

ارزیابی و پهنه‌بندی کیفیت آب دریاچه زریوار با استفاده از شاخص‌های کیفی CWQI، OWQI، NSFQI

صلاح‌الدین ابراهیم‌پور^{1*}، حسین محمدزاده²

1 دانشجوی کارشناسی ارشد زمین‌شناسی محیط‌زیستی، مرکز تحقیقات آب‌های زیرزمینی (متاب)، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد
2 استادیار، مرکز تحقیقات آب‌های زیرزمینی (متاب)، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

(تاریخ دریافت: 1390/10/26؛ تاریخ تصویب: 1392/3/27)

چکیده

فراهم کردن آب تمیز و مناسب برای اهداف شرب و کشاورزی و موجودات زنده اکوسیستم بسیار ضروری می‌باشد. بنابراین، ارزیابی کیفی منابع آب با استفاده از شاخص‌های کیفی به‌عنوان یکی از روش‌های بسیار مناسب در مدیریت پهنه‌های آبی و داشتن یک برنامه منظم برای حفاظت کیفی منابع آب و جلوگیری از آلودگی آن ضروری می‌باشد. در این تحقیق، برای بررسی کیفیت آب دریاچه تالابی زریوار (زریوار) از شاخص‌های مؤسسه ملی بهداشت آمریکا (NSFWQI) با به‌کارگیری 9 پارامتر کیفی، شاخص اورگان (OWQI) با استفاده از 8 پارامتر و شاخص کیفی کانادا (CWQI) با کاربرد 22 پارامتر اصلی استفاده شده است. شاخص‌های NSFQI و OWQI برای میانگین کل دریاچه، ایستگاه‌های هفت‌گانه و برای دور مطالعه هشت ماهه و شاخص CWQI برای کل دریاچه در طول هشت ماه به کار برده شده است. نقشه پهنه‌بندی دریاچه زریوار از نظر شاخص‌های NSFQI و OWQI نشان می‌دهد که آب دریاچه زریوار با توجه به شاخص NSFQI در محدوده کیفی متوسط و از نظر شاخص OWQI، در محدوده بسیار بد قرار می‌گیرد. کیفیت آب دریاچه از نظر شاخص CWQI، به‌طور کلی بد، برای آشامیدن خوب، برای آبیاری و برای تفریح، آبیاری و استفاده‌ی احشام، عالی می‌باشد.

کلید واژه‌ها: شاخص‌های کیفی (NSFWQI، OWQI، CWQI)، دریاچه زریوار، GIS

سرآغاز

بررسی‌کننده مسایل کیفی محیط‌زیستی در سال 1979 جهت ارزیابی شرایط و روند کیفی آب آرایه گردید. این شاخص جزو شاخص‌های مصارف آب طبقه‌بندی شده است و بیشتر برای ارزیابی کیفی آب برای مصارف تفریحی استفاده می‌شود. سادگی و در دسترس بودن پارامترهای کیفی مورد نیاز (8 پارامتر) و تعیین زیر شاخص‌ها با استفاده از نمودار یا روابط تحلیلی از مزایای این روش است.

شاخص (CWQI): شاخص کیفی CWQI توسط محیط‌زیست بریتیش کلمبیای کانادا در سال 1990 طراحی شده (CCME, 2001) و یکی از شاخص‌های مهم و مفید جهت ارزیابی آب‌های سطحی برای حفاظت از زندگی آبزیان و مصرف‌کننده‌ای آب می‌باشد. این شاخص با توجه به پارامترهای فیزیکی شیمیایی و بیولوژیکی مورد نیاز، پهنه آبی را از نظر کیفی برای آشامیدن، کشاورزی، آبزیان، تفریح و سرگرمی و استفاده احشام بررسی می‌کند. لازم به ذکر است که در این شاخص محدودیت پارامتر وجود ندارد و هرچه تعداد پارامترها بیشتر باشد دقت ارزیابی بیشتر خواهد بود.

متخصصین زیادی برای بررسی کیفیت منابع آب از شاخص‌های کیفی استفاده کرده‌اند (Khan et al., 2003; Horton, 1965). به‌عنوان مثال، کیفیت آب تالاب انزلی با استفاده از شاخص NSFQI و داده‌های 10 ایستگاه به مدت یک سال مورد ارزیابی قرار گرفته است که نشان‌دهنده کیفیت متوسط آب تالاب در سال 1386 می‌باشد (رازدار و قویدل، 1388). همچنین کیفیت آب دریاچه سد مخزنی کرخه توسط شاخص‌های کیفی مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته و شاخص NSFQI به‌عنوان مناسب شاخص معرفی شده است (نیکو نهاد و همکاران، 1388). برای ارزیابی کیفیت رودخانه‌های کشور هم از این شاخص‌ها استفاده شده است که می‌توان به رودخانه جاجرود (میرزایی و همکاران، 1388)، رودخانه زهره (کریمیان و همکاران، 1385)، رودخانه‌ی مراد بیک همدان (صمدی و همکاران، 1388) و رودخانه‌های کارون و دز (شمسایی و همکاران، 1384) اشاره کرد. در این تحقیق به‌منظور بررسی تغییرات مکانی و زمانی کیفیت آب دریاچه زریوار و ارزیابی آب دریاچه از نظر شرب، تفریح، آبزیان و کشاورزی، شاخص‌های کیفی NSFQI، OWQI و CWQI مورد استفاده قرار گرفته است.

