تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال چهاردهم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۷
Volume 14, No. 1, Spring 2018 (IR-WRR)
۱۰۲-۱۱۳

ارائه یک شاخص کیفیت آب برای رودخانه‌های ایران

هومن بیات[۱]، مسعود تابش[۲*] و اکبر شیرزاد[۳]

چکیده

رودخانه‌ها از جمله منابع آب شیرین هستند که در معرض مقادیر مختلف آلاینده‌ها قرار دارند. بنابراین داشتن آگاهی از تغییرات کیفی آب رودخانه‌ها الزامی است. یکی از روش‌های تحلیل و تفسیر مشخصه‌های کیفی آب، استفاده از شاخص‌های کیفیت آب است. در پژوهش حاضر نوع و وزن متغیرهای موجود در شاخص‌های کیفیت آب معتبر داخلی و بین‌المللی مورد بررسی آماری قرار گرفته است. سپس منحنی‌های شاخص عملکرد متغیرهای منتخب، بر اساس محدوده مجاز غلظت آلاینده‌ها در آیین‌نامه‌ها و استانداردهای مختلف تولید شده است. در گام بعد با استفاده از روش دلفی، ۹ متغیر مؤثر بر کیفیت آب ایران انتخاب و وزن آنها بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی به دست آمده است. به ارزش‌های کیفی اعلام شده توسط متخصصین، منحنی‌هایی با درجه همبستگی بالا برازش داده شده و در نهایت، تابع میانگین هندسی برای جمع‌بندی زیرشاخص‌ها و به دست آوردن عدد نهایی شاخص مد نظر قرار گرفته است. مقدار شاخص تدوین شده برای رودخانه کارون محاسبه و نتایج آن با شاخص‌های موجود مقایسه شده است. نتایج حاصله حاکی از تفسیر متفاوت‌تر کیفیت آب در این مورد مطالعاتی توسط شاخص تدوین شده نسبت به شاخص‌های دیگر است.

کلمات کلیدی: شاخص کیفیت آب، روش دلفی، تحلیل سلسله مراتبی، غلظت آلاینده‌ها، طبقه‌بندی کیفی آب.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۸/۱۵
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۶/۵/۲۵

۱- کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران.
۲- استاد دانشکده مهندسی عمران و عضو قطب علمی مهندسی و مدیریت زیرساخت‌های عمرانی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران.
۳- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی ارومیه.
*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان تابستان ۱۳۹۷ امکانپذیر است.

Proposing a Water Quality Index for Rivers in Iran

H. Bayat[1], M. Tabesh[2] and A. Shirzad[3]*

Abstract

Rivers as fresh water resources are exposed to different amounts of pollutants and therefore it is necessary to have awareness of qualitative variations in rivers. Using water quality indices is one of the methods for analysis of water quality. In this study, type and weight of the variables included in the valid national and international water quality indices were statistically examined. Then, the performance index curves of the variables were produced based on the various standards and guidelines. In the next stage, using the Delphi method 9 variables were selected as the effective variables for water resources in Iran and their weights were determined based on the analytical hierarchy process. Curves with high correlation coefficients were fitted to the quality values proposed by the specialists and geometric. Average function was employed for combination of sub indices and calculating the final value of the quality index. The value of the proposed quality index was calculated for the Karoun River and was compared with the other quality indices. According to the obtained results, interpretation of water quality in the Karoun River based on the presented new quality index differs from the other quality indices.

Keywords: Analytical Hierarchy Process, Delphi Method, Pollutant Concentration, Water Quality Classification, Water Quality Index.

Received: November 5, 2016
Accepted: August 16, 2017

1- MSc. Graduate, School of Civil Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.
2- Professor and Member of Center of Excellence for Engineering and Management of Civil Infrastructures, School of Civil Engineering, College of Engineering, Univiversity of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: mtabesh@ut.ac.ir
3- Assistant Professor, Civil Engineering Department, Urmia University of Technology, Urmia, Iran.
*- Corresponding Author

۱- مقدمه

رودخانه‌ها به دلیل تخلیه پساب‌های شهری و صنعتی و رواناب‌های سطحی و زه‌آب‌های کشاورزی از آسیب‌پذیرترین منابع آب هستند (Singh et al., 2004; Wang et al., 2007). از این‌رو شناخت کیفیت آب‌های سطحی جهت مصارف شرب، صنعتی و کشاورزی امری اجتناب‌ناپذیر بوده و هم زمان با نیاز شدید به استفاده از منابع آب در دسترس، ضرورت توجه به حفاظت از آن در مقابل آلودگی احساس می‌شود (Simoes et al., 2008). جامع‌نگری و برخورد سیستمی در مدیریت کمی و کیفی منابع آب به علت افزایش مؤلفه‌های آن سیستم‌ها و پیچیدگی ارتباطات و اثرات متقابل آن‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و پایش کیفی آب‌های سطحی به‌منظور شناخت کیفیت متناسب با مصارف مختلف، از گام‌های اصلی مدیریت کیفی منابع است (Karamouz and Kerachian, 2003) . پایش‌های کیفیت منابع آب اغلب موجب تولید داده‌های پیچیده‌ای می‌شوند که حاوی اطلاعات غنی درباره رفتار منابع آب هستند و نیاز به روش‌های مناسبی برای تحلیل و تفسیر دارند (Alam et al., 2010; Kazi et al., 2009; Ayoko et al., 2007). برای تحلیل و تفسیر مشخصه‌های کیفی آب، روش‌های مختلف آنالیز آزمایشگاهی و ریاضی وجود دارد که گران و وقت‌گیر هستند و علاوه بـــر ایـــن حتی پس از حصول نتیجه نمی‌تـــوان به تخمین خوبی از لحاظ کیفیت آب دست پیدا کرد (Yargholi et al., 2010). یکی از روش‌های بسیار ساده و دور از پیچیدگی‌های ریاضی و آماری که می‌تواند شرایط کیفی آب را بازگو نماید، استفاده از شاخص‌های کیفیت آب است. در مدیریت کیفی آب می‌توان از شاخص‌های کیفی به‌عنوان یک ابزار مدیریتی قوی برای تصمیم‌گیری‌های مربوطه استفاده نمود (Simoes et al., 2008; Liou et al., 2003). شاخص‌های کیفیت با ساده‌سازی و کاهش اطلاعات اولیه خام علاوه بر بیان کیفیت آب، روند تغییرات کیفی آب را در طول مکان و زمان نشان می‌دهند (Cude, 2001).

در شاخص‌های کیفیت آب، داده‌های چند متغیر کیفیت آب در یک فرمول ریاضی که با یک عدد، میزان سلامتی آب را نشان می‌دهد، شرکت داده می‌شوند. این عدد با یک مقیاس نسبی که گویای کیفیت آب از بسیار بد تا عالی است، دسته‌بندی می‌شود. بدین ترتیب، شاخص‌های کیفیت آب؛ ابزاری مناسب و ساده برای تعیین وضعیت و شرایط کیفیت آب می‌باشند (Ott, 1978). به‌طورکلی، شاخص‌های کیفیت آب را می‌توان به پنج گروه اصلی شاخص‌های عمومی، مصارف ویژه، آماری، طراحی شونده و شاخص‌های بیولوژیکی تقسیم کرد (Sobhani, 2003).

