Archive of SID

نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال نهم، شماره سوم، بهار ۱۳۹۹

ISSN 2251-7480

تحلیل روند و پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از TFPW-MK و GIS (مطالعه موردی: آبخوان نجف‌آباد)

حجت اله یونسی[۱*]، حسن ترابی پوده[۲]، بابک شاهی نژاد[۳]، آزاده ارشیا[۴]، حافظ میرزاپور[۵]

[۱و۳] استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی،دانشگاه لرستان

[۲] دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی،دانشگاه لرستان

[۴] کارشناس ارشد آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی،دانشگاه لرستان

[۵] دانشجوی دکترای آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی،دانشگاه لرستان

*نویسنده مسئول مکاتبات:yonesi.h@lu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۸/۰۲ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۳/۲۰

چکیده

بررسی کیفیت و آلودگی منابع آب زیرزمینی در برنامه‌ریزی و توسعه منابع آب، امری بسیار مهم و ضروری است. هدف از این پژوهش، پهنه‌بندی کیفیت آب، آلودگی و بررسی روند تغییرات پارامترهای کیفی در دوره بلندمدت در آبخوان نجف‌آباد است. بدین منظور پارامترهای EC، TDS، SAR، pH، TH، Cl، CO_3، Ca، Mg، Na، K، HCO_3، NO_3 و عناصر سنگین شامل روی، مس، سرب و آرسنیک از نمونه‌های آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفتند. طبقه‌بندی کیفیت آب از نظر کشاورزی با توجه به دیاگرام ویلکاکس عمدتاً در محدوده‌ی C_3-S_1 و از نظر شرب با توجه به دیاگرام شولر عمدتاً در طبقه قابل‌قبول و متوسط و در مواردی نامناسب قرار دارد. میزان عناصر سنگین در حد مجاز است. روند تغییرات پارامترهای کیفی با استفاده از روش‌های MK و TFPW-MK بررسی شد و نتایج نشان‌دهنده‌ی کاهش کیفیت آب در طی زمان بود. پارامترهای کیفی مهم از جمله عامل مهم نیترات در محیط ArcGIS پهنه‌بندی شدند. مقدار متوسط غلظت نیترات ۶۳/۱۳ میلی‌گرم در لیتر محاسبه شد و ماکزیمم مقدار نیترات در قسمت‌های شمالی و مرکزی این آبخوان تا ۱۹۵ میلی‌گرم در لیتر رفته است. با توجه به نتایج پژوهش حاضر، واضح است که پایش مستمر و بررسی‌های کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی و انجام اقدامات لازم برای کنترل آلودگی در محدوده آبخوان نجف‌آباد بسیار ضروری است.

کلید واژه‌ها: آب زیرزمینی؛ آلودگی؛ پهنه‌بندی؛ نیترات

مقدمه

تأمین آب سالم، تمیز و فراوان برای مصارف شرب و کشاورزی بسیار مهم و حیاتی است. در دسترس بودن آب آشامیدنی سالم از نگرانی‌های کلیدی رو به رشد برای جامعه‌ی بین‌المللی است. در زمینه‌ی افزایش جمعیت و آلودگی آب، دسترسی به آب آشامیدنی سالم در کشورهای در حال توسعه به یک چالش جهانی تبدیل شده است (Reda, 2016). نیترات در فرمولاسیون کودهای صنعتی جهت مصارف کشاورزی استفاده می‌شود و همچنین می‌تواند از اکسیداسیون آمونیوم و دیگر ترکیبات نیتروژن‌دار موجود در فاضلاب ایجاد شود. این ترکیبات، اثرات سوء بر سلامت انسان دارند و به‌طور عمده باعث بیماری‌های سخت در نوزادان، زنان باردار و سالمندان می‌شوند (Sajil *et al.*, 2015). سازمان بهداشت جهانی (WHO)، غلظت نیترات به مقدار ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر در آب آشامیدنی را به‌عنوان استاندارد تعیین کرده است (WHO, 2011). در مجموع،

