مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته

بهار ۹۲، شماره ۷

ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی بر اساس انتروپی وزن‌دار شاخص کیفیت آب

وهاب امیری

دانشجوی دکتری هیدروژئولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی

محمد نخعی

دانشیار هیدروژئولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی

نسیم سهرابی

دانشجوی دکتری هیدروژئولوژی، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ دریافت: ۹۱/۸/۲۴ *تاریخ پذیرش: ۹۲/۷/۲۸*

Vahab.Amiri@yahoo.com

چکیده

در این مطالعه برخی از نمونه‌های آب زیرزمینی دشت زنجان بر اساس استاندارد WHO از نظر کیفیت آب شرب مورد بررسی قرار گرفته است. به منظور جلوگیری از قضاوت‌های کارشناسی در مورد وزن هر پارامتر که در روش WQI رخ می‌دهد، ، از انتروپی وزن‌دار شاخص کیفیت (EWQI) برای ارزیابی دقیق‌تر کیفیت آب زیرزمینی استفاده شد. نتایج تحلیل عاملی نشان می‌دهد که بیش از ۷۵ درصد تغییرات کیفی آب زیرزمینی دشت زنجان را می‌توان بوسیله ۴ عامل و با استفاده از ۱۲ پارامتر شامل Ca، Na، K، Mg، NO_3، Cr، Zn، EC، TDS، pH، DO و BOD مورد بررسی قرار داد. عامل ۱ با کنترل بیش از ۳۳ درصد تغییرات دارای بیش‌ترین نقش بوده و پس از آن عامل ۲ با بیش از ۱۹ درصد، عامل ۳ با بیش از ۱۲ درصد و عامل ۴ با نزدیک به ۱۰ درصد مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر کیفیت آب در دشت زنجان می‌باشند. بر اساس مقدار انتروپی و وزن انتروپی محاسبه شده برای هر پارامتر، Zn دارای بالاترین نرخ تأثیرگذاری بر کیفیت آب زیرزمینی دشت زنجان می‌باشد و پس از آن Na، Ca، NO_3، pH، K، Mg، DO در رده‌های بعدی قرار دارند. بر اساس EWQI، ۵/۰۸ درصد از کل ۵۹ نمونه مورد بررسی دارای رتبه ۱ و کیفیت بسیار خوب برای مصرف شرب می‌باشند. بالاترین تعداد نمونه‌ها، معادل ۷۲/۸۸ درصد که ۴۳ مورد می‌باشد دارای رتبه ۲ و کیفیت خوبی هستند. نمونه‌های دارای رتبه ۳ و کیفیت متوسط ۱۰/۱۶ درصد کل نمونه‌ها را تشکیل می‌دهد. ۶/۷۷ درصد نمونه ها دارای رتبه ۴ و کیفیت ضعیف می‌باشد و نهایتاً ۵/۰۸ درصد کل نمونه‌ها دارای رتبه ۵ و کیفیت بسیار بد می‌باشد.

کلمات کلیدی: *کیفیت آب شرب، WQI، تحلیل عاملی، وزن انتروپی، EWQI، دشت زنجان*

مقدمه

در دهه‌های گذشته با افزایش جمعیت و گسترش صنایع، تقاضای استفاده از منابع آبی سطحی و زیرزمینی بسیار زیاد شده است. سلامت و بهداشت زندگی انسان در ارتباط نزدیک با کیفیت آب زیرزمینی به عنوان مهم‌ترین منبع تأمین آب مصرفی در بسیاری از نقاط دنیا می‌باشد. کیفیت آب زیرزمینی به دلیل عوامل مختلفی همچون ورود فاضلاب شهری، روستایی و صنعتی، ورود کودهای شیمیایی، نشت از مخازن و خطوط انتقال نفت، محل‌های دفن زباله در معرض کاهش و تخریب قرار می‌گیرد. با افزایش شهرنشینی و توسعه شهرها شاهد افزایش برداشت از منابع آب زیرزمینی و دفع نامناسب زباله‌های تولیدی از این مناطق و همچنین افزایش تولید واحدهای صنعتی به منظور تأمین کالاها و مواد مورد نیاز بوده و همین امر موجب تولید و نشت آلودگی از این مناطق به میزان فراوان می‌شود.

امروزه روش‌های گوناگونی برای ارزیابی کیفیت آب مورد استفاده قرار امروزه روش‌های گوناگونی برای ارزیابی کیفیت آب مورد استفاده قرار می‌گیرد که از آن جمله می‌توان به روش‌های فازی، درجه عضویت، تحلیل عاملی، مدلسازی خاکستری و پردازش سلسه مراتبی تحلیلی اشاره کرد. با این وجود، این روش‌ها قابلیت توصیف دقیق مواد آلوده کننده آب را ندارند و نمی‌توان توضیح داد که پارامترهای انتخابی جهت ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی در منطقه مورد نظر مناسب هستند یا خیر (Jian-Hua 2011,et al).

روش شاخص کیفی آب (WQI) مکانیسمی است که در آن برای سطح مشخص کیفیت آب زیرزمینی از یک بیان عددی استفاده می‌کند. امروزه این روش با توجه به قابلیت بالای آن در بیان و توصیف کامل اطلاعات کیفی آب و همچنین بکارگیری پارامترهای مهم و تأثیرگذار در ارزیابی و مدیریت کیفیت آب زیرزمینی در بسیاری از نقاط جهان مورد توجه و استفاده قرار می‌گیرد (Simoes et al, 2008). در این زمینه مطالعات متعددی صورت گرفته که در ادامه به ذکر برخی از آن ها پرداخته شده است. پراواسیسواران و همکاران با بررسی کیفیت آب زیرزمینی منطقه Hosur در چندین نقطه و بهره‌گیری از ۱۴ پارامتر هیدروشیمیایی به تحلیل کیفیت آب زیرزمینی پرداخته و تعیین کردند که نمونه‌های مورد بررسی قابلیت استفاده مستقیم برای مصارف شرب را ندارد (perajankar et al,2008).