امروزه با توجه به قوانین محیط‌زیستی و مسائلی که در ارتباط با آلودگی و کیفیت منابع آب وجود دارد، لزوم توجه به کیفیت منابع آب اهمیت زیادی پیدا کرده است. رشد جمعیت و آلودگی‌های ناشی از تخلیه انواع فاضلاب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی، شیرابه محل‌های دفع زباله و جریان آب‌های سطحی باعث گسترش آلودگی و محدودتر شدن منابع آب در دسترس شده است (Enrique et al., 2007). به‌طورکلی کیفیت آب در اکوسیستم‌های آبی به‌وسیله پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی بررسی می‌شود (Sargaonkar & Deshpande, 2003) و شناخت نقاط آلوده و آلاینده‌های موجود، باعث استفاده پهنه و مناسب از آب در مصارف مختلف می‌گردد (Simeonov et al., 2003).

یکی از روش‌های بسیار ساده و دور از پیچیدگی‌های ریاضی و آماری که می‌تواند شرایط کیفی آب را بازگو، و به‌عنوان یک ابزار مدیریتی قوی برای تصمیم‌گیری‌های مربوطه استفاده شود شاخص‌های کیفی آب می‌باشد (Simoes et al., 2008; Liou, 2003). شاخص‌ها با ساده‌سازی و کاهش اطلاعات خام و اولیه علاوه بر بیان کیفیت آب، روند تغییرات کیفی آب را در طول مکان و زمان نشان می‌دهند. به کمک شاخص‌های کیفی می‌توان مناطقی را که از نظر آلودگی بیشتر مورد تهدید می‌باشند، مشخص و منابع آب را مدیریت نمود. دو گروه شاخص وجود دارد، شاخص‌های آلودگی که با افزایش آلودگی، عدد شاخص آن‌ها افزایش می‌یابد (BCWQI)، و شاخص‌هایی کیفی که با افزایش آلودگی، عدد شاخص آن‌ها کاهش می‌یابد و با نام شاخص‌های کیفی شناخته می‌شوند مثل NSFQI⁽¹⁾، OWQI⁽²⁾ و CQWI⁽³⁾ (شمسایی و همکاران، 1384).

شاخص کیفی (NSFWQI): شاخص کیفی NSFQI در سال 1970 با حمایت مؤسسه ملی بهداشت آمریکا، براون و همکارانش یک شاخص کیفی کاهشی را بر اساس نظرسنجی از تعداد زیادی از افراد متخصص با تخصص‌های گوناگون در این زمینه آرایه نمودند. آن‌ها در ابتدا حدود 35 پارامتر آلودگی را مطرح کرده و سپس بر اساس نظر افراد متخصص 9 پارامتر را برای محاسبه شاخص اصلی انتخاب کردند.

شاخص کیفی اورگان (OWQI): شاخص کیفی OWQI برای اولین بار در ایالات آمریکا توسط یک گروه

دریاچه فقط در زمستان‌های بسیار سرد یخ می‌زند که ممکن است پوشش یخی حاصل تا 40 تا 50 روز باقی بماند. با این‌که هیچ رودخانه دائمی به این دریاچه نمی‌ریزد، ولی متوسط تخلیه سالانه چشمه‌های خود جوش موجود در کف دریاچه به 12/91 میلیون مترمکعب می‌رسد (شرکت پویاب تواناب، 1370؛ محمدی، 1377).

تحقیقات مختلفی که قبلاً بر روی مغزه‌های زمین‌شناسی به‌دست آمده از حفاری در دریاچه صورت گرفته است (از جمله تحقیقات انجام گرفته بر روی گرده‌ی گیاه (van Zeist & Bottema, 1991; van Zeist & Wright, 1963)، شیمی رسوبات (Hutchinson & Cogwill, 1963)، ماکروفسیل‌ها (Wasylikowa & Walanus, 2004; Wasylikowa, 1967, 2005)، دیاتوم‌ها (Snyder et al., 2001) و ایزوتوپ‌های پایدار رسوبات (Stevens et al., 2001)، نشان می‌دهد که رسوبات دریاچه زریوار تغییرات آب و هوایی 40000 سال قبل را در خود ثبت کرده است. حوضه آبخیز دریاچه زریوار در حدود 290km² برآورد شده است (Loffler, 1961) و با توجه به آرایش ارتفاعات غربی و شرقی و فرسایش سازندها و ورود رسوبات به داخل این دریاچه به‌ویژه از طریق رودخانه فصلی دره‌تقی، دریاچه به شکل لوبیایی در آمده است. حداکثر طول دریاچه 4/8 کیلومتر (با رویش‌های مرتبط 8/7 کیلومتر) و عرض آن 2/1 کیلومتر (با پوشش گیاهی 4/4 کیلومتر) می‌باشد (مهندسین مشاور آساراب، 1386). در این تحقیق، از داده‌های 7 ایستگاه با توزیع سه ایستگاه (1، 2 و 3) در داخل هسته آبی و دو ایستگاه (5 و 6) در داخل قسمت‌های نیزار، یک ایستگاه (4) در قسمت ورودی رودخانه انحرافی قزلچه سو و یک ایستگاه (7) در خروجی دریاچه، استفاده شده است (شکل 1).

