکل ۶: دندروگراف اولیه خوشه‌بندی پارامترها برای هر سه ایستگاه (سال ۱۳۹۷).

جدول ۷: نتایج خوشه‌بندی پارامترها برای هر سه ایستگاه (سال ۱۳۹۷).

Variables	
Cluster 1	SO ₄ Ca Turbidity K
Cluster 2	EC TDS Cl Na SAR
Cluster 3	دما
Cluster 4	pH CO ₃
Cluster 5	HCO ₃
Cluster 6	Mg
Cluster 7	دبی

به‌منظور وزن دهی به هر کدام از خوشه‌های به‌دست‌آمده در جدول‌های ۶ و ۷، از روش تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده شد. با توجه به اینکه تصمیم‌گیری برای انتخاب روشی جهت تعیین کیفیت آب رودخانه کارون نیازمند دسترسی به تعداد داده‌های زیاد است؛ برای وزن دهی به هر کدام از خوشه‌ها از مجموع داده‌های سه ایستگاه نیز استفاده شد. بدین منظور پرسشنامه‌ای بین ۲۵ نفر از خبرگان پخش شد و نتایج آن با استفاده از نرم‌افزار Expert choice مطابق جدول ۸ تعیین شد. بر اساس این نتایج، نرخ ناسازگاری برای هر ایستگاه مورد مطالعه و مجموع ایستگاه‌ها از ۰/۱ بود؛ بنابراین می‌توان به این نتایج اعتماد کرد (Saaty, 2001). بر اساس این نتایج، در خوشه‌بندی مجموع سه ایستگاه، بیشترین وزن به خوشه دوم اختصاص یافت. در این خوشه پارامترهای مهمی مانند هدایت الکتریکی، کل املاح جامد، کلر، سولفات و منیزیم قرار داشت. دومین وزن به خوشه نخست اختصاص یافت. در این خوشه پارامترهایی مانند SAR، کلسیم، سدیم و پتاسیم وجود داشت. سومین وزن از نظر بزرگی به پارامتر دبی رودخانه اختصاص داشت. در ایستگاه ملائانی، خوشه نخست بیشترین وزن را داشت. در این خوشه پارامترهای سدیم، کلر، کل املاح جامد، هدایت الکتریکی و SAR وجود داشت. ایستگاه اهواز وضعیت مشابهی با خوشه‌بندی مجموع ایستگاه‌ها داشت و علت آن وجود پارامترهای مشابه مجموع ایستگاه در خوشه‌بندی بود. در ایستگاه فارسیات، خوشه نخست که شامل پارامترهای سدیم، منیزیم، کلر، کل املاح جامد، هدایت

الکتریکی و SAR بود بیشترین وزن را به خود اختصاص داد. با مقایسه اوزان برای سایر پارامترها در هر کدام از ایستگاه‌ها، مشاهده شد که وزن اختصاص داده شده برای هر کدام از پارامترها تقریباً مشابه بود.

جدول ۸: نتایج وزن‌های به‌دست‌آمده با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (سال ۱۳۹۷).

نام خوشه	نام ایستگاه		
	فارسیات	اهواز	ملاطانی
یک	۰/۵۹۱	۰/۱۴۲	۰/۵۸۰
دو	۰/۰۷۹	۰/۴۹۶	۰/۴۵۷
سه	۰/۰۰۷	۰/۰۸۹	۰/۰۸۵
چهار	۰/۰۲۸	۰/۰۲۵	۰/۰۰۳
پنج	۰/۰۰۶	۰/۰۴۳	۰/۰۱۶
شش	۰/۰۷۵	۰/۰۸۰	۰/۰۷۰
هفت	۰/۰۷۷	۰/۱۲۵	۰/۰۷۱
هشت	۰/۰۴۴	۰	۰/۰۵۹
نه	۰/۰۹۳	۰	۰/۰۳۷
ده	۰	۰	۰/۰۸۸
نرخ ناسازگاری	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۰۸