در مطالعه‌ای که راجانکار و همکاران در آن به تحلیل کیفیت آب زیرزمینی Maharashtra هند در ۲۲ نقطه و در دو فصل تر و خشک پرداختند، نتایج بررسی‌ها براساس شاخص کیفی آب (WQI) تغییرات محسوس کیفیت آب زیرزمینی را نشان داد (perajankar et al,2008). رضا و سینگ با ارزیابی وضعیت کیفیت آب زیرزمینی منطقه Orissa پرداخته و اعلام کردند که بر اساس WQI ، آب زیرزمینی این ناحیه تأثیرپذیری زیادی از غلظت املاح محلول (فلوئور، نیترات، کلسیم و منیزیم) دارد (Reza and Singh, 2010). در مطالعه‌ای که

www.SID.ir

Archive of SID

ایشاکو در سال ۲۰۱۱ به منظور ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی منطقه Jimeta-Yola در شمال شرق نیجریه انجام داد، شاخص WQI نشان داد که در فصل خشک نسبت به فصل تر دارای مقدار شاخص کمتری است و این نشان از کیفیت بهتر منابع آبی دارد (Ishaku, 2011).

علیرغم استفاده گسترده از شاخص کیفیت آب (WQI)، در طی محاسبات WQI وزن هر پارامتر معمولاً بصورت تجربی و توسط کارشناس تعیین می‌شود و به این طریق بسیاری از اطلاعات ارزشمند کیفیت آب زیرزمینی بدون استفاده قرار می‌گیرد. در این مطالعه از رابطه بهینه شده WQI که در آن از وزن انتروپی استفاده شده است (IWQI) بهره گرفته شده است. در همین زمینه نیز می‌توان به مطالعات متعددی اشاره کرد. در مطالعه‌ای که پی یو و همکاران در منطقه Pengyang در شمال غربی چین انجام دادند، ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از انتروپی وزن‌دار شاخص کیفیت آب (EWQI) نتایجی قابل اعتماد و مناسبی در اختیار قرار داد (Pei-Yue et al,2010). جیان هوا و همکاران با استفاده از EWQI به تحلیل وضعیت کیفیت آب زیرزمینی منطقه Jingyan در شمال غربی چین پرداختند و نشان دادند که نمونه‌های مورد بررسی دارای کیفیت مناسبی برای شرب می‌باشند (jian- hua et al, 2011).

مواد و روش‌ها

در این مطالعه از ۵۹ نمونه آب زیرزمینی تهیه شده از دشت زنجان در سال ۱۳۸۸ برای تحلیل‌های کیفی استفاده شده است. نمونه‌های مورد نظر از نقاط مختلف دشت و مناطقی همچون چاه‌های عمیق کشاورزی و شرب، چاه‌های کم عمق روستایی، چاه‌های موجود در اماکن صنعتی و تفریحی و چاه‌های حفر شده در نزدیکی منابع آلودگی مانند تخلیه فاضلاب شهری و روستایی تهیه شد. در این مطالعه از ۱۲ پارامتر کیفی جهت ارزیابی وضعیت کیفیت آب زیرزمینی برای مصرف شرب استفاده شد که شامل کلسیم(Ca)، سدیم(Na)، پتاسیم(K)، منیزیم(Mg)، نیترات(NO_3)، کروم(Cr)، روی(Zn)، هدایت الکتریکی(EC)، کل مواد جامد محلول(TDS)، اسیدیته(pH)، اکسیژن محلول(DO) و میزان اکسیژن بیوشیمیایی مورد نیاز (BOD) می‌باشد.

در مرحله نخست مطالعه، استفاده از تحلیل عاملی، تحلیل خصوصیات آماری پارامترهای هیدروشیمیایی و همچنین بررسی موقعیت زمین‌شناسی منطقه نمونه‌برداری می‌تواند بدرستی سهم هر یک از پارامترها را در تغییرات کیفی نمونه‌های تهیه شده نشان دهد.

پس از بررسی‌های مقدماتی، با بهره‌گیری از روش بهبود یافته شاخص کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از انتروپی وزن‌دار (IWQI یا EWQI) به تحلیل کیفیت آب زیرزمینی در دشت زنجان پرداخته شده است.

مفهوم انتروپی نخستین بار در سال ۱۹۴۸ توسط شانون ارائه شد و برای بیان عدم قطعیت یک رخداد تصادفی یا مقدار بار اطلاعاتی یک پارامتر مورد استفاده قرار می‌گیرد (Guey-Shin et al,2011).

انتروپی شانون میزان عدم قطعیت داده‌های پیش‌بینی شده از یک رخداد احتمالی را نشان می‌دهد. از نظر ریاضیاتی، رابطه‌ای عکس بین میزان داده‌ها و احتمال رخداد یک امر وجود دارد. اگر رخداد یک امر به صورت دقیق پیش‌بینی شود میزان احتمال آن بالا خواهد بود و بالعکس، انتروپی شانون کوچک خواهد بود. بنابراین، اطلاعات و عدم قطعیت به عنوان دو مولفه که اطلاعات بدست آمده را تشریح می‌کنند به صورت اندازه‌گیری غیر مستقیم از مقدار عدم قطعیت کاهش یافته بدست می‌آیند.

امروزه رشته‌های مختلف اکولوژی، هیدرولوژی و کیفیت منابع آب از تئوری انتروپی استفاده می‌کنند (Kawachi et al,2001، Ozkul et al;2001 Ulanowicz, 2001;2000). انتروپی شانون به صورت زیر قابل تعریف است: فرض کنید تعداد n داده ممکن به صورت $X \in \{x_1, x_2, ..., x_n\}$ با احتمالات $p(x_1)$ ، $p(x_2)$ و ...$p(x_n)$ در دسترس باشد. فرض اساسی انتروپی بر میزان داده‌ها استوار است، H(X)، که یک مقدار واقعی غیر صفر، جمع‌پذیر و یک تابع پیوسته با احتمال p است. بنابراین، انتروپی H(X) به صورت زیر تعریف می‌شود:

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

که p_i میزان احتمال x_i می‌باشد (Guey-Shin et al,2011).

همانطور که پیش از این ذکر شد، در این مطالعه از اندیس بهینه شده WQI برای ارزیابی منابع آبی در این دشت استفاده شد. برای محاسبه EWQI باید سه مرحله را دنبال کرد. در مرحله نخست باید وزن انتروپی هر پارامتر را محاسبه کرد.