www.SID.ir

Archive of SID

کیفیت نامناسب آب آشامیدنی عوارض خطرناکی بر سلامت انسان دارد و این کیفیت از نظر پارامترهای مختلف مانند pH، هدایت الکتریکی و حضور آنیون‌های دیگر مانند نیترات بایستی پایش شود. همه این پارامترها باید در محدوده‌ی ایمن تعیین‌شده توسط سازمان جهانی بهداشت باشند. در غیر این صورت حضور آنان در غلظت‌های بالا برای انسان بسیار مضر خواهد بود (Tariq, 2014). بررسی کیفیت منابع آب زیرزمینی و تحلیل روند تغییرات کیفی از نیازهای مهم و ضروری در برنامه‌ریزی و توسعه منابع آب است. بسیاری از پژوهشگران از آزمون من-کندال به‌عنوان بهترین گزینه جهت بررسی وجود روند یکنواخت داده‌ها استفاده نموده‌اند. در پژوهشی که (Jalali and Kolahchi, 2008) روی 48 نمونه آب زیرزمینی در ملایر انجام دادند، غلظت نیترات در ۷۵ درصد نمونه‌ها بیشتر از ۱۳ میلی‌گرم بر لیتر محاسبه شد و ۱۲/۵ درصد نمونه‌ها، غلظت نیترات بالای ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر داشتند و جزو مناطق آلوده بودند. سبزی پرور و شادمانی (۱۳۹۰) با به‌کارگیری آزمون غیر پارامتری من-کندال وجود روند معنی‌دار برای سری‌های زمانی در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد را برای مناطق خشک ایران مورد ارزیابی قرار دادند. همچنین جهت کاهش اثر وجود همبستگی ترتیبی بر نتایج آزمون‌ها از روش TFPW (Trend-Free Pre-Whitening) استفاده کردند.

Baalousha (2010) در ارزیابی شبکه پایش میزان غلظت نیترات آب زیرزمینی با استفاده از نقشه‌های آسیب‌پذیری و زمین‌آماری در دشت هریتانگا واقع در نیوزلند، برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری منطقه از روش دراستیک و برای بررسی توزیع‌های مکانی منطقه از واریانس کریجینگ استفاده نمودند. بر اساس این مطالعه مشخص شد که بعضی مناطقی که دارای آسیب‌پذیری بالایی هستند توسط شبکه موجود پوشش داده نمی‌شوند؛ بنابراین بعضی مکان‌ها باید به شبکه اضافه و تعدادی حذف شوند. نظریان و گیگلو (۱۳۹٤) به بررسی کیفیت شیمیایی آب و روند تغییرات پارامترهای کیفی در محل ایستگاه نوده رودخانه گرگان رود استان گلستان پرداختند و به‌منظور تعیین روند در داده‌ها از آزمون من کندال استفاده کردند. نتایج آنالیز کیفی نشان داد که آب رودخانه گرگان رود در محل این ایستگاه از تیپ آب‌های شورمزه بوده و بر اساس سختی کل از نوع سخت است. برای ارزیابی سریع کیفیت آب باید از ابزاری استفاده کرد که میزان آلودگی آب را در زمان کوتاه‌تری نشان دهد.صفوی گردینی و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی تغییرات مکانی متغیرهای کیفی آب زیرزمینی جنوب دشت قروه و دهگلان با استفاده از روش‌های زمین‌آمار پرداختند و نتایج نشان داد که روش‌های کریجینگ معمولی و کریجینگ ساده در تخمین اکثر متغیرهای کیفی خطای کمتری داشته‌اند. نتایج پهنه‌بندی نشان داد کیفیت آب زیرزمینی در قسمت‌های غربی، جنوب و شرقی بهتر از سایر بخش‌ها بوده است. صالحیان و رحمانی فضلی (۱۳۹۷) در مطالعه‌ای به بررسی پیامدهای محیطی ناپایداری منابع آب در حوضه آبریز رودخانه زاینده‌رود پرداختند و با روش‌های تحلیل تغییرات کاربری اراضی و بررسی تغییرات برداشت از آب زیرزمینی و توزیع پرسشنامه، پیامدهای محیطی ناپایداری منابع آب در زاینده‌رود را بررسی کردند و نتایج نشان داد که افزایش شدت خشک‌سالی و تغییرات کاربری اراضی و فشار بر سفره‌های آب زیرزمینی، پیامدهای محیطی نامناسبی را به دنبال داشته است. Dev و Bali (2018) به ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی و مناسب بودن آن برای مصارف شرب و کشاورزی در منطقه کنگرا هیماکال پرادش، هند پرداختند. نتایج نشان داد که اکثر متغیرهای کیفیت آب بیش‌ازحد تعیین‌شده توسط استانداردهای بین‌المللی و منطقه‌ای است. سلگی و نصیری (۱۳۹۸) به پهنه‌بندی برخی پارامترهای کیفی آب شرب با استفاده از GIS در شهر ملایر پرداختند و در مجموع ٤۸ نمونه آب آشامیدنی در خرداد ۹۵ جمع‌آوری شد. پارامترهای مختلف مانند هدایت الکتریکی، نیترات، سدیم و پتاسیم بررسی شد. میانگین نیترات در این منطقه ۲۷/٦ میلی‌گرم در لیتر محاسبه شد و دامنه تغییرات نیترات از ۱۹ تا ٤۷ میلی‌گرم در لیتر در این منطقه متغیر بوده است.

