بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی همجوار رودخانه زاینده رود

غلامرضا اسداله فردی، افسانه فرجی [۱] و پاشا خراسان‌زاده

دانشیار مهندسی عمران- محیط زیست، دانشگاه خوارزمی، تهران.**Asadollahfardi@yahoo.com**

دانشجوی دکترای مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست ، دانشگاه تهران.**faraji_afsane@yahoo.com**

کارشناسی ارشد مهندسی عمران- محیط زیست، دانشگاه خوارزمی، تهران.**poposh8888@yahoo.com**

دریافت:آذر ۱۳۹۲ و پذیرش: خرداد ۱۳۹۳

چکیده

تعیین مشخصات کیفی آب‌های زیرزمینی به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع تأمین آب شرب و کشاورزی به منظور تشخیص نوع کاربرد آن ضروری است. از این رو، ارزیابی کیفی آب‌های زیرزمینی یکی از اولین و شاید مهم‌ترین گام‌ها در مدیریت کیفی آن به شمار می‌آید. در این پژوهش به منظور ارزیابی آب‌های زیرزمینی در حوضه زایندرود اصفهان (ایران) از سه روش BCWQI (British Columbia Water Quality Indices)، NSFWQI (National Sanitation Foundation Water Quality Indices) و OWQI (Oregon Water Quality Indices) استفاده شد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که ایستگاه‌های شهرداری زرین‌شهر، فلاورجان، مشتاق و پارک آبشار با قرار گرفتن در محدوده ۳۸/۷۴- تا ۳۷/۴۸- برای شاخص OWQI و در محدوده ۵۰- تا ۴۴- برای شاخص NSFWQI و ایستگاه‌های شهرداری زرین شهر و پارک آبشار در محدوده ۸۷/۹۵- تا ۶۲/۸۲- برای شاخص BCWQI (از نظر مصارف کشاورزی) نسبت به سایر چاه‌های باغ بهادران، ملک-آباد و پارک ناژوان در وضعیت نامناسب‌تری از نظر کیفی قرار گرفته‌اند. علت آن می‌تواند قرار گیری در معرض رواناب‌های شهری، زهکش ذوب آهن و نزدیکی به تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب اصفهان باشد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری در کشاورزی، ارزیابی آلودگی، **BCWQI، NSFWQI، OWQI.**

[۱]- آدرس نویسنده مسئول: دانشکده محیط زیست ، دانشگاه تهران.

مقدمه

کمبود آب و آلودگی منابع سطحی و زیرزمینی در اقلیم‌های خشک و نیمه خشک همواره بحران‌های بسیاری به همراه داشته است، لذا لزوم مدیریت صحیح به منظور جلوگیری از آلوده شدن آب و استفاده از راهکارهای زیست محیطی ضروری است. استان اصفهان یکی از بزرگترین و مهم‌ترین قطب‌های صنعتی و کشاورزی کشور است و هر روزه نیز به وسعت مناطق صنعتی و کشاورزی آن افزوده می‌شود. بنابراین، توجه به مسائل زیست‌محیطی آن اجتناب‌ناپذیر است. بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی، یکی از جنبه‌های زیست‌محیطی چنین مناطقی است. این بررسی در کنار مطالعات مربوط به آب‌های سطحی (به خصوص شاهرگ حیاتی منطقه یعنی زاینده‌رود)، توسعه شهری، رشد جمعیت و به طور کلی مطالعات جامع منطقه‌ای اهمیت می‌یابد. لازمه مدیریت صحیح کیفیت آب، داشتن داده‌های کافی و صحیح است. به سبب آنکه تعداد شاخص‌های کیفی آب بسیار زیاد و تفسیر آن برای مدیریت مشکل است، در این مطالعه از روش‌های شاخص کیفی آب مانند BCWQI[۲]، NSFWQI[۳] و OWQI[۴]، که وضعیت کیفی آب را با یک عدد تعریف می‌کنند، استفاده شده است.