بحث و نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج IRWQIsc، گرم شدن هوا در فصل تابستان و افزایش غلظت آلاینده‌ها در این فصل، سبب کاهش این شاخص در ایستگاه‌های مورد مطالعه شد. بهترین کیفیت آب این رودخانه در هر سه ایستگاه مورد مطالعه در فصل پاییز مشاهده شد. در خصوص شاخص NSFQI نیز تغییرات تقریباً مشابهی مشاهده شد. در ایستگاه اهواز تغییرات بسیار اندکی برای این شاخص در طول دوره بررسی وجود داشت و تنها در تابستان مقدار شاخص NSFQI چهار واحد نسبت به زمستان کاهش یافت. این روند نزولی توسط برخی محققان از جمله Dehghani و همکاران (2018) گزارش شده است. سالاری و همکاران (۱۳۹۱) در مطالعه‌ای بر روی رودخانه کارون مقدار شاخص NSFQI را پایین‌تر از مقدار به‌دست‌آمده در این تحقیق حاضر گزارش کردند. این محققان کیفیت رودخانه را در بازه زرگان تا اهواز بررسی کردند و مقدار این شاخص را بین ۴۵/۵-۴۶ تعیین کردند. حسینی و همکاران (۱۳۹۲) نیز نتایج مشابه گزارش کردند. در تحقیق حاضر، بیشترین مقدار این شاخص در ایستگاه ملاطانی برابر ۶۲ تعیین شد. کمترین مقدار این شاخص نیز برابر ۵۶ به دست آمد. Stephano و Sharma (۲۰۱۸) متوسط مقادیر NSFQI را برای رودخانه‌های جاری در تانزانیا برابر با ۵۳ گزارش کردند که به مقدار به‌دست‌آمده در تحقیق حاضر نزدیک است. تغییرات مقدار شاخص NSFQI در فواصل بین ایستگاه‌ها، نشان‌دهنده‌ی افزایش آلودگی یا خود پالایی رودخانه می‌باشد. با توجه به نتایج این تحقیق، عمدتاً آلودگی این رودخانه در طول مسیر در حال افزایش است و به همین دلیل تغییرات این شاخص عمدتاً به‌صورت نزولی است. همچنین نتایج این تحقیق بیانگر این است که علی‌رغم ورود آلاینده‌های مختلف در طول مسیر حرکت رودخانه، در فصول پاییز و تابستان، خود پالایی رودخانه‌ها و کاهش دما سبب کاهش آلودگی‌ها بین ایستگاه‌های مورد مطالعه بود. این نتایج با مشاهدات Dehghani و همکاران (۲۰۱۸) مطابقت داشت.

در استاندارد NSFQI پارامترهای pH، دما، کدورت و کل املاح جامد به ترتیب بیشترین اوزان را دارند. در استاندارد IRWQIsc نیز پارامترهای هدایت الکتریکی، کدورت، کل املاح جامد و pH به ترتیب وزن بیشتری به خود اختصاص داده‌اند. همچنین در استاندارد IRWQIsc

