مروری بر روش شاخص‌های کیفی آب‌های سطحی و کاربرد آن در پهنه‌بندی قسمتی از رودخانه‌ی کارون

غلامرضا اسداله‌فردی (استادیار)
دانشکده‌ی فنی مهندسی، دانشگاه تربیت معلم
عباس افشار (استاد)
نسرین شیخستانی (کارشناس ارشد)
دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

پهنه‌بندی آلودگی یک رودخانه شاید اولین و ساده‌ترین قدم در اعمال یک مدیریت صحیح کیفی با هدف بنا نهادن راهکار مناسب برای کنترل معضل آلودگی در آن باشد. روش‌های مختلفی برای تحلیل اطلاعات کیفی آب‌های سطحی و پهنه‌بندی کیفی آنها در سطح دنیا مورد مطالعه قرار گرفته است که از آن میان «شاخص‌های کیفی آب‌های سطحی» یکی از پر کاربردترین و ساده‌ترین روش‌هاست. در این نوشتار با مروری اجمالی بر انواع شاخص‌های کیفی و تعیین نقاط قوت و ضعف آنها، شاخص کیفیت آب فدراسیون بهداشت عمومی[1] (NSFWQI) مورد بررسی بیشتر قرار گرفته است. با استفاده از این روش و اطلاعات در دسترس، کیفیت شیمیایی قسمتی از رودخانه‌ی کارون ـ دز مورد مطالعه قرار گرفته است. حاصل این مطالعات نشان می‌دهد که آب رودخانه‌ی مذکور کیفیت شیمیایی متوسطی دارد که ممکن است ناشی از ورود آلاینده‌های خانگی و صنعتی باشد.

مقدمه

رودخانه‌ها یکی از منابع مهم آبی قابل حصول و در دسترس انسان هستند، که به دلیل اهمیت بسیار، جوامع انسانی و مراکز صنعتی و کشاورزی و... در نزدیکی آن برپا شده‌اند. همین امر باعث دخل و تصرف غیرطبیعی و تغییر شرایط کیفی آنها از وضعیت مناسب و طبیعی به نامطلوب می‌شود. در این راستا سنجش، تحلیل و تفسیر منظم داده‌های کیفیِ آب رودخانه‌ها، این امکان را فراهم می‌سازد که ضمن استفاده از آن در موارد مختلف، شیوه‌هایی مدیریتی برای کاهش تدریجی آلودگی رودخانه‌ها، و حرکت به سمت کیفیتی با استاندارد قابل قبول اتخاذ کند.

برای تحلیل و تفسیر پارامترهای کیفی آب روش‌های مختلف ریاضی وجود دارد که از میان آنها روش «شاخص‌های کیفی آب» یکی از ساده‌ترین روش‌ها با کاربرد فراوان است. در این روش حجم زیاد اطلاعات حاصل از اندازه‌گیری‌های کیفی آب به عددی منفرد و بدون بُعد تبدیل می‌شود که این عدد در یک مقیاس درجه‌بندی شده، مفهوم و تفسیر کیفی تعریف‌شده‌یی دارد.

کاربردهای متعددی از این روش در منابع مختلف ذکر شده که از آن جمله می‌توان کمک به تخصیص منابع، طبقه‌بندی و مقایسه‌ی کیفی پیکره‌های آبی، کنترل اجرای استانداردها، تحلیل روند تغییرات کیفی زمانی و مکانی رودخانه‌ها، اطلاع رسانی به عموم مردم و تسهیل در استمرار تحقیقات علمی اشاره کرد.

در زمینه‌ی بررسی شاخص‌های کیفی آب مطالعات زیادی توسط محققین مختلف انجام گرفته است. برای اولین بار هورتُن[1] در سال ۱۹۶۵ و سپس محققین دیگری به این مقوله پرداخته‌اند. در جدول ۱ تعدادی از روش‌هایی که مورد مطالعه قرار گرفته، به‌طور فهرست‌وار مشاهده می‌شود. برخی از این روش‌ها در ایران نیز مورد استفاده قرار گرفته است. در سال ۱۳۷۷ نوروزیان از روش فازی برای تعریف کیفیت آب رودخانه‌ی کارون، و نیز در سال ۲۰۰۰ اسداله فردی از روش NSFWQI در مورد تحلیل کیفی شبکه آب‌های سطحی تهران استفاده کرده‌اند.[2 و 3]

مسئله‌یی که در ایران فراروی مدیریت کیفی آب‌های سطحی قرار دارد نبود سیستمی منظم برای سنجش دائمی کیفیت آب‌های سطحی (رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و دریاها) است، برای تحلیل اطلاعات پراکنده‌ی موجود نیز، روش ساده‌یی که بتواند در اولین قدم دورنمایی قابل لمس از وضعیت موجود ارائه دهد، مورد مطالعه قرار نگرفته است. لذا در این نوشتار با توجه به مسئله‌ی مذکور اهداف زیر مورد نظر است.

الف) توضیحی مختصر در ارتباط با روش‌های مختلف شاخص‌های کیفی آب، مقایسه‌ی آنها با یکدیگر، و بیان نقاط ضعف و قوت این روش‌ها؛

ب) استفاده از تکنیک NSFWQI و تحلیل موردی رودخانه‌ی کارون ـ دز به‌منظور شناخت کیفیت شیمیائی آب این رودخانه و

جدول ۱. تعدادی از روش‌های شاخص کیفی آب و ویژگی‌های آنها.

ردیف	نام شاخص	مقیاس شاخص	تعداد پارامترهای کیفی به‌کار رفته	تابع ترکیب	ملاحظات	شماره مراجع
	شاخص‌های عمومی:					
۱	شاخص کیفی Horton	کاهشی	۱۰	جمع خطی وزنی	ناحیه‌ی تاریکی	۴
۲	شاخص کیفی NSFWQI	کاهشی	۹	محصول وزنی	---	۶و۵
۳	شاخص صریح آلودگی Prati	افزایشی	۱۳	میانگین حسابی	ناحیه‌ی تاریکی	۷
۴	شاخص آلودگی رودخانه McDuffie	افزایشی	۸	جمع خطی وزنی	ناحیه‌ی تاریکی	۸
۵	سیستم حسابداری اجتماعی Dinius	کاهشی	۱۱	جمع خطی وزنی	ناحیه‌ی تاریکی	۹
۶	شاخص لهستان Dojlido	کاهشی	۷-a	میانگین هارمونیک	---	۱۰
	شاخص‌های مصارف ویژه:					
۷	شاخص زیست آبی O'Connor	کاهشی	۹	جمع خطی وزنی	ناحیه‌ی تاریکی	۴
۸	شاخص مصارف عمومی O'Connor	کاهشی	۱۳	جمع خطی وزنی	ناحیه‌ی تاریکی	۴
۹	شاخص مصارف عمومی Deininger & Landwehr	کاهشی	۱۱-۱۳	جمع خطی وزنی	ناحیه‌ی تاریکی	۱۱
۱۰	شاخص تفریحی Walski & Parker	کاهشی	۱۲	میانگین هندسی	ناحیه‌ی تاریکی	۱۲
۱۱	شاخص دومنظوره Stoner	افزایشی	۳۱	جمع خطی وزنی	ناحیه‌ی تاریکی	۱۳
۱۲	شاخص سه کاره Nemerow & Sumitoio	افزایشی	۱۴	تابع ترکیبی	حداقل تاریکی	۱۴
۱۳	شاخص اورگان	کاهشی	۸	میانگین هارمونیک	---	۱۵
۱۴	شاخص رودخانه‌ی گنگ هند	کاهشی	a	میانگین هندسی	ناحیه‌ی تاریکی	۱۶
۱۵	شاخص آب BCWQI (British Columbia Water Quality Index)	افزایشی	a	تابع ترکیبی	عدم بیان شرایط کیفی قبل از رسیدن به حدود مرزی	۱۷
	شاخص‌های آماری:					
۱۶	شاخص Harkin	افزایشی	a		---	۱۸
۱۷	شاخص بتا	افزایشی	a		---	۵