در این زمینه، پژوهشگران بسیاری بررسی‌هایی انجام داده‌اند که از آن جمله می‌توان به مطالعات اسداله فردی و همکاران (۱۳۸۳) درباره مروری بر روش شاخص های کیفی آب‌های سطحی و کاربرد آن در پهنه‌بندی قسمتی از رودخانه کارون با روش NSFWQI اشاره نمود. حاصل مطالعات آنها نشانداد که آب رودخانه یاد شده کیفیت شیمیایی متوسطی دارد که ممکن است ناشی از ورود آلاینده‌های خانگی و صنعتی باشد.ابوالفضل شمسایی و همکاران (۱۳۸٤) شاخص‌های کیفی را بررسی کرده و آب رودخانه کارون و دز را با استفاده از سه روش BCWQI، NSFWQI و OWQI ارزیابی کردند و مشخص شد در مواردی که حساسیت زیادی در قبال تصمیم‌گیریها وجود ندارد و یا این حساسیت در استانداردهای محلی گنجانده شده است، نیز در صورت وجود تعداد ایستگاه‌های مناسب و دفعات اندازه‌گیری کافی در محل‌های مناسب، استفاده از شاخص BCWQI مفید است. خان[۵] و همکاران (۲۰۰۳) در سه حوضه منطقه آتلانتیک با استفاده از روش شاخص کانادایی و روش BCWQI آن‌ها را طبقه‌بندی نمودند و در نهایت نتیجه گرفتند که کیفیت رودخانه به منظور آب شرب در رودخانه پویت ولف بهبود یافته است. دیبیل[۶] و همکاران (۲۰۰۵) از روش شاخص کیفی WQI برای پایش رودخانه چیلان واقع در شیلی استفاده کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که آب در قسمتهای بالا دست و میانه رودخانه دارای کیفیت خوبی بوده، اما در پایین دست به خصوص در فصل خشک کیفیت نسبتاً بدی داشته است. سدنو دیاس[۷] و لوپز[۸] (۲۰۰۷) کیفیت آب کاملاً آلوده حوضه لرما[۹] واقع در مکزیک را بررسی کردند و در این پژوهش از دو روش اندیکس و اندیکس وزنی کیفی آب استفاده نمودند و در نهایت نتیجه گرفتند که آب این حوضه برای شرب نامطلوب است.

اسداله‌فردی (۲۰۰۹) در پژوهشی با استفاده از شاخص NSFWQI، آب‌های سطحی تهران را پهنه‌بندی نموده که نتایج نشان داد وضعیت کیفی این آب‌های خصوصا در فصل‌های خشک به لحاظ زیست‌محیطی قابل قبول نیست. جعفری سلیم و همکاران (۲۰۰۹) آب رودخانه قشلاق واقع در استان کردستان را با استفاده از دو شاخص کیفی NSF و شاخص BCWQI پهنه‌بندی کردند. آنها نشان دادند درجه تاثیر منابع آلوده‌کننده شهری بالا است و آب این رودخانه از کیفیت بسیار پایین برخوردار است. یکی از روشهایی که باعث بهبود

[2] British Columbia Water Quality Indices
[3] National Sanitation Foundation Water Quality Indices
[4] Oregon Water Quality Indices

[5] Kahan
[6] Debles
[7] Sedeno Dias
[8] Lopez
[9] Lerma

شاخص‌های قدیمی می‌شود، مقایسه این شاخص‌ها با یکدیگر است. در این میان اولین مقایسه بین شاخص‌های کیفی آب بوسیله‌ی آت[10] (۱۹۷۸) انجام شد. هدف از این پژوهش، ارزیابی کیفی آب‌های زیرزمینی در حوضه آبریز زاینده‌رود در مصارف کشاورزی است که از سه روش BCWQI، NSFWQI و OWQI استفاده شد.

مواد و روش‌ها

ساختار ریاضی شاخص‌های کیفی

دو فرم اصلی و ابتدایی برای شاخص‌ها وجود دارد، اول شاخص‌هایی که با افزایش آلودگی، عدد شاخص آن‌ها افزایش می‌یابد که با نام شاخص آلودگی شناخته می‌شوند و دوم شاخص‌هایی که با افزایش آلودگی، عدد شاخص آن‌ها کاهش می‌یابد که با نام شاخص کیفی شناخته می‌شوند. در یک چهارچوب کلی، محاسبه یک شاخص در دو مرحله اساسی صورت می‌گیرد. مرحله اول، محاسبه زیر شاخص‌ها بر اساس متغیرهای آلودگی به کار رفته در شاخص و مرحله دوم، جمع‌بندی زیرشاخص‌ها برای به دست آوردن شاخص کلی است.

شاخص کیفی BCWQI

روش شاخص کیفی BCWQI به منظور کیفیت آب برای مصارف شرب و کشاورزی است که وضعیت کیفی آب را با یک عدد تعریف می‌کند. در این روش، پارامترهای کیفی آب با یک حد معین سنجیده شده و میزان تجاوز از آن تعیین می‌شود. با توجه به استانداردهای خروجی فاضلاب از طرف سازمان حفاظت محیط زیست، به استناد ماده پنج آیین نامه جلوگیری از آلودگی آب مورخ ۷۳/۹/۵ حد مجاز برای مصرف در کشاورزی و شرب تعیین شده است (سایت آبفای استان تهران). برای محاسبه شاخص نهایی از رابطه (۱) استفاده می‌شود:

$$BCWQI = \left[\sqrt{(F_1^2 + F_2^2 + (\frac{F_3}{3})^2}\right] / 1.435 \quad (۱)$$

که در آن:

F_1: درصد پارامترهایی که از حد معین تجاوز نموده‌اند.

F_2: تعداد دفعاتی که در مجموع اندازه‌گیری‌ها از حد معین تجاوز نموده به صورت درصدی از کل دفعات برداشت.

