Archive of SID

مجله پژوهش آب ایران
جلد ۱۲/ شماره ۲/ پیاپی ۲۹/ تابستان ۱۳۹۷ (۱۰۱-۱۱۰)

بررسی تئوری آنتروپی شانون در وزن‌دار کردن شاخص کیفیت آب (مطالعه موردی: دشت میقان)

امیر حسین پارسامهر[1*]، حسین ملکی‌نژاد[2] و زهرا خسروانی[3]

چکیده

اهمیت منابع آب زیرزمینی، به‌عنوان یکی از مناسب‌ترین گزینه‌های تأمین آب شرب، بر هیچ‌کس پوشیده نیست. در این پژوهش، برای بررسی کیفیت آب زیرزمینی دشت میقان از نظر شرب، از استاندارد سازمان بهداشت جهانی و روش شاخص کیفیت آب، استفاده شد. برای این منظور، داده‌های ۴۰ نمونهٔ آب زیرزمینی، از نظر ۱۱ پارامتر شیمیایی بررسی شدند. برای جلوگیری از قضاوت‌های کارشناسی در تعیین وزن هر یک از پارامترها، از تئوری آنتروپی شانون استفاده شد. در ادامه پس از تحلیل عاملی داده‌ها، طبقه‌بندی کیفی نمونه‌ها، بر اساس آنتروپی وزن‌دار شاخص کیفیت آب انجام شد. نتایج تحلیل عاملی نشان داد که ۷۰ درصد واریانس تغییرات کیفی آب زیرزمینی منطقهٔ مورد مطالعه، با استفاده از ۵ عامل تحلیل می‌شود: عامل اول ۲۱/۹ درصد، عامل دوم ۱۳/۹ درصد، عامل سوم ۱۳ درصد، عامل چهارم ۱۰/۹ درصد و عامل پنجم ۱۰/۷ درصد تغییرات واریانس را توجیه می‌کنند. بیشترین و کمترین وزن پارامترها بر اساس تئوری آنتروپی شانون مربوط به Cu و pH با وزن ۳۴/۸۲ و ۰/۰۲ درصد بود. طبقه‌بندی نمونه‌های مورد مطالعه بر اساس آنتروپی وزن‌دار شاخص کیفیت آب حاکی از این است که ۵۷/۵ درصد از نمونه‌ها دارای کیفیت بسیار خوب، ۲۷/۵ درصد نمونه‌ها دارای کیفیت خوب، ۱۲/۵ درصد نمونه‌ها دارای کیفیت متوسط و ۲/۵ درصد آن‌ها دارای کیفیت بد بود.

واژه‌های کلیدی: تحلیل عاملی، تئوری آنتروپی، دشت میقان، شاخص کیفیت آب.

ارجاع: پارسامهر ا. ح. ملکی‌نژاد ح. و خسروانی ز. ۱۳۹۷. بررسی تئوری آنتروپی شانون در وزن‌دار کردن شاخص کیفیت آب (مطالعه موردی: دشت میقان). مجله پژوهش آب ایران. ۲۹: ۱۰۱-۱۱۰.

۱- مربی گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه فسا.
۲- دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد.
۳- دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد.
*** نویسنده مسئول**: parsamehr@fasau.ac.ir
تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۵/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۱۲

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

اهمیت کیفیت آب زیرزمینی، نقش برابری در مقابل کمیت آن دارد و یک عامل اصلی برای تعیین اهداف مناسب برای آب آشامیدنی، دامداری، کشاورزی و صنعتی است (خدایی و همکاران، ۱۳۹۴). اگرچه مباحث کیفی آب ارتباط منسجم و معنی‌داری با موضوعات کمی آب دارد، آگاهی از کیفیت آب، به ویژه کیفیت منابع قابل شرب،یکی از نکات قابل توجه و مهم تصمیم‌گیری در مدیریت استراتژیک و برنامه‌ریزی جمعیتی است (عباسی جندانی و طالبی، ۱۳۹۴). بررسی متغیرهای کیفی و استنتاج کیفیت آب از مواردی است که به‌صورت جدی توسط استانداردهای جهانی کیفیت آب بررسی شده است (سازمان بهداشت جهانی، ۱۹۴۸). هورتن (۱۹۶۵) از اولین پژوهشگرانی است که به ارائهٔ نمایهٔ کیفی آب با استفاده از پارامترهای مختلف پرداخته است. ساختار مناسب روش ارائه شده توسط هورتن مبنای بسیاری از مطالعات بعدی شد که تا به امروز رویکردهای مختلفی، بر مبنای این روش به جوامع علمی پیشنهاد شده است.

از جمله روش‌های مفید برای ارزیابی کیفیت آب، ارزیابی شاخص کیفیت آب (WQI[1]) است. در این شاخص برآیند اثر مؤلفه‌های مختلف کیفی آب در قالب یک عدد که بیان‌کنندهٔ کیفیت آب است، ارائه می‌شود (راماکریشنایا و همکاران، ۲۰۰۹). تعداد و نوع مؤلفه‌های مورد استفاده در محاسبه WQI انعطاف‌پذیر و متغیر است. این شاخص هم برای ارزیابی کیفیت آب سطحی و هم برای ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی ارائه شده است (ماچیوال و همکاران، ۲۰۱۱).

یکی از مهم‌ترین مشکلات در استفاده از روش شاخص کیفی آب، محاسبهٔ وزن هر یک از پارامترهاست. استفاده از تجربیات و نظرهای کارشناسی برای تعیین وزن هر پارامتر سبب می‌شود بسیاری از اطلاعات ارزشمند کیفیت آب زیرزمینی بدون استفاده قرار گیرد. از جمله راهکارهای رفع این مشکل، وزن‌دار کردن پارامترها با استفاده از آنتروپی شانون است. شانون از نظریهٔ آنتروپی اطلاعات که امروزه در بسیاری از زمینه‌های مطالعاتی استفاده می‌شود، به‌عنوان ابزاری برای تعیین عدم‌قطعیت یاد می‌کند. از نظریهٔ آنتروپی و بحث دربارهٔ عدم‌قطعیت اطلاعات کمی و کیفی، می‌توان برای حل مسائل مدیریتی منابع آبی استفاده کرد. در این زمینه مطالعاتی انجام شده است که در ادامه به آن‌ها اشاره می‌شود:

پیبو و همکاران (۲۰۱۰) در مطالعه‌ای برای بررسی کیفیت آب در شمال‌غربی چین از آنتروپی وزن‌دار شاخص کیفیت آب استفاده کردند. نتایج نشان داد که نمونه‌های مورد بررسی، دارای کیفیت مناسبی برای شرب هستند. کریشان و همکاران (۲۰۱۶) در منطقهٔ گوجارات هند، کیفیت آب زیرزمینی را مطالعه کردند. آنها برای این منظور، تعدادی از پارامترهای کیفی ۲۷ نمونه آب زیرزمینی را بررسی کردند. نتایج به دست آمده توسط شاخص کیفیت آب نشان داد که ۵۱/۸ درصد نمونه‌ها در محدودهٔ خوب تا عالی قرار داشتند. به بیان دیگر ۴۸/۲ درصد نمونه‌ها قابلیت استفاده برای شرب را نداشتند.

