Archive of SID

مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۷۰، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۶

ص ۴۳۴-۴۲۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۳/۲۳
تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۱۲/۲۱

بررسی کیفیت آب زیرزمینی جهت مصارف شرب و کشاورزی-پیش نیازی برای برنامه‌ریزی آمایش سرزمین در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران

❖ **عباس علیپور*؛** استادیار جغرافیای سیاسی، دانشگاه امام حسین (ع)، ایران.

❖ **جابر رحیمی؛** دانش آموختهٔ دکتری هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران، ایران.

❖ **علی آذرنیوند؛** دانش آموختهٔ کارشناسی ارشد مدیریت منابع آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، ایران.

چکیده

منابع آب زیرزمینی اهمیت به‌سزایی در زندگی ساکنین مناطق گرم و خشک دارند. با افزایش بی‌رویهٔ جمعیت و نیاز فراوان به غذا، کمبود منابع آب سطحی، حفر تعداد زیادی چاه عمیق و نیمه‌عمیق در استان‌ها و برداشت بی‌رویهٔ آب از سفره‌های آب زیرزمینی کیفیت آب در منطقه را کاملاً تحت تأثیر قرار داده است. هدف مطالعه حاضر، تعیین وضعیت کیفیت آب زیرزمینی در نه استان خشک و نیمه-خشک کشور، به‌گونه‌ای است که بتوان چشم‌انداز و فهم و درک مناسبی از وضعیت کیفی منابع آب در این استان‌ها ارائه کرد. در این راستا طبقه‌بندی داده‌ها، از مهم‌ترین بخش‌های ارزیابی کیفیت آب هست. شاخص‌های WQI و ویلکاکس ابزاری مناسب برای تعیین وضعیت و شرایط کیفیت آب هستند که در آن‌ها داده‌های چند پارامتر کیفیت آب با یک فرمول ریاضی؛ مقیاسی برای میزان سلامتی و کارآیی آب از بسیار ضعیف تا عالی ارائه می‌دهد. در این پژوهش تعیین سیاست‌ها و شناسایی راهکارهای مناسب، توجه به اهداف توسعه پایدار، استفاده از GIS، پهنه‌بندی مناسب با لحاظ نمودن کیفیت آب موجود، از جمله مواردی هستند که در تغییر الگوی استقرار جمعیت و بهبود آن نقش دارند. تهیه‌ی نقشه‌های تغییرات ویژگی‌های شیمیایی آب‌های زیرزمینی، نقشی ارزنده را در فرآیند تصمیم‌گیری و مدیریت استفاده و بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی ایفا می‌کند. با توجه به نتایج بدست آمده، اکثر آبخوان‌ها از نظر کیفیت آب شرب مقادیری بین ۲۰۰-۳۰۰ (کیفیت بد) برای WQI و شور برای مصرف کشاورزی را نشان دادند.

کلید واژگان: آب زیرزمینی، کیفیت آب، سامانه اطلاعات جغرافیایی، روش ویلکاکس، شاخص WQI.

* نویسنده مسئول: شماره تماس: ۰۹۸۹۳۵۳۵۸۱۵۷۵+

Email: aivan۳۱@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

۱. مقدمه

تقاضا برای حرکت به سمت توسعهٔ پایدار مهمترین چالش فراروی جامعهٔ بشری در قرن بیست و یکم است. در این راستا از یک‌سو دسترسی به منابع آب کافی با کیفیت مطلوب را اولین شرط دستیابی به توسعه پایدار مطرح می‌کنند و از سویی دیگر، فقدان منابع آب را مهم‌ترین عامل عدم‌دستیابی به توسعهٔ پایدار و به تبع آن استقرار پایدار جمعیت می‌دانند [۷، ۱۶]. گرچه آب زیرزمینی در واقع فراوان‌ترین منبع قابل دسترس آب شیرین در دنیا است که ۹۷ درصد منابع آب شیرین دنیا را بجز یخ‌های قطبی و یخچال‌ها تشکیل می‌دهد و گاهی ثروت پنهان نامیده می‌شود، اما وجود و اهمیت آن به خوبی شناخته نشده است، در نتیجه اقدامات لازم برای شناسایی، حفاظت و مدیریت آن با روش‌هایی از لحاظ زیست‌محیطی پایدار، یا انجام نمی‌شود یا بسیار دیر انجام می‌شود. تقریباً ۸۵٪ از مساحت ایران را مناطقی با اقلیم خشک و نیمه‌خشک در برگرفته است که کاملاً به منابع آب زیرزمینی وابسته بوده و به خاطر عدم پراکنش زمانی-مکانی نامناسب بارش، منبع آب جایگزینی برای تأمین نیازهای آبی‌شان ندارند. در چنین شرایطی افت کیفیت آب سلامتی و معیشت ساکنان را تهدید می‌نماید؛ لذا حفظ کیفیت منابع آب موجود اهمیت خود را نشان می‌دهد. آلودگی و کاهش کیفیت آب عملاً موجب بلا استفاده شدن آن خواهد شد. از این‌رو آلودگی آب علاوه بر آسیب رساندن به سلامت انسان، توسعهٔ اقتصادی-اجتماعی را نیز فلج می‌کند. لذا آگاهی داشتن از وضعیت کیفیت آب مناطق تحت تنش آبی بسیار حیاتی می‌باشد. واضح است که جلوگیری از آلودگی منابع آب زیرزمینی از پاک کردن آن بسیار آسان‌تر است. شناسایی مناطق آلوده یا در آستانهٔ آلودگی این فرصت را در اختیار سیاست‌گذاران قرار می‌دهد تا شبکه‌های پایش و تصفیهٔ آب را ایجاد یا گسترش دهند [۱۴].

در بیشتر شهرهای ایران که نیاز آبی از منابع زیرزمینی تأمین می‌شود، باید به مسألهٔآلوده بودن این منابع به عناصر سمی که ممکن است به وسیلهٔ چاه‌های فاضلاب یا کودها و سمومی که در کشاورزی مصرف شده و همراه با آب نفوذی به لایه‌های آبدار می‌رسد، توجه شود. بنابراین در مطالعات هیدرولوژی همراه با مطالعه کمّی مقدار آب، معیارهای کیفی آن نیز بررسی می‌شوند. تغییر کیفیت آب‌های زیرزمینی و شور شدن منابع آب هم اکنون خطری بزرگ در راه استقرار پایدار جمعیت در اراضی خشک می‌باشد. کیفیت آب زیرزمینی همچون آب سطحی همواره در حال تغییر است، اما این تغییرات نسبت به آب‌های سطحی بسیار کندتر صورت می‌گیرد. آلودگی منابع آب زیرزمینی در درازمدت منجر به مواردی همچون اثرات مخرب اکولوژیکی، اثر مخرب بر حاصلخیزی خاک و بروز اختلاف میان ذی‌نفعان و پدید آمدن بحران‌های اجتماعی می‌شود.