مراحل محاسبه انتروپی، وزن انتروپی و EWQI به صورت زیر می‌باشد:

اگر فرض کنیم m نمونه آب (i=1,2,..,m) و از هر نمونه نیز n پارامتر (j=1,2,…,n) برای ارزیابی کیفی مورد استفاده قرار می‌گیرد، براساس داده‌های مشاهداتی ماتریس مقادیر ویژه X به صورت زیر خواهد بود:

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

در ادامه باید آماده‌سازی داده‌ها را به منظور کاهش تأثیر ایجاد شده توسط اختلاف واحد پارامترهای کیفی مختلف و همچنین اختلاف کیفیت نمونه‌ها انجام داد. بر اساس خصوصیات هر شاخص می‌توان ۴ نوع و حالت را از هم تفکیک کرد که شامل نوع کارایی ، نوع هزینه‌ای، نوع ثابت شده و نوع بازه‌ای می‌باشد. برای نوع کارایی، تابع نرمال‌سازی به صورت زیر خواهد بود:

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

و این در حال است که برای نوع هزینه‌ای، تابع نرمال‌سازی داده‌ها به صورت رابطه زیر است:

$$y_{ij} = \frac{(x_{ij})_{\max} - x_{ij}}{(x_{ij})_{\max} - (x_{ij})_{\min}} \quad (۴)$$

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

Archive of SID

www.SID.ir

$$Y = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdot & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \cdot & y_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ y_{m1} & y_{m2} & \cdot & y_{mn} \end{bmatrix} \quad (۵)$$

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

$$P_{ij} = y_{ij} / \sum_{i=1}^{m} y_{ij} \quad (۶)$$

انتروپی اطلاعات نیز به صورت رابطه زیر بیان می‌شود:

$$e_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^{m} P_{ij} \ln P_{ij} \quad (۷)$$

هر چه مقدار انتروپی کمتر باشد تأثیر پارامتر j بیشتر خواهد بود. پس از محاسبه میزان انتروپی باید وزن انتروپی (ω_j) هر پارامتر(j) را با استفاده از رابطه زیر بدست آورد:

$$\omega_j = \frac{1-e_j}{\sum_{j=1}^{n}(1-e_j)} \quad (۸)$$

مرحله دوم محاسبه میزان EWQI، تعیین معیار رتبه‌بندی کیفی(q_j) برای هر پارامتر می‌باشد که این مقدار نیز با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$q_j = \frac{C_j}{S_j} \times 100 \quad (۹)$$

که در این رابطه، C_j غلظت هر پارامتر شیمیایی در هر نمونه به mg/l و S_j غلظت همان پارامتر بر اساس استاندارد مشخص (در این مطالعه، سازمان بهداشت جهانی (WHO)) برای مصرف شرب به mg/l می‌باشد. در این رابطه 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.باید توجه کرد که میزان تغییرات pH کوچک بوده و همین نیز موجب می‌شود مقدار معیار رتبه‌بندی کیفی برای این پارامتر بسیار کوچک باشد. بر طبق استاندارد WHO میزان تغییرات مجاز pH بین ۶/۵ تا ۹/۲ می‌باشد بنابراین برای محاسبه معیار رتبه‌بندی کیفی pH از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$q_{pH} = \frac{C_{pH} - S_I}{S_{pH} - S_I} \times 100 \quad (۱۰)$$

که در این رابطه q_{pH} معیار رتبه‌بندی کیفی pH، C_{pH} مقدار pH مشاهداتی، S_{pH} بیشترین مقدار pH مجاز (بر اساس WHO برابر ۹/۲) و S_I نیز مقدار ایده‌آل pH می‌باشد.

مرحله پایانی در محاسبه EWQI ضرب مقدار وزن انتروپی و معیار رتبه‌بندی کیفی هر پارامتر در هم و جمع تمامی این مقادیر با هم می‌باشد یعنی (Jian-Hua et al, 2011):

$$EWQI = \sum_{j=1}^{n} \omega_j q_j \quad (۱۱)$$

بر اساس EWQI می‌توان آب زیرزمینی را از نظر کیفیت شرب در ۵ رده بسیار خوب، خوب، متوسط، بد و بسیار بد قرار داد (جدول ۱)(Pei-Yue et al,2010).

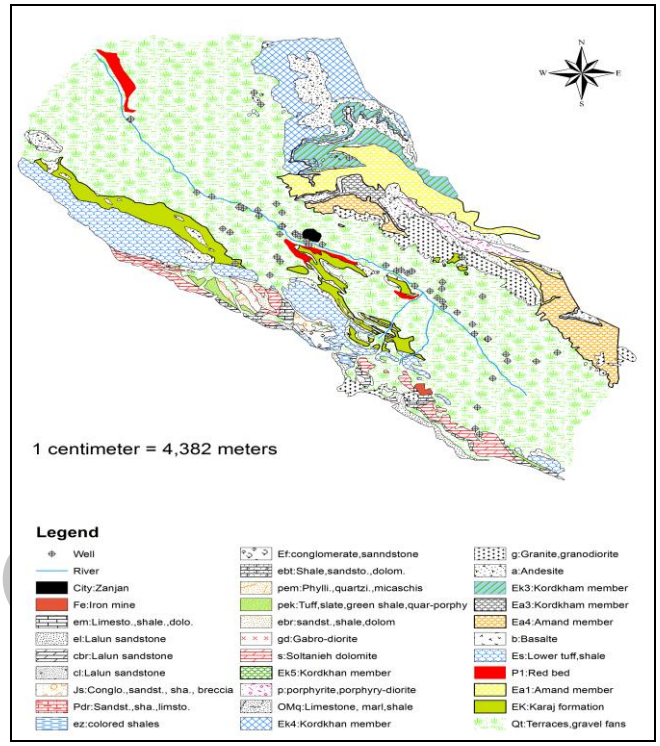
جدول۱. رده بندی کیفی آب شرب بر اساس EWQI

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
بیشتر از ۲۰۰	۵	بسیار بد

Archive of SID
www.SID.ir

منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه (شکل۱) بخشی از دشت زنجان و در محدوده طول جغرافیایی '۰۰ °۴۸ تا '۳۰ °۴۸ و عرض جغرافیایی '۳۰ °۳۶ تا '۰۰ °۳۷ می‌باشد.