امیری و همکاران (۱۳۹۲) در ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی دشت زنجان، از آنتروپی وزن‌دار شاخص کیفیت آب استفاده کردند. آنها در این مطالعه به بررسی ۱۲ پارامتر در ۵۹ نمونهٔ آب زیرزمینی پرداختند. نتایج نشان داد که ۵/۰۸ درصد نمونه‌های مورد بررسی دارای رتبه ۱ و از کیفیت بسیار خوبی برای مصرف شرب برخوردار هستند. رضایی و امیری (۱۳۹۲) در ارزیابی تغییرات کیفی آب زیرزمینی دشت لنجانات از ترکیب نظریهٔ آنتروپی و تحلیل عاملی استفاده کردند. نتایج حاکی از کارایی بالای این روش در تحلیل و بررسی کیفیت آب بود. بیگی و حشمتی (۱۳۹۴) در ارزیابی کیفیت شرب نمونه‌های سطحی و زیرزمینی شهرکرد از شاخص کیفیت آب استفاده کردند. آنها پس از تهیهٔ نقشه کیفیت آب زیرزمینی شهرکرد به این نتیجه رسیدند که غلظت تمام مؤلفه‌ها در بخش جنوب و جنوب شرقی آبخوان شهرکرد بیشتر از بخش‌های دیگر آبخوان است. حمیدیان و همکاران (۱۳۹۵) کیفیت آب زیرزمینی استان بوشهر را با استفاده از شاخص کیفی آب ارزیابی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که شهرستان‌های جم و کنگان به ترتیب بهترین و بدترین کیفیت آب را دارند. همچنین روند تغییرات کیفیت آب زیرزمینی طی سال‌های مورد مطالعه منفی ارزیابی شد. آخونی پورحسینی و قربانی (۱۳۹۵) در تعیین مؤثرترین پارامتر شیمیایی در کیفیت آب‌های سطحی حوضه صوفی چای از تئوری آنتروپی شانون استفاده کردند. نتایج نشان داد که ایستگاه‌های مختلف دارای پارامترهای تأثیرگذار متفاوت با یکدیگر

1- Water Quality Index (WQI)

www.SID.ir

Archive of SID

هستند. همچنین محاسبه شاخص کیفیت آب با استفاده از روش آنتروپی نشان داد که آب‌های سطحی منطقه، دارای کیفیت عالی هستند.

هدف از این پژوهش ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی دشت میقان از لحاظ شرب است. البته در کنار این هدف برای کاهش قضاوت‌های کارشناسی و حصول نتایج دقیق‌تر از تئوری آنتروپی شانون برای وزن‌دار کردن شاخص کیفیت آب استفاده شد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقهٔ مورد مطالعه

منطقهٔ مورد مطالعه با مساحت ۳۷۱۸ کیلومترمربع بخشی از حوضهٔ آبخیز دریاچهٔ میقان در شمال شهر اراک در استان مرکزی است و بین '۲۰ °۴۹ تا '۱۳ °۵۰ طول شرقی و '۵۰ °۳۳ تا '۴۲ °۳۴ عرض شمالی قرار دارد. از این میان ۴۴درصد مساحت آن را مراتع متوسط و فقیر، ۳۲ درصد زراعت دیم، ۷ درصد اراضی بدون پوشش، ۳ درصد دریاچه میقان، ۲ درصد اراضی کشاورزی و ۱/۷ درصد را مناطق مسکونی تشکیل داده است. مابقی اراضی شامل مناطق کم بازده‌ای است که تلفیقی از زراعت، مرتع و جنگل است و مساحت بسیار کمی نیز شامل باغ می‌شود (شکل ۱). این محدوده از لحاظ هیدرولوژیک شامل یک حوضهٔ بسته است که جریان‌های حاصل از بارش در مرکز آن تجمع پیدا کرده و دریاچه میقان را تشکیل داده است. محدوده مورد بررسی از لحاظ زمین‌شناسی شامل بخش فرو افتاده‌ای است که توسط رسوبات آبرفتی کواترنر انباشته شده و زمان تشکیل آن را ابتدای کرومرین تخمین زده‌اند (قهرودی و همکاران، ۱۳۹۱). تغییرات میزان نزولات جوی در حوضه حدود ۲۱۰ تا ۴۳۰ میلی‌متر است و هرچه به سمت غرب پیش می‌رویم، بر میزان بارندگی افزوده می‌شود. حداقل و حداکثر دمای ثبت شده در طول دورهٔ آماری بلند مدت به‌ترتیب ۳۰/۵- و ۴۴ درجه سانتی‌گراد بوده است.

نمونه‌برداری

در این بررسی از داده‌های کیفی ۴۰ نمونه آب زیرزمینی واقع در دشت میقان استفاده شد. این نقاط شامل چاه‌هایی با عمق ۲۰ تا ۱۲۰ متر و با کاربری‌های صنعتی، کشاورزی و شرب بودند. در انتخاب نقاط نمونه‌برداری سعی بر این بود که نقاط نمونه از همگنی و پراکنش قابل قبولی در سطح منطقه مورد مطالعه برخوردار باشند تا به نوعی پیوستگی مکانی متغیرها حفظ شود. پراکنش نقاط نمونه‌برداری در شکل ۱ مشخص شده است. در ادامه ۱۱ پارامتر کیفی شامل نیترات (NO_3)، هدایت الکتریکی (EC)، اسیدیته (pH)، نیکل (Ni)، سرب (Pb)، مس (Cu)، روی (Zn)، آهن (Fe)، کل مواد جامد محلول (TDS)، اکسیژن محلول (DO) و میزان اکسیژن بیوشیمیایی مورد نیاز (BOD) برای تعیین کیفیت آب زیرزمینی در نظر گرفته شدند (نیازی، ۱۳۸۶).