دغدغهٔ تحقیق حاضر، تعیین وضعیت کیفیت آب زیرزمینی در نه استان خشک و نیمه خشک کشور، به گونه‌ای است که بتوان چشم انداز و فهم و درک مناسبی از وضعیت کیفی منابع آب در این استان‌ها ارائه کرد. در این راستا نیاز به روشی هست که هم بتواند تحلیل واقع‌گرایانه‌ای از وضعیت کیفیت آب ارائه دهد و هم طبقه‌بندی داده‌ها را که از مهم‌ترین بخش‌های ارزیابی کیفیت آب هست در نظر بگیرد. شاخص‌های WQI[1] ابزاری مناسب و ساده برای تعیین وضعیت و شرایط کیفیت آب هستند که در آنها داده‌های چند پارامتر 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. این شاخص، راهی برای خلاصه کردن شرایط کیفی کلی آب که برای مخاطب قابل درک باشد ارائه می‌کند و می‌تواند برای درک این که آیا کیفیت کلی آب زیرزمینی، تهدیدی برای مصرف آب خواهد بود یا نه، بیان شود [۶]. برای طبقه‌بندی کیفیت

[1] Water Quality Index

www.SID.ir

Archive of SID

آب در بخش کشاورزی از روش ویلکوکس[۱] استفاده می‌شود. در این طبقه‌بندی دو عامل هدایت الکتریکی (EC[۲]) و نسبت جذب سدیم (SAR[۳]) در نظر گرفته می‌شود و هریک از آن‌ها به چهار قسمت تقسیم شده که در مجموع باعث پدید آمدن شانزده گروه کیفیت آب می‌گردد. میزان هدایت الکتریکی نشان دهندهٔ شوری می‌باشد و خطر سدیم بر حسب نسبت جذب سدیم را بیان می‌کند. گروه‌های کیفیت آب در چهار طبقه‌بندی عالی، متوسط، ضعیف و بسیارضعیف قرار می‌گیرند [۱۷].

ارزیابی کیفیت آب دشت ساوه-نوبران با استفاده از شاخص WQI نشان داد که در مناطق مرکزی و شمال شرق دشت کیفیت آب نامناسب است [۱۱]. مطالعهٔ کیفیت آب زیرزمینی آبخوانی در شمال اتیوپی با استفاده از شاخص WQI نشان داد که تغییرات GWQI برای نمونه‌های آب زیرزمینی، بین ۵۴/۴۱ درصد تا ۸۶/۲۴ درصد بوده و تمام نمونه‌های آب زیرزمینی در ردهٔ خوب قرار گرفته و برای اهداف شرب مناسب هستند [۶]. توسعهٔ شاخص کیفی و ارزیابی کیفیت آب رودخانه‌ای در برزیل نشان داد که شاخص جدید می‌تواند به‌عنوان ابزاری مناسب برای پایش کیفی رودخانه مورد مطالعه عمل کند [۸]. طبقه‌بندی کیفی آب زیرزمینی ۱۶ روستا در جنوب هند بر اساس ۱۰ پارامتر کیفی از نظر شرب نشان داد که از ۴۲ نقطهٔ نمونه‌برداری، کیفیت ۴ نمونه مطلوب، ۲۳ نمونه قابل قبول و ۱۵ نمونه غیرقابل قبول است [۱]. در مورد کاربرد روش ویلکوکس نیز پژوهش‌هایی قابل ذکر است. بررسی کیفیت آب رودخانه هیرو چایی از منابع اصلی تأمین آب شهرستان‌های خلخال و کوثر به روش ویلکوکس نشان داد که کیفیت آب در بالا دست رودخانه (ایستگاه اول) به دلیل عدم ورود منابع آلاینده خوب بود، اما به تدریج با تخلیه فاضلاب شهر خلخال و گیوی به روخانه، کیفیت آب در پایین دست شهرها (ایستگاه دوم و چهارم) تنزل می‌یافت. از لحاظ طبقه‌بندی ویلکوکس، میانگین داده‌های به دست آمده نشان دادند که هر چهار ایستگاه در طبقه متوسط قرار داشتند [۹]. در ارزیابی کیفیت آب‌زیرزمینی دشتی که در بخش نیمه خشک چین واقع شده است و به وسیلهٔ روش ویلکوکس انجام شد مشخص گردید که نمونه‌های جمع‌آوری شده در دسته‌های C۱-S۱, C۲- S۲ و C۳-S۳ قرار داشته‌اند. پژوهشگران عملیات آبشویی برای کاستن از میزان سدیم را برای بهبود آب آبیاری پیشنهاد دادند [۱۹]. در ارزیابی کیفیت آب آبیاری در پایتخت تانزانیا به وسیلهٔ روش ویلکوکس مشخص گردید که نمونه‌های جمع‌آوری شده در دسته‌های C۲–S۱, C۳–S۱, C۳–S۲, و C۴–S۲ قرار داشته‌اند که محدوده‌ای شامل کیفیت متوسط تا خیلی بد را در بر می‌گیرد. پژوهشگران علت روند نامطلوب کیفیت آب را افزایش شوری و افت تراز آب زیرزمینی دانسته‌اند [۱۳].

تعیین سیاست‌ها و شناسایی راهکارهای مناسب، توجه به اهداف توسعهٔ پایدار، استفاده از روش‌ها و ابزار برنامه‌ریزی و مدیریت زیست‌محیطی، انتخاب پهنه‌های مناسب برای انواع فعالیت‌ها و کاربری‌ها با توجه به امکانات موجود، از جمله مواردی هستند که در تغییر الگوی استقرار جمعیت و بهبود آن نقش دارند. تهیهٔ نقشه های تغییرات ویژگی‌های شیمیایی آب‌های زیرزمینی، نقشی ارزنده را در فرآیند تصمیم‌گیری و مدیریت استفاده و بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی ایفا می‌کند. به منظور امکان‌سنجی استقرار پایدار جمعیت، ضروری است موارد زیر در زمینهٔ کیفیت آب تعیین گردند تا مدیریت حوزهٔ آبخیز استان با در نظر گرفتن شرایط کیفی آب نسبت به بهره‌برداری، تخصیص و تصفیهٔ منابع آب اقدام بورزد: (۱) پارامترهای اساسی تأثیرگذار بر کیفیت نیاز و تقاضاهای آبی پایین دست تعیین گردند. (۲) شاخصی که توانایی برآورد کیفیت آب نسبت به پارامترهای کیفی را داراست برای مصرف شرب معرفی و تولید شود. (۳) کیفیت منابع آب برای کشاورزی مشخص گردد.