پارامتر هدایت الکتریکی لحاظ شده است که در استاندارد NSFQI نیست. در استاندارد NSFQI پارامتر TDS برای این منظور لحاظ شده است. این دو پارامتر اثر زیادی بر کیفیت آب این رودخانه دارند به همین دلیل بالا بودن وزن آن سبب نزدیک بودن مقدار استاندارد به مقادیر واقعی است. دزفولی و همکاران (۱۳۹۶) با بررسی روش‌های پیش‌بینی کیفیت آب و مقایسه آن‌ها با NSFQI، TDS را جز حداقل پارامترهای موردنیاز برای تعیین کیفیت آب رودخانه کارون گزارش کردند. وزن اختصاص داده‌شده به TDS در خوشه‌بندی ایجادشده برای مجموع ایستگاه‌ها ۶/۵ و ۴/۸ برابر بزرگ‌تر از اوزان اختصاص داده‌شده به TDS و EC به ترتیب در دو استاندارد NSFQI و IRWQIsc بود. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده برای هر سه ایستگاه مورد مطالعه، مشاهده شد که پارامترهای پتاسیم، سدیم، کلسیم و SAR نیز اثر زیادی بر کیفیت آب رودخانه کارون داشتند. باین وجود هیچ‌کدام از این پارامترها در دو استاندارد معرفی‌شده وجود نداشت. پارامتر دی‌ی رودخانه نیز یکی از عوامل مؤثر بر کیفیت آب رودخانه کارون تعیین شد. وزن این پارامتر در هر سه ایستگاه بالا بود. باین وجود این پارامتر در هیچ‌کدام از این دو استاندارد مورد استفاده قرار نگرفته است. دما در استاندارد NSFQI در نظر گرفته‌شده است در صورتی که هیچ وزنی در استاندارد IRWQIsc به آن اختصاص داده نشده است. وزن دما در شاخص NSFQI ۱/۸ برابر وزن آن در روش تحلیل سلسله مراتبی برای مجموع سه ایستگاه بود؛ بنابراین در فصل تابستان که دمای هوا بیشتر است، خطای ایجادشده در استاندارد NSFQI بیشتر از فصل‌های دیگر است. نتایج مشابه توسط Dehghani و همکاران (2018) گزارش شده است. این محققان تغییرات شاخص NSFQI را برای کیفیت آب رودخانه‌ها در فصول زمستان و تابستان برابر با ۲۶ واحد گزارش کردند. مقادیر به‌دست‌آمده توسط این محققان از ۸۶ در زمستان به ۶۰ در تابستان نزول کرد. این محققان دما را به‌عنوان عامل این نزول کیفیت بیان کردند. وزن پارامتر pH در خوشه‌بندی برابر با ۰/۲۹ به دست آمد. مقادیر وزنی این پارامتر در دو استاندارد NSFQI و IRWQIsc به ترتیب برابر با ۰/۱۷ و ۰/۵۱ بود؛ بنابراین وزن این پارامتر در استاندارد IRWQIsc به نتایج خوشه‌بندی نزدیک‌تر بود. برای پارامتر کدورت، استاندارد NSFQI مقدار نزدیک‌تری به نتایج خوشه‌بندی داشت. بر اساس شکوهی و مدبر (۱۳۹۷)، وزن‌های برخی پارامترهای NSFQI نسبت به IRWQIsc بهتر تعیین شده است. این محققان گزارش کردند که بهتر است در وزن‌های به‌دست‌آمده در استانداردها تجدیدنظر به عمل آید و این عمل را برای IRWQIsc به‌عنوان یک استاندارد بومی در ایران ضروری‌تر دانستند.

جمع‌بندی نتایج نشان داد که در دو استاندارد NSFQI و IRWQIsc دو پارامتر EC و SAR وزن مشابهی با نتایج به‌دست‌آمده از خوشه‌بندی داشتند. گرچه وزن آن‌ها نیز به مراتب کمتر از وزن پیشنهادشده در این تحقیق بود. از طرف دیگر، در دو استاندارد NSFQI و IRWQIsc، پارامترهایی نیز وجود داشت که اندازه‌گیری آن‌ها توسط مراکز پایش کیفیت آب به‌ندرت انجام می‌شود. به همین دلیل ارائه‌دهندگان این دو استاندارد اندازه‌گیری سه پارامتر از بین پارامترهای موردنیاز را کافی بیان کرده‌اند. این موضوع سبب ایجاد خطا در تعیین کیفیت نهایی رودخانه می‌شود. باین وجود، اوزان ارائه‌شده در استاندارد IRWQIsc مشابهت بیشتری با مقادیر به‌دست‌آمده در این تحقیق داشتند. گرچه بین کلیه استانداردهای موجود در جهان تفاوت‌هایی در جهت اولویت پارامترها و وزن‌های آن‌ها وجود دارد؛ لیکن به نظر بهتر است برای رودخانه مهمی مانند کارون استاندارد ویژه‌ای بر اساس اوزان به‌دست‌آمده در این تحقیق تعیین گردد.

منابع

- اعظمی، ج.، کیانی‌مهر، ن.، زمانی، ع.، عبدالحی، ز.، زارعی، م. و جعفری، ن.، ۱۳۹۸. ارزیابی سلامت کیفی آب رودخانه قزل‌اوزن در محدوده استان زنجان با استفاده از شاخص‌های IRWQIsc، NSFQI و Liou. مهندسی بهداشت محیط البرز، ۶(۴): ۳۸۵-۴۰۰.
- بی‌نام، ۱۳۹۳. راهنمای محاسبه شاخص کیفیت منابع آب ایران، موسسه استانداردها و تحقیقات صنعتی ایران، ۴۲ ص.
- پارسایی، ف.، محمودی، م. ع. و اگدرنژاد، ا.، ۱۳۹۹. ارزیابی کیفی آب‌های زیرزمینی برای شرب و کشاورزی در دشت قروه. اکو بیولوژی تالاب، ۱۲(۱): صفحات ۸۰-۶۵.