تحلیل عاملی

تحلیل عاملی، روش آماری چندمتغیره است که با نوعی آرایش مجدد، متغیرهای اصلی را به عامل‌های کمتری کاهش می‌دهد و این عوامل محدود برای تهیه بهترین الگوی بارگذاری قابل تفسیر، مورد استفاده قرار می‌گیرد. نخستین مرحله در تحلیل عامل، استانداردسازی داده‌های خام و محاسبه ماتریس همبستگی بین متغیرهای استاندارد شده است. دومین مرحله محاسبه میزان بار عامل‌هاست که به‌صورت درجه نزدیکی بین عامل و متغیرها بیان می‌شود. در مرحلهٔ آخر با تبدیلات خطی عامل‌های متناظر با اولین دسته از بارگذاری‌ها با چرخش عامل، واریانس متغیرها بیشتر و برای تهیه بهترین الگوی بارگذاری استفاده می‌شود (شوو و همکاران، ۲۰۱۱).

محاسبهٔ وزن‌های شاخص کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از تئوری آنتروپی شانون

شانون مفهوم اطلاعات علمی یا آنتروپی اطلاعاتی را تحت عنوان آنتروپی شانون معرفی کرد. آنتروپی را می‌توان به‌عنوان معیاری از میزان آشفتگی در داخل سیستم تعریف کرد. در واقع آنتروپی شانون مقدار عدم‌قطعیت داده‌های پیش‌بینی شده از یک رخداد تصادفی را بیان می‌کند. وجود اطلاعات مشخص در یک مسأله که سبب کاهش و یا از بین رفتن عدم‌قطعیت می‌شود، می‌تواند به‌عنوان یک شاخص در آنتروپی استفاده شود (شانون، ۱۹۴۸). بنابراین اطلاعات و عدم‌قطعیت به‌عنوان دو مؤلفه که اطلاعات به دست آمده را تشریح می‌کنند، به‌صورت اندازه‌گیری غیرمستقیم از مقدار عدم‌قطعیت کاهش یافته به دست می‌آیند. آنتروپی شانون به‌صورت زیر قابل تعریف

www.SID.ir

Archive of SID

است: تعداد n داده به‌صورت $x \in \{x_1, x_2, ... x_n\}$ با احتمال $p(x_1)$، $p(x_2)$، ... و $p(x_n)$ مفروض است. میزان آنتروپی که یک مقدار واقعی غیرصفر، جمع‌پذیر و یک تابع پیوسته با احتمال p است، به‌صورت زیر تعریف می‌شود (شوو و همکاران، ۲۰۱۱):

$$H(X) = -\sum_{i=1}^{n} p_i . \log_2 p_i \qquad (۱)$$

که $H(X)$ مقدار آنتروپی و p_i میزان احتمال x_i است. برای محاسبهٔ وزن هر یک از پارامترهای کیفی آب بر اساس آنتروپی شانون به‌ترتیب زیر عمل می‌کنیم:

اگر تعداد m نمونه آب در دسترس باشد و تصمیم بر ارزیابی کیفی آب بر اساس n پارامتر باشد، بر اساس داده‌های مشاهداتی ماتریس مقادیر ویژه X به‌صورت زیر خواهد بود:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \qquad (۲)$$

در ادامه باید آماده‌سازی داده‌ها را برای کاهش تأثیر ایجاد شده توسط اختلاف واحد پارامترهای کیفی مختلف انجام داد. بر این اساس با استفاده از تابع زیر نرمال‌سازی داده‌ها انجام شد:

$$y_{ij} = \frac{(x_{ij})_{\max} - x_{ij}}{(x_{ij})_{\max} - (x_{ij})_{\min}} \qquad (۳)$$

پس از نرمال‌سازی داده‌های خام، ماتریس استاندارد داده‌ها به‌صورت زیر خواهد بود:

$$Y = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_{m1} & y_{m2} & \dots & y_{mn} \end{bmatrix} \qquad (۴)$$

در ادامه باید نسبت مقدار شاخص مربوط به پارامتر j در نمونه i را بر اساس معادله زیرمحاسبه کرد:

$$P_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sum_{i=1}^{m} y_{ij}} \qquad (۵)$$

آنتروپی اطلاعات نیز به‌صورت رابطهٔ زیر بیان می‌شود:

$$e_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^{m} p_{ij} \ln p_{ij} \qquad (۶)$$

هرچه مقدار آنتروپی کمتر باشد، تأثیر پارامتر j بیشتر خواهد بود. پس از محاسبهٔ میزان آنتروپی، وزن آنتروپی (w_i) هر پارامتر j با استفاده از معادله زیر به دست آمد:

$$w_i = \frac{1 - e_i}{\sum_{m}^{n} (1 - e_j)} \qquad (۷)$$

محاسبهٔ شاخص کیفیت آب زیرزمینی

برای محاسبهٔ شاخص کیفیت آب، ابتدا لازم است معیار رتبه‌بندی کیفی q_i برای هر یک از پارامترها تعیین شود. برای این منظور از فرمول زیر استفاده می‌شود:

$$q_i = \frac{C_i}{S_j} \times 100 \qquad (۸)$$

که در این معادله C_j غلظت هر پارامتر شیمیایی در هر نمونه (mg/lit) و S_j غلظت همان پارامتر بر اساس یک استاندارد ارزیابی کیفیت آب برای استفاده شرب (mg/lit) است. همان‌طور که قبلاً گفته شد، در این پژوهش از استانداردهای کیفی سازمان بهداشت جهانی (WHO) برای آب شرب در محاسبه شاخص کیفیت آب زیرمینی (GWQI) استفاده شد. در این معادله اگر پارامتر j در آب موجود نباشد، q_j برابر صفر خواهد بود. همچنین اگر مقدار این پارامتر برابر مقدار مجاز باشد، q_j برابر ۱۰۰ خواهد بود.