www.SID.ir

Archive of SID

پژوهش حاضر با هدف بررسی کیفیت آب زیرزمینی آبخوان نجف‌آباد و نیز آلودگی این آبخوان از لحاظ غلظت نیترات انجام می‌گیرد. پهنه‌بندی برخی پارامترهای کیفی منابع آب زیرزمینی در آبخوان نجف‌آباد با استفاده از تکنیک‌های GIS و تحلیل روند تغییرات بلندمدت پارامترهای کیفی با استفاده از آزمون‌های MK و TFPW-MK انجام می‌گیرد. لازم به ذکر است که تحلیل روند با TFPW-MK و پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی و نیز آلودگی آبخوان نجف‌آباد از لحاظ غلظت نیترات که امری مهم و حیاتی است برای اولین بار و توسط پژوهشگران این مطالعه انجام می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

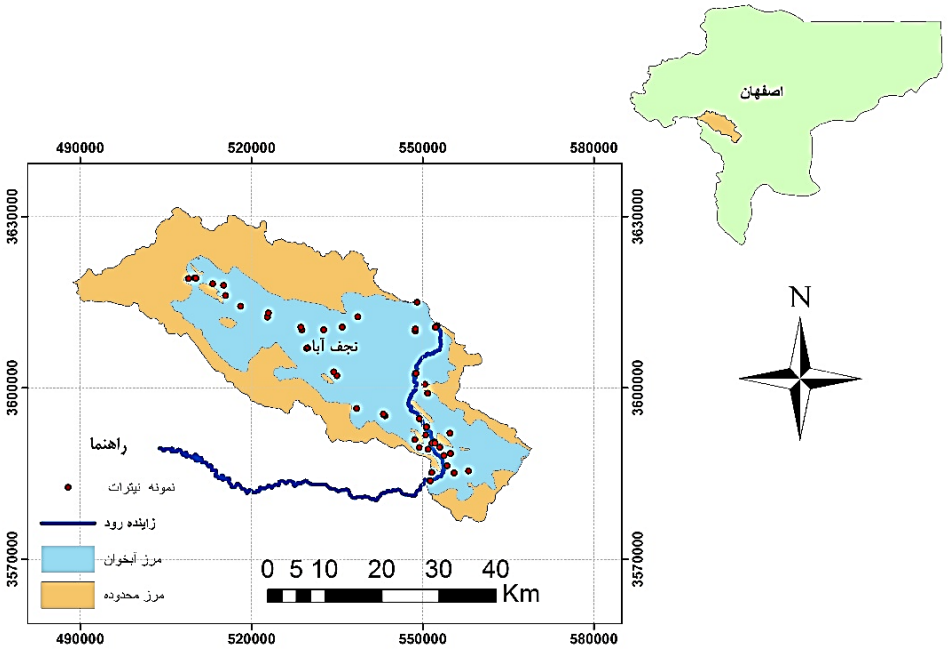
منطقه موردمطالعه

آبخوان نجف‌آباد در استان اصفهان قرار دارد. جریان سطحی ورودی به نجف‌آباد ۷۴۳/۶۳ میلیون مترمکعب در سال و جریان زیرزمینی ورودی برای نجف‌آباد ۱۶ میلیون مترمکعب در سال است. آبخوان نجف‌آباد از نوع آبخوان آزاد است. حجم آبخوان ثابت نبوده و منحنی تغییرات حجم آبخوان در این پژوهش آمده است. این آبخوان ۹۳۲ کیلومترمربع وسعت دارد و متوسط ضریب ذخیره آن ۰/۰۲ است. در شکل ۱ موقعیت آبخوان نجف‌آباد مشخص‌شده است (آب منطقه‌ای اصفهان).

روش تحقیق

نمونه‌های کیفیت آب در محدوده آبخوان نجف‌آباد