[۱] Wilcox
[۲] Electrical Conductivity
[۳] Sodium Adsorption Ratio

www.SID.ir

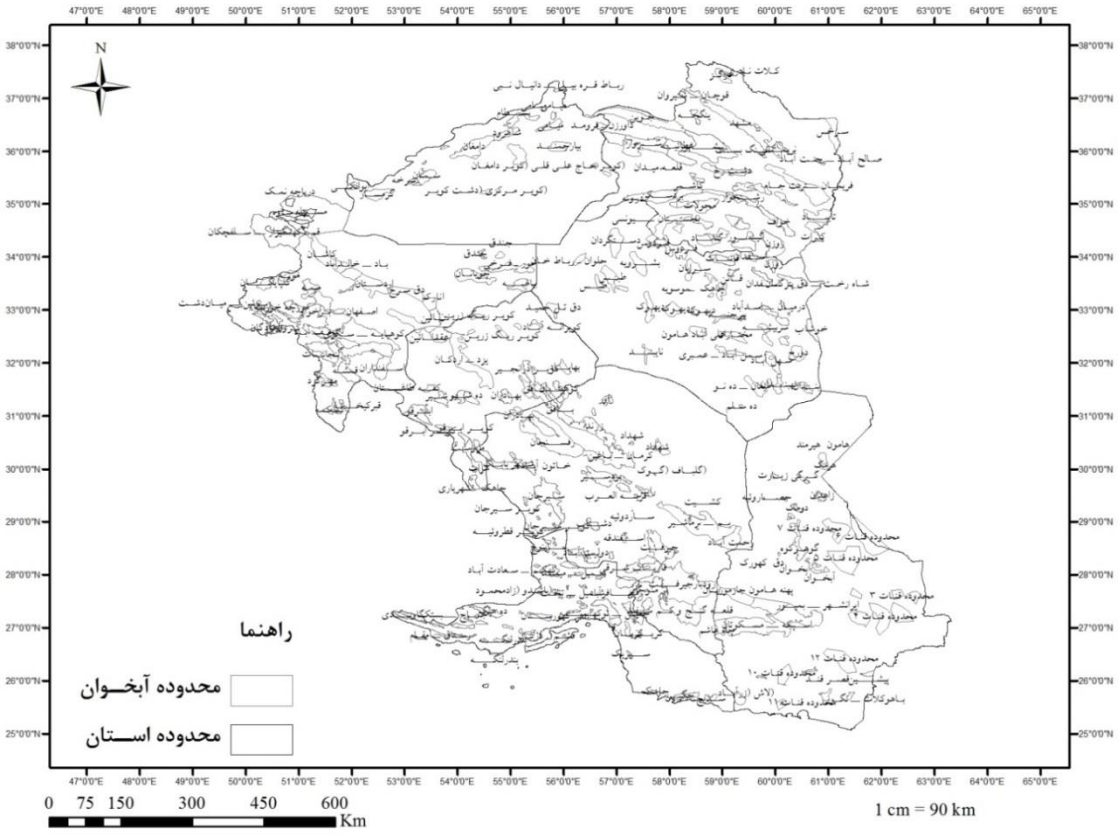
Archive of SID

(۴) قلیایی یا اسیدی بودن منابع آب برای کاربری صنعتی مشخص شود. (۵) با بهره‌گیری از نرم افزار GIS نسبت به تهیه نقشه‌های مناطق تحت تنش هر پارامتر کیفیت آب اقدام شود. (۶) مناطق بحرانی و در آستانهٔ بحران شناسایی شوند و نتایج آن به صورت کامل و بصری نمایش داده شود تا به کمک آن تصمیمات لازم را در جهت کاربری اراضی و مدیریت آبخوان‌های استان‌ها اتخاذ کنند. (۷) شناخت کافی از میزان آسیب‌پذیری منطقه، برای جلوگیری از آلوده شدن هرچه بیشتر این منابع تجدید ناپذیر و ارائه راهکارهایی برای بهبود کیفیت آب در مناطق بحرانی.

۲. روش‌شناسی تحقیق

۱.۲. معرفی منطقهٔ مورد مطالعه

ایران یک کشور پهناور است که به تبع، جمعیت فراوان و در حال رشدی دارد. این جمعیت به نسبت جوان، پتانسیل و سرمایهٔ بی‌نظیری برای کشور محسوب می‌شود. استان‌های خراسان جنوبی و رضوی، سیستان و بلوچستان، کرمان، هرمزگان، یزد، سمنان و اصفهان [و بخش‌هایی از استان فارس] حدود ۵۵ درصد از مساحت کشور را پوشش می‌دهد، اما تنها حدود ۱۴ درصد جمعیت را در خود جای داده است.



شکل ۱۰. محدوده مطالعاتی تحقیق

تراکم نسبی جمعیت در این محدوده ۱۱ نفر در کیلومترمربع است که در مقایسه با نیمهٔ غربی کشور (حدود ۸۳ نفر در کیلومترمربع) تراکم بسیار کمّی است. یکی از دلایل کم بودن تراکم در این نیمه، ماهیت بیابانی و نیمه‌بیابانی و شرایط آب و هوایی منحصر به فرد این مناطق است. لذا متأسفانه به دلیل توزیع نامتناسب

www.SID.ir

Archive of SID

جمعیت و نبود زیرساخت‌های مناسب، مشکلات اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی فراوانی ایجاد شده که می‌تواند در آینده، کشور را در یک وضعیت بحرانی قرار دهد. اهمیت آب‌های زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه خشکی مانند ایران که متوسط بارندگی آن کمتر از یک سوم متوسط بارندگی دنیا است به عنوان مخزن مهم و قابل اطمینانی برای بهره‌برداری غیر قابل انکار است. در ارتباط با مباحث تعیین وضعیت کیفیت آب زیرزمینی در بسیاری از استان‌ها، تا کنون مطالعات زیادی صورت نگرفته است. با توجه به افزایش جمعیت، فعالیت‌های صنعتی و توسعهٔ کشاورزی در استان‌های خشک و نیمه‌خشک و به دلیل عدم شناخت صحیح و یا عدم درک میزان آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی، سهل‌انگاری‌های زیادی در ارتباط با موضوع آسیب‌پذیری سفره‌ها صورت گرفته که این مسئله خود بر ضرورت انجام این تحقیق و نیاز به نتایج آن می‌افزاید.