F_3: ماکزیمم تخطی از حد معین (حد استاندارد). درصد تخطی به صورت زیر تعریف می‌شود:

درصد تخطی= [مقدار اندازه‌گیری شده / (حد ماکزیمم مجاز– مقدار اندازه‌گیری شده)] × ۱۰۰

عدد ۱/٤۳۵ برای حصول اطمینان از رسیدن ماکزیمم عدد شاخص BCWQI به عدد ۱۰۰ انتخاب شده است. جدول (۱) بیان کننده حالات کیفی بر اساس مقدار شاخص BCWQI است (اوت، ۱۹۷۸).

جدول۱- تفسیر آلودگی به روش BCWQI

مقدار عددی شاخص	تعریف
۰–۳	عالی
۴–۱۷	خوب
۱۸–۴۳	مناسب
۴۴–۵۹	متوسط
۶۰–۱۰۰	ضعیف

شاخص کیفی NSFWQI

روش شاخص کیفی آب NSFWQI به منظور تعیین کیفیت آب برای محیط‌زیست است. در ایجاد شاخص کلی NSFWQI برای لحاظ میزان اثر هر پارامتر و یا زیر شاخص مربوط به آن، به هریک از پارامترها یک وزن و یا ارزش عددی نسبت داده شده است. در جدول (۲) عامل وزنی مربوط به پارامترهای به کار رفته در این شاخص آمده است (اسداله فردی، ۱۳۸۳). پارامترهای مورد استفاده در محاسبه این شاخص شامل DO، pH، BOD_5، NO_3، PO_4، دما، کدورت و TSS می‌باشد. تفسیر آلودگی در روش NSFWQI به صورت جدول

[10] Ott

(۳) نشان داده شده است. برای محاسبه شاخص نهایی از جمع وزنی خطی زیر شاخص‌ها به صورت رابطه (۲) استفاده می‌شود (اوت، ۱۹۷۸):

$$NSFWQI_a = \sum_{i=1}^{n} W_i . I_i \qquad (۲)$$

که در آن:

I_i: زیر شاخص i ام برای محاسبه I ، نه منحنی که هرکدام برای یک پارامتر رسم شده وجود دارد.

W_i: ضریب وزنی زیر شاخص i ام

جدول۲- عامل‌های وزنی شاخص NSFWQI

پارامتر	ضریب وزنی
DO	۰/۱۷
کلیفرم مدفوعی	۰/۱۶
pH	۰/۱۱
BOD	۰/۱۱
TSS	۰/۰۷
NO_3	۰/۱۰
PO_4	۰/۰۷
دما	۰/۱۰
کدورت	۰/۰۸

جدول۳- تفسیر آلودگی به روشNSFWQI

مقدار عددی شاخص	تعریف
۰–۲۵	بسیار بد
۲۶–۵۰	بد
۵۱–۷۰	متوسط
۷۱–۹۰	خوب
۹۱–۱۰۰	عالی

شاخص کیفی OWQI

این شاخص کیفی که به صورت یک شاخص کاهشی است، در ایالت اورگان در سال ۱۹۷۹ برای ارزیابی کیفی آب در مصارف تفریحی استفاده می‌شود. به منظور محاسبه این شاخص رابطه (۳) پیشنهاد شده است (کورتیس، ۲۰۰۱). تفسیر آلودگی در روش OWQI به صورت جدول (٤) نشان داده شده است.

$$OWQI = \sqrt{\frac{n}{\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{SI_i^2}}} = \left(\frac{n}{\frac{1}{SI_T^2}+\frac{1}{SI_{DO}^2}+...+\frac{1}{SI_{FC}^2}}\right)^{\frac{1}{2}} \qquad (۳)$$

که در آن:

n: تعداد زیر شاخص‌ها و SI_i: زیر شاخص i ام است.

پارامترهای در نظر گرفته شده شاخص OWQI شامل دما، کدورت، pH، TDS، BOD_5، COD، PO_4، NO_3، کل کلیفرم و کلیفرم مدفوعی است.

جدول۴- تفسیر آلودگی به روش OWQI

مقدار عددی شاخص	تعریف
کمتر از ۶۰	بسیار بد
۶۰–۷۰	بد
۷۱–۸۴	متوسط
۸۵–۸۹	خوب
۹۰–۱۰۰	عالی