در این پژوهش جهت تهیه‌ی نقشه‌ی پهنه‌بندی پارامترهای کیفی منابع آب زیرزمینی از روش‌های درون‌یابی در محیط ArcGIS10.5 در محدوده آبخوان نجف‌آباد استفاده شد و همچنین تغییرات زمانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی با استفاده از اطلاعات آب منطقه‌ای اصفهان، آب و فاضلاب روستایی، آب و فاضلاب شهری مورد بررسی قرار گرفت. لازم به ذکر است که با توجه به اهمیت مباحث کیفیت و آلودگی آب در منطقه‌ای همانند آبخوان نجف‌آباد، نمونه‌گیری‌ها و بررسی پارامترهای کیفی و به ویژه نیترات در سازمان‌های آب و فاضلاب روستایی و شهری و حتی دانشگاه اصفهان نیز اندازه‌گیری شده است.



شکل ۱- موقعیت محدوده آبخوان نجف‌آباد در استان اصفهان

www.SID.ir

Archive of SID

کیفیت آب از نظر شرب و کشاورزی نیز توسط دیاگرام ویلکاکس و دیاگرام شولر مورد بررسی قرار گرفت تا بتوان کیفیت آب این منطقه را برای مصارف شرب و کشاورزی نیز تحلیل کرد.

اطلاعات در بازه زمانی (۱۳۷٤-۱۳۹۵) و در فصول تر و خشک سال، شامل EC، TDS، SAR، pH، TH و نیز NO3 و عناصر سنگین شامل روی، مس، سرب، کادمیوم و آرسنیک بود. تعداد نمونه‌های کیفی در جدول ۱ آمده است. موقعیت برخی مکان‌های نمونه‌برداری در محدوده آبخوان نجف‌آباد در شکل ۲ مشاهده می‌شود.

آزمون MK بر روی سری زمانی بدون حذف ضریب خودهمبستگی (پیش سفید نشده)