شکل۱. زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه و موقعیت نمونه‌های ارزیابی شده

این منطقه دارای میانگین بارندگی ۳۲۳ میلی‌متر در سال بوده و دارای حداکثر دمای مطلق ۴۰ و حداقل ۲۹/۶- درجه سانتی‌گراد می‌باشد. در این دشت رودخانه زنجانرود از جنوب شرقی دشت به سمت شمال غرب در جریان است و نهایتاً به قزل اوزن متصل می‌شود. دشت زنجان به صورت فلات مرتفعی است که کوه‌های طارم را از رشته کوه‌های طویل و باریک سلطانیه جدا می‌کند. در این ناحیه رسوبات تبخیری از جنس مارن و رس سیلتی گچ‌دار قهوه‌ای و زرد همراه با لایه‌های ماسه‌ای مربوط به دوره پلیوسن و به ضخامت ۲۰۰ متر قابل رویت است. رسوبات عهد حاضر به شکل پادگانه‌های آبرفتی متشکل از گراول، ماسه و رس با تراکم پایین در سطح دشت و در امتداد زنجانرود گسترش یافته است. بر اساس مطالعات ژئوفیزیکی حداکثر ضخامت آبرفت در این دشت بیش از ۱۵۰ متر می‌باشد. سنگ کف در قسمت شمال‌غربی عمدتاً از جنس کنگلومرا و آندزیت بوده و در بخش مرکزی و نواحی شرقی از رسوبات دانه ریز سیلتی و رسی و در حاشیه دشت از جنس سازندهای اطراف است (کوهستان نجفی و همکاران، ۱۳۷۹). نقشه زمین‌شناسی و موقعیت نمونه‌های مورد بررسی در(شکل۱) نمایش داده شده است.

بحث و نتیجه‌گیری

پیش از محاسبه مقدار EWQI برای هر نمونه، ابتدا به بررسی آماری پارامترهای مورد نظر پرداخته شده است. در (جدول ۲) خصوصیات آماری ۵۹ نمونه استفاده شده به همراه استاندارد WHO برای آب شرب ارائه شده است.

جدول ۲. خلاصه آماری به همراه استاندارد WHO برای هر پارامتر

	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار	WHO(۱۹۹۸)
Ca	۱/۱۶	۹۰۷/۰۵	۹۱/۷۸	۱۱۸/۶۸	۷۵
Na	۰/۰۲	۲۱۸/۱۲	۶۱/۹۸	۶۳/۷۲	۲۰۰
K	۰/۵	۳۲/۴۳	۶/۳۳	۷/۲۵	۲۰۰
Mg	۳/۵۳	۱۴۵/۲۶	۲۸/۶۸	۳۰/۸۲	۵۰
NO_3	۹	۱۴۸	۵۳/۱۱	۳۲/۹۲	۴۰ تا ۷۰
Cr	۰	۱۲۴	۲/۲۷	۱۶/۱۲	۰/۰۵
Zn	۰/۸۹	۴/۱۱	۲/۵۱	۰/۹۱	۳
EC	۲۰۷	۲۹۷۰	۸۱۲/۶۷	۵۳۲/۱۹	۵۰۰
TDS	۱۵۶	۱۹۵۲	۴۷۳/۹۸	۳۲۸/۵۲	۵۰۰
pH	۷/۰۱	۸/۷۵	۷/۷۰	۰/۳۳	۶/۵ تا ۹/۲
DO	۰/۲	۱۰/۲	۵/۶۴	۱/۶۸	۵
BOD	۰	۷۰	۷/۱	۱۳/۹۳	۲

همانطوری که از (جدول ۲) مشخص است، مقدار میانگین Ca، Cr، EC، DO و BOD بالاتر از مقدار مجاز استاندارد WHO برای آب شرب می‌باشد. که با توجه به ساختارهای زمین‌شناسی و قابلیت انحلال رسوبات کربناته می‌توان چنین انتظاری داشت که غلظت این یون در آب زیرزمینی افزایش یابد. افزایش مقدار EC و دارا بودن میانگین بالاتر از استاندارد WHO می‌تواند ناشی از رسوبات تبخیری فراوانی باشد که در سطح دشت و در عمق‌های مختلف آبرفت‌های این منطقه رویت می‌شود. بالا بودن مقدار فلز سنگین کروم نیز با توجه به فعالیت واحدهای صنعتی در این ناحیه می‌تواند قابل توجیه باشد. با توجه به اینکه نمونه‌های مورد بررسی در این مطالعه از مناطق شهری و روستایی و همچنین نزدیک بسیاری از واحدهای صنعتی و کشاورزی تهیه شده‌اند، افزایش و یا به تعبیری دیگر نوسانات زیاد پارامترهای کیفی همچون DO و BOD را می‌توان انتظار داشت. در همین رابطه نیز قرارگیری میانگین pH و NO_3 در محدوده مجاز تعیین شده توسط استاندارد WHO و همچنین قرارگیری میانگین سایر پارامترها کمتر از مقدار مجاز می‌تواند این امکان را فراهم آورد که بیش از نیمی از نمونه‌های مورد نظر را در رده کیفی مناسب قرار گیرد.

بررسی و تحلیل دقیق‌تر میزان تأثیر هر پارامتر یا دسته پارامتر در تغییر کیفیت آب زیرزمینی این دشت از طریق روش تحلیل عاملی قابل انجام است که در ادامه به صورت مختصر به این مهم پرداخته شده است. تحلیل عاملی یک روش آماری چند متغیره است که با نوعی آرایش مجدد، متغیرهای اصلی را به عامل‌های کمتری کاهش داده و این عوامل معدود برای تهیه بهترین الگوی بارگذاری قابل تفسیر مورد استفاده قرار می‌گیرد (Guey-Shin et al,2011). نتایج تحلیل عاملی ۱۲ پارامتر کیفی مربوط به ۵۹ نمونه آب زیرزمینی در دشت زنجان به صورت (جدول ۳) ارائه شده است.