طبقه‌بندی آب بر مبنای درجه خلوص از اواسط قرن بیستم مورد توجه قرار گرفته است. Horton (1965) اولین شاخص کیفیت آب را به طور رسمی منتشر کرد. وی ۱۰ متغیر کیفیت آب نظیر اکسیژن محلول، هدایت الکتریکی، کلی‌فرم‌ها و قلیاییت را که بیشتر از سایر متغیرهای کیفی اندازه‌گیری می‌شوند، وارد شاخص کیفیت آب کرد. محدوده وزن شاخص هورتون از ۱ تا ۴ بود و نمره شاخص با تابع جمع خطی به دست می‌آمد. در ادامه Brown et al. (1972) یک شاخص کیفیت آب شبیه به شاخص هورتون ارائه کردند که بعدها از آن تحت عنوان شاخص کیفیت آب بنیاد ملی بهداشت آمریکا (NSFWQI[1]) یاد شد. در این شاخص وزن‌دهی به تک‌تک متغیرها بر اساس نظر ذهنی حاصل از قضاوت و تجزیه و تحلیل کارشناس انجام می‌شود. از شاخص‌های کیفیت دیگر می‌توان به شاخص کیفیت آب اورگان (OWQI) (Cude, 2001)، شاخص عمومی آلودگی (OIP) برای رودخانه‌های هند (Sargaonkar and Deshpande, 2003) و شاخص ارائه شده توسط Said et al. (2004) (در مقاله حاضر با نام شاخص Ahmed Said یاد شده است) اشاره نمود. در کشور ایران نیز، نمونه آزمایشی از شاخص کیفیت آب ایران توسعه یافته است (Hashemi et al., 2014). مبنای کار این شاخص نظیر NSFWQI است که متغیرهای آن عبارتند از: PH، کلیفرم مدفوعی، سختی کل، نیترات، فسفات کل، اکسیژن محلول، اکسیژن‌خواهی بیولوژیکی، اکسیژن‌خواهی شیمیایی، هدایت الکتریکی، کدورت و آمونیوم. روش اصلی مورد استفاده برای انتخاب متغیرها تلفیقی از روش‌های آنالیز مؤلفه‌های اصلی و دلفی بوده است. اما منحنی‌های شاخص عملکرد (PI) صرفاً طیف فرکانسی داده‌های کیفیت آب موجود در ایران می‌باشد که عمدتاً مربوط به سال‌های ۸۵-۱۳۸۴به بعد بوده (بنا به تصمیم گروه کارشناسی) و مبنای آکادمیک مطابق استانداردها برای آن‌ها وجود ندارد (Iranian Department of Environment, 2013).

مروری بر پیشینه تحقیقات صورت گرفته داخلی نشان داد که در زمان انجام این تحقیق، شاخص کیفیت آب معتبر، مصوب و انتشار یافته‌ای برای ارزیابی کیفیت آب‌های ایران موجود نمی‌باشد، بنابراین به ناچار در اکثر تحقیقات صورت گرفته داخلی از شاخص‌های کیفیت آب معتبر بین‌المللی همچون NSFWQI، CCMEWQI[2] و غیره استفاده شده است. این در حالی است که هرکدام از شاخص‌های بین‌المللی برای یک منطقه خاص و براساس شرایط بومی آن منطقه توسعه یافته است. بنابراین کاربرد آن برای آب‌های ایران دارای اشکالات متعدد می‌باشد. با توجه به موارد ذکر شده در این تحقیق تلاش شده است تا بر مبنای ساختارشناسی رودخانه‌های ایران و تنش‌های آبی حاکم بر کشور و با استفاده از نظرات متخصصین کیفیت آب ایران و نیز استانداردها و دستورالعمل‌های موجود، شاخص کیفیت آب با کاربری عمومی به

صورت منحصر به فرد برای ارزیابی کیفیت آب‌های ایران تدوین شود. در این راستا از روش دلفی برای جمع‌آوری قضاوت‌های کارشناسی متخصصین کیفیت آب ایران و هم‌چنین فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و نرم‌افزار Expert Choice برای انجام مقایسات زوجی و محاسبه وزن نهایی هریک از متغیرها استفاده شده است. شاخص ارائه شده (با توجه به محدودیت‌های موجود در دسترسی به داده‌های کیفیت آب و هزینه‌های زمانی و مالی بالای آن) در چند مورد مطالعاتی با دیگر شاخص‌های معتبر داخلی و جهانی موجود مقایسه و تطابق آن با فضای آبی موجود در کشور، ارزیابی شده است.

۲- مواد و روشها

۲-۱- تدوین مدل مفهومی

در طراحی شاخص‌های کیفیت آب با استفاده از مدل مفهومی دو استراتژی متفاوت وجود دارد (Torabian, 2008): ۱) وجود داده کیفی کامل (رویکرد اول)؛ ۲) وجود داده کیفی ناقص (رویکرد دوم). در رویکرد اول آنالیز تمام متغیرهای مؤثر در کیفیت آب رودخانه موجود و یا امکان آنالیز کامل وجود دارد. در رویکرد دوم فرض بر این است که تعداد متغیرهای آنالیز شده محدود است. با توجه به عدم وجود بانک داده کامل به‌طوری‌که تمام متغیرهای دخیل در کیفیت آب رودخانه‌های ایران را شامل شود، رویکرد اول منتفی و بر اساس رویکرد دوم اقدام به طراحی شاخص و مدل مفهومی آن شده است. شکل ۱ مدل مفهومی تدوین شاخص کیفیت آب ایران را نشان می‌دهد.

۲-۲- انتخاب متغیرهای مؤثر بر کیفیت آب ایران

یکی از کلیدی‌ترین فاکتورها در تدوین شاخص‌های کیفیت آب، انتخاب تعداد و نوع متغیرهای مهم و تأثیرگذار بر کیفیت آب است. در این تحقیق، محققین به دنبال ارائه شاخصی بودند که در عین سادگی و دقت، متغیرهای کیفی محدودتری نیاز داشته باشد و درنتیجه با صرف وقت و هزینه کمتر، بتوان منابع آبی کشور را مورد پایش مستمر قرار داد. شایان ذکر است بررسی های انجام شده بر روی اکثر شاخص‌های نوین کیفیت آب تولید شده در کشورهای توسعه یافته که در آن‌ها از روش‌ها و مدل‌های ریاضی و آماری پیچیده‌تر بهره گرفته می‌شود نشان داد همین شاخص‌های ساده (که در زمان تألیف این مقاله در کشور ما موجود نبود) پایه اصلی اطلاعات ورودی به مدل‌های آماری است. در انتخاب متغیرها عوامل مختلفی ازجمله: منابع آلاینده آب‌های سطحی، نوع آلاینده‌های شایع، وجود داده‌های کافی و ... دخالت دارند که این موضوع بسته به موقعیت جغرافیایی و سیستم پایش کیفیت آب هر کشور یا قاره متفاوت است.

اکثر شاخص‌های معتبر جهانی برای انتخاب متغیرهای مؤثر در شاخص از نظرات متخصصین کیفیت آب بهره برده‌اند. در پژوهش حاضر برای انتخاب متغیرهای دخیل در شاخص کیفیت آب، از روش دلفی برای بهره‌مندی از نظرات کارشناسان و متخصصین کیفیت منابع آب ایران استفاده شده است.

۲-۳- روش دلفی[۳]

روش دلفی که از آن برای انتخاب نوع، تعداد، وزن و منحنی‌های شاخص عملکرد (PI)[۴] متغیرهای مؤثر در شاخص استفاده می‌شود، با مبانی نظری و دستورالعمل‌های روش‌مند در طول دهه‌های پنجاه و شصت میلادی در مؤسسه رند (RAND) توسعه یافت. دلفی روشی است بر پایهٔ نظرات شهودی متخصصان که در آن یک گروه از متخصصان، پس از ابراز نظرات خود دربارهٔ یک مسأله مشخص، به یک اجماع دست می‌یابند. اگرچه این قضاوت جمعی متخصصان، ذهنی به نظر می‌رسد اما معتبرتر از اظهارات فردی است؛ چراکه نتایج عینی‌تری به بار می‌آورد (Lang, 1995).