مشخصات حوضه مورد مطالعه

رودخانه زاینده‌رود در بخش مرکزی ایران از شمالی‌ترین بخش حوضه آبریز اصفهان سرچشمه گرفته و در مسیری از شمال غرب به سمت جنوب شرق و پس از طی مسافتی حدود ۳۵۰ کیلومتر به فرورفتگی باتلاق گاوخونی می‌ریزد. این حوضه در موقعیت جغرافیایی″۳۰ ′٥٤ °٥٢ شرقی و ″٤٥ ′١٥ °٣٢ شمالی قرار گرفته و ٤١٣٤ کیلومتر مربع تا محل سد زاینده‌رود، ٤٨٥٠ کیلومتر مربع تا ایستگاه پل زمانخان و ٣٠٨٤٠ کیلومتر مربع تا مرداب گاوخونی مساحت دارد. چین‌های این حوضه منطبق با سیستم چین‌خوردگی زاگرس یا آلپین است. میانگین بارندگی سالانه حوضه زاینده‌رود، ٤٥٠ میلی‌متر و وسعت حوضه آبگیر آن حدود۲۷۱۰۰ کیلومتر مربع است. تبعیت درجه حرارت هوا از ارتفاع، باعث شده که تنوع بسیار شدیدی در اقلیم‌های حرارتی منطقه به وجود آید، به طوری که درجه حرارت هوا بطور عمده از سمت غرب به شرق افزایش می‌یابد. میانگین درجه حرارت سالانه از ۹/۱ درجه در چلگرد تا ۱۹/۵ درجه در خور تغییر می‌کند.

اطلاعات پایه و منابع آلوده‌کننده

برای بررسی وضعیت کیفی آب‌های زیرزمینی حاشیه زاینده‌رود، نیاز به شناخت منابع احتمالی آلوده‌کننده نظیر شهرها، روستاها، صنایع و غیره است. رواناب شهری زرین‌شهر، زهکش ذوب آهن و فاضلاب منازل نیروگاه اسلام‌آباد از جمله منابع بالقوه‌ای هستند که می‌توانند در تخریب کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی زاینده‌رود و اطراف آن موثر باشند. فرم دیگر آلودگی رودخانه و آب-های زیرزمینی منطقه، آلاینده‌های غیرنقطه‌ای مانند نشت آب از زمین‌های کشاورزی و باغ‌ها، نشت از کانال‌ها است.

موقعیت نقاط نمونه‌برداری

در این پژوهش، به منظور ارزیابی کیفی آب‌های زیرزمینی از اطلاعات مربوط به هفت حلقه چاه آب در حوضه آبریز زاینده‌رود استفاده شده است. (انتخاب هفت حلقه چاه و تعداد کم آن از محدودیت‌های مطالعاتی این پروژه بوده است).

به سبب آنکه این چاه‌ها در یک مکان واقع نیستند، می‌توانند نشان دهنده تقریبی از کل حوضه مورد مطالعه باشند. لذا به این تعداد اکتفا شد. در انتخاب محل این چاه‌ها سعی شده که تا حد امکان نزدیک رودخانه باشند تا اثرات آن‌ها بر رودخانه و یا برعکس مشاهده شود، در همه فصل‌های سال قابل نمونه‌برداری باشند، انواع مصارف کشاورزی، شرب و صنعتی را شامل شوند، آبخوان همه چاه‌ها از نوع آزاد باشد (آبخوان دارای سطح ایستابی باشد)، عمق چاه کم بوده و نمونه‌برداری از آب چاه و اندازه‌گیری سطح آب در همه حال امکان‌پذیر باشد. این هفت حلقه چاه عبارتند از باغ بهادران، ملک‌آباد، شهرداری زرین‌شهر، فلاورجان، پارک ناژوان، مشتاق و پارک آبشار که محل قرار گرفتن آن‌ها در شکل ۱ ارائه شده است (موسوی، ۱۳۸۸).

شکل ۱- محل قرار گرفتن هفت حلقه چاه باغ بهادران، ملک‌آباد، شهرداری زرین‌شهر، فلاورجان، پارک ناژوان، مشتاق و پارک آبشار

نتایج و بحث

خلاصه آماری داده‌ها در هر ایستگاه در جدول‌های ۵ تا ۱۱ ارائه شده است. البته باید اذعان داشت با وجود آنکه در محاسبات مقدار کلیفرم مدفوعی لازم است، ولی این روش بدون شاخص مذکور نیز قابل اجرا است، ضمن اینکه عدم دسترسی به داده‌های کلیفرم جزء محدودیت این مطالعه بوده است.

جدول۵- خلاصه آماری داده‌های ایستگاه باغ بهادران

نام ایستگاه	پارامتر آماری	pH	DO	BOD	TDS	سولفات	نیترات	COD	دما °C
			میلی‌گرم بر لیتر						
	حداقل	۶/۸	۲/۲	۰	۲۹۶	۰	۰	۰	۱۲
باغ	حداکثر	۷/۳	۷/۴	۳/۲	۸۵۰	۳/۷	۱/۷	۵	۱۴
بهادران	میانگین	۷/۱	۳/۶	۱/۲	۴۲۲	۱/۱	۱/۲	۰/۹	۱۳/۲
	انحراف معیار	۰/۲	۱/۹	۲/۱	۲۱۴/۳	۱/۴	۰/۷	۱/۲	۰/۹

جدول۶- خلاصه آماری داده‌های ایستگاه ملک آباد

نام ایستگاه	پارامتر آماری	pH	DO	BOD	TDS	سولفات	نیترات	COD	دما °C
			میلی‌گرم بر لیتر						
	حداقل	۶/۵	۱	۰	۱۵۶	۰/۰۵	۰	۰	۱۰
ملک آباد	حداکثر	۷/۳	۳	۷	۳۲۲	۰/۹	۷	۳/۲	۱۳
	میانگین	۷/۱	۲/۴	۲/۲	۲۵۲/۳	۰/۶	۱/۸	۱/۲	۱۱/۷
	انحراف معیار	۰/۳	۰/۸	۳	۵۴/۴	۰/۴	۲/۶	۱/۲	۱/۴