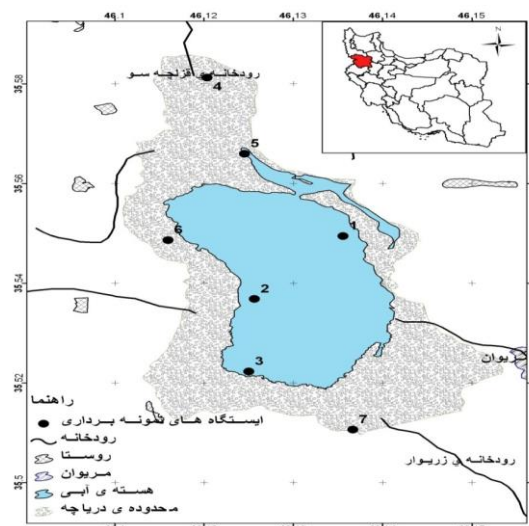
روش پژوهش

غلظت پارامترهای مورد نیاز برای به‌دست آوردن مقدار شاخص‌های کیفی NSFQI، OWQI، CWQI در ایستگاه‌های هفت‌گانه شکل (1) و ماه‌های منتخب (آذر و بهمن 1384 و فروردین تا شهریور 1385) در جدول‌های (3 و 4) ارائه شده است. برای هر ایستگاه میانگین غلظت پارامترها در طول 8 ماه نمونه‌برداری و همچنین برای هشت ماه منتخب، میانگین ماهیانه غلظت پارامترها اندازه‌گیری شده در قسمت‌های سطح، عمق و حاشیه غرقابی دریاچه در نظر گرفته شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دریاچه تالابی زریوار جزو محدود دریاچه‌های آب شیرین ایران، با زیباترین جاذبه‌های گردشگری غرب کشور، به‌شمار می‌آید. این دریاچه با ارتفاع 1390 متر از سطح دریا، در 3 کیلومتری شمال غربی شهرستان مریوان - استان کردستان - در بین 31" و 35° 30' و 35° 37' 06" عرض جغرافیایی و بین 46° و 46° 10' 47" طول جغرافیایی واقع شده است (شکل 1).



شکل (1): موقعیت دریاچه زریوار و ایستگاه‌های نمونه‌برداری

زمین‌شناسی منطقه بیشتر سنگ‌های آهکی دگرگونی شده بوده و دریاچه به همراه رشته کوه‌های پوشیده از درختان بلوط پیرامون آن در زون سنندج - سیرجان، بین رشته کوه‌های زاگرس شمال غرب ایران، قرار می‌گیرد. دریاچه زریوار بر روی رسوبات کواترنری قرار گرفته و بیشترین عمق آن 7 متر و میانگین عمق آن 3 متر می‌باشد (کرباسچی و بیاتی، 1387). مقدار بارندگی سالیانه در منطقه دریاچه زریوار بیشتر از 800 mm، متوسط درجه حرارت سالیانه 13 درجه سانتی‌گراد و میانگین کم‌ترین و بیشترین دمای سالیانه در بهمن و مرداد ماه به ترتیب برابر 2 و 28 درجه سانتی‌گراد می‌باشد (van Zeist & Wright, 1963؛ مهندسین مشاور آساراب، 1386).

نیترژن، فسفر کل، کل جامدات محلول، کلیفرم مدفوعی) فاقد ضریب وزنی بوده و دارای اثر یکسانی در مقدار نهایی شاخص می‌باشند. اثر بخشی یکسان پارامترهای با ارزش کم و پارامترهای با ارزش بالا بر عدد نهایی شاخص از اشکالات عمده این شاخص باشد. توصیف کیفیت آب بر اساس مقادیر عددی شاخص OWQI که بین صفر تا صد تغییر می‌یابد، در جدول (2) طبقه‌بندی شده است. شاخص اورگان به وسیله‌ی رابطه (2) محاسبه می‌شود (Cude, 2001).

$$OWQI = \sqrt{\frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{SI_i^2}}} \quad (2)$$

که در آن: n: تعداد پارامترها (8) و SI_i زیر شاخص پارامتر نام می‌باشد.

شاخص CWQI با استفاده از داده‌های هشت ماهه جدول (4)، همچنین به منظور بالا بردن دقت شاخص از داده‌های عناصر سنگین و کاتیون‌های اصلی آذر 1389 جدول (3) به کمک نرم‌افزار 1.0 CWQI محاسبه شده است. نرم‌افزار طراحی شده فوق غلظت 22 پارامتر مختلف را مورد بررسی قرار داده و با استانداردهای داده شده به نرم‌افزار (WHO)⁽⁴⁾ مقایسه می‌کند. حداقل چهار بار نمونه‌برداری و چهار پارامتر برای استفاده از این شاخص مورد نیاز می‌باشد. همان‌گونه که قبلاً ذکر شد، در محاسبه این شاخص محدودیت پارامتر وجود ندارد و هرچه تعداد پارامترها بیشتر باشد، دقت ارزیابی نیز بیشتر می‌شود. رابطه کلی برای محاسبه شاخص CWQI به صورت رابطه (3) می‌باشد.

$$CWQI = 100 - \left[\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1.732} \right] \quad (3)$$