۲-۴- وزن‌دهی متغیرهای مؤثر بر کیفیت آب ایران

برای وزن‌دهی متغیرهای مؤثر در شاخص مورد مطالعه با استفاده از روش دلفی از متخصصین کیفیت منابع آب ایران نظرسنجی شد و از آنها خواسته شد متغیرهای ارائه شده را از نظر اهمیت، امتیاز دهی کرده و در صورت صلاحدید متغیرهای جدید نیز ارائه نمایند. در ادامه نظرات به‌دست‌آمده جمع‌بندی شده و فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و نرم‌افزار Expert Choice برای انجام مقایسات زوجی و محاسبه وزن نهایی هریک از متغیرها مورد استفاده قرار گرفت. متغیرهای منتخب و وزن نهایی آن‌ها دوباره در اختیار متخصصین قرار گرفت تا در خصوص آن‌ها به اظهارنظر کارشناسی مجدد بپردازند. در صورت اجماع نظر متخصصین، نتایج به‌دست‌آمده نهایی شده و در غیر این صورت گام آخر تا رسیدن به نتایج پایدار از دید متخصصین تکرار شد.

۲-۵- فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و نرم‌افزار Expert Choice که از آن برای تعیین وزن متغیرهای مؤثر در شاخص استفاده شده است، پاسخی به نیاز بشر برای بررسی مسائل کیفی است که معیاری برای اندازه‌گیری آن‌ها وجود ندارد و همواره در تصمیم‌گیری‌ها همراه مسائل کمّی ظاهر می‌شوند. این روش همچنین پیچیدگی‌های ناشی از تأثیر عوامل مختلف بر مسأله را با تمرکز مرحله به مرحله بر این عوامل و سپس ترکیب کردن نتایج این بررسی‌ها حل می‌کند.

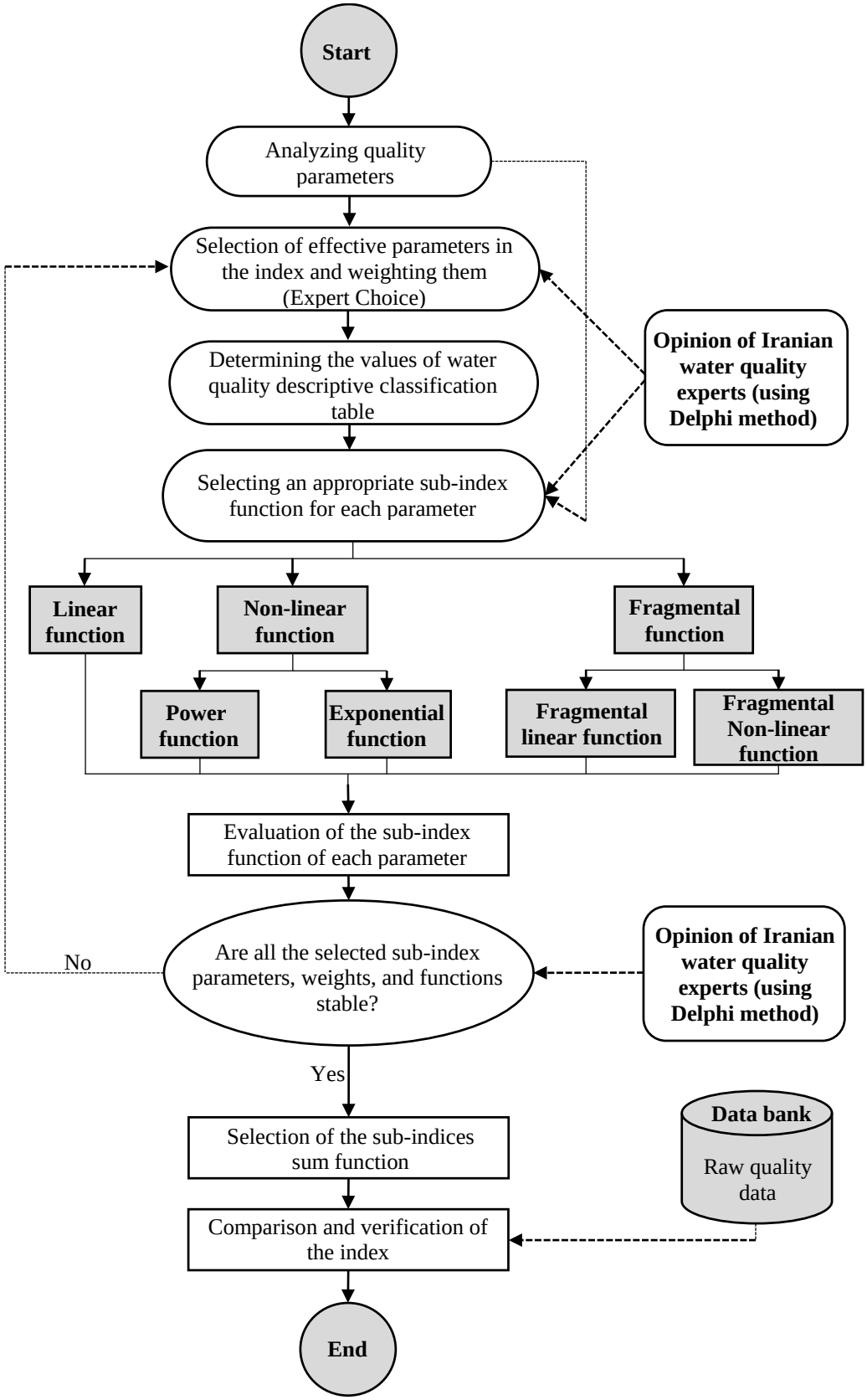

Fig. 1- Conceptual model of the water quality index for rivers in Iran

شکل ۱- مدل مفهومی تدوین شاخص کیفیت آب رودخانه‌های ایران

در واقع AHP یک مسأله چندبعدی را به یک مسأله یک‌بعدی تبدیل می‌کند و تصمیم‌گیری‌های پیچیده و تودرتو را قابل‌فهم و مقایسه می‌سازد. همین‌طور می‌توان از این خاصیت AHP برای ترکیب و یکی کردن نظرات پراکنده افراد با توجه به اهمیت نظر آن‌ها استفاده کرد. سنگ‌بنای فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی، مقایسه‌های زوجی است (Vaidya and Kumar, 2006).

۲-۶- تولید منحنی‌های PI برای محاسبه زیرشاخص‌ها یا ارزش‌های کیفی

زیر شاخص، نشانگر کیفیت آب بر مبنای هر متغیر کیفی است که به‌صورت منحنی PI ارائه می‌شود. برای تولید منحنی‌های PI در مرحله اول شرایط مرزی هر متغیر (شروع هریک از بازه های توصیفی) بر اساس حدود مجاز تعیین شده در آیین‌نامه‌ها، دستورالعمل‌ها و استانداردهای کیفیت منابع آب ایران و جهان همچون: استاندارد ملی ۱۰۵۳ مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران (ویرایش پنجم) (ISIRI, 1053)، استاندارد کیفیت آب‌های ایران تهیه شده توسط سازمان حفاظت محیط‌زیست (Hashemi et al., 2014)، استاندارد کیفیت آب آشامیدنی سازمان جهانی بهداشت[۵] (WHO, 2004)، استاندارد کیفیت آب سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا[۶] (USEPA, 2002)، شاخص کیفیت آب‌های سطحی ایران تهیه شـــده توسط دکتر هاشمی برای سازمان حفاظت محیط‌زیست (Hashemi et al., 2014)، شاخص کیفیت آب بنیاد ملی بهداشت آمریکا (NSFWQI) و استاندارد کیفیت آب سایر کشورهایی که برای متغیرهای ذکر شده به توصیه حدود پرداخته‌اند (همچون استرالیا، هندوستان و ...) محاسبه شده است. کیفیت آب نمونه‌برداری شده با توجه به عدد شاخص نهایی به ترتیب در پنج رده زیر طبقه‌بندی شده است:

الف- خیلی بد (شاخص نهایی بین ۱ تا ۲۵)
ب- بد (شاخص نهایی بین ۲۵ تا ۵۰)
ج- متوسط (شاخص نهایی بین ۵۰ تا ۷۵)
د- خوب (شاخص نهایی بین ۷۵ تا ۹۰)
ه- عالی (شاخص نهایی بین ۹۰ تا ۱۰۰)