a می‌تواند شامل هر تعداد از پارامتر باشد.

تصمیم‌گیری آگاهانه برای برقراری راهکارِ مناسبِ کاهش آلودگی آن، و نیز ارائه‌ی اطلاع‌رسانی مناسب به مردم.

ج) استفاده‌ی احتمالی از روش شاخص کیفی برای پهنه‌بندی آبهای سطحی کشور، به‌منظور آگاهی یافتن از وضعیت کیفی موجود و ارائه‌ی راهکار مناسب برای کاهش آلودگی.

خلاصه‌یی از روش‌های شاخص کیفی آب، تعیین نقاط ضعف و قوت آنها

به‌طور کلی شاخص‌ها را می‌توان در پنج دسته‌ی کلی طبقه‌بندی کرد:[۵]

الف) شاخص‌های عمومی کیفی آب: این نوع شاخص‌ها به‌منظور طبقه‌بندی کیفی آب، صرف‌نظر از نوع مصرف آن، صورت می‌گیرد.

ب) شاخص‌های مصارف ویژه: این نوع شاخص‌ها برای طبقه‌بندی کیفی آب، براساس نوع مصرف (عمومی، شرب، کشاورزی، حفظ حیات آبی و...) صورت می‌گیرد.

ج) شاخص‌های طراحی: این نوع شاخص‌ها به‌صورت خاص برای انجام تصمیم‌گیری‌های مدیریتی طرح می‌شود و در آنها طبقه‌بندی کیفی آب صورت نمی‌گیرد؛ لذا صرفاً ابزاری است برای کمک به سنجش تصمیمات و برنامه‌ریزی‌های مربوط به آب.

د) شاخص‌های آماری: این نوع شاخص‌ها برای طبقه‌بندی کیفی با استفاده از روش‌های آماری استفاده می‌گردد و نظرات شخصی کمتر در آنها دخالت دارد.

ه) شاخص‌های زیست‌شناختی (بیولوژیکی): این نوع شاخص‌ها عموماً کیفیت آب را با توجه به تأثیرات آن بر روی حیات ارزیابی می‌کنند.

در هر گروه از طبقه‌بندی فوق، محققان شاخص‌های متنوعی را

معرفی کرده‌اند که در هر یک از آنها پارامترهای کیفی و توابع ریاضی مختلفی به‌کار برده شده است.

به‌منظور محاسبه‌ی شاخص‌های کیفی دو مرحله‌ی ریاضی وجود دارد. ابتدا زیرشاخص مربوط به هر پارامتر کیفی با استفاده از روابط خاص خود محاسبه می‌شود و سپس این زیرشاخص‌ها با یکدیگر ترکیب شده و شاخص نهایی را نتیجه می‌دهند.

روابط منحنی‌هایی که مقادیر پارامترهای کیفی را به عدد زیرشاخص تبدیل می‌کنند، ممکن است به‌صورت خطی یا غیرخطی (صریح و یا ضمنی) باشند. همچنین توابع متعددی برای ترکیب زیرشاخص‌ها ارائه شده است که هر یک ویژگی‌هایی دارند. در برخی توابع مشکلاتی دیده می‌شود که بهتر است هنگام استفاده از آنها این مشکلات نیز مد نظر قرار گیرند. مشکلات عمده‌یی که در برخی از این توابع مشاهده می‌شود به دو صورت زیر است:

ـ عدد شاخص مقادیر بیشتر از واقعیت را نشان می‌دهد، ولی هیچ یک از زیر شاخص‌ها از حدود مجاز تجاوز نمی‌نمایند. (مثال برای آلودگی هوا، مشکل ناحیه ابهام ـ شکل ۱).

ـ عدد شاخص مقادیر کمتر از واقعیت را نشان می‌دهد، بدین مفهوم که برخی از پارامترهای کیفی از حدود مجاز تجاوز نموده‌اند ولی عدد شاخص حاکی از شرایط نامطلوب نیست. (مثال برای آلودگی هوا، مشکل ناحیه تاریکی ـ شکل ۲).

برای رفع دو مشکل فوق توابع دیگری در برخی شاخص‌ها معرفی شده‌اند که عملکرد مناسب‌تری دارند.

شاخص از دید ریاضی به دو گروه تقسیم می‌شوند. برخی شاخص‌ها با افزایش میزان آلودگی، مقدارشان افزایش می‌یابد که به آنها «شاخص با مقیاس افزایشی» می‌گویند. در برخی دیگر، مقدار شاخص با افزایش آلودگی کاهش می‌یابد که به آنها «شاخص با مقیاس کاهشی» می‌گویند.