در انتها شاخص کیفیت آب بر اساس آنتروپی شانون از ضرب مقدار وزن آنتروپی و معیار رتبه‌بندی کیفی هر پارامتر در هم و جمع تمامی این مقادیر با هم به دست می‌آید (جیان هو و همکاران، ۲۰۱۱):

$$EWQI = \sum_{j=1}^{n} w_j q_i \qquad (۹)$$

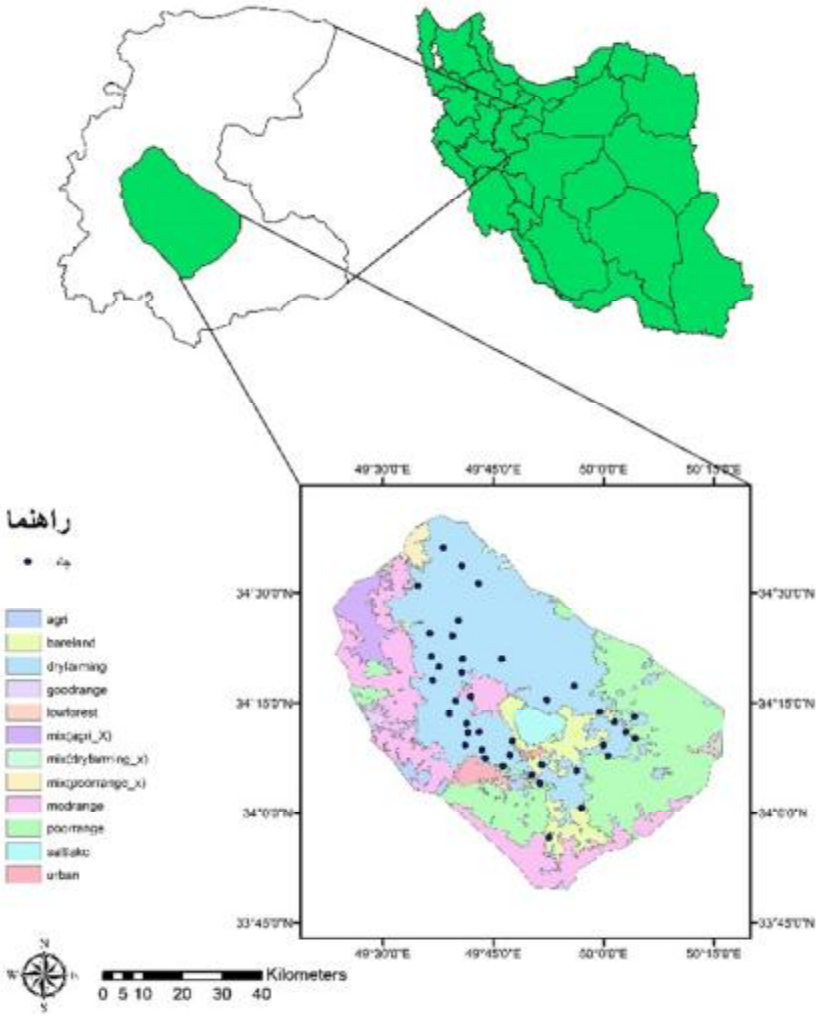
با توجه به مقادیر EWQI، مطابق جدول ۱ می‌توان آب زیرزمینی را از نظر کیفیت شرب در ۵ رده بسیار خوب، خوب، متوسط، بد و بسیار بد قرار داد (پییو و همکاران، ۲۰۱۰). در پایان با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 9.3 و درون‌یابی به روش وزن‌دهی معکوس فاصله‌ای (IDW)، عمل پهنه‌بندی کیفیت چاه‌های محدوده مورد مطالعه انجام گرفت.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- رده‌بندی کیفیت آب شرب بر اساس EWQI (پیبو و همکاران، ۲۰۱۰)

EWQI	رتبه	کیفیت آب
کمتر از ۵۰	۱	بسیار خوب
۵۰ تا ۱۰۰	۲	خوب
۱۰۰ تا ۱۵۰	۳	متوسط
۱۵۰ تا ۲۰۰	۴	بد
بیش از ۲۰۰	۵	خیلی بد



شکل ۱- موقعیت منطقهٔ مورد مطالعه در ایران و استان مرکزی، همچنین نقشهٔ کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه و پراکنش نقاط نمونه‌برداری در آن

نتایج و بحث

خلاصهٔ آماری مربوط به مؤلفه‌های مورد بررسی در آب زیرزمینی دشت میقان در جدول ۲ ارائه شده است. همان‌طور که در این جدول مشخص است، برخی از پارامترها دارای محدودیت و برخی بدون محدودیت هستند. کمینه تمامی پارامترها کمتر از حد مطلوب استاندارد سازمان بهداشت جهانی است. برخی پارامترها نظیر pH، Cu و Zn در تمامی نمونه‌ها بدون محدودیت هستند و میزان بیشینهٔ آن‌ها نیزکمتر از حد مطلوب است. با نگاهی اجمالی می‌توان دریافت که بیش از ۹۵ درصد نمونه‌های مورد بررسی از لحاظ پارامترهای NO_3، Ni و Fe بدون محدودیت هستند، به‌عبارت دیگر کمتر از ۵ درصد

www.SID.ir

Archive of SID

چاه‌ها (کمتر از ۲ چاه از میان ۴۰ چاه) دارای محدودیت عناصر یادشده هستند. میزان EC در بیش از ۹۵ درصد چاه‌ها بیش از حد مطلوب است تا جایی که بیشینه این پارامتر از ۱۳ برابر حد مطلوب نیز فراتر رفته است.

میزان عنصر Pb در حدود ۵۰ درصد از نمونه‌ها بیش از حد مطلوب است. این پارامتر در ۵ درصد از نمونه‌های مورد بررسی بیش از ۴ برابر حد مطلوب است. مقدار TDS در بیش از ۵۰ درصد نمونه‌ها فراتر از حد مطلوب است. همان‌طور که در جدول ۲ مشخص است، در ۲۵ درصد نمونه‌ها میزان TDS بیش از دو برابر و در کمتر از ۱۰ درصد نمونه‌ها بیش از ۴ برابر حد مطلوب است. افزایش EC و TDS می‌تواند ناشی از وجود رسوبات تبخیری انباشته شده در منطقه مورد مطالعه باشد. همچنین بالابودن برخی فلزات سنگین مانند Pb با توجه به پیشینه صنعتی بودن منطقه اراک قابل توجیه است.