با توجه به این طبقه‌بندی، نقاط ابتدایی هر یک از بازه‌های خیلی بد تا عالی به‌عنوان نقاط کلیدی در منحنی هر یک از متغیرها است. در رسم منحنی‌ها نیز غلظت متناظر با ارزش‌های کیفی ۱ (شروع رده خیلی بد)، ۲۵ (شروع رده بد)، ۵۰ (شروع رده متوسط)، ۷۵ (شروع رده خوب)، ۹۰ (شروع رده عالی) و ۱۰۰ (بالاترین ارزش کیفی ممکن) به‌عنوان نقاط مرزی متغیر شناخته‌شده و با توجه به غلظت مجاز و مطلوب توصیه شده توسط آیین‌نامه‌ها و استانداردهای مذکور تعیین شده است. در مواردی که برای هر یک از این ارزش‌های کیفی حد مجاز یا مطلوبی در آیین‌نامه‌ها ذکر نشده بود، با توجه به متون موجود در زمینه کیفیت آب و نیز قضاوت مهندسی نویسندگان این مقاله، غلظتی پیشنهادی ارائه شده است. سپس به این نقاط یکی از توابع ذکرشده برای محاسبه زیر شاخص و یا تلفیقی از چند تابع مذکور، برازش داده شده و منحنی PI متغیر مورد نظر رسم شده است.

در مرحله دوم منحنی‌های تولید شده و اعداد و ارقام ذکر شده در استانداردها و شاخص‌های مختلف کیفیت آب برای ارائه دید جامع، به همراه یک پرسشنامه در اختیار متخصصین کیفیت آب قرار گرفت. در این پرسشنامه از آن‌ها خواسته شد تا با توجه به اطلاعات موجود و نیز تجربه و نظر کارشناسی خود، غلظت متناظر با نقاط مرزی را برای هر متغیر مشخص نمایند. بدین ترتیب با استفاده از روش دلفی، نظرات کارشناسی متخصصین کیفیت آب در خصوص غلظت متناظر با این نقاط مرزی، جمع‌آوری شده و منحنی‌های PI تولید شده مورد بازنگری قرار گـــرفت. در انتها منحنی‌های اصلاح شده مجدداً در اختیار متخصصین کیفیت آب قرار گرفت و از آن‌ها خواسته شد در خصوص منحنی‌های اصلاح شده به اظهارنظر کارشناسی بپردازند تا میزان پایداری نتایج به‌دست‌آمده بررسی شود.

۳- مطالعه موردی

با توجه به محدودیت‌های موجود برای دسترسی به داده‌های کیفیت آب، تنها دسترسی به داده‌های رودخانه کارون میسر شد. بنابراین برای ارزیابی شاخص تدوین شده و مقایسه آن با سایر شاخص‌ها، رودخانه کارون انتخاب شد. این رودخانه با درازای ۹۵۰ کیلومتر از مهم‌ترین رودخانه‌های ایران است. با توجه به داده‌های موجود و اطمینان از انجام مقایسه منطقی بین شاخص‌ها، دو ایستگاه از رودخانه کارون که شرایط کیفی آن‌ها با توجه به محل قرارگیری و منابع آلاینده اطرافشان به‌طور معمول در بازه خوب و دیگری در بازه بد قرار دارد؛ انتخاب شد. هدف از انتخاب بازه‌های خوب و بد، سنجش کارآیی شاخص‌ها در دو سر طیف کیفیت آب است. برای هرکدام از این ایستگاه‌ها، داده‌های حاصل از نمونه‌برداری در سه روز مختلف طی دو یا سه سال متفاوت انتخاب شد. بدین ترتیب ضمن پوشش تغییرات آب و هوایی فصول متفاوت سال و در پی آن اثرات کم‌آبی یا پرآبی بر کیفیت آب رودخانه کارون، سه فرصت متفاوت برای قیاس شاخص‌ها در شرایط برابر ایجاد می‌شود.

۳-۱- ایستگاه بالادست گتوند

رودخانه کارون در ابتدای ورود به جلگه خوزستان به شمال گتوند می‌رسد که توسط سد عظیمی مهارشده و زمین‌های بخش مرکزی و بخش عقیلی را آبیاری نموده و کانال عظیم منشعب از آن نیز جهت تأمین آب مصرفی شرکت کشت و صنعت کارون و صنایع جانبی آن به سمت دیمچه روان است. داده‌های کیفیت آب رودخانه کارون در ایستگاه بالادست گتوند (عرض جغرافیایی ۴۸/۴۹۰۰ و طول جغرافیایی ۳۲/۱۴۵۶) از طریق معاونت مطالعات پایه و طرح‌های جامع منابع آب استان خوزستان دریافت شد. با توجه به اطلاعات محققین، انتظار می‌رفت آب‌های این منطقه به علت نزدیکی به سرچشمه‌های کارون، عدم وجود کشت و صنعت گسترده و شهرنشینی دارای کیفیت خوب تا عالی باشد. از این ایستگاه نمونه‌برداری‌های مربوط به تاریخ‌های ۱۳۹۲/۱۲/۴ (کد G1)، ۱۳۹۲/۲/۱۱ (کد G2) و ۱۳۹۱/۵/۱۱ (کد G3) انتخاب شدند (Khuzestan Water and Power Authority, 2014).

۳-۲- ایستگاه پایین‌دست اهواز

مرکز استان خوزستان یکی از کلان‌شهرهای ایران است. شهر اهواز با ۲۰۰۰۰ هکتار مساحت، چهارمین شهر وسیع ایران پس از تهران، مشهد و تبریز می‌باشد. جمعیت آن نیز در سرشماری سال ۱۳۸۵، برابر با ۱۰۵۹۴۶۱ نفر بوده که اهواز را در جایگاه هفتمین شهر پرجمعیت ایران قرار می‌دهد. بر پایه آخرین آمار رسمی، ۳۲٪ مردم استان خوزستان در کلان‌شهر اهواز زندگی می‌کنند. از این جمعیت ۳۵٪ در حاشیه شهر مستقر هستند و از این‌رو پس از کلان‌شهر مشهد، اهواز جایگاه دوم حاشیه‌نشینی را داراست. وجود کارخانه‌های بزرگ صنعتی، تأسیسات اداری و صنعتی شرکت مناطق نفت‌خیز جنوب و شرکت ملی حفاری ایران، اهواز را به یکی از مهم‌ترین مراکز صنعتی ایران تبدیل کرده و همین امر سبب شده که مهاجران بسیاری روی به اهواز آورند. ۵۱٪ نفت شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب کشور ایران، در اهواز تولید می‌شود و برخی از بزرگ‌ترین کارخانه‌های مادر کشور در این شهر جای دارند. با توجه به اطلاعات محققین، انتظار می‌رفت کیفیت آب رودخانه کارون در ایستگاه پایین‌دست اهواز در وضعیت بدی قرار داشته باشد. از این ایستگاه نیز نمونه‌برداری‌های مربوط به تاریخ‌های ۱۳۹۲/۱۰/۱۶ (کد A1)، ۱۳۹۲/۲/۱۶ (کد A2) و ۱۳۹۰/۱۲/۱۰ (کد A3) انتخاب شدند (Khuzestan Water and Power Authority, 2014).