که در آن؛ فاکتور بازه⁽⁵⁾ (F_1) از تقسیم پارامترهایی که بیشتر از حد استاندارد هستند بر کل پارامترهای اندازه‌گیری شده در یک دوره نمونه‌برداری به دست می‌آید و به صورت درصد بیان می‌شود. فاکتور فراوانی⁽⁶⁾ (F_2) از تقسیم تعداد دفعاتی که در مجموع کل اندازه‌گیری‌های پارامترها از استاندارد تجاوز نموده به کل دفعات اندازه‌گیری می‌باشد و به صورت درصد بیان می‌شود و فاکتور دامنه⁽⁷⁾ (F_3) که مقدار آن با استفاده از رابطه (4) به دست می‌آید. ابتدا مقدار پارامترهایی را که غلظت آن‌ها (در یک زمان خاص) از مقدار استاندارد بیشتر است را بر مقدار استاندارد پارامتر مورد نظر تقسیم، و از آن یک واحد کم می‌کنیم تا میزان تخطی به دست آید. سپس با محاسبه میانگین تخطی نرمالیزه (nse) که

شاخص‌های NSFQI و OWQI با استفاده از غلظت پارامترها در 7 ایستگاه و میانگین دریاچه (برای هشت ماه منتخب) با استفاده از نرم‌افزار Water Quality index به دست آمده است. پارامترهای نه‌گانه مورد استفاده برای به دست آوردن شاخص NSFQI عبارتند از: دما، اکسیژن محلول، اکسیژن خواهی بیوشیمیایی، خاصیت اسیدی، نترات، فسفر کل، کل جامدات محلول، کلیفرم مدفوعی، کدورت می‌باشد. در این شاخص، برای منظور کردن میزان اثر هر پارامتر جدول (1)، به هر یک از آن‌ها یک وزن یا ارزش عددی نسبت داده می‌شود (Ott, 1980).

جدول (1): فاکتورهای وزنی به کار رفته در شاخص NSFQI (Ott, 1980)

وزن	پارامترها
0/11	اکسیژن مورد نیاز شیمیایی
0/17	اکسیژن محلول
0/1	فسفات کل
0/16	فیکال کلیفرم
0/1	تغییرات دما
0/1	نترات
0/11	pH
0/07	مواد جامد کل
0/08	کدورت

بیشترین و کم‌ترین وزن به ترتیب مربوط به غلظت اکسیژن محلول در آب (0/17) و غلظت کل جامدات (0/07) می‌باشد (دونت، 1989). کیفیت آب بر اساس مقدار شاخص NSFQI که از صفر تا صد تغییر می‌یابد، در جدول (2) طبقه بندی شده است. مقدار شاخص NSFQI را می‌توان با استفاده از رابطه‌ی (1) به دست آورد.

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

که در آن n: تعداد پارامترها (9)، I_i : زیر شاخص پارامتر نام، و w_i : ضریب وزنی پارامتر نام می‌باشد. برای به دست آوردن زیر شاخص‌ها هم می‌توان از نمودارهای تهیه شده توسط مؤسسه ملی بهداشت آمریکا و هم نرم‌افزار طراحی شده مقدار آن را استفاده کرد.

در شاخص OWQI هر یک از پارامترهای هشت‌گانه (دما، اکسیژن محلول، اکسیژن خواهی بیوشیمیایی، خاصیت اسیدی،

از تقسیم مجموع کل تخطی‌ها بر تعداد دفعات اندازه‌گیری می‌کنیم. به‌دست می‌آید و با استفاده از رابطه (4)، مقدار F3 را محاسبه

جدول (2): رده بندی کیفی آب براساس مقادیر شاخص‌های
OWQI, CWQI, NSFQI (Ott, 1980; Cude, 2001)

مقدار شاخص NSFQI	مقدار شاخص OWQI	مقدار شاخص CWQI	طبقه بندی کیفیت آب
0-25	0-60	0-44	بسیار بد
26-50	61-79	45-64	بد
51-70	80-84	65-79	متوسط
71-90	85-89	80-94	خوب
91-100	90-100	95-100	عالی

اطراف رودخانه، دارای مقدار شاخص NSFQI کمی می‌باشد. علاوه بر آن، رودخانه قزلچه سو سالیانه مقدار زیادی رسوب و مواد معلق وارد دریاچه می‌کند که کیفیت آن را تحت تأثیر قرار داده و باعث افزایش کدورت در ایستگاه 4 شده است.

نتایج به‌دست آمده از مقدار شاخص NSFQI نشان می‌دهد که ایستگاه‌های 2 و 3 در محدوده کیفیت خوب و ایستگاه‌های (1، 4، 5، 6، 7) در محدوده‌ی متوسط قرار دارند. به‌طور کلی، محدوده شاخص NSFQI از 59 تا 74 متغیر بوده و آب دریاچه در همه ایستگاه‌ها به غیر از ایستگاه 7 در مرز کیفیت خوب و متوسط قرار گرفته است. بر اساس مقدار میانگین این شاخص (68) آب دریاچه در محدوده متوسط جدول (2) قرار می‌گیرد.

همان‌طور که در جدول (4) دیده می‌شود، شاخص کیفی OWQI در ایستگاه 3 بیشترین امتیاز و در ایستگاه 7 کم‌ترین امتیاز را به خود اختصاص داده است. همان‌طور که قبلاً اشاره شد، به دلیل تأثیر یکسان پارامترها، پایین بودن یک یا دو زیر شاخص منجر به افت شدید شاخص نهایی OWQI می‌شود. در این شاخص به دلیل این که ارزش پارامترها برابر بوده و کدورت هم جزء پارامترها نمی‌باشد، کیفیت ایستگاه 4 بر خلاف ارزیابی شاخص NSFQI، از کیفیت ایستگاه‌های 5 و 6 به نسبت بهتر بوده است.