تنها ۱۰ درصد نمونه‌ها دارای مقدار DO در حد مطلوب هستند و در غالب نمونه‌ها مطلوبیتی مشاهده نمی‌شود. بیش از ۷۵ درصد نمونه‌ها از لحاظ BOD بدون مشکل هستند. از جمله ویژگی‌های آماری این پارامتر این است که دامنه تغییرات بین داده‌ها زیاد است و این پارامتر از ۰ تا ۱۰/۹۵ تغییر می‌کند و بیشترین تغییرات در صدک بیش از ۹۰ اتفاق می‌افتد. با توجه به اینکه نمونه‌های موردبررسی در این مطالعه، از مناطق شهری و روستایی و همچنین نزدیک بسیاری از واحدهای صنعتی و کشاورزی تهیه شده‌اند، افزایش یا به تعبیری دیگر نوسانات زیاد پارامترهای کیفی همچون DO و BOD دور از انتظار نیست. امیری و همکاران (۱۳۹۲) نیز در پژوهشی مشابه، بر این موضوع تأکید داشتند.

تنها ۱۰ درصد نمونه‌ها دارای مقدار DO در حد مطلوب هستند و در غالب نمونه‌ها مطلوبیتی مشاهده نمی‌شود. بیش از ۷۵ درصد نمونه‌ها از لحاظ BOD بدون مشکل هستند. از جمله ویژگی‌های آماری این پارامتر این است که دامنه تغییرات بین داده‌ها زیاد است و این پارامتر از ۰ تا ۱۰/۹۵ تغییر می‌کند و بیشترین تغییرات در صدک بیش از ۹۰ اتفاق می‌افتد. با توجه به اینکه نمونه‌های موردبررسی در این مطالعه، از مناطق شهری و روستایی و همچنین نزدیک بسیاری از واحدهای صنعتی و کشاورزی تهیه شده‌اند، افزایش یا به تعبیری دیگر نوسانات زیاد پارامترهای کیفی همچون DO و BOD دور از انتظار نیست. امیری و همکاران (۱۳۹۲) نیز در پژوهشی مشابه، بر این موضوع تأکید داشتند.

جدول ۲- خلاصه آماری مؤلفه‌های کیفی آب زیرزمینی دشت میقان و حدود مطلوب WHO برای آب شرب

پارامتر	کمینه	بیشینه	میانگین	صدک						WHO
				۵	۱۰	۲۵	۵۰	۷۵	۹۰	۹۵	
NO_3(mg/lit)	۵/۲	۵۳/۸	۲۲/۸۶	۵/۶	۱۰/۱	۱۵/۷	۲۲/۶	۲۹/۱	۳۵	۴۸/۸	۵۰
EC(µmohs/cm)	۳۴۳	۶۷۸۰	۲۱۱۰	۵۶۲	۶۶۹	۷۴۴	۱۵۱۰	۲۶۹۹	۵۵۷۴	۶۷۶۲	۵۰۰
pH	۶/۴	۸/۱	۷/۳۳	۶/۷۱	۶/۹۱	۷/۱۲	۷/۳۰	۷/۶۰	۷/۸۰	۷/۹۹	۷/۵-۸/۵
Ni(mg/lit)	۰/۰۲	۰/۵۱	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۳۱	۰/۰۴۰	۰/۰۴۷	۰/۰۵۵	۰/۰۵۸	۰/۰۷۱	۰/۱
Pb(mg/lit)	۰	۰/۰۴	۰/۰۱	۰	۰	۰/۰۰۲	۰/۰۱۵	۰/۰۲	۰/۰۳۷	۰/۰۴۰	۰/۰۱
Cu(mg/lit)	۰	۰/۰۵	۰/۰۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰۱۱	۰/۰۳۹	۲
Zn(mg/lit)	۰	۰/۴۶	۰/۰۴	۰	۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۷	۰/۰۴۵	۰/۱۰۳	۰/۳۸۸	۳
Fe(mg/lit)	۰/۰۱	۰/۶۲	۰/۱۱	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۱۰	۰/۱۲	۰/۱۴	۰/۳۱	۰/۳
DO(mg/lit)	۳/۲	۱۰/۱	۶/۳۸	۴/۵	۵	۵/۷	۶/۴	۶/۸	۸/۱	۸/۴	۵
TDS(mg/lit)	۲۷۸	۴۴۱۰	۱۰۵۴	۳۱۷	۳۱۹	۳۶۴	۷۱۰	۱۳۵۶	۲۵۳۷	۳۳۸۲	۶۰۰
BOD(mg/lit)	۰	۱۰/۹۵	۱/۲۹	۰	۰	۰	۰/۱	۱/۳	۴/۱	۹/۶	۲

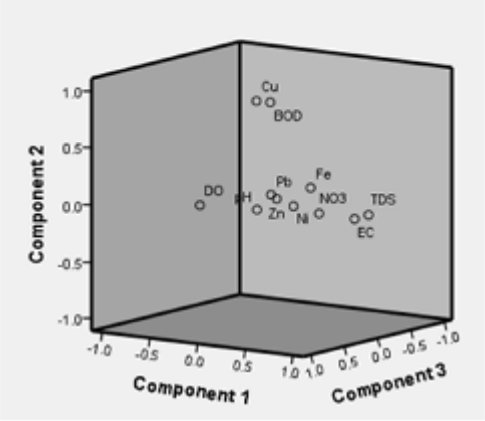
نتایج تحلیل عاملی و مقدار بار دوران یافته عامل‌ها بر اساس چرخش Varimax در جدول ۳ مشخص شده است. بر این اساس، نتایج تحلیل عاملی ۴۰ نمونه مورد مطالعه نشان داد که ۱۱ پارامتر ارزیابی آب‌های زیرزمینی دشت