۲.۲. روش تحقیق

با توجه به این نکته که استفاده از نه پارامتر pH, TDS, Cl, SO۴, Na, K, HCO_3, Ca, Mg به عنوان مهمترین پارامترهای کیفی در بررسی وضعیت شرب منابع آب‌زیرزمینی در ایران توصیه شده است [۱۲، ۱۱]. در پژوهش حاضر نیز از پارامترهای مذکور استفاده می‌شود که غلظت مجاز (mg/L) و وزن نسبی آنها بر مبنای استاندارد سازمان بهداشت جهانی در جدول ۱ مشاهده می‌شود [۱۸].

جدول ۱. وزن مطلق و نسبی پارامترهای دخیل در محاسبه WQI

پارامتر	*Mg*	*Ca*	*HCO۳*	*K*	*Na*	*So۴*	*Cl*	*TDS*	*pH*
غلظت مجاز	۵۰	۷۵	۱۲۰	۱۲	۲۰۰	۲۵۰	۲۵۰	۵۰۰	۸/۵
وزن مطلق	۳	۳	۱	۲	۴	۵	۵	۵	۳
وزن نسبی	۰/۰۹۷	۰/۰۹۷	۰/۰۳۲	۰/۰۶۵	۰/۱۲۹	۰/۱۶۱	۰/۱۶۱	۰/۱۶۱	۰/۰۹۷

پس از تعیین پارامترهای کیفی مد نظر محاسبه شاخص WQI شامل چندین مرحله است؛ در مرحله اول به هر پارامتر بر مبنای تأثیر در سلامتی انسان، وزنی اختصاص داده می‌شود؛ این وزن‌ها بر مبنای استاندارد WHO برآورد می‌گردند. مرحلهٔ دوم، محاسبه وزن‌های نسبی بر اساس رابطه زیر است:

$$W_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i} \qquad (۱)$$

که در آن، W_i : وزن نسبی پارامتر iام، W_i : وزن پارامتر iام و n: تعداد پارامترها است. گام بعد محاسبه مقیاس رتبه‌بندی کیفی (q_i)، برای هر پارامتر بر اساس رابطه (۲) است.

$$q_i = \frac{C_i}{S_i} \times 100 \qquad (۲)$$

در این رابطه، C_i : غلظت هر پارامتر در نمونه آب و S_i: استاندارد WHO برای هر پارامتر است. مرحلهٔ نهایی محاسبه WQI، به‌دست آوردن مجموع وزن‌دار q، بر اساس وزن مربوط به هر پارامتر است که در پنج گروه طبقه‌بندی می‌شوند (جدول ۲):

$$WQI = \sum_{i=1}^{n} W_i \times q_i \qquad (۳)$$

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲۰. طبقه‌بندی کیفی آب شرب بر اساس شاخص WQI

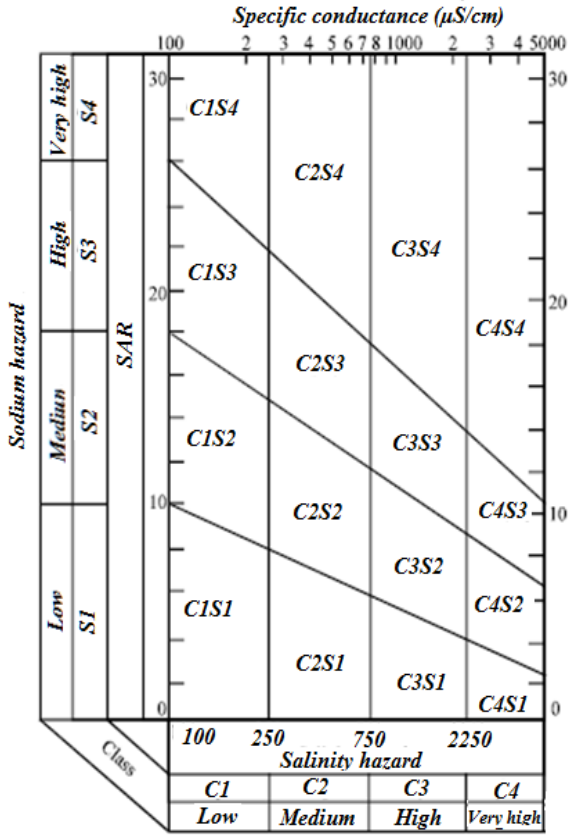
طبقه‌بندی	مقدار WQI
عالی	۵۰<
خوب	۵۰-۱۰۰
متوسط	۱۰۰-۲۰۰
بد	۲۰۰-۳۰۰
بسیار بد	۳۰۰>

طبقه‌بندی کیفیت آب در بخش کشاورزی، مطابق روش ویلکاکس می‌باشد که در آن محاسبهٔ SAR بر اساس رابطه زیر است:

$$SAR = \sqrt{\frac{Na}{0.5\times(Na+Mg)}} \qquad (۴)$$

مطابق شکل ۲، آب‌های عالی که EC کمتر از ۲۵۰ میکروموس بر سانتی‌متر دارند در کلاس C1S1 قرار می‌گیرند. آب‌های متوسط مربوط به یکی از کلاس‌های C1S2, C2S1, C2S2 هستند. آب‌های با کیفیت ضعیف در یکی از کلاس‌های C3S2, C2S3, C3S2, C3S1, C1S3 قرار گرفته که تنها در آبیاری زمین‌های درشت‌بافت و با زهکشی مناسب، برای محصولاتی خاص کارآیی دارند. آب‌هایی که در یکی از کلاس‌های C4S4, C4S3, C3S4, C2S4, C4S1, C1S4 قرار می‌گیرند در وضعیت بسیار بدی برای آبیاری قرار داشته و تنها در صورت وجود خاک درشت‌بافت با زهکشی زیاد در صورت اضطرار برای گیاهانی که بسیار به شوری مقاوم هستند می‌توان بکار برد [۱۷].

در این تحقیق ۲۷۲ آبخوان مورد بررسی قرار گرفت. تعداد چاه‌های کیفی مورد بررسی می‌باشد. بازه زمانی ۱۳۹۰-۱۳۹۱ به علت کامل بودن داده‌ها استفاده شد. یکی از مشکلات اصلی در ارزیابی وضعیت آلودگی منطقه، عدم امکان نمونه برداری از تمامی نقاط می‌باشد. بدین منظور استفاده راهکار مناسب جهت تعمیم نتایج حاصل از نقاط اندازه‌گیری شده، از روش‌های میان‌یابی برای مطالعهٔ الگوی توزیع مکانی این داده‌ها و تهیهٔ نقشه‌های مورد نظر می‌باشد.