جدول۷- خلاصه آماری داده‌های ایستگاه زرین‌شهر

نام ایستگاه	پارامتر آماری	pH	DO	BOD	TDS	سولفات	نیترات	COD	دما °C
			میلی‌گرم بر لیتر						
	حداقل	۶/۸	۱/۵	۰	۱۶۴۲	۱/۹	۱/۴	۱/۵	۱۱
شهرداری	حداکثر	۷/۳	۴/۲	۲۸	۳۰۱۰	۷/۲	۳/۵	۱۲	۱۶
زرین‌شهر	میانگین	۷/۱	۲/۹	۴/۸	۲۱۷۴	۵/۲	۲/۱	۷/۹	۱۴/۳
	انحراف معیار	۰/۲	۱/۶	۴/۸	۴۷۳/۳	۲/۲	۰/۹	۱۰/۳	۲

جدول۸- خلاصه آماری داده‌های ایستگاه فلاورجان

نام ایستگاه	پارامتر آماری	pH	DO	BOD	TDS	سولفات	نیترات	COD	دما °C
			میلی‌گرم بر لیتر						
	حداقل	۶/۵	۱/۲	۰	۴۲۴	۰	۰	۰	۱۱
فلاورجان	حداکثر	۷/۴	۴	۲	۷۲۴	۷/۳	۲/۸	۱۲	۱۸
	میانگین	۷/۱	۲/۴	۰/۹	۵۴۹	۲/۲	۱/۲	۳/۶	۱۴/۳
	انحراف معیار	۰/۴	۱/۱	۱	۱۰۶	۳	۰/۹	۴/۶	۲/۹

جدول۹- خلاصه آماری داده‌های ایستگاه پارک ناژوان

نام ایستگاه	پارامتر آماری	pH	DO	BOD	TDS	سولفات	نیترات	COD	دما °C
			میلی‌گرم بر لیتر						
	حداقل	۶/۷	۱/۸	۰	۴۰۰	۰/۸	۰	۰	۹
پارک	حداکثر	۷/۷	۴/۲	۱	۱۷۵۶	۷/۳	۱/۴	۱۴	۱۸
ناژوان	میانگین	۷/۳	۲/۷	۰/۳	۶۸۶	۳/۴	۱	۴/۱	۱۳/۹
	انحراف معیار	۰/۴	۱/۱	۰/۵	۵۲۹	۲/۹	۰/۶	۵/۳	۳/۱

جدول۱۰- خلاصه آماری داده‌های ایستگاه مشتاق

نام ایستگاه	پارامتر آماری	pH	DO	BOD	TDS	سولفات	نیترات	COD	دما °C
			میلی‌گرم بر لیتر						
	حداقل	۷/۱	۱/۶	۰	۴۷۶	۰/۲	۰/۷	۰	۱۲
مشتاق	حداکثر	۷/۷	۴	۲	۷۵۶	۳/۶	۳/۹	۴	۱۸
	میانگین	۷/۳	۲/۵	۱/۳	۶۶۸	۱/۶	۲/۱	۱/۵	۱۵/۲
	انحراف معیار	۰/۲	۰/۸	۰/۸	۱۰۱	۱/۵	۱/۲	۱/۸	۲/۱

جدول۱۱- خلاصه آماری داده‌های ایستگاه پارک آبشار

نام ایستگاه	پارامتر آماری	pH	DO	BOD	TDS	سولفات	نیترات	COD	دما
			میلی‌گرم بر لیتر						°C
	حداقل	۷/۱	۱/۱	۰	۷۴۴	۱/۸۴	۰	۰	۱۱
پارک	حداکثر	۷/۷	۴/۴	۱۲	۱۶۰۶	۶	۸/۴	۴/۲	۱۸
آبشار	میانگین	۷/۴	۳/۱	۳/۱	۱۱۹۰	۳/۷	۴/۱	۲/۲	۱۴/۶
	انحراف معیار	۰/۲	۱/۲	۴/۵	۳۴۲	۱/۵	۳/۳	۱/۴	۲/۹

روش BCWQI

پارامترهای به کار رفته در این روش عبارت از pH، DO، COD، BOD_5، TDS، Cl، NO_3، SO_4، Fe و Mn هستند. با قرار دادن این پارامترها در رابطه (۱)، نتایج به دست آمده از روش BCWQI بر اساس معیار مسائل کشاورزی در جدول (۱۲) ارائه شده است. همان-طور که در جدول مشاهده می‌شود، به لحاظ معیار کشاورزی ایستگاه باغ بهادران با مقدار ۲۸/۰۹- و ایستگاه ملک‌آباد با مقدار ۲۷/۳۶- در وضع مناسبی قرارگرفته‌اند. حال آنکه ایستگاه‌های شهرداری زرین‌شهر و فلاورجان از لحاظ کشاورزی به ترتیب ضعیف و مناسب می‌باشند. همچنین، دو ایستگاه پارک ناژوان و مشتاق به ترتیب با مقدارهای ۳۶/۳۵- و ۲۷/۲۶- برای کشاورزی مناسب هستند. در نهایت ایستگاه پارک آبشار از نظر کشاورزی با مقدار ۶۲/۸۲- عملکرد ضعیفی را از خود نشان می‌دهد.