www.SID.ir

Archive of SID

میقان توسط ۵ مؤلفه کنترل می‌شوند. این ۵ عامل ۷۰/۴۸ درصد تغییرات کیفیت آب را توجیه می‌کنند. در این میان عامل ۱ با بیش از ۲۱ درصد تغییرات دارای بیشترین نقش و بعد از آن عامل‌های ۲ تا ۵ به‌ترتیب با ۱۳/۹۱، ۱۳/۰۲، ۱۰/۹۲ و ۱۰/۷ درصد مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر کیفیت دشت میقان هستند. معمولاً عامل اول بیشترین واریانس را به خود اختصاص می‌دهد و به‌تدریج عامل‌های بعدی از واریانس کمتری دارند. پارامترهای EC و TDS همبستگی بسیار قوی با مؤلفهٔ اول تحلیل عاملیداشتند (باید توجه داشت که پارامترهایEC و TDS با یکدیگر رابطهٔ مستقیم دارند). به نظر می‌رسد مهم‌ترین علت این موضوع وجود رسوبات آبرفتی و تبخیری در سطح منطقه و گسترش آن در اعماق و تأثیرگذاری مستقیم بر کیفیت آب زیرزمینی باشد. هر قدر رسوبات تشکیل‌دهندهٔ آبخوان ریزدانه‌تر باشند، سرعت حرکت آب زیرزمینی آهسته‌تر است و میزان املاح زیرزمینی افزایش می‌یابد. خدایی و همکاران (۱۳۹۴) در بررسی تعیین عوامل مؤثر بر کیفیت آلودگی آب زیرزمینی دشت دزفول- اندیمشک، از همبستگی بالای پارامترهایEC و TDS با مؤلفهٔ اول تحلیل عاملی خبر دادند. آنها علت این همبستگی را وجود رسوبات ریزدانهٔ تشکیل‌دهندهٔ آبخوان عنوان کردند.

همچنین Cu بیشترین همبستگی را با عامل ۲، Fe و DO بیشترین همبستگی را با عامل ۳، pH و Zn بیشترین همبستگی را با عامل ۴ و Pb بیشترین همبستگی را با عامل ۵ داشتند. آرایش فضایی همبستگی پارامترهای مورد ارزیابی بر اساس سه مؤلفه در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲- آرایش فضایی همبستگی پارامترهای مورد ارزیابی بر اساس سه مؤلفه

جدول ۳- ماتریس مؤلفه‌های دوران یافته بر اساس چرخش Varimax

پارامتر	عامل ۱	عامل ۲	عامل ۳	عامل ۴	عامل ۵
NO_3	۰/۵۰۳	-۰/۰۷۲	۰/۰۰۸	۰/۴۵۲	۰/۴۴۳
EC	۰/۹۰۵	-۰/۰۷۳	۰/۰۵۱	-۰/۰۰۸	۰/۰۱۰
pH	۰/۰۸۶	-۰/۰۳۳	۰/۳۴۳	۰/۶۸۶	۰/۰۷۰
Ni	۰/۳۸۰	۰/۰۰۹	۰/۲۱۶	-۰/۳۲۱	۰/۵۳۰
Pb	۰/۰۸۵	۰/۰۶۷	۰/۱۳۲	-۰/۰۸۰	-۰/۸۶۱
Cu	-۰/۰۷۳	۰/۸۷۷	۰/۱۲۵	۰/۰۶۱	۰/۱۱۹
Zn	-۰/۰۸۶	-۰/۰۳۴	-۰/۱۹۸	۰/۷۱۶	۰/۰۴۸
Fe	-۰/۱۲۷	-۰/۰۲۳	-۰/۷۶۴	-۰/۰۸۶	۰/۱۳۵
TDS	۰/۹۲۱	-۰/۰۶۳	-۰/۱۳۶	-۰/۰۲۰	-۰/۰۱
DO	-۰/۲۱۴	۰/۰۳۷	۰/۷۷۰	-۰/۰۸۵	۰/۱۰۱
BOD	-۰/۰۶۶	۰/۸۳۷	-۰/۰۷۲	-۰/۱۵۲	-۰/۲۳۰
مقدار ویژه	۲/۴۱۱	۱/۵۳۱	۱/۴۳۳	۱/۲۰۱	۱/۱۷۷
واریانس (٪)	۲۱/۹۲۱	۱۳/۹۱۸	۱۳/۰۲۷	۱۰/۹۲۱	۱۰/۷
واریانس تجمعی (٪)	۲۱/۹۲۱	۳۵/۸۳۹	۴۸/۸۶۶	۵۹/۷۸۷	۷۰/۴۸۷

نتایج مربوط به وزن هر یک از پارامترها بر اساس آنتروپی شانون در جدول ۴ ارائه شده است. با توجه به این جدول، Cu دارای بیشترین وزن (۳۴/۸۲ درصد) است. پارامترهای Zn و BOD نیز با داشتن سهم برابر ۱۹ درصد در درجات بعدی قرار دارند.کمترین وزن مشاهده شده مربوط به پارامتر pH است. شو و همکاران (۲۰۱۱) در بررسی کیفیت آب با استفاده از تئوری آنتروپی در تایوان ضمن تأکید بر این موضوع که پارامترهای دارای بالاترین وزن

www.SID.ir

Archive of SID

آنتروپی، بیشترین تأثیرگذاری را بر کیفیت آب دارند، بیان داشتند که فلزات سنگین جزء پارامترهایی هستند که بیشترین وزن و به تبع آن بیشترین تأثیر را بر کیفیت آب دارند.

در ادامه پس از تعیین وزن هر یک از پارامترها و همچنین مقایسهٔ میانگین هر پارامتر با استانداردWHO و استفاده از معادلات مربوطه، مقادیر EWQI برای هر یک از نمونه‌ها تعیین شد (جدول ۵).

بر اساس نتایج ارائه شده، ۲۳ نمونه مورد مطالعه، یعنی ۵۷/۵ درصد از نمونه‌ها دارای کیفیت بسیار خوب برای مصرف شرب هستند. ۲۷/۵ درصد نمونه‌ها یعنی تعداد ۱۱ نمونه، دارای رتبه ۲ و کیفیت خوب‌اند. نمونه‌های دارای رتبه ۳ و کیفیت متوسط ۱۲/۵ درصد کل نمونه‌ها را تشکیل می‌دهد که این مقدار معادل ۵ نمونه است. در نهایت ۱ نمونه که معادل ۲/۵ درصد کل نمونه‌هاست، دارای کیفیت بد می‌باشد. حضور برخی پارامترها نظیر EC، TDS، BOD، Zn، Pb و Cu سبب کاهش کیفیت آب می‌شود و این موضوع بر اساس دو ماهیت متفاوت شکل می‌گیرد. یکی منشاء طبیعی، زمین‌شناسی و وضعیت شیمیایی حاکم بر محیط و دیگری دخالت‌های بشری که در صورت استفاده از کودهای شیمیایی، نشت و نفوذ فاضلاب‌های انسانی و صنعتی و ... شکل می‌گیرد. نقشهٔ پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی منطقهٔ مورد مطالعه و موقعیت قرار گیری چاه‌ها در سازندهای زمین شناسی به‌ترتیب در شکل ۳- الف و ۳- ب ارائه شده است.