- حسینیان، س.، موبد، پ.، حسینی، ن.، حسینی‌زارع، ن. و آخوندزاده، ح.، ۱۳۸۵. طبقه‌بندی کیفیت آب رودخانه کارون با استفاده از شاخص ملی کیفیت آب (WQI) از گتوند تا خرمشهر و از دزفول تا بامدژ. هفتمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی رودخانه.
- حسینی، پ.، ایلدرومی، ع. و حسینی، ع.، ۱۳۹۲. بررسی کیفیت آب رودخانه کارون با استفاده از شاخص NSFQI در بازه زرگان تا کوت امیر (طی ۵ سال). ۲ (۲۵-پیاپی ۳۶): صفحات ۱-۱۱.
- خزیدار، ف. و پویا، ع.، ۱۳۹۵. تاکسونومی استراتژی‌های انتخاب تأمین‌کننده و عملکرد کسب‌وکار آن‌ها (مورد مطالعه: شرکت‌های کاشی و سرامیک). فصلنامه پژوهشنامه بازرگانی، ۸۰: صفحات ۱۴۹-۱۲۱.
- دزفولی، د.، حسینی موغاری، س. م.، ابراهیمی، ک. و عراقی نژاد، ش.، ۱۳۹۶. تعیین طبقه‌بندی کیفیت آب بر اساس حداقل پارامترهای کیفی (مطالعه موردی: رودخانه کارون). محیط‌زیست طبیعی (منابع طبیعی ایران)، ۷۰ (۳): صفحات ۵۹۵-۵۸۳.
- رستمی، م. ح.، وحیدی، ح.، طایفه، س. م. و احمدی کلان، م.، ۱۳۹۹. ارزیابی کیفی رودخانه کنگیر ایوان با استفاده از شاخص NSFQI و تأثیر کاهش بار آلاینده‌های نقطه‌ای در افزایش میزان شاخص با استفاده از مدل Qual2kw. اکو بیولوژی تالاب، ۱۲ (۱): صفحات ۹۸-۸۱.
- سالاری، م.، رادمنش، ف. و زارعی، ح.، ۱۳۹۱. ارزیابی کمی و کیفی منابع آب رودخانه کارون با استفاده از شاخص NSFQI و روش AHP. فصلنامه انسان و محیط‌زیست، ۲۳: صفحات ۲۲-۱۳.
- شکوهی، ع. و مدبری، ه.، ۱۳۹۷. ارزیابی و مقایسه حساسیت مدل‌های NSFQI و IRWQI نسبت به پارامترهای کیفیت آب. تحقیقات منابع آب ایران، ۴ (۵): صفحات ۱۲۴-۱۰۹.
- ظهرابی، ن.، علیزاده، ا.، حسونیزاده، ه. و حسین زاده، س. م.، ۱۳۹۳. پهنه‌بندی کیفی رودخانه جراحی بر اساس شاخص NSFQI و با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS). اکو بیولوژی تالاب، ۶ (۴): صفحات ۴۰-۳۱.
- عصار، س.، رجب‌زاده قطرمی، ا. و محمدی روزبهانی، م.، ۱۳۹۳. بررسی کیفیت آب سد دز در ورودی، مخزن و خروجی تا سد تنظیمی با استفاده از شاخص‌های NSFQI و BCWQI. اکو بیولوژی تالاب، ۶ (۲): صفحات ۹۲-۷۹.
- فلاح، م. و فاخران اصفهانی، س.، ۱۳۹۶. ارزیابی کیفیت آب تالاب بین‌المللی انزلی با استفاده از شاخص‌های کیفی. آب و توسعه پایدار، ۴ (۲): ۳۰-۲۳.
- قدسی‌پور، س. ح.، ۱۳۸۵. تحلیل سلسله مراتبی (AHP). انتشارات دانشگاه امیرکبیر، ۲۲۲ ص.
- ماه‌رویان، ف.، تقوی، ل.، سرایی تبریزی، م. و بابازاده، ح.، ۱۳۹۹. ارزیابی کیفیت آب رودخانه قزوين با استفاده از شاخص NSFQI جهت طبقه‌بندی کیفی آب. اکو بیولوژی تالاب، ۱۲ (۱): صفحات ۱۱۲-۹۹.
- نصیراحمدی، ک.، یوسفی، ذ. و ترسلی، ا.، ۱۳۹۱. پهنه‌بندی کیفیت آب رودخانه هراز بر اساس شاخص NSFQI. مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ۲۲: صفحات ۲۲-۲۰.