در جدول ۲ انواع توابع ریاضی ترکیب زیر شاخص‌ها و مشکلات آنها مشاهده می‌شود.[۵]

برای ارزیابی و مقایسه‌ی شاخص‌های مختلف می‌توان نکات زیر را مورد توجه قرار داد:

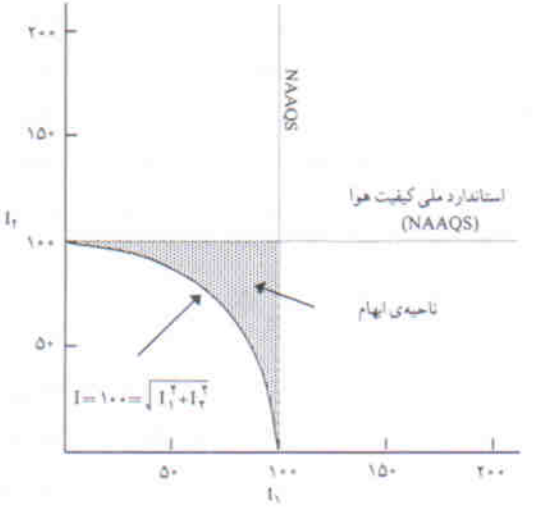
ـ امکان مقایسه‌ی وضعیت کیفی رودخانه‌های مختلف به‌وسیله‌ی شاخص کیفی؛

ـ در دسترس بودن اطلاعات مربوط به پارامترهای به‌کار رفته در هر شاخص در اغلب رودخانه‌های کشور؛

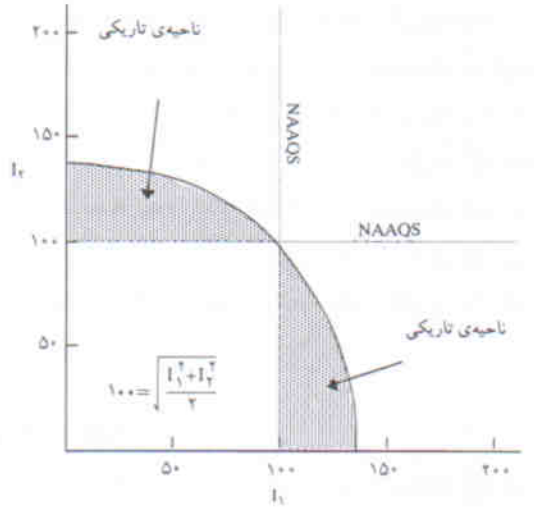
ـ ویژگی ریاضی توابع ترکیب که در هر شاخص به‌کار رفته است؛

ـ ارائه‌ی روش ساده برای محاسبه‌ی شاخص.

از ویژگی‌های شاخص‌های آماری، غیر قابل مقایسه بودن نتایج یک سری اطلاعات با نتایج سری دیگر است. لذا این گونه شاخص‌ها اصولاً به‌عنوان شاخص برای مقایسه‌ی شرایط کیفی رودخانه‌های مختلف کاربردی ندارد. همچنین اگر این شاخص‌ها با هدف مصارف عمومی، کشاورزی و صنعتی انجام گیرند، به‌دلیل معیارها و استانداردها در مصارف عمومی می‌تواند در طول زیادی از اغلب رودخانه‌ها، شرایط کیفی نامناسب را گزارش کند یا پهنه‌بندی کیفی بر اساس مصارف کشاورزی و صنعتی، شرایط مناسبی را در اغلب رودخانه‌ها گزارش کند. لذا برای اجتناب از چنین دیدگاه افراطی و تفریطی باید از یک حد وسط سود جست. شاخص مصارف ویژه با حفظ حیات آبی به‌لحاظ استانداردها و معیارهای موجود می‌تواند نقطه‌ی میانی در بین مصارف مختلف آب باشد و همچنین امکان مقایسه با نتایج پهنه‌بندی به‌وسیله شاخص‌های عمومی را



شکل ۱. رسم تابع ریشه ـ جمع ـ مجذور در صفحه (I_1,I_2).



شکل ۲. رسم تابع ریشه ـ میانگین ـ مجذور.

جدول ۲. خصوصیات انواع توابع ترکیب.

نوع ترکیب	تابع ترکیب	شاخص با مقیاس کاهشی	شاخص با مقیاس افزایشی
جمع خطی	$I=\sum_{i=1}^{n} I_i$	تاریکی ـ بدون ابهام	ابهام ـ بدون تاریکی
جمع خطی وزنی	$I=\sum_{i=1}^{n} W_i I_i$ $\sum_{i=1}^{n} W_i = 1$	تاریکی ـ بدون ابهام	تاریکی ـ بدون ابهام
ریشه ـ جمع ـ توان	$I=\left[\sum_{i=1}^{n} I_i^{p}\right]^{\frac{1}{p}}$	تاریکی ـ بدون ابهام	با تمایل P به سمت بی‌نهایت حداقل ابهام و تاریکی
اپراتور بیشینه	$I=\max\{I_1,...,I_i,...,I_n\}$	غیر قابل کاربرد	بدون تاریکی ـ بدون ابهام
محصول وزنی	$I=\prod_{i=1}^{n} I_i^{W_i}$ $\sum_{i=1}^{n} W_i = 1$	تاریکی ـ بدون ابهام	غیر قابل کاربرد
اپراتور بیشینه	$I=\min\{I_1,...,I_i,...,I_n\}$	تاریکی ـ بدون ابهام	غیر قابل کاربرد

در توابع فوق: I_i= مقدار زیرشاخص پارامتر iام؛ W_i= فاکتور وزنی شاخص iام؛ n= تعداد زیر شاخص‌ها یا پارامترهای کیفی

منطقی‌تر سازد. بنابراین در بین شاخص‌های مصارف ویژه تنها شاخص‌هایی که هدف آنها حفظ حیات آبی است انتخاب می‌شوند. و از بین گروه‌های پنج‌گانه‌ی شاخص‌ها، تنها دو نوع شاخص عمومی و شاخص مصارف ویژه با هدف حفظ حیات آبی مورد بررسی بیشتر قرار می‌گیرد. برای آنکه بتوان از شاخص‌ها به‌منظور پهنه‌بندی اغلب رودخانه‌های کشور استفاده کرد لازم است تا پارامترهای کیفی مورد استفاده در آنها نیز در دسترس بوده و مرتباً اندازه‌گیری شود.

در جدول ۳ پارامترهای به کار رفته در شاخص‌های معرفی شده در جدول ۱ درج شده است. همچنین باید در ترکیب ریاضی شاخص از تابعی استفاده شود که مشکل ناحیه‌ی ابهام و تاریکی در آنها حداقل باشد. لذا با توجه به جداول ۱ و ۳ و ملاحظات قبلی ذکر شده، روش NSFWQI که از مشکلات کمتری برخوردار است. برای بررسی بیشتر با استفاده از اطلاعات کیفی آب رودخانه‌ی کارون ـ دز سال ۷۴ در نظر گرفته شده است.