همان‌طور که قبلاً ذکر شد، حوضهٔ آبریز میقان به‌صورت یک حوضهٔ بسته است، بیرونی‌ترین لایه‌ها مشرف به پادگانه‌های آبرفتی و رسوبات سیلابی است. غالب نمونه‌های با کیفیت بسیار خوب در این ناحیه واقع شده است. این مناطق همچنین به نوعی عمل تغذیه آب‌های زیرزمینی را نیز بر عهده دارد. با وارد شدن به منطقه کم ارتفاع و دشتی کیفیت آب کاهش می‌یابد. تأثیرگذاری سازندهای مارنی نیمهٔ غربی حوضه و حمل رسوبات آن توسط رودهای فصلی و آبراهه‌ها و رسوب‌گذاری آن‌ها در این منطقه و در ادامه آبشویی این املاح سبب کاهش کیفیت آب شده است. البته در این میان حضور چاه‌های جذبی فاضلاب، استفاده از سموم کشاورزی در منطقه و مجاورت با شهر اراک، به‌عنوان یکی از صنعتی‌ترین شهرهای ایران، نقش قابل توجهی در آلودگی و کاهش کیفیت آب دارد.

جدول ۴- نتایج مربوط به درصد وزن هر یک از پارامترها بر اساس آنتروپی شانون

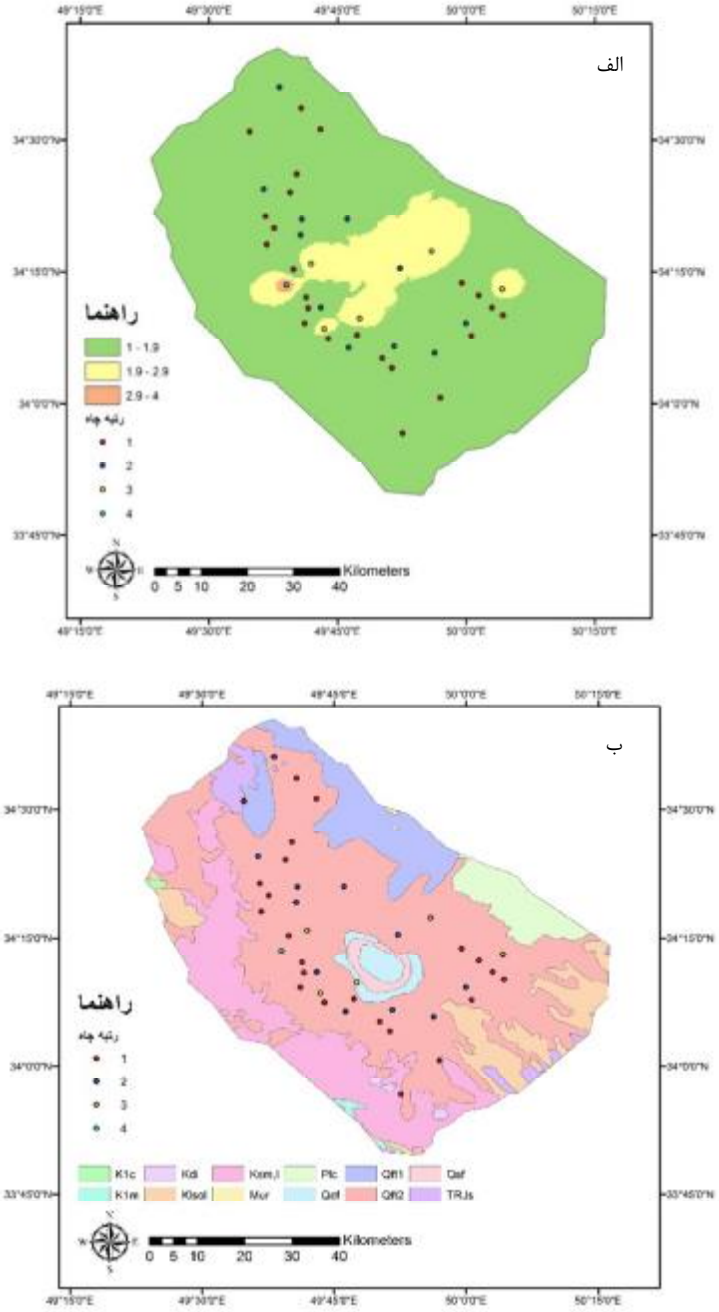
پارامتر	وزن آنتروپی	پارامتر	وزن آنتروپی	پارامتر	وزن آنتروپی
NO_3	۴/۶۴	Pb	۶/۰۷	TDS	۴/۹۲
EC	۴/۶۴	Cu	۳۴/۸۲	DO	۰/۲۸
pH	۰/۰۲	Zn	۱۹/۴۹	BOD	۱۹/۱۵
Ni	۵/۰۴	Fe	۳/۹۵		

جدول ۵- مقادیر محاسبه شده EWQI و رتبه کیفی هر نمونه برای مصرف شرب بر اساس استاندارد WHO

نمونه	EWQI	رتبه	نمونه	EWQI	رتبه	نمونه	EWQI	رتبه	نمونه	EWQI	رتبه
۱	۲۶/۶۸	۱	۱۱	۱۶/۵۷	۳	۲۱	۶۵/۹۴	۲	۳۱	۱۱۳/۲۱	۳
۲	۲۵/۶۲	۱	۱۲	۲۶/۸۷	۰/۰۸۰	۲۲	۲۴/۹۹	۱	۳۲	۳۱/۶۹	۱
۳	۴۱/۵۸	۱	۱۳	۲۸/۳۲	۱	۲۳	۵۱/۹۲	۲	۳۳	۱۵۷/۲۱	۴
۴	۳۷/۵۷	۱	۱۴	۱۳۳/۴۱	۳	۲۴	۶۷/۱۳	۲	۳۴	۴۱/۹۰	۱
۵	۶۱/۶۳	۲	۱۵	۴۰/۱۶	۱	۲۵	۲۵/۳۹	۱	۳۵	۹۷/۰۱	۲
۶	۲۶/۸۱	۱	۱۶	۶۶/۰۹	۲	۲۶	۱۱۴/۸۷	۳	۳۶	۳۶/۳۸	۱
۷	۲۸/۲۳	۱	۱۷	۷۳	۲	۲۷	۴۰/۸۶	۱	۳۷	۴۵/۴۸	۱
۸	۷۰/۹۰	۲	۱۸	۲۶/۳۴	۱	۲۸	۶۰/۲۸	۲	۳۸	۴۱/۶۳	۱
۹	۶۱/۱۷	۲	۱۹	۷۸/۷۱	۲	۲۹	۳۷/۲۹	۱	۳۹	۳۲/۵۷	۱
۱۰	۳۸/۶۰	۱	۲۰	۴۹/۶۶	۱	۳۰	۱۱۹/۸۲	۳	۴۰	۱۱۴/۴۸	۳