۴- نتایج و بحث

برای انتخاب متغیرهای اولیه، ابتدا به چندین شاخص کیفیت منابع آب معتبر داخلی و خارجی که در آن‌ها برای محاسبه شاخص از تعداد متغیر محدود با وزن مشخص استفاده شده بود، مراجعه شد. بررسی‌های انجام‌شده نشان داد ۱۲ دسته از متغیرها (در انواع و واحدهای گوناگون) شامل: ۱) اکسیژن محلول (DO) یا درصد اشباع آن (DOSat)، ۲) pH، ۳) انواع کلی‌فرم‌ها، ۴) مشتقات نیتروژن، ۵) اکسیژن‌خواهی بیولوژیکی پنج‌روزه (BOD_5)، ۶) هدایت الکتریکی، ۷) انواع جامدات، ۸) فسفر و مشتقات آن، ۹) کدورت، ۱۰) دما یا ΔT، ۱۱) اکسیژن‌خواهی شیمیایی (COD) و ۱۲) سختی، بیشترین کاربرد را در این شاخص‌ها داشته‌اند. درصد اشباع اکسیژن محلول، کلی فرم مدفوعی، نیترات، آمونیوم، کل جامدات محلول، فسفات، سختی، کدورت، BOD_5، pH، هدایت الکتریکی و COD به‌عنوان نماینده هر یک از این ۱۲ دسته متغیر، برای نظرسنجی از متخصصین کیفیت آب برگزیده شدند.

اولین گام در اجرای روش دلفی، انتخاب کارشناسان خبره در خصوص موضوع مورد تحقیق است. بدین منظور با بررسی لیست کارشناسان آب ایران، بررسی نویسندگان مقالات مختلف در خصوص کیفیت آب در سطح دانشگاه‌ها، مهندسین مشاور، مراکز تحقیقاتی کشور و سایرین اقدام به انتخاب حدود ۱۶۰ نفر کارشناس خبره در امر کیفیت آب شد.

با توجه به کاربری عمومی شاخص، امتیازدهی و نظر کارشناسان مبنی بر نیاز به حضور متغیرهای متفاوت کیفیت آب؛ از حذف متغیرهایی که در زمینه‌های خاص دارای همبستگی می‌باشند صرف نظر شد و تنها در یک مورد به علت ارتباط متقابل متغیرهای کل جامدات محلول و هدایت الکتریکی تصمیم گرفته شد تا یکی از آن‌ها برای جلوگیری از شمارش مجدد حذف شود. با توجه به کم‌هزینه‌تر بودن آنالیز هدایت الکتریکی، ثبت مداوم آن در بانک اطلاعاتی داده کشور و نیز میانگین وزنی بالاتر آن در ۵۳ پاسخ رسیده از طرف متخصصین کیفیت آب ایران؛ متغیر کل جامدات محلول حذف و هدایت الکتریکی باقی ماند. سپس انتخاب متغیرها بر اساس بالاترین وزن داده‌شده، صورت گرفت، به‌طوری‌که مجموع وزن اهمیت متغیرهای انتخابی، درمجموع ۸۰ درصد وزن کل متغیرها را شامل شود. بر این اساس ۳ متغیر آمونیوم، سختی و دما حذف گردیدند.

۹ متغیر منتخب در ادامه به روش تحلیل سلسله مراتبی با توجه به میانگین وزنی آن‌ها وزن‌دهی شدند. بدین منظور جدول مقایسات زوجی ساعتی از طریق برنامه Expert Choice تدوین شد. در این جداول میزان اهمیت نسبی هر متغیر نسبت به متغیر دیگر بر اساس تقسیم میانگین وزنی آن‌ها (حاصل نظرات ۵۳ متخصص) معین شد.

Table 1- Importance weight of the selected variables

جدول ۱- وزن اهمیت متغیرهای انتخابی

Number	Variable	Importance Weight
1	Dissolved oxygen (% Saturation)	0.156
2	Fecal coliform	0.156
3	Biochemical oxygen demand (BOD_5)	0.108
4	Nitrate(NO_3)	0.108
5	Phosphate(PO_4)	0.108
6	pH	0.099
7	Chemical oxygen demand (COD)	0.099
8	Electrical conductivity (EC)	0.091
9	Turbidity	0.075

وزن اهمیت متغیر در جدول ۱ ارائه شده است. شکل ۲ نیز منحنی‌های ارزش متغیرهای منتخب مطابق با نظر متخصصین را نشان می‌دهد.

با توجه به اینکه تابع حاصل‌ضربی به علت سادگی، حساسیت آن نسبت به تغییرات زیرشاخص‌ها و نداشتن مشکل ناحیه تاریکی و ابهام؛ بهترین تابع موجود است و در میان توابع حاصل‌ضربی نیز تابع میانگین هندسی به علت محاسبه میانگین هندسی فواصل نقاط تا نقطه ایده‌آل، حساسیت بیشتری نسبت به تغییرات زیر شاخص‌ها دارد، بنابراین در این تحقیق نیز برای جمع‌بندی زیر شاخص‌ها و محاسبه عدد نهایی شاخص WQIIR از تابع میانگین هندسی به صورت رابطه (۱) استفاده شد.

$$WQIIR = \left[\prod_{i=1}^{n} I_i^{W_i}\right]^{1/\gamma} \quad , \quad \gamma = \sum_{i=1}^{n} W_i \qquad (۱)$$

که I_i: متغیر iام، W_i: وزن متغیر iام، γ: مجموع وزن متغیرها و n: تعداد کل متغیرها است.

به علت عدم وجود شاخص کیفیت منابع آب متناسب با پیکره آبی ایران، در تحقیقات صورت گرفته در خصوص کیفیت آب از شاخص‌های سایر کشورها و مناطق همچون NSFWQI، OWQI، Ahmed Said و ... استفاده می‌شد. برای بررسی میزان تطابق این شاخص‌ها با فضای آبی کشور و مقایسه آن‌ها با شاخص تدوین‌شده (WQIIR)[۶]، به محاسبه میزان کیفیت آب رودخانه کارون از طریق شاخص‌ها در ایستگاه بالادست گتوند و ایستگاه پایین‌دست اهواز پرداخته شد. در ضمن شاخص تدوین‌شده (WQIIR) با شاخص کیفیت آب هاشمی که در سازمان حفاظت محیط‌زیست تدوین شده است مقایسه شده و ارزیابی گردید.

داده‌های موجود برای ایستگاه بالادست گتوند در جدول ۲ ارائه شده است. شاخص کیفیت آب تدوین‌شده (WQIIR) به همراه شاخص‌های NSFWQI، OWQI، Ahmed Said و هاشمی برای داده‌های وجود (در سه زمان متفاوت) محاسبه‌شده و به همراه تفسیر آن‌ها در جدول ۳ ارائه شده است.

بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهـد شاخص‌های OWQI و Ahmed Said در هر سه حالت، کیفیت آب در ایستگاه بالادست گتوند را آلوده ارزیابی می‌کنند که بسیار پایین‌تر از حالت مورد انتظار آن است. مطابق ارزیابی این دو شاخص، آب رودخانه کارون در این ایستگاه نیازمند انجام اقدامات فوری می‌باشد، زیرا سطح کیفیت آن از مقادیر طبیعی پایین‌تر است.

در شاخص NSFWQI بازه ۷۰ تا ۹۰ عدد نهایی شاخص به‌عنوان رده خوب کیفیت آب طبقه‌بندی می‌شود. با توجه به اختلاف پنج واحدی رده خوب این شاخص با شاخص کیفیت آب تدوین‌شده و نیز اختلاف پنج واحدی عدد نهایی این شاخص با شاخص تدوین‌شده، می‌توان گفت NSFWQI شرایط کیفی آب‌های این ایستگاه را به‌طور متفاوتی محاسبه اما به‌صورت درستی تفسیر می‌نماید. یکی از علل این موضوع متغیر کلی‌فرم مدفوعی است که در هر سه مورد در رده بد و بسیار بد شاخص NSFWQI قرار می‌گیرد.