رده‌بندی کیفی آب بر اساس مقادیر عددی شاخص CWQI که بین صفر تا صد تغییر می‌یابد، در جدول (2) آمده است.

$$F_3 = \frac{nse}{0.01nse + 0.01} \quad (4)$$

برای مشخص شدن وضعیت کیفیت آب دریاچه، نقشه پهنه‌بندی هر کدام از شاخص‌های NSFQI و OWQI به کمک نرم‌افزار GIS 9.3 رسم شده است. بدین منظور، ابتدا محدوده آبی دریاچه و مختصات ایستگاه‌های نمونه‌برداری از روی عکس ماهواره‌ای لندست 7 با ترکیب باندی RGB:543 مشخص، و سپس با استفاده از تکنیک درون‌یابی Spline (به دلیل مسطح و افقی بودن سطح دریاچه) نقشه پهنه‌بندی دریاچه برای شاخص مورد نظر به‌دست آمده است.

یافته‌ها

جدول (4)، مقدار شاخص کیفی NSFQI و OWQI را برای ایستگاه‌های دریاچه زریوار شکل (1) نشان می‌دهد. بیشترین مقدار شاخص کیفی NSFQI را ایستگاه 3، با مقدار 74 دارا می‌باشد که دلیل آن شرایط مناسب این ایستگاه از نظر غلظت کلیرم‌ها و غلظت پایین فسفات کل نسبت به ایستگاه‌های دیگر است. ایستگاه 7 به دلیل دریافت فاضلاب‌های شهر مریوان طی سال‌های گذشته دارای کم‌ترین مقدار شاخص NSFQI (59) می‌باشد. ایستگاه 4 نیز به دلیل قرار گرفتن در محل ورودی رودخانه انحرافی قزلچه سو به دریاچه و وارد کردن مقدار زیادی از مواد آلوده‌کننده حاصل از شستشوی زمین‌های کشاورزی

جدول (3): نتیجه آنالیزهای آذر 89 مورد استفاده برای شاخص CWQI

سدیم (ppm)	پتاسیم (ppm)	منیزیم (ppm)	کلسیم (ppm)	روی ppm	سرب (ppm)	چوبه (ppm)	کروم (ppm)	کادمیم (ppm)	آرسنیک (ppm)	آلومینیم (ppm)	pH	هدایت الکتریکی ($\mu\text{s}/\text{Cm}$)	دما ($^{\circ}\text{C}$)	پارامتر
32/12	2/14	21/63	50/25	0/01	0/02	n.d	0/001	n.d	*n.d	0/13	8/09	45/12	16/5	مقدار

* non detected

جدول (4): پارامترهای مورد نیاز برای ارزیابی شاخص‌های کیفی (CWQI, OWQI, NSFQI) و

نتایج شاخص‌ها برای ایستگاه‌ها و ماه‌های دوره مطالعه دریاچه زریوار

ایستگاه‌ها و ماه‌ها	ایستگاه 1	ایستگاه 2	ایستگاه 3	ایستگاه 4	ایستگاه 5	ایستگاه 6	ایستگاه 7	آذر 84	بهمن 84	فروردین 85	اردیبهشت 85	خرداد 85	تیر 85	مرداد 85	شهریور 85
دمای آب °C	19/33	21/18	19/93	19/7	20/33	20/63	19/7	9/96	3/34	15/5	15/6	25/6	26/9	28/8	26
کدورت NTU	1/00	1/18	1/19	3/32	1/80	1/93	2/01	1/51	1/95	1/80	1/11	1/60	1/50	1/48	1/57
جامدات کل (mg/l)	186	186	187	122/64	183/87	184	173/02	198	177	170	108	342	17/33	12	88
اسیدیته	7/93	7/97	7/84	8/59	7/85	6/87	6/67	7/99	7/53	8/09	7/96	7/93	8/06	7/93	8/02
فسفات کل (mg/l)	0/52	0/46	0/45	0/56	0/44	0/51	0/49	0/81	1/3	0/77	0/52	0/250	0/08	0/049	0/023
نیترات (mg/l)	0/90	0/60	0/90	0/60	0/40	0/30	0/60	0/93	1/26	0/46	0/23	0/43	0/63	0/33	0/57
نیترات + آمونیاک (mg/l)	0/91	0/51	0/91	0/68	0/41	0/31	0/61	1/973	1/27	0/56	0/32	0/49	0/70	0/74	0/60
اکسیژن محلول	89/22	89/22	86/94	82/55	80/55	83/67	66/96	91/30	81/31	93/70	68/50	95/60	73/80	87/40	65/40
اکسیژن خواهی بیوشیمیایی	6/46	5/32	6/27	6/55	6/31	6/37	7/28	2/96	4/93	6/78	6/71	4/85	6/49	7/44	4/29
کلیفرم مدفوعی (MPN/100ml)	66/50	19/70	7/60	62/62	99/00	149	1252	60/00	108/00	170	210	200	350	665	660
شاخص NSFQI	70/00	72/00	72/00	66/00	68/00	67/00	59/00	72/00	72/00	68/00	63/00	71/00	67/00	68/00	64/00
شاخص OWQI	47/16	45/12	47/54	45/38	44/66	43/84	37/12	64/20	57/75	50/18	46/06	36/30	31/48	28/80	30/80