روش NSFWQI

اساس روش NSFWQI که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته است مبتنی بر نظرسنجی از اساتید و متخصصان فن است در این روش پارامترهای کیفی، فاکتورهای وزنی پارامترها و منحنی تبدیل پارامترها به زیرشاخص آنها بر اساس نظر خواهی‌های انجام شده به‌دست می‌آید. بنابراین تعداد ۹ پارامتر کیفی به‌ترتیب اکسیژن محلول (DO)، BOD_5، نیترات (NO_3^-)، فسفات (PO_4^{3-})، کل مواد جامد (TS)، اسیدی یا بازی بودن (pH)، دما (T)، کدورت و فیکال کلیفرم (FC) انتخاب شده و سپس زیرشاخص هر یک از این پارامترها با توجه به مقادیر اندازه‌گیری شده از روی منحنی تبدیل (شکل‌های ضمیمه‌ی ۹-۱ یا مرجع اینترنتی شماره‌ی ۵) محاسبه می‌شود. در این روش برای محاسبه‌ی شاخص نهایی از رابطه‌های زیر استفاده می‌شود که در آن I_i زیر شاخص هر پارامتر و W_i فاکتور وزنی پارامترها و n تعداد زیر شاخص‌ها است.

$$I=\prod_{i=1}^{n} I_i^{W_i} \qquad \sum_{i=1}^{n} W_i = 1$$

شاخص NSFWQI شاخصی با مقیاس کاهشی است که تفسیر کیفی عدد شاخص در آن مطابق جدول ۴ است.

برای به دست آوردن مجدد فاکتور وزنی در این روش، پرسشنامه‌هایی برای اساتید دانشگاه‌های علم و صنعت، تهران،

جدول ۳. پارامترهای مورد استفاده در روش‌های مختلف شاخص‌های کیفی عمومی و مصارف ویژه آب.

پارامتر	شماره شاخص*													
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴
شیمیایی														
DO	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●
BOD_5		●	●	●	●	●			●				●	●
COD			●	●		●								
Alkalinity	●				●			●				●		
Hardness					●			●	●			●		●
آهن (Iron)			●						●		●	●		
منگنز (Manganese)			●									●		
نیتروژن (Nitrogen):														
آمونیاک (Ammonia)			●			●	●				●		●	
نیتریت‌ها (Nitrties)											●			
نیترات‌ها (Nitrates)		●	●				●	●	●	●			●	●
فسفر (Phosphorus):														
فسفات (Phosphate)		●		●		●	●			●			●	
کلرایدها (Chlorides)	●		●		●			●			●	●		●
فلورایدها (Fluorides)								●	●		●			
سولفات‌ها (Sulphates)								●			●	●		
چربی (Grease & oil)										●				
فنل (Phenol)							●	●	●		●			
CCE	●		●											
فیزیکی:														
PH	●	●	●		●		●	●	●	●	●	●		
دما (Temperature)	●	●		●	●		●		●	●		●	●	●
شرایط خاص (Specific Cond.)	●			●	●									●
Turbidity		●					●	●	●	●		●		
جامدهای حل نشده (Dissolved Solids)						●	●	●	●					
جامدهای معلق (Suspended Solids)			●			●				●		●		
کل مواد جامد (Total Solids)		●										●	●	
رنگ (Color)					●			●	●	●	●	●		
بیولوژیکی:														
کلیفرم مدفوعی (FC)		●			●			●	●		●	●	●	
کلیفرم کلی (Total coliforms)	●			●	●					●				●

* شماره‌ی شاخص براساس شماره‌های ذکر شده در ستون اول (نام شاخص) جدول ۱ است.

جدول ۴. کلاسه‌بندی سیستم رودخانه پیشنهاد شده به‌وسیله NSFWQI.[۵]

رنگ	مقدار عددی شاخص	تفسیر کلی
قرمز	۰ـ۲۵	بسیار بد
نارنجی	۲۶ـ۵۰	بد
زرد	۵۱ـ۷۰	متوسط
سبز	۷۱ـ۹۰	خوب
آبی	۹۱ـ۱۰۰	عالی

شریف، تبریز، اصفهان، شیراز و ارسال شد. از بین حدود ۵۰ پرسشنامه‌ی ارسالی ۱۸ مورد پاسخ دریافت شد و فاکتورهای وزنی براساس این ۱۸ پاسخ‌نامه مطابق با روش NSFWQI به ترتیب زیر به‌دست آمد:

- تعداد پاسخ به سهم هر پارامتر که بین ۱ تا ۵ مشخص شده؛
- میانگین وزنی سهم هر پارامتر تعیین شده؛
- فاکتور وزنی موقت با تقسیم کوچک‌ترین سهم به سهم پارامتر محاسبه شده است؛
- فاکتور وزنی موقت هر پارامتر بر مجموع فاکتورهای وزنی تقسیم شد تا وزن نهایی هر پارامتر به دست آید.

یافته‌ها

با کاربرد روش NSFWQI و استفاده از داده‌های سال ۱۳۷۴، وزارت نیرو به نتایجی دسترسی پیدا کرده است. که حاصل این بررسی در جدول ۵ بیان شده است.

در مقایسه بین این فاکتورهای وزنی به دست آمده با فاکتورهای تصحیح شده در اصل روش NSFWQI مشخص می‌شود که اغلب پارامترها در هر دو حالت، فاکتورهای وزنی بسیار نزدیک به هم دارند. بیشترین اختلاف که حدود ۳۰٪ است مربوط به دو پارامتر BOD_5 و دماست. (جدول ۶)، لذا استفاده از ۱۸ پرسشنامه ممکن است معرف نسبتاً قابل قبولی باشد. شکل ۳ حاصل کاربرد روش NSFWQI را در مورد رودخانه‌ی کارون ـ دز نشان می‌دهد که در قسمت بحث توضیح بیشتری درباره‌ی آن ارائه می‌شود.

بحث

آنچه به‌عنوان مزایای روش NSFWQI می‌توان ذکر کرد سادگی و نیز در دسترس بودن پارامترهای کیفیت مورد استفاده در این روش است که در اکثر سنجش‌های کیفی موجود است. در بیشتر روش‌های شاخص‌های کیفی آب، جمع زیرشاخص‌ها نسبت به روش NSFWQI دارای ناحیه‌ی ابهام و تاریکی بیشتری است اما از جمله معایب این روش تأثیر نظرهای شخصی متخصصین مختلف است. از آنجا که ممکن است نظرات گروه‌های مختلف، در تعیین فاکتور وزنی نهایی متفاوت باشد، در نتایج حاصله امکان اختلاف اندکی ایجاد می‌شود. از معایب دیگر روش NSFWQI این است که تغییرات دقیق کیفیت آب را در هر زمان مورد نظر نشان نمی‌دهد و در مجموع، با توجه به اهداف تعریف شده در این نوشتار، روش NSFWQI روشی معقول و قابل قبول است.