Archive

www.SID.ir

جدول۳. مقدار بار چرخش یافته عامل‌ها بر اساس چرخش Varimax

	عامل			
	۱	۲	۳	۴
Ca	**۰/۷۸**	۰/۰۷	۰/۱۵	-۰/۳۶
Na	**۰/۸۷**	۰/۲۲	۰/۱۵	۰/۲۰
K	۰/۲۶	**۰/۸۵**	-۰/۰۶	۰/۰۳
Mg	**۰/۹۱**	-۰/۰۴	-۰/۰۶	۰/۱۸
NO_3	۰/۲۴	-۰/۱۹	۰/۵۶	۰/۰۵
Cr	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۳۰	**۰/۷۶**
Zn	-۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۳۷	**-۰/۶۷**
EC	**۰/۹۲**	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۰۶
TDS	۰/۳۴	**۰/۷۵**	-۰/۰۷	-۰/۰۳
pH	-۰/۰۵	-۰/۰۷	**-۰/۸۶**	۰/۰۳۵
DO	-۰/۰۵	**-۰/۷۱**	-۰/۵۰	-۰/۰۲
BOD	-۰/۱۵	**۰/۹۰۱**	-۰/۰۸	-۰/۰۸
مقدار ویژه	۴/۰۴	۲/۳	۱/۵۲	۱/۱۹
درصد واریانس	۳۳/۶۸	۱۹/۲۱	۱۲/۷۱	۹/۹۵
درصد تجمعی واریانس	۳۳/۶۸	۵۲/۹	۶۵/۶۲	۷۵/۵۷

نتایج تحلیل عاملی نشان می‌دهد که در این دشت با استفاده از ۱۲ پارامتر مورد بررسی در قالب ۵۹ نمونه می‌توان بیش از ۷۵ درصد تغییرات کیفی آب زیرزمینی را توسط ۴ عامل مورد ارزیابی قرار داد. در این بین عامل ۱ با بیش از ۳۳ درصد تغییرات دارای بیشترین نقش بوده و پس از آن عامل ۲ با بیش از ۱۹ درصد، عامل ۳ با بیش از ۱۲ درصد و عامل ۴ با نزدیک به ۱۰ درصد مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر کیفیت آب در دشت زنجان می‌باشند. همانطور که از نتایج می‌توان استنباط کرد، عامل ۱ که شامل Ca، Na، Mg و EC می‌باشد که برای این موارد می‌توان نقش زمین‌شناسی منطقه و عوامل طبیعی را در تغلیظ و به عبارتی تغییر میزان غلظت آن‌ها پر رنگ قلمداد کرد. عامل ۲ شامل K، TDS، DO و BOD می‌باشد که این پارامترها نیز متأثر از عوامل طبیعی و زمین‌شناسی منطقه و همچنین شرایط هیدروشیمیایی حاکم بر محیط می‌باشند. در عامل ۳ که با pH محیط آبی و به میزان کمتری NO_3 به همراه هم مواجه هستیم، نقش عامل بشری در تغییرات کیفی آب زیرزمینی به صورت نشت و نفوذ فاضلاب شهری و روستایی و همچنین استفاده از کودهای نیتراته در زمین‌های کشاورزی نمود بیشتری پیدا می‌کند. وجود Cr و Zn در عامل ۴ کنترل‌کننده تغییرات کیفی آب زیرزمینی دشت زنجان می‌تواند به وضوح اثر واحدهای صنعتی موجود در سطح دشت را در تخریب کیفیت آب آشکار سازد.

پس از بررسی عامل‌های متأثر در تغییرات کیفی آب زیرزمینی دشت زنجان، به منظور بررسی منشأ و رابطه تغییرات بین پارامترهای مختلف به تحلیل ضرائب همبستگی پارامترهای هیدروشیمیایی مورد نظر پرداخته شد که در (جدول ۴) ضرائب همبستگی مورد بحث ارائه شده است.

اگر ضریب همبستگی(r) بزرگتر از ۰/۷ باشد، دو پارامتر دارای همبستگی بسیار قوی می‌باشند و همین طور، ضریب همبستگی متوسط را نیز می‌توان بین ۰/۵ تا ۰/۷ و در سطح معنی‌داری $p<۰/۰۵$ مشاهده کرد. ضریب همبستگی کمتر از ۰/۳ به عنوان عدم همبستگی بین پارامترها تلقی شده است (Guey-Shin et al,2011).

بررسی مقدار ضرائب همبستگی پارامترهای مورد مطالعه نشان می‌دهد که بالاترین همبستگی را می‌توان بین EC و Na (r=۰/۹۱) ، EC و Mg (r=۰/۸۰)، EC و Ca (r=۰/۷۴) و همچنین Mg و Na (r=۰/۷۹) و BOD و K (r=۰/۷۵) مشاهده کرد. با توجه به این نتایج می‌توان منشأ اکثر تغییر پارامترها را عوامل محیطی و ساختار زمین‌شناسی منطقه دانست.

وجود رسوبات آبرفتی و تبخیری در سطح منطقه و گسترش آن در اعماق، عامل نفوذ مستقیم آن و تأثیرگذاری مستقیم بر کیفیت آب زیرزمینی گشته است. نکته قابل توجه این است که علیرغم وابستگی بسیار قوی تقریباً همیشگی EC و TDS، در این منطقه همبستگی ضعیف (r=۰/۴۹) را نشان می‌دهند که در توجیه این رخداد می‌توان عنوان کرد که در کنار پارامترهای مورد ارزیابی در این مطالعه، پارامترهای موثر دیگری نیز وجود دارد که به دلیل نبود استانداردهای تعریف شده از طرف WHO و همچنین معمول نبودن بررسی آن‌ها در مطالعات کیفیت آب شرب از بررسی کنار گذاشته شده‌اند. پس از بررسی‌های اولیه و تحلیل روابط بین پارامترها و منشأ احتمالی آن ها با استفاده از تحلیل عاملی و ضرائب همبستگی و همچنین مقایسه میانگین هر پارامتر با استاندارد WHO، مهم‌ترین بخش مطالعه که تعیین میزان EWQI و رتبه هر نمونه آب برای مصرف شرب می‌شود با استفاده از روابط بالا انجام شد. در این مورد باید ابتدا مقدار انتروپی و وزن انتروپی هر پارامتر محاسبه شده و پس از آن مقدار WQI بر اساس معیار رتبه‌بندی کیفی آب تعیین شود و در نهایت این مقدار در وزن انتروپی هر پارامتر ضرب شده و جمع این مقادیر برای هر نمونه به صورت مقدار EWQI برای آن نمونه معرفی می‌گردد (رابطه۱۰). در ادامه، نتایج مربوط به محاسبه مقدار انتروپی و وزن انتروپی هر پارامتر در (جدول ۵) نمایش داده شده است. پارامترهایی که دارای کمترین مقدار انتروپی و بالاترین وزن انتروپی هستند بیشترین تأثیرگذاری را در تغییر کیفیت آب زیرزمینی دارد (جیان هوا و همکاران، ۲۰۱۱). بنابراین، Zn دارای بالاترین نرخ تأثیرگذاری بر کیفیت آب زیرزمینی دشت زنجان می‌باشد و پس از آن Na، Ca، NO_3، pH، K، Mg، DO در رده‌های بعدی قرار دارند.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول۴. ضرائب همبستگی پارامترهای هیدروشیمیایی