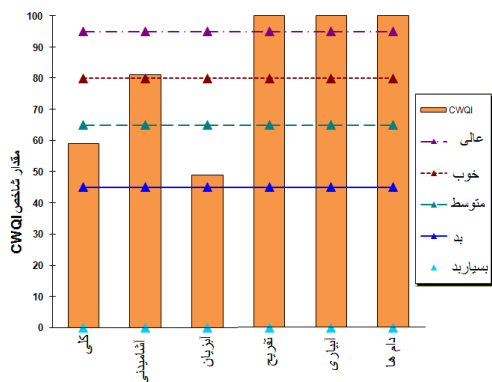
شکل (2) و جدول (5) نتایج حاصل از ارزیابی دریاچه را به وسیله شاخص CWQI نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

دریاچه زریوار به طور کلی از نظر کیفی در رده بد، از نظر آشامیدن خوب، برای آبزیان بد و از نظر آبیاری، تفریح و استفاده احشام در رده عالی قرار می‌گیرد. این شاخص گویای این است که وضعیت کیفیت آب دریاچه برای زندگی آبزیان در شرایط بحرانی قرار دارد. دلیل این که کیفیت آب از نظر آشامیدن خوب و برای آبزیان بد می‌باشد، این است که غلظت بعضی از پارامترهای مهم برای آشامیدن (مانند عناصر سنگین) در آب دریاچه پایین و مناسب بوده و علاوه بر آن آبزیان به کدورت و اکسیژن محلول حساس‌تر هستند.

برای این که دید بهتری از کیفیت آب دریاچه بر اساس این شاخص داشته باشیم، نقشه‌های پهنه‌بندی دریاچه برای شاخص‌های NSFQI شکل (3-الف) و OWQI شکل (3-ب)، تهیه شده است. این نقشه‌ها نشان می‌دهند که قسمت‌های هسته آبی دریاچه دارای کیفیت بهتری از مناطق پوشیده از نیزار و کم‌عمق می‌باشند. همچنین قسمت جنوب شرق دریاچه که نزدیک به شهرستان مریوان است، با توجه به تأثیر فاضلاب‌های این شهر دارای بدترین کیفیت می‌باشد.

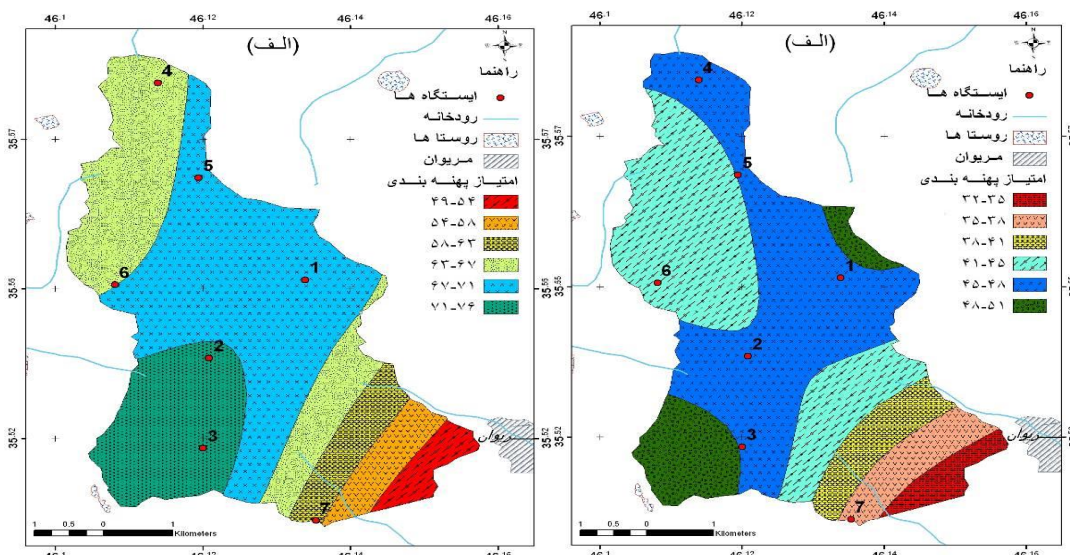
علاوه بر ارزیابی مکانی، کیفیت آب دریاچه با محاسبه مقادیر شاخص‌های کیفی NSFQI و OWQI در طول ماه‌های مختلف (آذر و بهمن 1384 و فروردین تا شهریور 1385) نیز مورد بررسی قرار گرفته است (جدول 4). مقدار این دو شاخص نشان می‌دهد که آب دریاچه در ماه‌های آذر و بهمن دارای کیفیت بهتری است که دلیل آن رقیق شدن غلظت مواد آلوده‌کننده و بهبود کیفیت آب دریاچه به دلیل افزایش ریزش‌های جوی در این ماه‌ها می‌باشد. با وجود این که شاخص NSFQI تغییرات زیادی را نشان نمی‌دهد، ولی در ماه‌های اردیبهشت و شهریور دارای کم‌ترین مقدار می‌باشد. به طور کلی، تغییرات زمانی شاخص NSFQI نشان می‌دهد که آب دریاچه در ماه‌های آذر، بهمن و خرداد در محدوده کیفی خوب و در ماه‌های دیگر در محدوده متوسط قرار می‌گیرد (جدول 2). اما از نظر شاخص OWQI، کیفیت آب دریاچه در آذر ماه در محدوده کیفی بد و در سایر ماه‌ها در محدوده خیلی بد قرار می‌گیرد. در فصل‌هایی که بارندگی بیشتر است هر چند کیفیت بعضی پارامترهای دخیل در محاسبه شاخص‌ها بهبود پیدا می‌کنند؛ اما مقدار فسفات و نیترات آب دریاچه به دلیل شستشوی کودهای فسفات و نیترا ته مورد استفاده در زمین‌های کشاورزی اطراف بیشتر می‌شود (جدول 4).