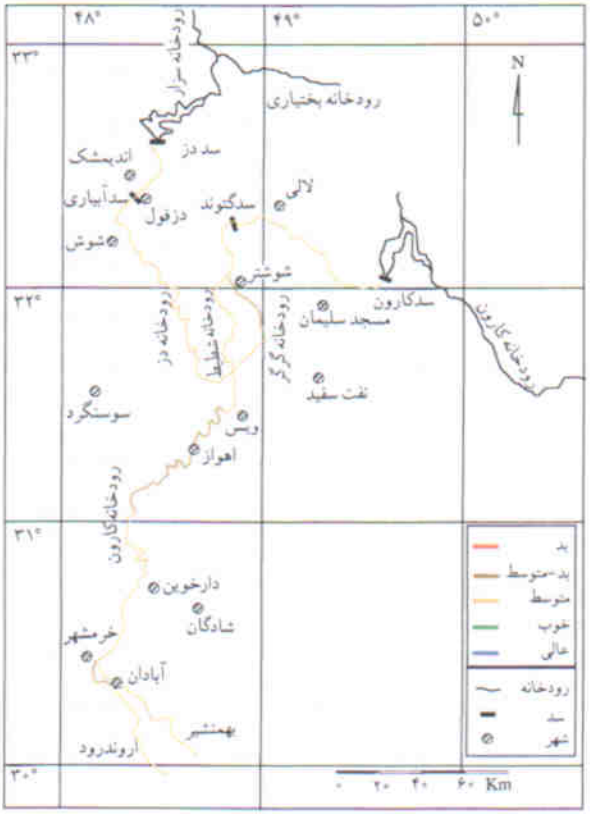
برای بررسی و ارزیابی بیشتر، رودخانه‌ی کارون ـ دز (شکل ۳) در شش ماهه‌ی دوم سال ۷۴، با استفاده از روش NSFWQI مورد

جدول ۵. تحلیل فاکتور وزنی پارامترهای کیفی آب‌های سطحی.

پارامتر کیفی	مقدار سهم در آلودگی					میانگین	فاکتور وزنی موقت	فاکتور وزنی نهایی
	۱	۲	۳	۴	۵			
اکسیژن محلول (DO)	۸	۵	۴	۱	-	۱/۸۸۸	۰/۸۳	۰/۱۳
BOD_5	۱۰	۶	۲	-	-	۱/۵۵۶	۱/۰۰	۰/۱۵
اسیدی یا بازی بودن (pH)	۳	۸	۵	۲	-	۲/۳۳۳	۰/۶۷	۰/۱۱
نیترات (NO_3^-)	۷	۴	۶	-	۱	۲/۱۱۱	۰/۷۴	۰/۱۱
فسفات (PO_4^{3-})	۳	۳	۹	۲	۱	۲/۷۲۲	۰/۵۷	۰/۰۹
کل مواد جامد (TS)	۴	۸	۲	۴	-	۲/۳۳۳	۰/۶۷	۰/۱۰
دما (T)	۱	۱	۸	۵	۳	۳/۴۴	۰/۴۵	۰/۰۷
کدورت	۴	۶	۵	۳	-	۲/۳۸۹	۰/۶۵	۰/۱۰
کلیفرم مدفوعی (FC)	۱۱	۳	۳	۱	-	۱/۶۶۷	۰/۹۳	۰/۱۴
						جمع	۶/۵	

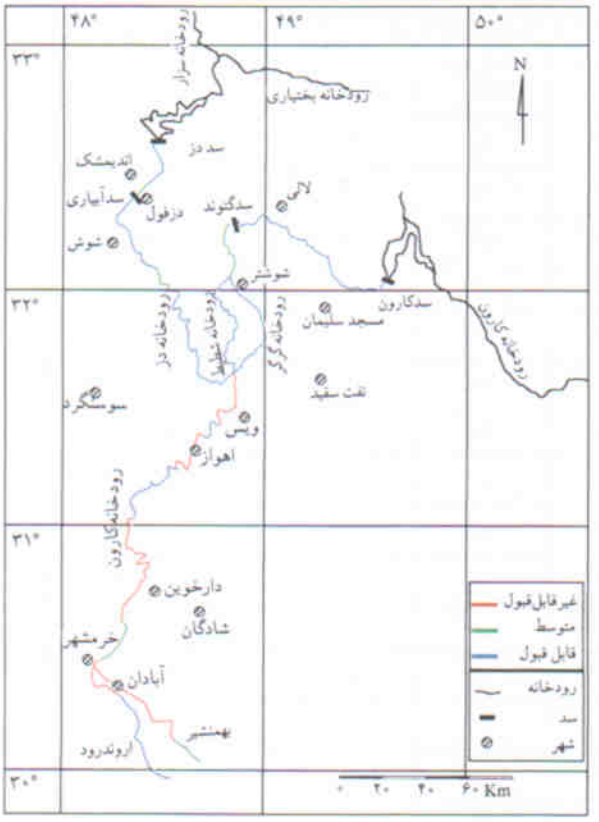
جدول ۶. مقایسه‌ی فاکتور وزنی NSFWQI اولیه و فاکتور وزنی ثانویه.

نوع فاکتور وزنی / پارامترها	فاکتور وزنی اولیه NSFWQI	فاکتور وزنی ثانویه
اکسیژن محلول (DO)	/۱۷	/۱۳
BOD_5	/۱۱	/۱۵
اسیدی یا بازی بودن (pH)	/۱۱	/۱۰
نیترات (NO_3^-)	/۱۰	/۱۱
فسفات (PO_4^{3-})	/۱۰	/۰۹
کل مواد جامد (TS)	/۰۷	/۱۰
دما (T)	/۱۰	/۰۷
کدورت	/۰۸	/۱۰
فیکال کلیفرم (FC)	/۱۶	/۱۴



شکل ۳. پهنه‌بندی آلودگی شیمیایی رودخانه کارون ـ دز به روش NSFWQI.

پهنه‌بندی و طبقه‌بندی کیفی قرار گرفته است. اطلاعات کیفی به کار رفته در این طرح از اندازه‌گیری‌های ایستگاه‌های مختلف واقع بر روی رودخانه‌ی دز که در گزارش ارزیابی زیست‌محیطی رودخانه‌ی کارون[۱۹] ارائه شده، اخذ گردیده است.



شکل ۴. پهنه‌بندی آلودگی شیمیایی رودخانه‌ی کارون ـ دز به روش تکنیک فازی.[۲]

آنچه در جدول ۷ مشاهده می‌شود، نتایج زیرشاخص پارامترهای مختلف در ایستگاه‌های اندازه‌گیری است که با استفاده از تئوری توضیح داده شده و منحنی‌های تبدیل ذکر شده در ضمیمه‌ی یک به دست آمده است. نتایج محاسبات و طبقه‌بندی کیفی رودخانه به روش NSFWQI در جدول ۸ ارائه شده است. در شکل ۳ نتایج این پهنه‌بندی ارائه شده است.

مقایسه‌ی این پهنه‌بندی با پهنه‌بندی انجام شده به‌روش فازی (شکل ۴) بر روی این رودخانه، توسط محققان قبلی[۲]، و اطلاعات کیفی مشابه مطابقت خوبی را نشان می‌دهد.