	Ca	Na	K	Mg	NO_3	Cr	Zn	EC	TDS	pH	DO	BOD
Ca	۱											
Na	۰/۵۰	۱										
K	۰/۲۵	۰/۴۰	۱									
Mg	۰/۶۱	۰/۷۹	۰/۲۲	۱								
NO_3	۰/۲۱	۰/۲۴	-۰/۰۶	۰/۱۰	۱							
Cr	-۰/۰۹	۰/۱۹	۰/۰۴	۰/۱۸	۰/۰۹	۱						
Zn	۰/۱۷	-۰/۰۹	۰/۰۲	-۰/۱۸	۰۰	-۰/۱۰	۱					
EC	۰/۷۴	۰/۹۱	۰/۴۰	۰/۸۰	۰/۲۷	۰/۱۹	۰۰	۱				
TDS	۰/۲۳	۰/۴۸	۰/۵۹	۰/۱۸	۰۰	-۰/۰۱	۰/۰۶	۰/۴۹	۱			
pH	-۰/۱۷	-۰/۲۰	-۰/۰۴	-۰/۰۲	-۰/۳۰	-۰/۱۲	-۰/۲۱	-۰/۲۷	۰/۰۳	۱		
DO	-۰/۱۷	-۰/۲۹	-۰/۴۹	-۰/۰۱	-۰/۰۶	-۰/۱۲	-۰/۱۵	-۰/۳۳	-۰/۴۷	۰/۴۷	۱	
BOD	۰/۰۲	-۰/۰۱	۰/۷۵	-۰/۱۶	-۰/۱۷	-۰/۰۵	۰/۰۹	۰/۰۲	۰/۵۴	۰۰	-۰/۵۱	۱

جدول ۵. نتایج مربوط به محاسبه مقدار انتروپی و وزن انتروپی

	Ca	Na	K	Mg	NO_3	Cr
مقدار انتروپی	۵/۷۵۵۵	۵/۷۲۵۷	۵/۷۹۸۰	۵/۸۱۳۸	۵/۷۷۷۳	۵/۸۵۸۱
وزن انتروپی	۳/۶۹۰۲	۳/۶۹۲۲	۳/۶۸۷۴	۳/۶۸۶۵	۳/۶۸۹۲	۳/۶۸۳۸
	Zn	EC	TDS	pH	DO	BOD
مقدار انتروپی	۵/۶۲۱۸	۵/۸۲۴۷	۵/۸۲۶۶	۵/۷۹۲۳	۵/۷۸۷۳	۵/۸۳۰۴
وزن انتروپی	۳/۶۹۹۷	۳/۶۸۵۶	۳/۶۸۵۶	۳/۶۸۸۳	۳/۶۸۶۳	۳/۶۸۵۵

Archive of SID

www.SID.ir

EC و TDS دارای نرخ کاملاً برابر هستند و Cr دارای کمترین نرخ تأثیرگذاری بر کیفیت آب شرب این منطقه است.

علاوه بر این، بزرگی جمع وزن‌ها ملاک تعیین پایداری کیفیت آب زیرزمینی از لحاظ پارامتر مورد نظر است. مقادیر کمتر نشان‌دهنده ناپایداری بالا و تغییرات مداوم کیفیت آب زیرزمینی می‌باشد (Guey-Shin et al,2011). بنابراین Cr دارای بیشترین ناپایداری و تغییرات مداوم این پارامتر می‌باشد و این نیز به دلیل ورود موضعی و احتمالاً فصلی این پارامتر به موجب فعالیت واحدهای صنعتی به محیط زیرسطحی است. پس از Cr نیز می‌توان بالاترین تغییرات پیوسته و کوچک را برای BOD در نظر گرفت. تعیین EWQI با استفاده از وزن انتروپی بدست آمده از مرحله قبل و رتبه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی نمونه‌های برداشت شده برای مصرف شرب به عنوان مهم‌ترین هدف این مطالعه تلقی می‌گردد که در (جدول۶) نتایج مربوط به محاسبه EWQI و رتبه هر نمونه آب ارائه شده است.

بر اساس نتایج بدست آمده، تعداد ۳ نمونه معادل ۵/۰۸ درصد از کل ۵۹ نمونه دارای رتبه ۱ و کیفیت بسیار خوب برای مصرف شرب می‌باشند. بالاترین تعداد نمونه‌ها، معادل ۷۲/۸۸ درصد که ۴۳ عدد می‌باشد دارای رتبه ۲ و کیفیت خوب می‌باشند. نمونه‌های دارای رتبه ۳ و کیفیت متوسط نزدیک ۱۰/۱۶ درصد کل نمونه‌ها را تشکیل می‌دهد که این مقدار برابر ۶ نمونه می‌باشد. ۴ نمونه (۶/۷۷ درصد) دارای رتبه ۴ و کیفیت ضعیف است و نهایتاً ۳ مورد که معادل ۵/۰۸ درصد کل نمونه‌ها است دارای رتبه ۵ و کیفیت بسیار بد می‌باشد. بررسی رتبه کیفی نمونه‌های بررسی شده با در نظرگیری استاندارد WHO برای شرب نشان می‌دهد که در این دشت، نمونه‌هایی که دارای کیفیت بد و بسیار بد هستند تماماً در فواصل نزدیک به خروجی فاضلاب شهری و روستایی و در یک مورد نیز در نزدیکی یک مرغداری صنعتی قرار دارند.

بنابراین با توجه به معیارهای کیفی در این مطالعه می‌توان عنوان کرد که ورود فاضلاب به محیط زیرسطحی مهم‌ترین عامل کاهش شدید کیفیت آب در این دشت می‌باشد. در (شکل۲) موقعیت نمونه‌ها و تیپ‌های کیفی تعیین شده نمایش داده شده است ارزیابی رتبه‌های کیفی تعیین شده نشان می‌دهد که در نزدیکی واحدهای صنعتی همچون مجتمع ذوب مس و شرکت اسیدسازی کیفیت آب زیرزمینی برای شرب در رده بد قرار می‌گیرد. در بررسی موقعیت نمونه‌های دارای کیفیت بسیار خوب نیز می‌توان به چشمه شاه بلاغی در جنوب شرقی منطقه (جنوب سلطانیه)، چاه عمیق کشاورزی در شرق و یک موقعیت در نزدیکی رودخانه زنجانرود اشاره کرد.