شکل ۲۰. دیاگرام ویلکوکس جهت تعیین کیفیت آب کشاورزی

www.SID.ir

Archive of SID

در روش IDW[۱] فرض اساسی بر این است که میزان همبستگی و تشابه بین همسایه‌ها با فاصله بین آنها متناسب است، که می‌توان آن را به صورت تابعی با معکوس از فاصلهٔ هر نقطه از نقاط همسایه تعریف کرد. روابط مربوط به IDW نیز مطابق زیر است [۱۰]:

$$Z_O = \frac{\sum_{i=1}^{n} Z_i d^{-n}{}_i}{d^{-n}{}_i} \qquad (۵)$$

در این رابطه؛ Z_o، Z_i، d_i و n به ترتیب معرف مقدار تخمین متغیر Z در نقطه i، مقدار نمونه در نقطه i، فاصله نقطه نمونه تا نقطهٔ مورد تخمین و ضریبی که وزن را بر اساس فاصله تعیین می‌کند، هستند.

۳. نتایج

وضعیت شرب: مطابق شکل (۳)، در اصفهان آبخوان‌های دچار بحران شرب در شرق، جنوب غربی و مرکز قرار دارند (شامل اصفهان – برخوار، کوهپایه - سگزی، اسفنداران و مهیار جنوبی- دشت آسمان، اسفندان، جندق، خور و فرخی، چوپانان، انارک و بیاضه).

در خراسان رضوی آبخوان‌های دچار بحران شرب عمدتاً در غرب، شرق و جنوب می‌باشند شامل عطائیه، سبزوار، زوزن، قلعه میدان، درونه، گیسور، جنگل، و بخش عمده‌ای از نیشابور، تایباد، نریمانی، سرخس و جوین).

در خراسان جنوبی آبخوان‌های دچار بحران شرب در شمال شرق و بخش‌هایی از شرق مشاهده می‌شود. مرکز و غرب استان (به استثنای یک آبخوان) که وضعیت بحرانی دارد؛ کیفیت متوسطی از نظر شرب دارد. دو آبخوان در شمال غربی و جنوب شرقی تنها آبخوان‌هایی هستند که کاملاً در محدوده قرمز جای می‌گیرند.

در سمنان آبخوان‌های موجود در جنوب غربی استان از نظر وضعیت کیفیت آب در شرایط ضعیف و بسیار ضعیفی از کیفیت آب به سر می‌برند (بخش‌های وسیعی از آبخوان‌هایی نظیر سرخه، سمنان، گرمسار و ایوانکی).

در استان سیستان و بلوچستان در بین دوازده محدودهٔ قنات موجود، محدوده‌های سه قنات وضعیت بسیار بد آب شرب را گزارش می‌کنند. آبخوان‌های شمالی نیز وضعیت بسیار بدی از لحاظ شرب دارند (شامل زاهدان، هامون، هیرمند، گرگی زیارت و...). بخش‌های وسیعی از تعدادی از آبخوان‌های مرکزی نیز از کیفیت پایینی برخوردارند. در بین آبخوان‌های جنوبی تنها قسمتی از یکی از آبخوان‌ها دچار این وضعیت است.

در قم آبخوان‌های دچار بحران شرب شامل تمام آبخوان‌ها بجز غرب آبخوان سلفچگان وغرب دشت ساوه می‌باشند که به ترتیب ضعیف و متوسط می‌باشند.

در کرمان مناطق شمال غربی و بخش‌هایی از غرب شرایط بحرانی از نظر استانداردهای آب شرب دارند (رفسنجان، زرند، راور، بافق، و شهر بابک).

در هرمزگان آبخوان‌های غربی عمدتاً در وضعیت بسیار ضعیفی از حیث کیفیت آب به سر می‌برند. حال آن‌که در نیمه‌شرقی عمدتاً با آبخوان‌هایی با کیفیت متوسط روبه‌رو می‌شویم.

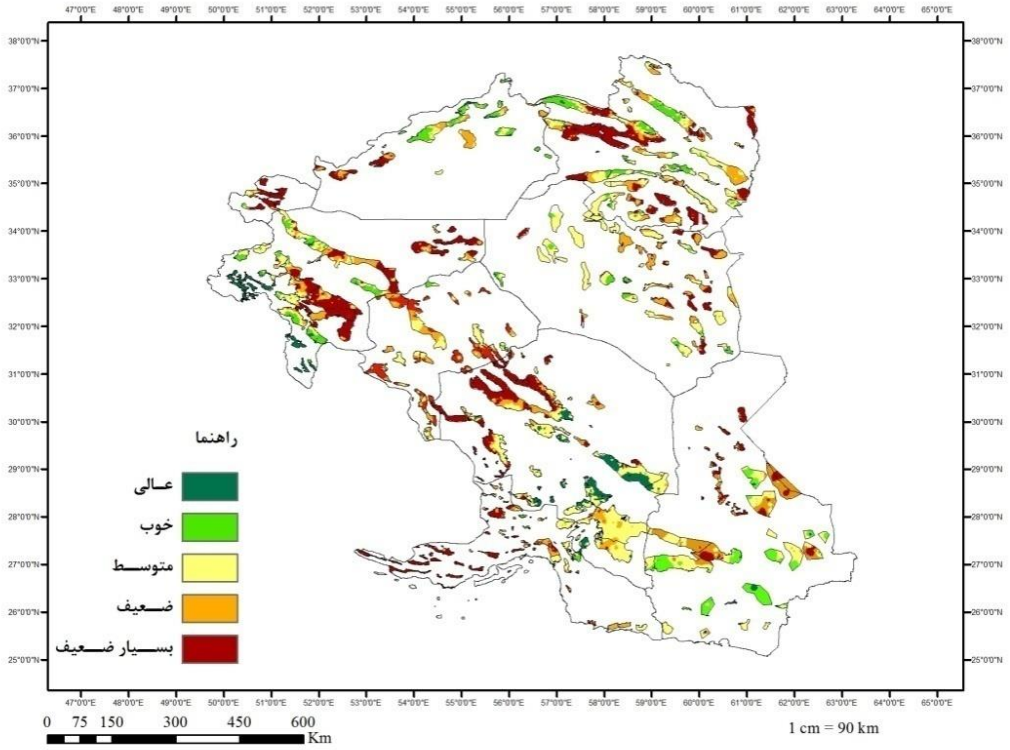
در یزد بجز بخش‌هایی از مرکز مابقی آبخوان‌ها در شرایط بسیار ضعیفی از کیفیت آب به سر می‌برند (بخش‌هایی از آبخوان‌های یزد-اردکان، عقدا، ابرقو، نائین، بهاباد، کویر درانجیر و کل آبخوان‌های کویر الهآباد، کویر سیاه‌کوه، و بهادران).