جدول۱۲- نتایج به دست آمده از روش BCWQI

ایستگاه	کشاورزی/ تعریف	ایستگاه	کشاورزی / تعریف
باغ بهادران	۲۸/۰۹- / مناسب	مشتاق	۲۷/۲۶- / مناسب
ملک آباد	۲۷/۳۶- / مناسب	پارک آبشار	۶۲/۸۲- / ضعیف
شهرداری زرین‌شهر	۸۷/۹۵- / ضعیف	پارک ناژوان	۳۶/۳۵- / مناسب
فلاورجان	۳۰/۳۷- / مناسب		

روش NSFWQI

پارامترهای به کار رفته در این روش عبارت از pH، DO، BOD_5، TDS، NO_3 و درجه حرارت هستند. برای به دست آوردن نتایج این روش ابتدا از میانگین ماهانه این پارامترها طی سال ۸۸ استفاده شد و چون هر ساله وضعیت موجود کیفی آب‌های سطحی و زیرزمینی برای برنامه‌ریزی اهداف مختلف مصرف، بهبود و حفظ محیط‌زیست آبی مورد نیاز تصمیم گیران است، لذا تفسیر داده‌های یکسال برای برنامه‌ریزی سالانه در راستای بهبود و مصارف مختلف به نظر کافی می‌آید (با توجه به اینکه وضعیت کیفی حال و آینده برگرفته از گذشته است لذا این نتایج می‌تواند به عنوان شناخت از وضعیت موجود مورد استفاده قرار گیرد البته پیش‌بینی دادها در آینده روش‌های مخصوص به خود مانند استفاده از سری زمانی باکس و جنکینگ ، روش منت کارلو، شبکه عصبی و روش‌های دیگر را دارد که خارج از اهداف این مطالعه بوده است). نتایج به دست آمده از این روش در جدول (۱۳) ارائه شده است. همانطور که در این جدول مشاهده می‌شود، با توجه به روش NSFWQI ایستگاه‌های باغ بهادران، ملک‌آباد و پارک ناژوان در وضعیت متوسطی قرار گرفته و بقیه ایستگاه‌ها در وضعیت بدی قرار دارند.

جدول۱۳- نتایج به دست آمده از روش NSFWQI

ایستگاه	نتایج/ تعریف	ایستگاه	نتایج/ تعریف
باغ بهادران	۵۲- / متوسط	پارک ناژوان	۵۱- / متوسط
ملک آباد	۵۲- / متوسط	مشتاق	۵۰-/ بد
شهرداری زرین‌شهر	۴۶-/ بد	پارک آبشار	۴۴- / بد
فلاورجان	۵۰- / بد		

روش OWQI

در این روش با قرار دادن داده‌های پارامتر pH، DO، BOD_5، TDS، NO_3 و درجه حرارت در رابطه (۳)، نتایجی به صورت جدول (١٤) به دست آمده است.همان‌طور که در جدول (١٤) مشاهده می‌شود، تمامی ایستگاه‌ها در وضعیت خیلی بد یا بد قرار گرفته‌اند. از مقایسه نتایج این روش با دو روش قبل، مشاهده می‌شود که در این روش وضعیت آب‌ها در حالت بدتری نسبت به هر دو روش قرار گرفته است.

جدول۱۴- نتایج به دست آمده از روش OWQI

ایستگاه	نتایج/ تعریف	ایستگاه	نتایج/ تعریف
باغ بهادران	۵۶/۹۹- / خیلی بد	پارک ناژوان	۳۹/۴۱- / خیلی بد
ملک آباد	۶۳/۶۰۶- / بد	مشتاق	۳۸/۷۴- / خیلی بد
شهرداری زرین‌شهر	۳۸/۲۲۴- / خیلی بد	پارک آبشار	۳۷/۴۸- / خیلی بد
فلاورجان	۳۸/۷۲- / خیلی بد		