با توجه به افزایش عمق برداشت از سفره آب زیرزمینی و همچنین دور بودن از منشأ آلودگی بشرزاد که در بالا اشاره شد می‌توان تشخیص این منابع آبی را در رده آب‌هایی با کیفیت بسیار خوب توجیه کرد. ارزیابی رتبه‌های کیفی تعیین شده نشان می‌دهد که در نزدیکی واحدهای صنعتی همچون مجتمع ذوب مس و شرکت اسیدسازی کیفیت آب زیرزمینی برای شرب در رده بد قرار می‌گیرد. در بررسی موقعیت نمونه‌های دارای کیفیت بسیار خوب نیز می‌توان به چشمه شاه‌بلاغی در جنوب شرقی منطقه (جنوب سلطانیه)، چاه عمیق کشاورزی در شرق و یک موقعیت در نزدیکی رودخانه زنجانرود اشاره کرد. با توجه به افزایش عمق برداشت از سفره آب زیرزمینی و همچنین دور بودن از منشأ آلودگی بشرزاد که در بالا اشاره شد می‌توان تشخیص این منابع آبی را در رده آب‌هایی با کیفیت بسیار خوب توجیه کرد.

نتایج

مقدار میانگین Ca، Cr، EC، DO و BOD بالاتر از مقدار مجاز استاندارد WHO برای آب شرب می‌باشد. قرارگیری میانگین pH و NO_3 در محدوده مجاز تعیین شده توسط استاندارد WHO و همچنین قرارگیری میانگین سایر پارامترها کمتر از مقدار مجاز می‌تواند این امکان را فراهم آورد که بیش از نیمی از نمونه‌های مورد نظر را در رده کیفی مناسب قرار دهیم. نتایج تحلیل عاملی نشان می‌دهد که در این دشت با استفاده از ۱۲ پارامتر مورد بررسی در قالب ۵۹ نمونه می‌توان بیش از ۷۵ درصد تغییرات کیفی آب زیرزمینی را توسط ۴ عامل مورد ارزیابی قرار داد. در این بین عامل ۱ با بیش از ۳۳ درصد تغییرات دارای بیشترین نقش بوده و پس از آن عامل ۲ با بیش از ۱۹ درصد، عامل ۳ با بیش از ۱۲ درصد و عامل ۴ با نزدیک به ۱۰ درصد مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر کیفیت آب در دشت زنجان می‌باشند.بر اساس مقدار انتروپی و وزن انتروپی محاسبه شده برای هر پارامتر، Zn دارای بالاترین نرخ تأثیرگذاری بر کیفیت آب زیرزمینی دشت زنجان می‌باشد و پس از آن Na، Ca، NO_3، pH، K، Mg، DO در رده‌های بعدی قرار دارند.

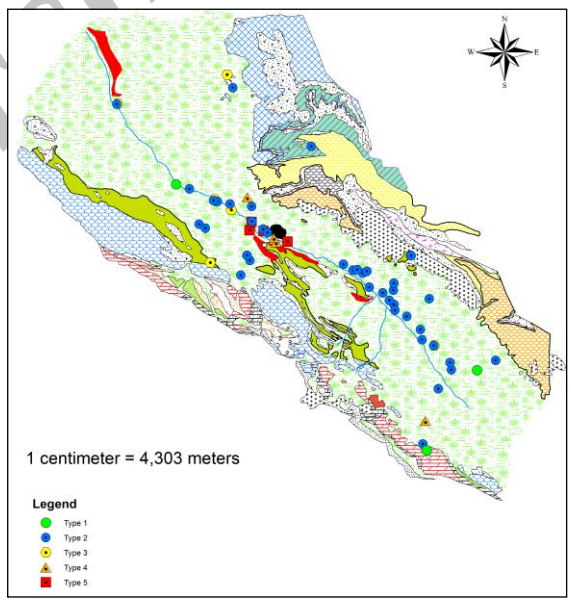
EC و TDS دارای نرخ کاملاً برابر هستند و Cr دارای کمترین نرخ تأثیرگذاری بر کیفیت آب شرب این منطقه است. ارزیابی میزان وزن‌های انتروپی نشان می‌دهد که Cr دارای بیشترین ناپایداری و تغییرات مداوم این پارامتر می‌باشد و این نیز به دلیل ورود موضعی و احتمالاً فصلی این پارامتر به موجب فعالیت واحدهای صنعتی به محیط زیرسطحی است. پس از Cr نیز بالاترین تغییرات پیوسته و کوچک متعلق به BOD می‌باشد. نتایج رتبه‌بندی بر اساس EWQI نشان می‌دهد که تعداد ۳ نمونه معادل ۵/۰۸ درصد از کل ۵۹ نمونه دارای رتبه ۱ و کیفیت بسیار خوب برای مصرف شرب می‌باشند. بالاترین تعداد نمونه‌ها، معادل ۷۲/۸۸ درصد نمونه‌ها که ۴۳ عدد می‌باشد دارای رتبه ۲ و کیفیت خوب می‌باشند. نمونه‌های دارای رتبه ۳ و کیفیت متوسط نزدیک ۱۰/۱۶ درصد کل نمونه‌ها را تشکیل می‌دهد که این مقدار برابر ۶ نمونه می‌باشد. ۴ نمونه که معادل ۶/۷۷ درصد می‌باشد دارای رتبه ۴ و کیفیت ضعیف می‌باشد و نهایتاً ۳ نمونه از موارد انتخابی که معادل ۵/۰۸ درصد کل نمونه‌ها است دارای رتبه ۵ و کیفیت بسیار بد می‌باشد. با توجه به معیارهای کیفی در این مطالعه می‌توان عنوان کرد که ورود فاضلاب به محیط زیرسطحی مهمترین عامل کاهش شدید کیفیت آب در این دشت بوده و با دور شدن از مناطق مسکونی شهری و روستایی و همچنین واحدهای صنعتی، کیفیت آب برای شرب بالاتر می‌رود.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول۶ . EWQI و رتبه کیفی هر نمونه برای مصرف شرب بر اساس استاندارد WHO