شکل(2): مقدار شاخص CWQI برای مصارف مختلف

جدول (5): خروجی حاصل از نرم افزار CWQI 1.0 برای شاخص CWQI

احشام کشاورزی	تفریح آذربان آشامیدن	کلی خلاصه‌ی داده‌ها			
F1	۱۷	۳۱	۴۴	۰	۰
F2	۲۵	۲۳	۲۸	۰	۰
F3	۱۵	۵۴	۶۶	۰	۰
CWQI	۸۱	۵۹	۴۹	۱۰۰	۱۰۰
رده بندی	خوب	بد	خوب	عالی	عالی



شکل(3): پهنه بندی دریاچه زریوار (الف) از نظر شاخص کیفی NSFQWI (ب) از نظر شاخص کیفی OWQI

نظر زمانی در محدوده کیفی متوسط تا خوب قرار می‌گیرد. اما از نظر شاخص کیفی OWQI، کیفیت آب دریاچه طی دوره مطالعه در محدوده بد تا خیلی بد قرار می‌گیرد. این در حالی است که آب دریاچه از نظر شاخص CWQI به طور کلی از نظر کیفی در رده بد، از نظر آشامیدن خوب، برای آذربان بد و از نظر آبیاری، تفریح و استفاده احشام در رده عالی قرار می‌گیرد. از آنجایی که شاخص NSFQWI برای هر پارامتر یک وزن خاص در نظر می‌گیرد، نسبت به شاخص OWQI که وزن یکسانی برای پارامترها در نظر می‌گیرد و کدورت جزء پارامترها نمی‌باشد، شاخص مناسب‌تری برای ارزیابی کیفی آب دریاچه است.

هر چند که کیفیت آب دریاچه به دلیل تغذیه از طریق چشمه‌های دائمی کف دریاچه دچار تغییرات زیادی نمی‌شود، اما در ماه‌هایی که بارندگی بیشتری داریم کیفیت آب دریاچه بهبود می‌یابد. به طور کلی، نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان می‌دهد که کیفیت آب در قسمت‌های هسته آبی دریاچه بهتر از حاشیه‌ها و قسمت‌های نزار است. همچنین خروجی دریاچه به دلیل تأثیر آلودگی‌های ناشی از شهر مریوان، دارای پایین‌ترین کیفیت می‌باشد. نتایج به دست آمده از شاخص NSFQWI، نشان می‌دهد که کیفیت آب دریاچه زریوار از نظر مکانی در محدوده متوسط و از

اطلاع‌رسانی و ترویج فرهنگ مصرف بهینه و اهمیت به ارزش ذاتی آب، احداث سد رسوب‌گیر بیشتر در مسیر رودخانه‌های فصلی به‌ویژه رودخانه قزلچه سو و لایه‌روبی سالیانه آن‌ها، از عوامل حیاتی در بهبود کیفیت آب دریاچه زریوار و رسیدن به اهداف توسعه پایدار منابع آب است که باید در رأس برنامه‌های توسعه قرار گیرد.

یادداشت‌ها

1. National Sanitation Foundation Water Quality Index
2. Oregon Water Quality Index
3. Canadian water Quality Index
4. World Health Organization
5. Scope
6. Frequency
7. Amplitude

شاخص CWQI که کیفیت پهنه آبی را از نظر مصارف مختلف با توجه به استانداردهای کیفی مورد ارزیابی قرار می‌دهد، جزء شاخص‌های مفید می‌باشد. به طور کلی، استفاده از شاخص‌های NSFQI و CWQI برای شناخت کیفیت منابع آبی کشور (به‌خصوص دریاچه‌ها و رودخانه‌ها) می‌تواند مناسب و راه‌گشا باشد.

با توجه به فعالیت‌های کشاورزی در اطراف دریاچه و استفاده از کودهای گوناگون و سموم آفت‌کش‌ها، مقدار زیادی مواد آلوده‌کننده وارد دریاچه می‌شود. علاوه بر آن، به دلیل عدم وجود سیستم جمع‌آوری فاضلاب و تصفیه‌خانه، فاضلاب روستاهای اطراف نیز به دریاچه می‌ریزند که آلاینده‌های زیادی را وارد دریاچه می‌نماید. پیشنهاد تهیه الگوی کشت مناسب، جلوگیری از احداث و توسعه فعالیت‌های انسانی فاضلاب‌زا، احداث شبکه‌های جمع‌آوری و تصفیه‌خانه‌های فاضلاب برای روستاهای اطراف،