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳- نقشهٔ پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی بر اساس EWQI (الف)، موقعیت چاه‌های مورد مطالعه در سازندهای زمین شناسی (ب)

نتیجه‌گیری

مطالعهٔ حاضر، با هدف ارزیابی و تحلیل کیفی منابع آب شرب زیرزمینی در دشت میقان اراک انجام شد. در کنار این هدف، استفاده از تئوری آنتروپی شانون برای استخراج وزن پارامترهای موجود در دستور کار قرار گرفت. تصمیم‌گیری بر اساس نظریات شخصی و کارشناسی یا یکسان مفروض دانستن تمام اوزان پارامترها، ضمن نادیده گرفتن اهمیت پارامترهای مختلف سبب ایجاد خطا و دور شدن از نتایج حقیقی می‌شود. یکی از روش‌های محاسبه وزن پارامترهای مختلف در یک ارزیابی، استفاده از تئوری آنتروپی است؛ بنابراین استفاده از نظریهٔ آنتروپی اطلاعات برای ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی می‌تواند ابزاری سودمند برای تحلیل عدم‌قطعیت و نوسان‌های مشخصه هر عامل باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

۱. امیری و، نخعی م، و سهرابی ن، ۱۳۹۲، ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی بر اساس آنتروپی وزن‌دار شاخص کیفیت آب، مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، ۷: ۳۱-۳۹.

۲. آخونی پورحسینی ف، و قربانی م، ح، ۱۳۹۵، کاربرد آنتروپی شانون در تعیین مؤثرترین پارامتر شیمیایی در کیفیت آب‌های سطحی (حوضه صوفی چای)، محیط‌زیست و مهندسی آب، ۴: ۳۰۴-۳۱۶.

۳. بیگی هرچگانی ح، و حشمتی س، س، ۱۳۹۴، اقتباس از یک شاخص کیفیت آب برای ارزیابی کیفیت شرب نمونه‌های منفرد آب سطحی و زیرزمینی و مقایسه نتایج با روش اولیه، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، ۷۲: ۳۶۱-۳۷۴.

۴. حمیدیان ل، معراجی س، ح، فیجانی ا، و بطالبلویی ص، ۱۳۹۵، ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی استان بوشهر با استفاده از شاخص کیفی آب، هیدروژئولوژی، ۲(۱): ۳۱-۴۳.

۵. خدایی ک، ناصری ح، ر، شهسواری ع، ا، هاتفی ر، و اسدیان ف، ۱۳۹۴، تعیین عوامل مؤثر بر کیفیت و آلودگی آب زیرزمینی دشت دزفول- اندیمشک با استفاده از روش تحلیل عاملی، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، ۳۴: ۱-۱۸.

۶. رضایی م، و امیری و، ۱۳۹۲، ارزیابی تغییرات کیفی آب زیرزمینی دشت لنجان با استفاده از تحلیل عاملی ترکیب شده با نظریهٔ آنتروپی اطلاعات، مجله محیط‌شناسی، ۳۹(۲): ۳۳-۴۴.

۷. عباسی جندانی ش، و طالبی ع، ۱۳۹۴، مدل‌سازی تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب زیرزمینی در مناطق خشک با استفاده از روش‌های زمین آمار (مطالعه موردی: دشت کوهپایه- سگزی اصفهان)، دو ماهنامه علمی پژوهشی طلوع بهداشت، ۴۹: ۱۲۳-۱۳۷.

۸. قهرودی تالی م، میرزاخانی ب، و عسکری آ، ۱۳۹۱، پدیده کویرزایی در تالاب‌های ایران (مطالعه موردی: تالاب میقان)، جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۴: ۹۷-۱۱۱.

۹. نیازی ا، ۱۳۸۶، بررسی و مدل‌سازی آلودگی نیترات در منابع آب زیرزمینی ناشی از فعالیت‌های کشاورزی، مطالعه موردی: دشت اراک، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۴۲ ص.

10. Horton R. K. 1965. An index number system for rating water quality. Journal-Water Pollution Control Federation. 37: 300-305
11. Jian-Hua W. Pei-Yue L. and Hui Q. 2011. Groundwater Quality in Jingyuan County, in Northwest China. E-Journal of Chemistry. 8(2): 787-793.
12. Krishna G. Singh S. CP K. Gurjar S. and NC G. 2016. Assessment of Water Quality Index (WQI) of Groundwater in Rajkot District, Gujarat, India. Journal of earth science and climate change. 7(3): 1-4.
13. Machiwal D. Jha M. K. and Mal B. C. 2011. GIS-based assessment and characterization of groundwater quality in a hard-rock hilly terrain of Western India. Environmental Monitoring and Assessment. 174(1-4): 645-663.
14. Pei-Yue L. Hui Q. and Jian-Hua W. 2010. Groundwater Quality Assessment Based on Improved Water Quality Index in Pengyang County, Ningxia, Northwest China. E-Journal of Chemistry. 7(S1): 209-216.
15. Ramakrishnaiah C. R. Sadadhiv C. and Rangnna G. 2009. Assessment of water quality index for the groundwater in Tumkur Taluk, Karnataka State, India. E-Journal of Chemistry. 6(2): 523-530.
16. Shannon C. E. 1948. A Mathematical Theory of Communication. The Bell System Technical Journal. 27(4): 623-656.
17. Shyu G. S. Cheng B. Y. Chiang C. T. Yao P. H. and Chang T. K. 2011. Applying Factor Analysis Combined with Kriging and Information Entropy Theory for Mapping and Evaluating the Stability of Groundwater Quality Variation in Taiwan. International Journal of Environment Research and Public Health. 8: 1084-1109.
18. WHO. 1948. Guidelines for drinking water quality. Recommendations, Geneva and World Health Organization. Vol. 1, pp. 188.

www.SID.ir