نمونه	EWQI	رتبه کیفی	نمونه	EWQI	رتبه کیفی
۱	۵۶/۰۵	۲	۳۱	۸۷/۱۲	۲
۲	۷۲/۷۳	۲	۳۲	۷۶/۸۵	۲
۳	۸۶/۰۱	۲	۳۳	۹۳/۳۹	۲
۴	۶۶/۷۶	۲	۳۴	۷۰/۶۰	۲
۵	۶۱/۸۲	۲	۳۵	۶۱/۲۰	۲
۶	۵۸/۵۵	۲	۳۶	۸۶/۰۷	۲
۷	۷۵/۸۶	۲	۳۷	۶۸/۷۱	۲
۸	۵۹/۴۲	۲	۳۸	۱۱۲/۱۸	۳
۹	۶۰/۹۰	۲	۳۹	۶۰/۶۱	۲
۱۰	۹۱/۹۱	۲	۴۰	۴۸/۳۴	۱
۱۱	۸۲/۰۲	۲	۴۱	۱۶۹/۰۳	۴
۱۲	۷۵/۵۲	۲	۴۲	۴۸/۷۶	۱
۱۳	۵۰/۹۱	۲	۴۳	۷۳/۰۸	۲
۱۴	۵۲/۶۱	۲	۴۴	۵۱/۷۱	۲
۱۵	۶۱/۲۶	۲	۴۵	۲۴۲/۲۸	۵
۱۶	۱۵۷/۵۷	۴	۴۶	۷۱/۶۳	۲
۱۷	۶۳/۰۶	۲	۴۷	۱۳۴/۳۵	۳
۱۸	۶۵/۱۵	۲	۴۸	۵۶/۰۱	۲
۱۹	۵۸/۷۸	۲	۴۹	۹۴/۸۲	۲
۲۰	۲۳۹/۰۹	۴	۵۰	۲۳۵/۰۶	۵
۲۱	۱۰۷/۱۹	۳	۵۱	۷۱/۱۴	۲
۲۲	۱۹۸/۷۳	۴	۵۲	۹۰/۵۲	۲
۲۳	۷۶/۶۷	۲	۵۳	۷۹/۱۰	۲
۲۴	۸۳/۹۳	۲	۵۴	۳۳۹/۴۵	۵
۲۵	۸۲/۵۲	۲	۵۵	۱۲۲/۱۰	۲
۲۶	۸۲/۷۹	۲	۵۶	۶۹/۳۲	۲
۲۷	۱۱۱/۹۱	۳	۵۷	۸۲/۰۱	۲
۲۸	۸۳/۳۱	۲	۵۸	۱۰۰/۷۶	۳
۲۹	۴۷/۰۲	۱	۵۹	۱۱۸/۳۱	۳
۳۰	۱۷۱۲۸/۱	۵	–	–	–



شکل۲. موقعیت تیپ‌های متفاوت کیفی آب در منطقه مورد مطالعه

Archive of SID
www.SID.ir

منابع

کوهستان نجفی ح.ر. ناصری ح.ر. حقیقت ر. فهمی ه. ۱۳۷۹. هیدروژئولوژی و شبیه‌سازی منابع آب زیرزمینی دشت زنجان با استفاده از مدل MODFLOW. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شهید بهشتی.۳۶۳ ص. ۳۶-۴۴

Guey-Shin, Sh. ,Bai-You, Ch., Chi-Ting, Ch., Pei-Hsuan, Y., Tsun-Kuo, Ch., 2011. ″Applying Factor Analysis Combined with Kriging and Information Entropy Theory for Mapping and Evaluating the Stability of Groundwater Quality Variation in Taiwan.″ Int. J. Environ. Res. Public Health. Vol. (8): 1084-1109

Ishaku, J. M., 2011. ″Assessment of Groundwater Quality Index for Jimeta-Yola area, Northeastern Nigeria″. Journal of Geology and Mining Research. Vol. 3(9): 219-231

Jian-Hua, W., Pei-Yue, L., Hui, Q., 2011. ″Groundwater Quality in Jingyuan County, a Semi-Humid Area in Northwest China″. E-Journal of Chemistry. Vol. 8(2):787-793

Kawachi, T., Maruyama, T., Singh, V.P., 2001. ″Rainfall entropy for delineation of water resources zones in Japan″. J. Hydrol., Vol. (246): 36-44

Ozkul, S., Harmancioglu, N.B., Singh, V.P., 2000. "Entropy-based assessment of water quality monitoring networks". J. Hydrol. Eng. Vol. (5): 90-100

Pei-Yue, L., Hui, Q., Jian-Hua, W., 2010. ″Groundwater Quality Assessment Based on Improved Water Quality Index in Pengyang County, Ningxia, Northwest China″. E-Journal of Chemistry. Vol. 7(S1): S209-S216

Pragathiswaran, C., Paruthimal, Kalaignan G., Prakash, P., Jeyaprabha, B., Karibasappa, H., Suganandam, K., 2008. ″Study on water quality in certain areas of an industrially colonized town - Hosur after monsoon″. Ecology Environment and Conservation. Vol. 14(4): 599-604

Pragathiswaran, C., Paruthimal, Kalaignanan, G., P., Prakash, P., 2008. ″Ground water quality index in an industrial town-hosur during rainy season″. Journal of Industrial Pollution Control. Vol. 24(2): 149-52

Rajankar, P. N., Gulhane, S. R., Tambekar, D. H., Ramteke, D. S,. Wate, S. R., 2009. ″Water quality assessment of groundwater resources in Nagpur region (India) based on WQI″. E. Journal of Chemistry. Vol. 6(3): 905-8

Reza, R., Singh, G., 2010. ″Assessment of groundwater quality status by using water quality index method in Orissa, India″. World Applied Sciences Journal. Vol 9(12): 1392-1397

Simoes, F.S., Moriera, A.B., Bisinoti, M.C., Gimenez, S.M.N., Yabe, M. J. S., 2008. ″Water quality index as a simple indicator of aquaculture effects on aquatic bodies″. Ecological indicators. Vol. (8): 476-484

Ulanowicz, R.E., 2001."Information theory in ecology". Comput. Chem. Vol. (25): 393-399

Archive of SID

www.SID.ir