شاخص کیفیت آب هاشمی، کیفیت آب رودخانه کارون در این ایستگاه را در رده نسبتاً خوب قرار می‌دهد. این شاخص نسبت به NSFWQI در محاسبه عدد نهایی شاخص با شاخص تدوین شده، اختلاف بیشتری دارد اما به علت تفسیر و طبقه‌بندی کیفیت آب در ۷ بازه بسیار خوب، خوب، نسبتاً خوب، متوسط، نسبتاً بد، بد و بسیار بد، توانسته است کیفیت آب در این ایستگاه را در رده نسبتاً خوب تفسیر نماید. در

طبقه‌بندی این شاخص، برخلاف طبقه‌بندی‌های معمول که شروع رده متوسط از ۵۰ می‌باشد؛ میانه بازه ارزش کیفی ۰ تا ۱۰۰ (یعنی ۴۵ تا ۵۵) به رده متوسط اختصاص داده شده است. علت تفاوت عدد نهایی شاخص هاشمی با شاخص تدوین شده را می‌توان در متغیر نیترات پیدا کرد. شاخص کیفیت آب هاشمی در خصوص متغیر نیترات، رویکرد متفاوتی نسبت به شاخص WQIIR دارد و در هر سه حالت کیفیت آن را بد و نسبتاً بد ارزیابی می‌نماید.

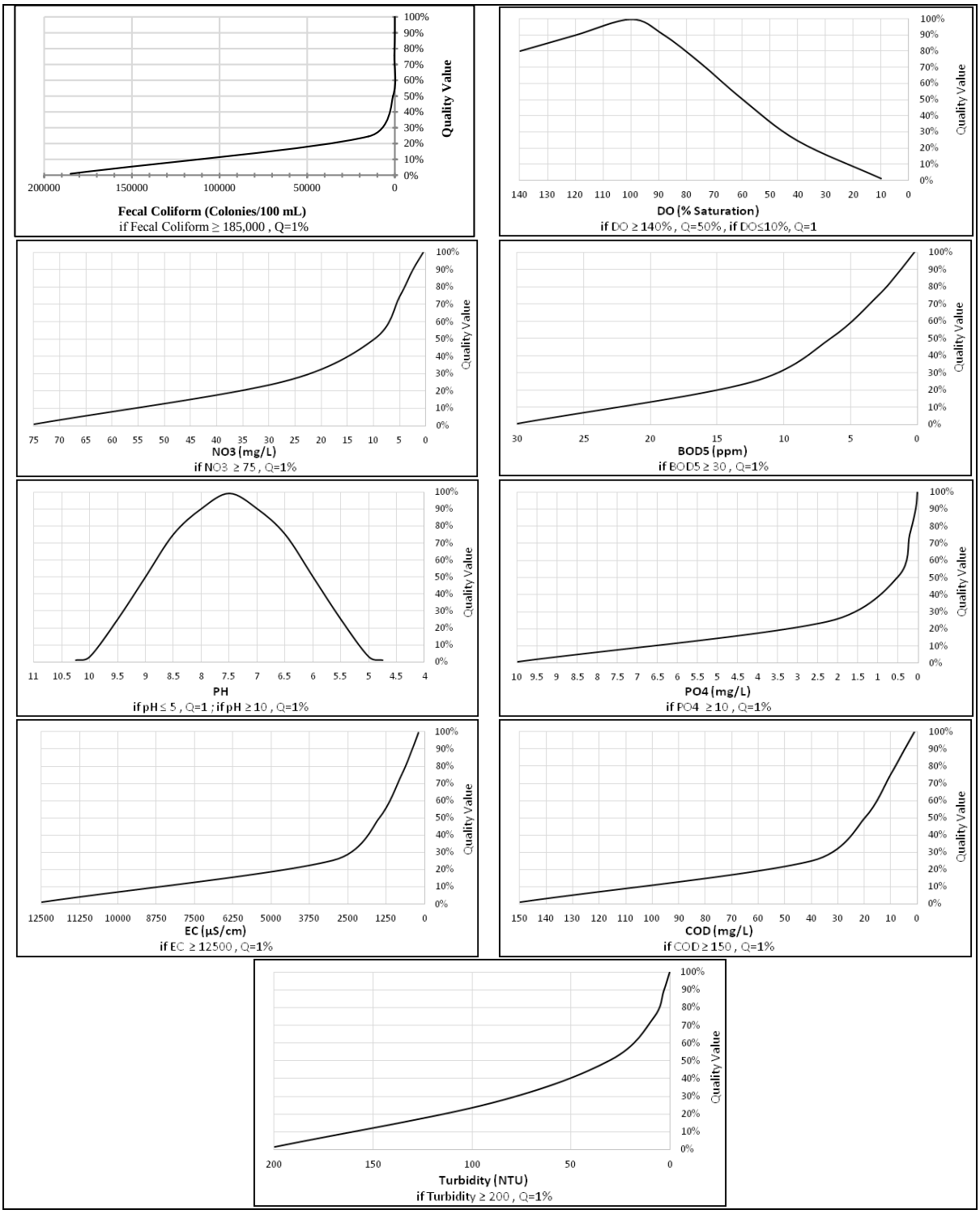

Fig. 2- Value curves for nine variables according to evaluation of the Iranian water quality experts

شکل ۲- منحنی ارزش متغیرهای ۹ گانه مطابق نظر متخصصین کیفیت آب ایران

Table 2- Data used for the Gotvond upstream station in the codes

جدول ۲- داده‌های مورد استفاده برای ایستگاه بالادست گتوند در کدهای معرفی شده

Number	Variable	Unit	G1	G2	G3
1	Dissolved oxygen	% Saturation	98	86	91
2	Fecal coliform	MPN Colonies/100 mL	1500	2300	1500
3	Biochemical oxygen demand (BOD_5)	Mg / L	2.70	2.92	4.66
4	Nitrate(NO_3)	Mg / L	3.50	3.40	3.60
5	Phosphate(PO_4)	Mg / L	0.015	0.018	0.009
6	pH	-	8.3	7.9	8
7	Chemical oxygen demand (COD)	Mg / L	12.80	12.40	4.40
8	Ammonium	Total ammonia and ammonium	0.40	0.37	0.33
9	Turbidity	NTU	4	3	3
10	Total Dissolved solids (TDS)	Mg / L	20	22	19

Table 3- Values of water quality indicators and their interpretation for the codes introduced at the upstream Gotvand station

جدول ۳- مقادیر شاخص‌های کیفیت آب و تفسیر آن‌ها برای کدهای معرفی شده در ایستگاه بالادست گتوند

Num.	Code	WQIIR	NSFWQI	Hashemi	OWQI	Ahmed Said
1	G1	79 (Good)	74 (Good)	63 (Almost good)	23 (Very bad)	1.26 (Bad)
2	G2	75 (Good)	74 (Good)	58 (Almost good)	25 (Very bad)	1.1 (Bad)
3	G3	78 (Good)	73 (Good)	59 (Almost good)	23 (Very bad)	1.24 (Bad)

شاخص کیفیت آب تدوین شده (WQIIR) کیفیت آب در هر سه حالت را خوب تفسیر می‌نماید. شاخص در هر سه حالت عدد نهایی بالاتری را نسبت به بقیه شاخص‌ها محاسبه نموده که علت آن را می‌توان در زیر شاخص محاسبه شده برای تک‌تک متغیرها جستجو کرد. زیر شاخص محاسبه شده برای متغیر کلی‌فرم مدفوعی در ۲ مورد از ۲۴ زیر شاخص محاسبه شده در رده بد قرار گرفته است. با توجه به میزان کلی‌فرم مدفوعی در ایستگاه‌های منتخب این موضوع طبیعی است. شاخص‌های هاشمی و NSFWQI نیز این متغیر را در سطح بد و بسیار بد تفسیر کرده‌اند، اما عدد زیر شاخص آن‌ها بخصوص در NSFWQI بسیار پایین محاسبه شده است. در خصوص بقیه متغیرها، زیرشاخص‌های محاسبه شده در سطح عالی، خوب و تنها در ۴ مورد از ۲۴ زیر شاخص محاسبه شده، در رده متوسط قرار دارد. این موارد نشان می‌دهد شاخص تدوین شده (WQIIR) نسبت به همه متغیرها دارای حساسیت یکسان است.