Aazami, J., Moradpour, H., Zamani, A. and Kianmehr, N., 2019. Ecological quality assessment of Kor River in Fars Province using macroinvertebrates indices. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16: 6935-6944.

Chigor, V. N., Umoh, V. J., Okuofu, Ch.A., Ameh, J. B., Igbinsola, E. O. and Okoh, A. I., 2012. Water quality assessment: surface water sources used for drinking and irrigation in Zaria, Nigeria are a public health hazard. *Environmental Monitoring Assess*, 184: 3389-3400.

Dehghani, R., Miranzadeh, M. B., Jannat, B., Akbari, H., Babaei, M., Moghaddam, V. K., Mazaheri, A., Chimehi, E., Takhtfiroozeh, S. and Salehi, H., 2018. Study on Water Quality in the Ghohrood River of Kashan using National Sanitation Foundation Water Quality Index (NSFWQI) and its Zoning using Geographic Information System (GIS). *Journal of Communicable Diseases*, 50 (4): 29-36.

Du., X., Wu, Sh., Zhang, H. and Xu, S., 2017. Water quality assessment with hierarchical cluster analysis based on Mahalanobis distance. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189 (335).

Hajjigholizadeh, M. and Melesse, A. M., 2017. Assortment and spatiotemporal analysis of surface water quality using cluster and discriminant analysis. *CATENA*, 151: 247-258.

Hernandez-Romero, A. H., Tovilla-Hernández, C., Malo, E. A. and Bello-Mendoza, R., 2004. Water quality and presence of pesticides in a tropical coastal wetland in southern Mexico. *Marine pollution Bulletin*, 48: 1130-1141.

- Jonnalagadda, S.B. and Mhere, G., 2001.** Water quality of the Odzi River in the eastern highlands of Zimbabwe. *Water Research*, 35: 2371–2376.
- Jose Maria, D., Mandla, V. R., Subbarao, S. S. V., Roa, N. S. and Moses, S. A., 2018.** Assessment of coastal water quality along south west coast of India using multiple regression analysis on satellite data. *Journal of Rural Development*, 37(2).
- Karbassi, A. R., MirMohammad Hosseini, F., Baghvand, A. and Nazariha, M., 2011.** Development of water Quality Index (WQI) for Gorganrood River. *International Journal of Environmental Research*, 5(4):1041-1046.
- Liou, S. M., Lo, S. L. and Hu, C. Y., 2003.** Application of two stage fuzzy set theory to river quality evaluation in Taiwan. *Water Research*, 37: 1406–1416.
- Noori, R., Berndtsson, R., Hosseinzadeh, M., Adamowski, J. F. and Rabiee Abyaneh, M., 2019.** A critical review on the application of the National Sanitation Foundation Water Quality Index. *Environment Pollution*, 244: 575-587.
- Ozcan, T. and Çelebi, N., 2011.** Comparative analysis of multi-criteria decision making methodologies and implementation of a warehouse location selection problem. *Expert Systems with Applications*, 38(8): 9773-9779.
- Ramirez, N. F. and Solano, F., 2004.** Physic-chemical water quality indices-A comparative review. *Bistua Revista de la Facultad de Ciencias Basicas*. 27: 437-441.
- Saaty, T.L., 2001.** The allocation of intangible resource: The analytic hierarchy process and linear programming. *Socio-Economic Planning Science*, 37(3): 169-184.
- Saaty, T. L. and Vargas, L. G., 1998.** *Prediction Projection and Forecasting*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Stephano, M. A. and Sharma, P., 2018.** Water quality assessment of Ruvu river in Tanzania using NSFQI. *Scientific Research and Reports*, 20(3): 1-9.
- Zotou, I., Tsihrintzis, V. A. and Gikas, G. D., 2019.** Performance of Seven Water Quality Indices (WQIs) in a Mediterranean River. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191.