فهرست منابع

- رازدار ب.؛ قویدل، آ. 1388. بررسی کیفیت آب تالاب انزلی با استفاده از شاخص کیفی WQI. مجموعه مقالات همایش ملی، الگوهای توسعه پایدار در مدیریت آب. ص 457-465.
- شرکت مهندسين مشاور آساراب. 1386. مطالعات محیط‌زیستی، لیمنولوژیکی و حفظ تعادل اکولوژیکی دریاچه زریوار- مریوان، استانداری کردستان، 159 ص.
- شرکت پویاب تواناب. 1370. مطالعات شبکه آبیاری زهکشی جنوب دریاچه زریوار مریوان. انتشارات وزارت نیرو، 98 صفحه.
- شمسایی، ا.؛ اورعی زارع، ص. و سارنگ، ا. 1384. بررسی تطبیقی شاخص‌های کیفی و پهنه‌بندی کیفی رودخانه‌ی کارون و دز، مجله آب و فاضلاب، شماره 55: 39-48.
- صمدی م.؛ ساقی م.؛ رحمانی، ع. و ترابزاده، ح. 1388. پهنه‌بندی کیفی آب رودخانه دره مراد بیک همدان بر اساس شاخص NSFQI و بهره‌بری از سامانه اطلاعات جغرافیایی. مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی همدان، شماره 4: 38-43.
- کرباسچی ع. و بیاتی آ. 1387. سهم منابع طبیعی و انسان ساخت در توزیع عناصر سنگین در رسوب مغزی در دریاچه زریوار. مجله محیط‌شناسی، شماره 34: 31-36.
- کریمیان، آ.؛ جعفرزاده، ن.؛ نبی زاده، ر. و افخمی، م. 1385. پهنه‌بندی کیفی رودخانه بر اساس شاخص WQI مطالعه موردی رودخانه زهره. نشریه بین‌المللی مهندسی آب، 18-24.
- محمدی، ا. 1377. بیان هیدرولوژی حوضه زریوار. مجله زریوار، 13-18.

میرزایی، م.؛ نظری، ع. و هاشمیان، س. 1388. بررسی تحلیلی و مقایسه‌ای شاخص‌بندی کیفی رودخانه جاجرود. مجله‌ی فنی و مهندسی مدرس، شماره 35: 143-152.

نیکو نهاد، ع.؛ معاضد، ه. و کاظم بیگی، ف. 1388. مقایسه‌ی شاخص‌های کیفی آب برای انتخاب بهترین شاخص در سد مخزنی کرخه، مجله پژوهش آب ایران. شماره 4: 69-73.

CCME, Water Quality Index 1.0, Technical Report. In: Canadian environmental quality guidelines. 2001. Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg. http://www.ccme.ca/assets/pdf/wqi_techrptfctshst_e.pdf.

Cude, C. G. 2001. Oregon Water Quality Index: A tool for evaluating water quality management effectiveness.

Enriqu, S.; Manuel, F.; Colmenarejo, J.; Angel, R.; Garcl, L. & Borja, R. 2007. Use of the water quality index and dissolved oxygen deficit as simple indicators of watersheds pollution. *Ecological Indicators*; 7:315-328.

Horton, R. K. 1965. An Index Number System for Rating Water Quality. *Journal of Water Pollution Control Federation*. 37(3): 300-306.

Hutchinson, G. F. & Cowgill. U.M. 1963. Chemical examination of a core from Lake Zeribar. *Iran. Science* 140: 67-69.

Khan, F.; Husain, T. & Lumb, A. 2003. Water Quality Evaluation and Trend Analysis in Selected Watersheds of the Atlantic Region of Canada. *Environmental Monitoring and Assessment*, 88(1-3):221-248.

Liou, S. M.; Lo, S. L. & Hu, C. Y. 2003. Application of twostage fuzzy set theory to river quality evaluation in Taiwan. *Water Res* 37: 1406-1416

Loffler, H. 1961. Beitrage zur Ketsntnis der iralsishcen Bimmnene-ewasset Regional-limnlologische Studie mit besonderer Berucksichtigung derCrustaceanifauna. *Internationale Revue der gesnititenz Hsdrobsologie* 46: 309-406.

Ott, W. R. 1980. *Environmental Indices – Theory and Practice*. Arbor Science Publisher. Inc. Ann , Michigan.

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(1): 43-67.

Simeonov, V.; Stratis, J.; Samara, C.; Zachariadis, G.; Voutsas, D. & Anthemidis A. 2003. Assessment of the surface water quality in Northern Greece. *Water Res* 37: 4119-4124.

Simoes, F.; Moreira, A.; Bisinoti, M. C.; Gimenez, S. & Santos, M. 2008. Water quality index as a simple indicator of aquaculture effects on aquatic bodies. *Ecological Indicators* 38: 476-480.

Snyder, J. A.; Wasylik, K.; Fritz, S. C. & Wright, Jr. H. E. 2001. Diatom-based conductivity reconstruction and palaeoclimatic interpretation of a 40-karecord from Lake Zeribar, Iran". *The Holocene* 11: 737-745.

Stevens, I.-R.; Wright, H. E. Jr. & Ito, E. 2001. Proposed changes in seasonality of climate during the Lateglacial and Holocene at Lake Zeribar, Iran. *The Holocene* 11: 747-755.

Van Zeist, W.; and Wright H.E. 1963. Preliminary pollen studies at Lake Zeoibar, Zagros Mountains, southwestern Iran. *Science* 140: 65-67.

Van Zeist, W.; Bottema S. 1991. Late Quaternary vegetation of the Near East. *Beihefte zum Tübinger Atlas des Vorderen Orients. Reihe A* 18: 1-156.

Wasylikowa, K. 1967. Late Quaternary plant macrofossils from Lake Zeribar, Western Iran. *Review of Palaeobotany and Palynology* 2, 313-318.

Wasylikowa, K. 2005. Paleocology of Lake Zeribar, Iran, in the Pleniglacial, Late Glacial, and Holocene reconstructed from plant macrofossils. *The Holocene* 15: 720-735.

Wasylikowa, K. & Walanus, A. 2004. Pace of aquatic and marsh plant succession in various parts of Lake Zeribar, Iran, during the Late Glacial and Holocene. *Acta Palaeobotanica* 44: 129- 40.