بحث

با توجه به نتایج به دست آمده از سه روش فوق مشاهده می‌شود که به‌کار بردن عامل وزنی برای هر پارامتر در ساختار شاخص اصلی و یا زیرشاخص تشکیل دهنده آن باعث افزایش دقت در هنگام اخذ تصمیم‌گیری‌های بعدی بر اساس آن می‌شود. به همین دلیل از میان دو روش NSFWQI و BCWQI نتایج حاصل از روش NSFWQI که در ساختار آن از عامل وزنی استفاده شده است، دقت بالایی دارد. البته این روش شدیداً به پارامترهای آلودگی حساس است و با حذف هر یک از پارامترها به دلیل تغییر ضرایب وزنی، نتیجه به دست آمده تغییر قابل توجهی می‌کند. در این‌جا به علت در دسترس نبودن پارامترهای کدورت، کل کلیفرم و پارامتر فسفات در ایستگاه‌های مورد نظر، ضرایب وزنی این پارامترها حذف شده و بین سایر پارامترها پخش شده است (برای تعیین وزن آنها پرسشنامه‌ای به افراد متخصص فرستاده شده و فقط برای داده‌های پارامترهای در دسترس خواسته شده نمره بین یک تا پنج را داده و بر اساس نمرات وزن هر پارامتر محاسبه شده است). لذا به احتمال زیاد نتایج به دست آمده از این روش در صورت وجود سه پارامتر ارائه شده و اعمال ضرایب وزنی آن‌ها، باید تغییر می‌کردند. البته باید اضافه نمود به سبب آنکه این اطلاعات تنها داده‌های در دسترس برای این منطقه است، بدون در نظر گرفتن پارامترهای کدورت، کل کلیفرم و فسفات نیز این مطالعه می‌تواند برای دست یافتن به اطلاعات جدید برای تصمیم‌گیری‌ها مفید باشد. در مورد روش BCWQI، یکی از عواملی که باعث می‌شود بتوان این شاخص را به عنوان شاخص منتخب ارزیابی آب‌های زیرزمینی به منظور مصارف کشاورزی به کار برد، عدم کاربرد مستقیم پارامترهای تشکیل‌دهنده آن است. زیرا این روش همانطور که گفته شد، بر اساس میزان درصد تخطی پارامتر اندازه‌گیری شده نسبت به یک استاندارد خاص ایجاد می‌شود. این عامل باعث می‌شود که افزایش و یا کاهش مقدار یک پارامتر تاثیر یکسانی بر روی شاخص کل داشته باشد. همچنین در این روش، حذف یکی از پارامترهای آلودگی، تاثیر چندانی در نتایج حاصله ایجاد نخواهد کرد. افزایش تعداد ایستگاه‌های اندازه‌گیری و افزایش اندازه‌گیری‌ها، از

عواملی هستند که می‌تواند باعث بالا رفتن دقت ارزیابی این روش شود.

در مورد روش OWQI باید گفت که این شاخص به دلیل نوع ساختار ریاضی شاخص کل، پارامترهایی که در این شاخص دارای اهمیت کمتری می-باشند، از تاثیر بیشتری برخوردار هستند، به طوریکه کوچک‌ترین تغییر در این پارامترها تاثیر زیادی بر روی شاخص کل خواهد داشت.

با توجه به جدول ۱۳، ایستگاه‌های چاه‌های شهرداری زرین‌شهر، فلاورجان، مشتاق و پارک آبشار در وضعیت بدی قرار گرفته‌اند. چاه شهرداری زرین‌شهر در معرض رواناب‌های شهری زرین‌شهر قرار گرفته و همچنین تحت تاثیر زهکش ذوب آهن نیز قرار دارد که این دو عامل باعث کاهش کیفیت آب این چاه می‌شود. چاه فلاورجان نیز تحت تاثیر برکه‌های تصفیه فاضلاب فولادشهر و زمین‌های کشاورزی اطراف آن و همچنین زمین‌های کشاورزی اطراف فلاورجان قرار گرفته و این همجواری از کیفیت آب این چاه می‌کاهد. همچنین، دو چاه مشتاق و پارک آبشار نیز به علت نزدیکی به تصفیه-خانه فاضلاب جنوب اصفهان، دارای کیفیت پایینی می-باشند. بطور کلی وضعیت کیفیت آب در ایستگاهای یاد شده مطلوب نیست. لذا در نظر گرفتن اینگونه اطلاعات و مطالعات قبل از برنامه ریزی ها در مقیاس کامل به منظور استفاده در آبیاری کشاورزی می توانند مفید باشند. نتایج تطابق خوبی را با مطالعات شمسایی و همکاران (۱۳۸٤) برای استفاده و مقایسه از این سه روش BCWQI، NSFWQIو OWQI بر روی رودخانه کارون و دز دارد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، به منظور ارزیابی کیفی آب‌های زیرزمینی حوضه زاینده‌رود، از داده‌های هفت حلقه چاه مربوط به سال ۱۳۸۸ موجود در این حوضه استفاده شد. برای ارزیابی کیفی آلودگی در این پژوهش، از یک نوع شاخص آلودگی BCWQI، و دو نوع شاخص کیفی N.S.F.WQIو OWQI استفاده شد. برای این منظور از اعتبار سنجی تقاطعی[11] استفاده نشده است. همچنین، با توجه به نتایج به دست آمده مشاهده شد که چاه‌های شهرداری زرین‌شهر، فلاورجان، مشتاق و پارک آبشار به علت قرارگیری در معرض رواناب‌های شهری، زهکش ذوب آهن و نزدیکی به تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب اصفهان، در وضعیت بدی نسبت به سایر چاه‌ها قرار گرفته‌اند. استفاده از شاخص‌هایی که فلزات سنگین را نیز در خود جای دهد می‌توانست در بهبود نتایج بدست آمده تاثیر بسزایی داشته باشد اما به علت در دسترس نبودن اطلاعات و داده‌های مورد نیاز منطقه از این سه روش استفاده شده است. بطور کلی نتایج حاصله از سه روش مذکور وضعیت قابل قبولی را برای کیفیت آب‌های زیر زمینی در مصارف کشاورزی نشان نمی‌دهد.