جدول ۴ داده‌های مورد استفاده برای ایستگاه پایین‌دست اهواز را نشان می‌دهد. مقادیر شاخص کیفیت آب تدوین‌شده (WQIIR) به همراه مقادیر شاخص‌های NSFWQI، OWQI، Ahmed Said و هاشمی برای داده‌های این ایستگاه به همراه تفسیر آن‌ها در جدول ۵ ارائه شده است.

Table 4- Available data for the Ahwaz downstream station in the codes

جدول ۴- داده‌های موجود برای ایستگاه پایین‌دست اهواز در کدهای معرفی شده

No.	Variable	Unit	A1	A2	A3
1	Dissolved oxygen	% Saturation	83	54	78
2	Fecal coliform	MPN Colonies/100 mL	110000	110000	101000
3	Biochemical oxygen demand (BOD_5)	Mg / L	3.50	2.26	4.12
4	Nitrate(NO_3)	Mg / L	5.60	5.17	7.20
5	Phosphate(PO_4)	Mg / L	0.015	0.186	0.021
6	pH	-	8.3	8	8.1
7	Chemical oxygen demand (COD)	Mg / L	22.80	19.20	25.60
8	Ammonium	Total ammonia and ammonium	0.610	0.410	0.320
9	Turbidity	NTU	149	203	344
10	Total Dissolved solids (TDS)	Mg / L	120	220	420

Table 5- Indicators of water quality and their interpretation for the codes introduced at Ahwaz downstream station

جدول ۵- مقادیر شاخص‌های کیفیت آب و تفسیر آن‌ها برای کدهای معرفی شده در ایستگاه پایین‌دست اهواز

No.	Code	WQIIR	NSFWQI	Hashemi	OWQI	Ahmed Said
1	A1	40 (Bad)	59 (Medium)	38 (Almost bad)	23 (Very bad)	0 (Highly contaminated)
2	A2	30 (Bad)	52 (Medium)	35 (Almost bad)	22 (Very bad)	0 (Highly contaminated)
3	A3	32 (Bad)	55 (Medium)	34 (Almost bad)	17 (Very bad)	0 (Highly contaminated)

بررسی دو شاخص OWQI و Ahmed Said نشان می‌دهد این دو شاخص در تعیین و تفسیر کیفیت آب‌های آلوده نیز توانایی لازم را ندارند. این دو شاخص در خصوص آب ایستگاه بالادست گتوند تفسیر بد را ارائه دادند. به همین ترتیب در خصوص آب ایستگاه پایین‌دست اهواز نیز، تفسیر بسیار بد از مقدار نهایی عدد این شاخص‌ها به دست آمد. عدد نهایی این دو شاخص در خصوص آب بالادست گتوند و آب پایین‌دست اهواز، تغییرات بسیار محدودی دارد. باوجود این‌که این دو ایستگاه دارای دو نوع آب با کیفیت کاملاً متفاوت می‌باشند، شاخص‌های مذکور حساسیت لازم را در این خصوص از خود نشان نمی‌دهند. هرچند تفاوت میان تفسیر کیفیت آب پایین‌دست اهواز که بر اساس این دو شاخص بسیار بد به‌دست‌آمده است و کیفیت مورد انتظار از آب پایین‌دست اهواز که بد است، همانند بالادست گتوند خیلی زیاد نیست، اما مقایسه عملکرد این دو شاخص برای این دو ایستگاه نشان می‌دهد که در خصوص آب‌های ایران عملکرد مطلوبی ندارند.

شاخص NSFWQI برخلاف ایستگاه بالادست گتوند، در خصوص ایستگاه پایین‌دست اهواز، با روندی متفاوت عمل می‌نماید. NSFWQI آب این ایستگاه را متوسط ارزیابی می‌نماید که می‌تواند منجر به تخصیص آب ناسالم به امور حساس و عدم انجام اقدامات فوری برای کاهش ورود مواد آلاینده به آب کارون در اهواز شود. NSFWQI در خصوص متغیرهای فسفات و درصد اشباع اکسیژن محلول، زیرشاخص‌های بسیار بالایی را محاسبه می‌کند. وزن بالای اکسیژن محلول و فسفات نیز موجب تأثیرگذاری شدید آن‌ها بر بالا رفتن عدد شاخص نهایی می‌شود و به‌همین علت تفسیر متوسط را برای ایستگاه پایین دست اهواز ارائه می‌دهد.

شاخص هاشمی در خصوص ایستگاه پایین‌دست اهواز رویه‌ای برخلاف ایستگاه بالادست گتوند دارد و کیفیت آب پایین دست اهواز را نسبتاً بد تفسیر می‌کند. عدد نهایی شاخص هاشمی در این ایستگاه تقریباً مشابه شاخص تدوین شده می‌باشد، اما به‌علت اختلاف در بازه‌های طبقه‌بندی شاخص‌ها، تفسیر این شاخص از کیفیت آب در ایستگاه پایین دست اهواز بهتر از تفسیر شاخص تدوین شده است. شاخص کیفیت آب تدوین شده (WQIIR)، در خصوص کیفیت آب ایستگاه پایین‌دست اهواز، در هر سه حالت تفسیر بد را مطابق با کیفیت مورد انتظار آب ارائه می‌دهد. این شاخص برخلاف چهار شاخص دیگر برای تمام داده‌ها حساسیت لازم را از خود نشان می‌دهد.

۵- نتیجه‌گیری

در این پژوهش تلاش شد تا بر مبنای خواص پیکره آبی ایران، با بهره‌گیری از نظر متخصصین کیفیت آب ایران، شاخص مناسبی تدوین شود. در این راستا از میان ۱۳ متغیر پرکاربرد در شاخص‌های معتبر داخلی و خارجی، برمبنای نظر متخصصین کیفیت آب ایران، ۹ متغیر برای حضور در شاخص تدوین شده انتخاب شد. میزان هم‌بستگی این متغیرها برای جلوگیری از دوباره شماری آن‌ها، در فرآیند انتخاب مورد بررسی قرار گرفت. هم‌چنین باتوجه به مخاطرات موجود در خصوص اندازه‌گیری و ثبت داده‌های کیفیت آب ایران، واحدهای اندازه‌گیری معمول و دردسترس برای این ۹ متغیر انتخاب شد. وزن‌دهی به متغیرهای مؤثر در شاخص تدوین شده، از طریق فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و بر مبنای اهمیت نسبی مدنظر متخصصین کیفیت آب ایران برای هر یک از متغیرها؛ صورت پذیرفت. دو متغیر کلی‌فرم مدفوعی و درصد اشباع اکسیژن محلول، که از مهم‌ترین متغیرهای مؤثر بر کیفیت آب می‌باشند، بیشترین وزن را مطابق انتظار به خود اختصاص دادند. نظرات متخصصین کیفیت آب ایران در خصوص نقاط مرزی منحنی PI هر یک از متغیرها، بسیار متفاوت بود. با این وجود میانگین نظرات آن‌ها و نیز منحنی‌هایی که با درجه هم‌بستگی بالا به این نقاط برازش داده شدند، توانستند از عهده محاسبه و تفسیر داده‌های ایستگاه‌های منتخب رودخانه کارون برآیند. ارزیابی انجام شده نیز نشان داد شاخص تدوین شده (WQIIR) هم در بخش کیفی و هم در بخش محاسباتی، توانایی لازم برای محاسبه و تفسیر کیفیت آب رودخانه‌های ایران را دارد. خلاصه نتایج به‌دست آمده به شرح ذیل است:

۹ متغیر شامل: درصد اکسیژن اشباع، BOD_5، اکسیژن‌خواهی شیمیایی، کدورت، pH، نیترات، فسفات، هدایت الکتریکی و کلی‌فرم مدفوعی تأثیرگذارترین متغیرها بر کیفیت آب رودخانه‌های ایران می‌باشند.