همان‌طور که در شکل شماره ۳ دیده می‌شود شرایط کیفی رودخانه‌ی کارون در حد واسط سد شهید عباسپور تا رسیدن به نزدیکی شوشتر از شرایط کیفی متوسطی برخوردار است و پس از عبور از شهر شوشتر، که فاضلاب شهری به آن تخلیه می‌شود در شاخه گرگر تغییر شرایط کیفی از متوسط به بد دیده می‌شود.

رودخانه‌ی دز از سد دز تا بند قیر دارای شرایط کیفی متوسط است. این رودخانه در محل بند قیر به رودخانه‌ی کارون می‌پیوندد. از این نقطه تا ایستگاه رامین شرایط کیفی رودخانه در حد متوسط است.

جدول ۷. زیر شاخص پارامترهای کیفی رودخانه‌های کارون ـ دز به روش NSFWQI.

پارامتر / ایستگاه	اسیدی یا بازی بودن (pH)	اکسیژن محلول (DO)	دما (T)	کل مواد جامد (TS)	BOD_5	نیترات (NO_3^-)	فسفات (PO_4^{3-})	فیکال کلیفرم (FC)
دز ـ سد دز	۸۶	۴۷	۹۰	۵۸	۷۲	۹۲	۹۹	۲۲
دز ـ چم گلک	۹۱	۷۶	۹۰	۵۸	۸۰	۹۲	۱۰۰	۲۲
دز ـ کارخانه قند	۸۴	۸۸	۹۰	۲۰	۷۶	۸۲	۱۰۰	۲۲
دز ـ آب شیرین	۸۹	۷۱	۹۰	۲۰	۵۸	۷۵	۱۰۰	۲۲
دز ـ مستوفی	۹۰	۵۱	۹۰	۲۰	۶۴	۶۹	۹۹	۲۲
دز ـ بند قیر	۸۹	۶۵	۹۰	۲۰	۷۶	۸۴	۱۰۰	۲۲
کارون ـ سد شهید عباسپور	۹۱	۷۳	۹۰	۲۰	۸۰	۸۹	۹۹	۲۲
کارون ـ سد گتوند	۸۸	۸۰	۹۰	۲۰	۹۲	۸۸	۱۰۰	۲۲
کارون ـ بند میزان	۸۴	۸۵	۹۰	۲۰	۷۴	۹۱	۱۰۰	۲۲
گرگر ـ شوشتر	۸۱	۷۸	۹۰	۲۰	۶۳	۸۵	۱۰۰	۹
شطیط ـ شوشتر	۸۲	۸۰	۹۰	۲۰	۷۴	۹۲	۹۹	۹
گرگر ـ بندقیر	۸۵	۸۲	۹۰	۲۰	۷۶	۸۱	۹۹	۹
شطیط ـ بندقیر	۸۷	۸۰	۹۰	۲۰	۸۶	۹۰	۱۰۰	۹
کارون ـ بندقیر	۸۹	۷۵	۹۰	۲۰	۸۲	۸۳	۱۰۰	۹
کارون ـ رامین	۸۹	۷۷	۹۰	۲۰	۸۶	۸۲	۹۴	۹
کارون ـ زرگان	۸۸	۶۸	۹۰	۲۰	۸۶	۷۱	۱۰۰	۸
کارون ـ نیوساید	۸۹	۷۹	۹۰	۲۰	۷۴	۸۲	۹۹	۸
کارون ـ پل پنجم	۹۰	۷۹	۹۰	۲۰	۷۰	۹۲	۹۸	۸
کارون ـ چنیبه	۸۸	۷۴	۹۰	۲۰	۶۷	۸۲	۹۸	۸
کارون ـ ام‌الطمیر	۸۹	۶۹	۹۰	۲۰	۶۷	۷۹	۱۰۰	۹
کارون ـ دارخوین	۸۷	۷۸	۹۰	۲۰	۸۰	۸۳	۱۰۰	۹
کارون ـ نهر مارد	۸۴	۸۶	۹۰	۲۰	۸۰	۷۹	۹۹	۹
کارون ـ صابونسازی	۸۸	۵۷	۹۰	۲۰	۶۹	۷۰	۱۰۰	۹
حفار ـ گمرک	۸۶	۷۶	۹۰	۲۰	۶۸	۸۱	۹۹	۲۲
بهمنشیر ـ ابوالحسن	۸۲	۷۶	۹۰	۲۰	۷۰	۸۹	۹۹	۲۲
بهمنشیر ـ چوئیده	۸۱	۷۶	۹۰	۲۰	۶۸	۸۰	۹۹	۲۲

در محدوده‌ی شهر اهواز، شرایط کیفی این رودخانه در عبور از ایستگاه زرگان نامناسب است و علت آن وجود مراکز آلاینده‌ی صنعتی و شهری است که به رودخانه تخلیه می‌شود. بنابراین با شرایط واقعی مطابقت قابل قبول دارد. این رودخانه تا رسیدن به ایستگاه دارخوین به‌شرایط کیفی متوسط رسیده و سپس مجدداً در حوالی شهر خرمشهر، شرایط رودخانه به حد بد تنزل می‌یابد. در ادامه‌ی مسیر، رودخانه‌ی کارون به دو شاخه تقسیم شده و به خلیج فارس می‌ریزد که در زمان ریزش به خلیج فارس مجدداً به شرایط متوسطی می‌رسد.

اختلاف جزئی مشاهده شده در بین پهنه‌بندی به روش NSFWQI و روش فازی می‌تواند دو علت داشته باشد:

ـ در پهنه‌بندی به روش NSFWQI کاربری خاصی برای رودخانه در نظر گرفته نشده است. حال آنکه در روش فازی معیار سنجش آلودگی حدود استاندارد برای حفظ حیات آبی است که می‌تواند مقادیر جزیی اختلاف را در بازه‌هایی باعث شود.

جدول ۸. شاخص نهایی NSFWQI و تفسیر کیفی آن.