وضعیت کشاورزی: مطابق شکل (۴)، آبخوان‌های دچار بحران کشاورزی در اصفهان در شرق، جنوب غربی و مرکز قرار دارند (شامل اصفهان – برخوار، کوهپایه - سگزی، اسفنداران و مهیار جنوبی - دشت آسمان، اسفندان، جندق، خور و فرخی، چوپانان، انارک، اردستان، مورچه خورت، نجف‌آباد، لنجنات و بیاضه). در غرب آبخوان‌هایی با کیفیت متوسط قرار دارند و بقیه آبخوان‌ها در وضعیت کیفی ضعیف به‌سر می‌برند.

[۱] Inverse Distance Weighted

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳. وضعیت کیفیت آب شرب در محدوده‌ی مطالعاتی

در استان خراسان، آبخوان‌های دچار بحران در شرق و جنوب‌غرب (شامل نیشابور، بجستان، سبزوار، سرخس، زوزن، تایباد، فریمان، صالح‌آباد، نریمانی، سنگ‌بست، فریمان، رشتخوار) و تمام آبخوان‌هایی جنوبی هستند. شرق و جنوب شرق بخش اعظم محولات، قوچان-شیروان، مرکز دشت‌رخ، غرب تربت حیدریه، و جناحین مشهد نیز در همین زمره می‌باشند. سایر آبخوان‌ها نیز در آبیاری زمین‌های درشت‌بافت و با زهکشی مناسب، برای محصولاتی روغنی کارآیی دارند.

در استان خراسان جنوبی، آبخوان‌های دچار بحران کشاورزی در شمال و شرق استان می‌باشند. غرب، جنوب و مرکز نیز وضعیت ضعیفی دارند. در استان سمنان بجز بخش‌های بسیار کوچکی از دو آبخوان، تمام آبخوان‌ها از نظر کیفیت آب در شرایط ضعیف و بسیار ضعیفی قرار دارند. بخش‌هایی از میامی، بسطام، دامغان و شاهرود را که با رنگ نارنجی قابل رویت هستند که وضعیت ضعیفی دارند.

در استان سیستان و بلوچستان، هیچ آبخوانی کیفیت خوب و عالی برای کشاورزی ندارد. قنات‌های جنوبی نسبت به قنات‌های شرقی شرایط بهتری دارد اما آن‌ها نیز بطورکلی در طبقه‌بندی ضعیف جای می‌گیرند.

در استان قم تقریباً تمام آبخوان‌ها شرایط بحرانی از نظر کشاورزی دارند.

در استان کرمان، آبخوان‌های دچار بحران کشاورزی در شمال غربی و جنوب شرقی پراکنده می‌باشند (شامل رفسنجان، شهداد، زرند، بافق، کوهبنان، شهربابک، کویر هرات و مروست، بافق، کویر سیرجان، بخش وسیعی در سیرجان، پهنه هامون جازموریان، رودبار جیرفت، قلعه

www.SID.ir

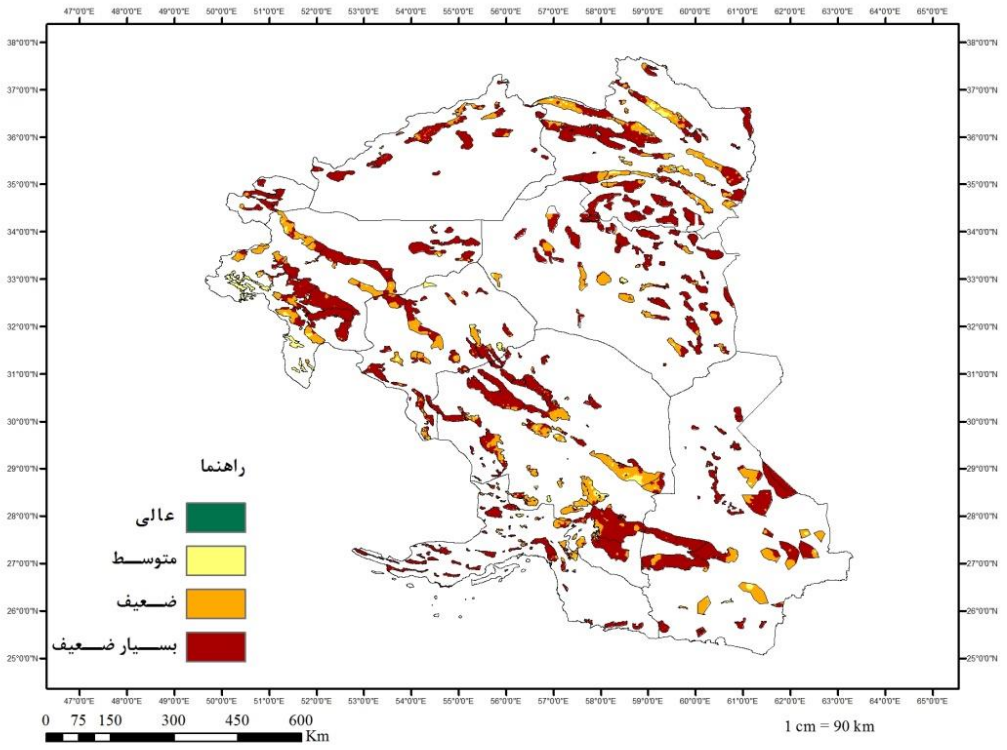
Archive of SID

گنج و کم سفید). بقیه آبخوان‌ها در آبیاری زمین‌های درشت‌بافت و با زهکشی مناسب، برای محصولاتی خاص کارآیی دارند.

در استان یزد، بجز بخش‌هایی از مرکز استان که وضعیت ضعیفی دارند، که برای آبیاری گیاهانی که نسبت به شوری نه زیادحساس نیستند و نه زیاد مقاوم، مانند انگور، گندم، گوجه فرنگی و نخود می‌توان استفاده نمود.

بقیه آبخوان‌ها در شرایط بسیار ضعیفی به‌سر می‌برند (شامل آبخوان‌های یزد-اردکان، عقدا، ابرقو، نائین،بهاباد، کویر الهآباد، کویر سیاه‌کوه، و بهادران).