متغیرهای مؤثر در کیفیت آب ایران دارای اهمیت یکسان نمی‌باشند. بررسی شاخص‌های معتبر نیز تصدیق‌کننده این موضوع است. در نظر گرفتن وزن برای متغیرها نشان می‌دهد که تأثیر آن‌ها بر عدد نهایی شاخص باید متفاوت باشد.

عدم وجود شاخص کیفیت آب معتبر بومی، علت استفاده از شاخص‌های خارجی برای تعیین کیفیت آب‌های ایران بوده است؛ هرچند که استفاده محض از شاخص‌های خارجی و عدم اعمال تغییراتی هرچند محدود و متناسب با پیکره آبی ایران در آن‌ها، بیشتر نشان‌دهنده بی‌توجهی محققین پیشین است تا عدم دقت و کارآیی شاخص‌های خارجی. درهرصورت استفاده محض از شاخص‌های معتبر خارجی در خصوص آب‌های ایران، دستاوردی جز سردرگمی مدیران، اعمال سیاست‌های آبی بی‌حاصل و بعضاً مغایر با یکدیگر، تلقی واهی بحران بی‌کیفیتی آب و یا موهبت آب سالم، تخصیص آب به کاربری‌های نامتناسب، سهل‌انگاری در اقدامات پیشگیرانه و صرف هزینه‌های کلان برای انجام راهبردهای اشتباه ندارد.

شاخص تدوین شده (WQIIR) می‌تواند نتایج متفاوت‌تری را نسبت به شاخص‌های خارجی ارائه دهد. این در حالی است که شاخص NSFWQI دارای تعداد متغیرهای مساوی با شاخص تدوین شده است همچنین شاخص تدوین شده (WQIIR) نسبت به شاخص هاشمی دارای تعداد متغیرهای کمتری است و به همین علت در زمان و هزینه بررسی کیفیت آب صرفه‌جویی می‌شود. شاخص هاشمی بر اساس داده‌های موجود از کیفیت آب ایران در ادوار مختلف تنظیم شده و در تخمین کیفیت آب‌های ایران نیز از دقت خوبی برخوردار است، اما شاخص تدوین شده بر اساس نظرات متخصصین کیفیت آب توانست نتایج دقیق‌تری ارائه نماید.

شاخص‌های OWQI و Ahmed Said نیز که در برخی تحقیقات پیشین مورداستفاده قرار گرفته‌اند، عملاً سنخیتی با ساختار کیفی آب‌های ایران ندارند و نتایج آن‌ها با واقعیت آبی کشور فاصله بسیاری دارد. مقایسه تفسیر دو شاخص OWQI و Ahmed Said با وضعیت موجود نشان داد که این دو شاخص، برای بهترین نمونه‌های موجود نیز وضعیت بد و بسیار بد را نشان می‌دهند.

با توجه به اینکه شاخص تدوین شده در این پژوهش برای بررسی کیفیت آب رودخانه‌های ایران بوده و در آن کاربری خاصی برای آب در نظر گرفته نمی‌شود و کیفیت کلی آب مدنظر می‌باشد، بنابراین در پژوهش‌های آتی می‌توان با تدوین شاخص‌های مصارف ویژه، کمک شایانی به تعیین دقیق کیفیت آب برای کاربردهای متفاوت نمود. همچنین می‌توان بر مبنای شاخص تدوین‌شده، پهنه‌بندی کیفی آب رودخانه‌ها در مناطق مختلف را تهیه نمود. گردآوری داده‌های سایر رودخانه ها در تصحیح و تکمیل این شاخص و کاربردی نمودن آن برای کشور از دیگر اقدامات قابل انجام در جهت بهبود این شاخص می‌باشد.

پی‌نوشت‌ها

1- National Sanitation Foundation Water Quality Index
2- Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index
3- Delphi Method
4- Performance Index
5- World Health Organization
6- United States Environmental Protection Agency
7- Water Qulity Index of Iran Rivers

۶- مراجع

Alam MJB, Ahmed AAM, Ali E, Ahmed A (2010) Evaluation of surface water quality of surma river using factor analysis. International Conference on Environmental Aspects of Bangladesh (ICEAB10), Japan, 186-188

Ayoko GA, Singh K, Balerea S, Kokot S (2007) Exploratory multivariate modeling and prediction of the physico-chemical properties of surface water and groundwater. Journal of Hydrology, 336(1):115-124

Brown RM, McLelland NI, Deininger RA, O'Connor MF (1972) A water quality index- crashing the psychological barrier. Indicators of Environmental Quality, Springer US. 173-182

Cude CG (2001) Oregon water quality index: A tool for evaluating water quality management effectiveness. Journal of American Water Resources Association. 37(1):125-137

Hashemi H, Fathi T, Rural N, Khosro Gh And Ramezani Q (2014) Iran water quality standards and iran water quality index. Environmental Protection Agency, Human Environment, Water Management, http://www.doe.ir/Portal/File/ShowFile.aspx?ID=7e4ae7eb-c32f-4c44- Bf0d-9c87d789c237 (In Persian)

Horton RK (1965) An index number system for rating water quality. Journal of Water Pollution Control Federation, 37(3):300–306

Institute of Standard and Industrial Research of Iran (2009) Drinking water: physical and chemical specifications. ISIRI 1053, 5th Revision

Iranian Department of Environment (2013) Iran water quality index. Tehran, Iran (In Persian)

Singh KP, Malik A, Mohan D, Sinha S (2004) Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of gomti river (India)- a case study. Water Research, 38(18):3980-3992

Sobhani N (2003) The review on water quality index methods and their applications on zoning of Karoon river. MSc. Thesis, Environmental Faculty, Science And Industry University, Tehran, Iran

Torabian A (2008) Iran water resources quality index. Unpublished Report of Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran (In Persian)

USEPA (2002) List of drinking water contaminations and MCLs. United State Environmental Protection Agency, E.PA 816-F 02-013 (online): http://www.epa.gov/safewater/mcl.htrnl (29 Aug 2005)

Vaidya OS, Kumar S (2006) Analytic hierarchy process:An overview of applications. European Journal of Operational Research, 169(1):1-29

Wang XL, Lu YL, Han JY, He GZ, Wang TY (2007) Identification of anthropogenic influences on water quality Of Rivers in taihu watershed. Journal of Environmental Sciences 19(4):475-481

WHO (world health organization) (2004) Guidelines for drinking water quality. 3rd editation, Volume 1, Geneva, ISBN:92 4 154638 7

Yargholi B, Moshaver yekom Consulting Engineers (2010) Analysis of water resources pollution data (sefidrood river). Iranian Department of Environment, Tehran, Iran (In Persian)

Karamouz M, Kerachian R (2003) Water quality planning and management. Tehran Polytechnic Press, Tehran, Iran (In Persian)

Kazi TG, Arain MB, Jamali MK, Jalbani N, Afridi HI, Sarfraz RA, Shah AQ (2009) Assessment of water quality of polluted lake using multivariate statistical techniques: A case study. Ecotoxicology and Environmental Safety, 72(2):301-309

Khuzestan Water and Power Authority (2014) Archive of deputy of water resources basic studies. Tehran, Iran (In Persian)

Lang T (1995) An overview of four futures methodologies. Manoa Journal of Fried and Half-fried Ideas, 7(1):1-32

Liou SM, Lo SL, Hu CY (2003) Application of two-stage fuzzy set theory to river quality evaluation in Taiwan. Water Research, 37(6):1406-1416

Ott WR (1978) Environmental indices: Theory and practice. Ann Arbor Science, University of Michigan, Michigan

Said A, Stevens DK, Sehlke G (2004) An innovative index for evaluating water quality in streams. Environmental Management, 34(3):406-414

Sargaonkar A, Deshpande V (2003) Development of an overall index of pollution for surface water based on a general classification scheme in Indian context. Environmental Monitoring and Assessment 89:43-67

Simoes F, Moreira AB, Bisinoti MC, Gimenez SMN, Yabe MJS (2008) Water quality index as a simple indicator of aquaculture effects on aquatic bodies. Ecological Indicators, 8(5):476-484