شاخص و تفسیر کیفی / ایستگاه	شاخص نهایی	تفسیر کیفی
دز ـ سد دز	۵۹/۴۲	متوسط
دز ـ چم گلک	۶۶/۳۸	متوسط
دز ـ کارخانه قند	۶۰/۹۶	متوسط
دز ـ آب‌شیرین	۵۶/۶۴	متوسط
دز ـ مستوفی	۵۳/۲۹	متوسط
دز ـ بند قیر	۵۸/۱۰	متوسط
کارون ـ سد شهید عباسپور	۶۵/۷۴	متوسط
کارون ـ سد گتوند	۶۱/۹۶	متوسط
کارون ـ بند میزان	۶۱/۰۸	متوسط
گرگر ـ شوشتر	۵۰/۱۱	بد ـ متوسط
شطیط ـ شوشتر	۵۱/۷۲	متوسط
گرگر ـ بند قیر	۵۱/۶۱	متوسط
شطیط ـ بند قیر	۵۲/۸۹	متوسط
کارون ـ بندقیر	۵۱/۶۵	متوسط
کارون ـ رامین	۵۱/۷۶	متوسط
کارون ـ زرگان	۴۹/۰۴	بد
کارون ـ نبوساید	۵۱/۴۵	متوسط
کارون ـ پل پنجم	۵۰/۷۷	بد ـ متوسط
کارون ـ چنیبه	۴۹/۱۵	بد
کارون ـ ام‌الطمیر	۴۹/۴۵	بد
کارون ـ دارخوین	۵۱/۷۵	متوسط
کارون ـ نهر مارد	۵۱/۱۶	متوسط
کارون ـ صابونسازی	۴۷/۱۵	بد
حفار ـ گمرک	۵۸/۵۸	متوسط
بهمنشیر ـ ابوالحسن	۵۹/۰۵	متوسط
بهمنشیر ـ جوئیده	۵۸/۰۸	متوسط

- تعاریف و تفاسیر کیفی اساساً ممکن است از اعداد شاخص در روش NSFWQI و روش فازی قدری تفاوت داشته باشد، که اختلافات جزیی در پهنه‌بندی را توجیه می‌کند. اما آنچه تا کنون مورد بحث قرار گرفته استدلال کیفی است که بر اساس محاسبات عددی انجام گرفته است.

نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه کار تحقیقاتی بر روی کیفیت آب رودخانه‌های ایران از نظر درجه‌بندی کیفیت انجام نشده است، شاید بتوان از تکنیک NSFWQI به‌عنوان تکنیکی ساده در جهت شناخت اولیه‌ی کیفیت کلیه‌ی رودخانه‌های ایران استفاده کرد که هم برای مردم عادی و هم برای مدیران و مهندسین در جهت برنامه‌ریزی کنترل کیفی قابل استفاده باشد.

- تطابق خوب روش NSFWQI با روش فازی، با استفاده از اطلاعات در دسترس، حاکی از قابل قبول بودن استفاده از این روش برای رودخانه مذکور است.
- این مطالعه نشان می‌دهد که کیفیت آب رودخانه‌ی کارون ـ دز در حیطه‌ی ورود به شهر شوشتر و اهواز از متوسط به بد تقلیل می‌یابد که نشان‌دهنده‌ی ورود آلوده کننده‌های خانگی یا احتمالاً صنعتی به حوزه‌ی آبریز است.
- پایش منظم رودخانه و درجه‌بندی آن با روش شاخص کیفی شاید بتواند کمک معقولی برای تصمیم‌گیری برای کاهش آلودگی آب رودخانه باشد.
- مشخص نمودن آلودگی‌های نقطه‌یی و آلودگی‌های گسترده‌ی غیرنقطه‌یی برای بنا نهادن راهکار مناسب به‌منظور ارتقا کیفیت رودخانه از درجه‌ی متوسط به درجه‌ی خوب ضروری است.

پانوشت

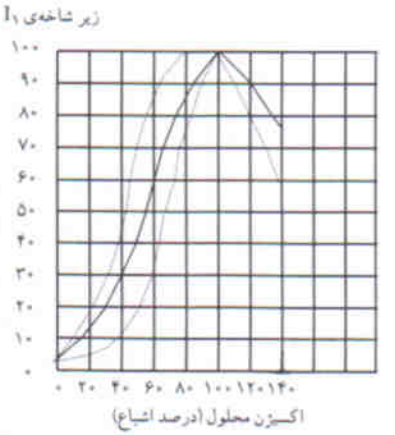
1. National Sanitation Fundation Quality index Water.

منابع

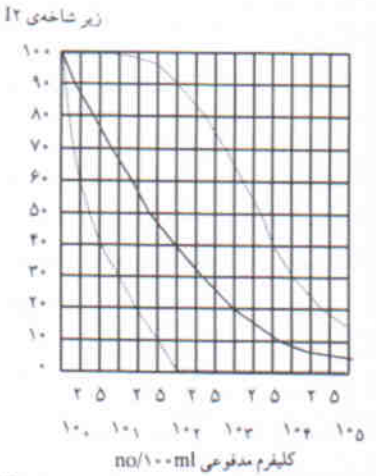
1. Horton, Robert K. "An Index-Number System for Rating Water Quality", J. Water Poll. Control Fed. **37** (3), pp 300-306, (March 1965).
۲. نوروزیان، کسری ـ «پهنه‌بندی آلودگی رودخانه‌ها توسط تکنیک تحلیل طبقه‌بندی فازی» پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، (شهریور ۱۳۷۷).
3. Asadollah-Fardi, G. R., "A mathematical and experimental study on the surface water quality in tehran", PhD thesis, London university, (2000).
4. O'Connor, Michael Fredrick. "The application of multi-attribute scaling procedures to the development of indices of water quality", Ph.D. Dissertation, University of Michigan, University Microfilms (72-29), 161 , (1972).
5. Ott, W. R. "Environmental indices - theory and practice", Ann Arbor Science Publishers, Inc., Ann Arbor, Michigan (1978).
6. http://bcn.boulder.co.us/basin/watershed/wqi-nsf.html.
7. Parti, L., R. Pavanello and F. Pesarin. "Assessment of surface water quality by a single index of pollution", Water Research (5) pp 741-751, (1971).
8. McDuffie, Bruce, and Jonathan T. Haney. "A proposed river pollution index", Presented at the spring 1973 meeting of the

American Chemical Society, Division of Water, Air, and Waste Chemistry, New York, NY, (April 13, 1973).
9. Dinius, S. H. "Social accounting system for evaluating water resources", water Resources Research **8** (5), pp 1159-1177, (October 1972).
10. Dojlido, J., Raniszewski J. and Wayciechowska, J. "Water quality index applied to river in the vistula river basin in poland", J. Environmental Monitoring and Assessment, (3), pp 33-42, (1994).
11. Deininger, Rolf A., and Jurate Maciunas Landwehr. "A water quality index for public water supplies", Unpublished report, Department of Environmental and Industrial Health, School of Public Health, university of Michingan, ann Arbor, MI (July 1971).
12. Walski, Thomas M. and Frank L. Parker. "Consumers water quality indes", J. Environ. Eng. Div., Am. Soc. Civil Eng., pp 593-611, (June 1974).
13. Stoner, Jerry D. "Water quality indices for specific water uses", US Geological Survey, Reston, VA, Circular (770) (1978).
14. Nemerow, nelson L., and Hisashi Sumitomo. "Benefits of water quality enhancement", Syracuse University, Syracuse, NY, Report No. 16110 DAJ, Prepared for the US Environmental Protection Agency (December 1970).
15. http:/www.deq.state.or.us/lab/WQM/WQI/wqimain.htm.
16. Bhargava, D. S., "Use of a water quality index for river classification and zoning of ganga river", Environmental Pollution (Series B), 6, pp 51-67, (1983).
17. Zandbergen P. A. and Hall K. J. "Analysis of the british columbia water quality index for watershed managers: a case study of two small watersheds", Water Qual. Res. J. Canada, **33** (4), pp 519-549, (1998).
18. Harkins, Ralph D. "An objective water quality index", J. Water Poll. control Fed. **46** (3), pp 588-591, (March 1974).
۱۹. پروژه مدیریت زیست محیطی منابع آبی رودخانه کارون، سازمان محیط زیست خوزستان، (۱۳۷۵).