تشکر و قدردانی

داده‌های به کار رفته در این پژوهش از اداره محیط‌زیست اصفهان اخذ شده است. این داده‌ها مربوط به گزارش نهایی پروژه "بررسی آلودگی و منابع آلوده-کننده آب" می‌باشد که به وسیله‌ی آقای موسوی در دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان به انجام رسیده است.

رهیافت ترویجی

به طور کلی می توان اظهار داشت که استفاده از روش شاخص‌های کیفی قبل از مصرف آب در کاربری-های کشاوزی می‌تواند به عنوان یک روش مدیریتی با هدف توسعه پایدار در گسترش استفاده از منابع آبی مختلف بوده و انجام یک چنین مطالعاتی می‌تواند مدیریتی، کاربردی و موثر باشد و به عنوان روشی مناسب قبل از اجرای پروژه‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

[11] Cross-validation

فهرست منابع

۱. اسداله فردی، غ.، افشار، ا.،شیخستانی، ن. ۱۳۸۳. مروری بر شاخص‌های کیفی آب و کاربرد NSFWQIدر آنالیز کیفی رودانه کارون. مجله شریف، ۲۷: ۲۱-۲۹.

۲. شمسایی، ا.، اوعی زارع،ص.،سارنگ ، ا. ۱۳۸٤. مطالعه مقایسه شاخص کیفی و پهنه‌بندی کیفی رودخانه کارون و دز. مجله آب و فاضلاب، ۵۵: ۳۹-٤۸.

۳. موسوی، س. ف. ۱۳۸۸. پروژه گزارش نهایی از پروژه ارزیابی آلودگی منابع آلوده کننده آب. دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده کشاورزی.

4. Asadollahfardi, G.H. 2009. Application of water quality indices to define surface water quality in Tehran. International, Journal ofWater, 5 (1): 51-69.
5. Bordalo, A.A., Nilsumranchit, W and Chalermwat, K. 2001. Water quality and uses of the Bangpakong River, Journal ofWater Research., 15: 3635-3642.
6. Curtis, G. 2001. Oregon water quality index: A tool for evaluating water quality management effectiveness, Journalof Water Resources Association, 37(1): 125-135.
7. Curtis, G. 2001. Reply to discussion: Oregon water quality index: A tool for evaluating water quality management, Journal of Water Resources Association, 38(1): 313-318.
8. Debles, P., Figueroa, R., Urratia, R,.Barra, R. A and Niell, X. 2005. Evaluation of water quality in the Chillan River (general Chile) using physicochemical parameters and a modified water quality index, Journal ofEnvironmental Monitoring and Assessment , 110: 301-322.
9. JafariSalim, B., Nabibidhendi, G. H., Salemi,A,.Taherioun, M and Arsestani, M. 2009. Water quality assessment of Gheshlagh River using water quality indices. Journal of Environmental Science, 6 (4): 19-28.
10. Khan, F., Husain, T and Lumb, A. 2003. Water quality evaluation and trend analysis in selected watersheds of the Atlantic region of Canada. Journal ofEnvironmental Monitoring and Assessment, 85: 221-24.
11. Landwehr, J.M and Deininger, R.A. 1974. A comparison of several water quality indices, Journal of Water Pollution Control Federation. 48(5): 957-958.
12. Lumb, A., Halliwell, D and Shrma, T. 2006. Application of CCME water quality index to monitor water quality: A case of the Mackenzie River Basin Canada,Journal of Environmental Monitoring and assessment, 113: 411-429.
13. Ott, W.R. 1978. Environmental indices-theory and practice, Arbor Science Publisher, Inc. Ann, Michigan.
14. Sedeno-Dias, J.E., and Lopez-Lopez, E. 2007. Water quality in Rio Lerma, Mexico: An overview of the last quarter of the Twentieth Century, Journal ofWater Resource Manage, 21: 1797-1812.
15. Zand Berger, T.A., and Hall,K.G. 1998. Water quality index for watershed manager. Journal ofWater Quality Research, 33(4):519-549.
16. Water and Wastewater TehranProvince Company. 1373. WWTP Online, Available at: URL:http://ts.tpww.co.ir/pfazelab-pf2-fa.html [verified at 25 Jun. 2014].