غرب، شمال، و جنوب شرقی استان هرمزگان شامل محدوده‌های بحرانی است. در غرب و مرکز آبخوان‌هایی وجود دارند که در کلاس مربوط به کیفیت ضعیف جای می‌گیرند.



شکل ۴. وضعیت کیفیت آب کشاورزی در محدودهٔ مطالعاتی

۴. بحث و نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر برای اولین بار تمام آبخوان‌های موجود در نیمهٔ شرقی کشور را از لحاظ کیفیت آب شرب و کشاورزی بررسی نموده است. نتایج این تحقیق می‌تواند مبنایی برای مطالعات آینده قرار گیرد و در زمینهٔ آمایش سرزمین، پایش کیفی، احداث و تجهیز تصفیه‌خانه‌ها، تغییر الگوی کشت و مرتعداری مورد استفاده قرار گیرد.

نکتهٔ دیگری که لازم است لحاظ گردد این است که منظور از کیفیت نامطلوب کشاورزی عناصر سمی نیست، بلکه تنها نمک و شوری مد نظر است، چون روش ویلکاکس تنها شوری را بررسی می‌کند. آب‌های شور هم توسط تصفیه‌کننده‌های خانگی به سهولت قابل تصفیه می‌باشند. زمانی که بیان می‌شود کیفیت آب شرب ضعیف است، بدان معناست که برای تمام انسان‌ها کیفیت

www.SID.ir

Archive of SID

آب شرب ضعیف است. حال آنکه مخاطب این جمله برای کشاورزی متفاوت است. به عبارتی دیگر، کیفیت آب کشاورزی برای محصولی حساس ضعیف است در حالی که برای محصولی دیگر که مقاومت بیشتری دارد می‌تواند قابل استفاده باشد.

در مطالعات مشابه در داخل کشور، شاخص WQI به عنوان روشی قابل اتکاء برای تعیین کیفیت آب مورد بررسی قرار گرفته است. در استان قزوین با استفاده از این شاخص، وضعیت کیفی بیش از ۱۶۰ چاه مورد بررسی قرار گرفت تا نتایج آن مورد بررسی تصمیم‌گیران و مدیران قرار گیرد [۱۱]. در مازندران نیز بررسی وضعیت چاه‌ها با شاخص مذکور پهنه‌بندی کیفی آب دشت را مشخص نمود [۵]. وضعیت چاه‌های دشت ساوه نوبهار نیز حاکی از بدتر شدن وضعیت آب شرب در این دشت بود [۱۲]. با کنار هم قرار دادن مطالعات می‌توان از وضعیت کلی دشت‌های ایران از نظر وضعیت کیفیت آب شرب آگاه شد. شاخص WQI همچنین مشخص کرد که وضعیت دریاچه زریوار از نظر کیفیت آب در شرایط متوسط است [۱۵]. در مطالعات آینده می‌توان از شاخص‌های WQI متفاوتی نظیر WQI کانادا نیز استفاده نمود و نتایج را مقایسه کرد [۳].

با توجه به نتایج بدست آمده، اکثر آبخوان‌ها بخصوص از نظر کاربری کشاورزی از شوری رنج می‌برند. در حال حاضر افزایش منابع آلودگی ناشی از فاضلاب‌های شهری، پساب‌های صنعتی و فعالیت‌های کشاورزی این آسیب-پذیری را افزایش داده است. هنگامی که آب زیرزمینی آلوده می‌شود، در بسیاری از مواقع ده‌ها سال یا بیش‌تر طول می کشد تا آلودگی رفع شده و آب کیفیت مطلوب خود را بازیابد. با این حال، راهبردهای زیر مطرح می‌گردد تا در مناطقی که در نقشه‌ها با رنگ نارنجی و قرمز مشخص شده‌اند انجام پذیرد:

اجرای طرح الگوی بهینهٔ کشت سازگار با اقلیم برای کاشت گیاهان مقاوم به شوری و کم آبی. در این راستا برای مناطق با کیفیت آب بسیار ضعیف در صورت اضطرار (در صورت وجود خاک درشت‌بافت با زهکشی زیاد) گیاهانی مانند خرما، جو، چغندرقند و پنبه که بسیار به شوری مقاوم هستند توصیه می‌شوند. برای مناطقی با کیفیت ضعیف نیز اگر زمین‌های درشت‌بافت و با زهکشی مناسب در اختیار باشد، محصولاتی نظیر چاودار، ذرت، آفتابگردان و کرچک کارآیی دارند. در صورت افزودن مواد آلی به خاک، می‌توان از تخریب خاک در این شرایط جلوگیری نمود و برای آبیاری گیاهانی که نسبت به شوری نه زیادحساس هستند و نه زیاد مقاوم، مانند انگور، گندم، گوجه فرنگی و نخود استفاده نمود. کاشت گیاهان حساس همچون برنج، لوبیا و پیاز و گیاهان نیمه‌حساس نظیر ذرت و یونجه در این نواحی توصیه نمی‌شود. همچنین کاشت علوفه‌های مرتعی که نیازآبی پایین ولی مقاومت بالایی نسبت به شوری دارند توصیه می‌شود.

نهادینه کردن نظام یکپارچهٔ حفاظتی – نظارتی برای منابع آب و خاک حوضه به منظور جلوگیری از مازاد برداشت از منابع آب زیرزمینی و ممانعت از تخلیهٔ فاضلاب و پساب در حریم رودخانه.

ارتقاء مشارکت ذی‌نفعان در فرآیند آموزش، برنامه‌ریزی و اجرای الگوی بهینهٔ مصرف و آلوده نکردن منابع آب موجود از طرق برگزاری کارگاه‌ها، اردوهای علمی برای دانش آموزان، گنجاندن دروس مرتبط در برنامهٔ تحصیلی دانش‌آموزان، حمایت از پایان‌نامه‌های دانشجویی، بهره‌گیری از ظرفیت شبکه‌های مجازی و ساخت برنامه‌های تلویزیونی.

بازنگری در قوانین و آئین‌نامه‌ها در زمینهٔ مجازات متخلفین، تجهیز و نوسازی تصفیه‌خانه‌های موجود در نواحی آسیب‌پذیر و تجهیز و نوسازی سامانه‌های جمع‌آوری فاضلاب‌های خانگی و صنعتی، ارتقا بهره‌وری و کاهش تلفات در سامانه‌های آبیاری و آبرسانی.

اجرای طرح‌های آبخیزداری برای جلوگیری از فرسایش خاک، اجرای سیاست‌های بیابانزدایی و اجرای کمربند سبز در حاشیهٔ کویر.