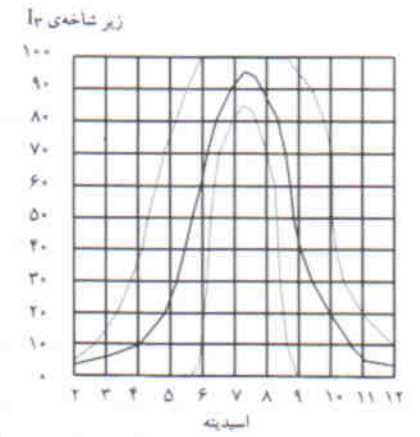
ضمیمه



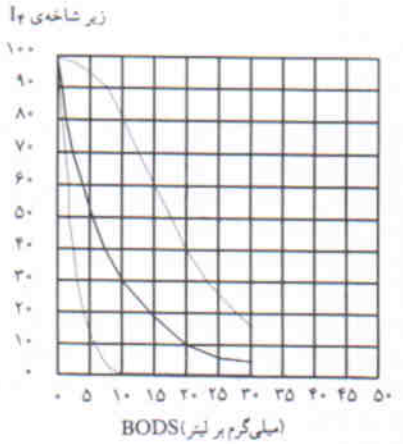
شکل ۱. منحنی بین زیر شاخه‌ی I۱ و اکسیژن محلول. [۵]



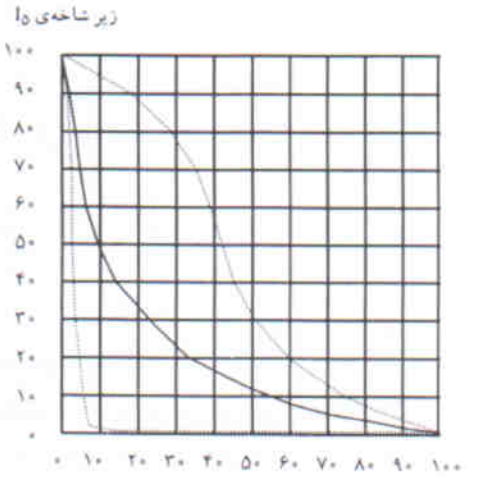
شکل ۳. منحنی بین زیر شاخه‌ی I۲ و اسیدیته. [۵]



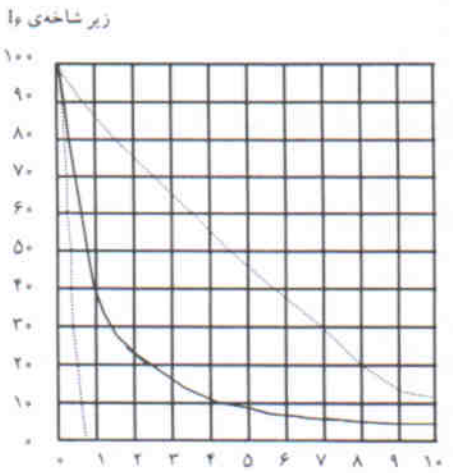
شکل ۲. منحنی بین زیر شاخه‌ی I۳ و کلیفرم مدفوعی. [۵]



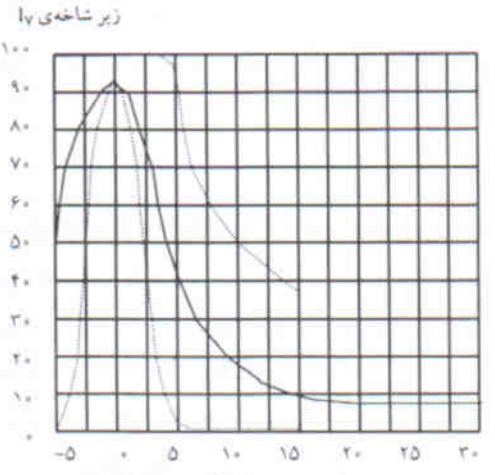
شکل ۴. منحنی بین زیر شاخه‌ی I۴ و BODS. [۵]



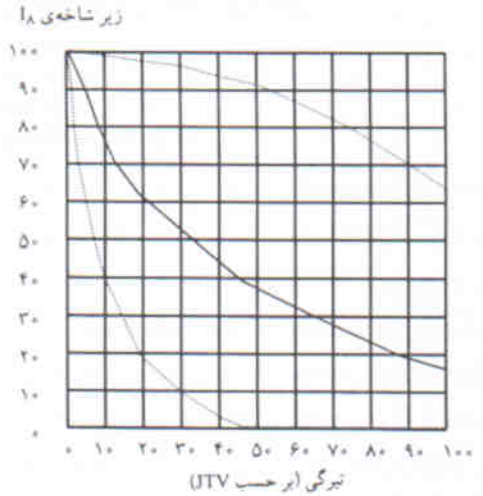
شکل ۵. منحنی بین زیر شاخه‌ی I۵ و نیترات. [۵]



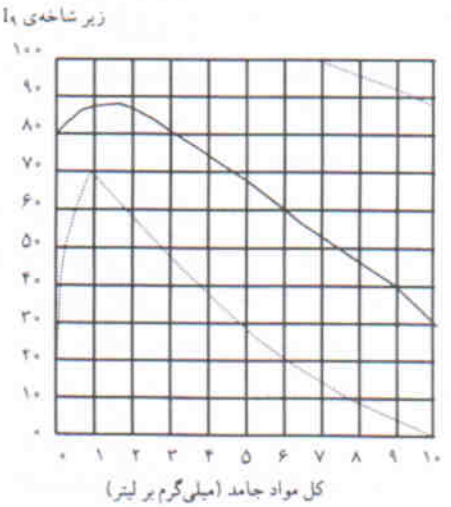
شکل ۷. منحنی بین زیر شاخه‌ی I۶ و فسفات کل. [۵]



شکل ۶. منحنی بین زیرشاخه‌ی I۷ و تغییر درجه حرارت از تعادل. [۵]



شکل ۸. منحنی بین زیر شاخه‌ی I۸ و تیرگی. [۵]



شکل ۹. منحنی بین زیرشاخه‌ی I۹ و کل مواد جامد. [۵]