امکان‌سنجی روش‌های نوین برای کاهش آلودگی

www.SID.ir

Archive of SID

آب‌های زیرزمینی نظیر فناوری نانو از نظر میزان کارایی و برآورد هزینهٔ تأمین آب آشامیدنی از منابع آب زیرزمینی.

امکان‌سنجی انتقال بین‌حوضه‌ای از حوضه‌های مجاور. لازم به ذکر است انتقال بین‌حوضه‌ای به عنوان راهبردی اضطراری در صورتی که بخشی از جمعیت در خطر مرگ می‌باشند با لحاظ نمودن پیش‌زمینه‌های زیست‌محیطی تنها برای مصرف شرب باید انجام شود.

۵. سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از داوران گرامی که نظراتشان موجب ارتقاء کیفیت مقاله گردید تشکر به عمل می‌آورند.

References

[۱] Dahiya, S., Singh, B., Gaur, S., Garg, V. K., & Kushwaha, H. S. (۲۰۰۷). Analysis of groundwater quality using fuzzy synthetic evaluation. *Journal of Hazardous Materials*, *۱۴۱*(۳), ۹۳۸-۹۴۶.

[۲] Dai, H. Y., Ren, L. Y., Meng, W. A. N. G., & Xue, H. B. (۲۰۱۱). Water distribution extracted from mining subsidence area using Kriging interpolation algorithm. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, *۲۱*, s۷۲۳-s۷۲۶.

[۳] Fataei, E., Seyyedsharifi, A., Seiiedsafaviyan, T., & Nasrollahzadeh, S. (۲۰۱۳). Water quality assessment based on WQI and CWQI Indexes in Balikhlou River, Iran. Journal of Basic Applied Sciences Research, ۳(۳), ۲۶۳-۲۶۹.

[۴] Gebrehiwot, A. B., Tadesse, N., & Jigar, E. (۲۰۱۱). Application of water quality index to assess suitablity of groundwater quality for drinking purposes in Hantebet watershed, Tigray, Northern Ethiopia. *ISABB Journal of Food and Agriculture Science*, *۱*(۱), ۲۲-۳۰.

[۵] Gholami, V., Aghagoli, H., & Kalteh, A. M. (۲۰۱۵). Modeling sanitary boundaries of drinking water wells on the Caspian Sea southern coasts, Iran. Environmental Earth Sciences, ۷۴(۴), ۲۹۸۱-۲۹۹۰.

[۶] Hosseini-Moghari, S. M., Ebrahimi, K., & Azarnivand, A. (۲۰۱۵). Groundwater quality assessment with respect to fuzzy water quality index (FWQI): an application of expert systems in environmental monitoring.*Environmental Earth Sciences*, *۷۴*(۱۰), ۷۲۲۹-۷۲۳۸.

[۷] Kundzewicz, Z. W. (۱۹۹۷). Water resources for sustainable development.*Hydrological Sciences Journal*, ۴۲(۴), ۴۶۷-۴۸۰.

[۸] Lermontov, A., Yokoyama, L., Lermontov, M., & Machado, M. A. S. (۲۰۰۹). River quality analysis using fuzzy water quality index: Ribeira do Iguape river watershed, Brazil. *Ecological Indicators*, ۹(۶), ۱۱۸۸-۱۱۹۷.

[۹] Parastar, S., Poureshg, B., Rezaei, M., Dargahi, A., Poureshg, Y., & Vosoughi, M. (۲۰۱۳). Quality Assessment of Hiroo River by NSFWQI and WILCOX Indices in Khalkhal. *Journal of Health*, ۴(۳), ۲۷۳-۲۸۳.

[۱۰] Roberts, E. A., Sheley, R. L., & Lawrence, R. L. (۲۰۰۴). Using sampling and inverse distance weighted modeling for mapping invasive plants. *Western North American Naturalist*, ۳۱۲-۳۲۳.

[۱۱] Sadat-Noori, S. M., Ebrahimi, K., & Liaghat, A. M. (۲۰۱۴). Groundwater quality assessment using the Water Quality Index and GIS in Saveh-Nobaran aquifer, Iran. *Environmental Earth Sciences*, *۷۱*(۹), ۳۸۲۷-۳۸۴۳.

www.SID.ir

Archive of SID

[۱۲] Saeedi, M., Abessi, O., Sharifi, F., & Meraji, H. (۲۰۱۰). Development of groundwater quality index. *Environmental monitoring and assessment*, *۱۶۳*(۱-۴), ۳۲۷-۳۳۵.

[۱۳] Sappa, G., Ergul, S., Ferranti, F., Sweya, L. N., & Luciani, G. (۲۰۱۵). Effects of seasonal change and seawater intrusion on water quality for drinking and irrigation purposes, in coastal aquifers of Dar es Salaam, Tanzania. *Journal of African Earth Sciences*, *۱۰۵*, ۶۴-۸۴.

[۱۴] Shah, T., Roy, A. D., Qureshi, A. S. and Wang, J. (۲۰۰۳), Sustaining Asia's groundwater boom: An overview of issues and evidence. Natural Resources Forum, ۲۷: ۱۳۰–۱۴۱. doi: ۱۰,۱۱۱۱/۱۴۷۷-۸۹۴۷,۰۰۰۴۸

[۱۵] Sharifinia, M., Ramezanpour, Z., Imanpour, J., Mahmoudifard, A., & Rahmani, T. (۲۰۱۳). Water quality assessment of the Zarivar Lake using physico-chemical parameters and NSF-WQI indicator, Kurdistan Province-Iran. International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research, ۱(۳), ۳۰۲-۳۱۲.

[۱۶] Wang, J., Xiao, W., Wang, H., Chai, Z., Niu, C., & Li, W. (۲۰۱۳). Integrated simulation and assessment of water quantity and quality for a river under changing environmental conditions. Chinese Science Bulletin, ۵۸(۲۷), ۳۳۴۰-۳۳۴۷.

[۱۷] Wilcox, L. V. (۱۹۴۸). The quality of water for irrigation use (No. ۱۷۰۲۸۲). United States Department of Agriculture, Economic Research Service.

[۱۸] World Health Organization (WHO). (۲۰۰۴). WHO guidelines for drinking water quality training pack. WHO, Geneva.

[۱۹] Zhang, B., Song, X., Zhang, Y., Han, D., Tang, C., Yu, Y., & Ma, Y. (۲۰۱۲). Hydrochemical characteristics and water quality assessment of surface water and groundwater in Songnen plain, Northeast China. Water research, ۴۶(۸), ۲۷۳۷-۲۷۴۸.

www.SID.ir