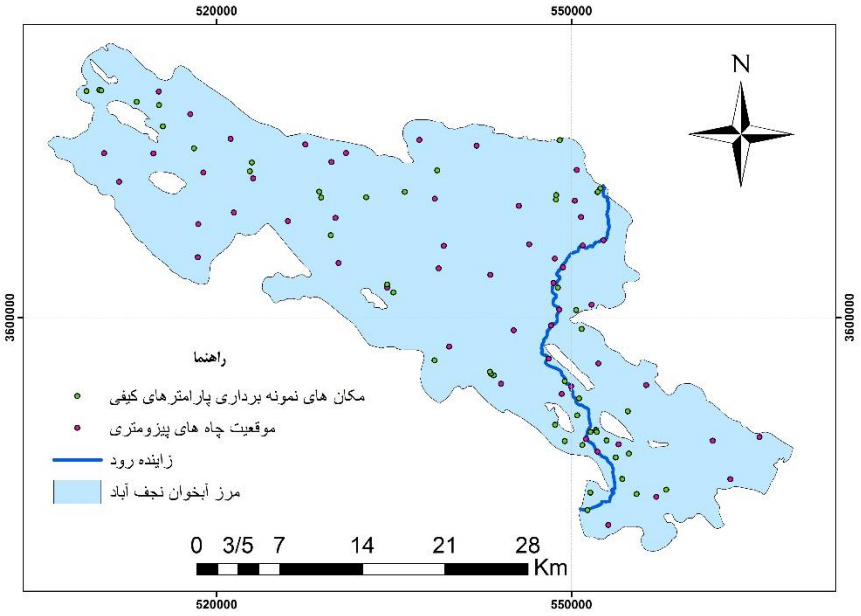
آزمون MK یکی از پرکاربردترین آزمون‌های غیر پارامتریک برای تحلیل روند داده‌ها است. فرض صفر H_0 مستقل بودن و یکنواختی توزیع داده‌های نمونه و فرض مقابل H_1 وجود یک روند یکنواخت در داده‌هاست. جهت انجام این آزمون ابتدا باید آماره S را با رابطه ۱ محاسبه نمود که در آن x_j مقدار داده j ام، n تعداد داده‌ها و $\mathrm{sgn}(\theta)$ تابع علامت بوده و با رابطه ۲ قابل‌محاسبه است (ترابی پوده و امامقلی زاده، ۱۳۹۳).

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^{n} \mathrm{sgn}(x_j - x_I) \qquad (۱)$$

$$\mathrm{sgn}(\theta) = \begin{cases} 1 & \text{if } \theta > 0 \\ 1 & \text{if } \theta = 0 \\ -1 & \text{if } \theta < 0 \end{cases} \qquad (۲)$$

جدول ۱- تعداد نمونه‌های کیفی در محدوده آبخوان نجف‌آباد

سازمان	نجف‌آباد
آب و فاضلاب روستایی	۲۲ مکان، ۲٤ نمونه، آزمایش‌های شیمیایی ۲۳ مکان، ۲٤ نمونه، آزمایش‌های عناصر سنگین
آب و فاضلاب شهری	۳۱ مکان، ٦٦ نمونه آزمایشگاهی
آب منطقه‌ای	۲٦ نقطه، ۱۰۱۳ نمونه آزمایشگاهی



شکل ۲- مکان‌های نمونه‌برداری پارامترهای کیفی در محدوده آبخوان نجف‌آباد

www.SID.ir

Archive of SID

برای $n \geq 8$ آماره S دارای توزیع نرمال بوده و میانگین و واریانس آن از رابطه ۳ به دست می‌آید.

(۳)

$$E(S) = 0 \quad Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{m=1}^{n} t_m(t_m-1)(2t_m+5)}{18}$$

که در آن t_m تعداد داده‌های یکسان در دسته i ام است. آماره آزمون MK یا Z با رابطه ٤ محاسبه می‌شود. احتمال آماره Z آزمون MK را می‌توان با استفاده از توزیع تجمعی نرمال محاسبه نمود (سبزی پرور و شادمانی، ۱۳۹۰).

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}} & S < 0 \end{cases} \qquad (٤)$$

آزمون MK بر روی سری زمانی پیش سفید شده به روش TFPW

فرض اصلی مطالعات تحلیل روند با استفاده از آزمون MK، مستقل بودن و عدم وجود خود همبستگی معنی‌دار در داده‌های نمونه است و البته جهت حذف اثر خود همبستگی روی آزمون MK ضروری است که قبل از انجام آزمون، اجزای خود همبستگی از قبیل فرآیند خودهمبستگی مرتبه اول ((AR(1)) از سری داده‌ها حذف شود. این فرآیند اصطلاحاً پیش سفید کردن نامیده می‌شود. به‌منظور حذف اثر ضریب خودهمبستگی بر روی آزمون MK (Kulkarni and Von Storch, 1995)، یک روش پیش سفید کردن (Pre-whiten) را قبل از انجام آزمون MK ارائه کردند (PW-MK). به‌منظور کاهش مؤثر در اثر ضریب همبستگی بر روی آزمون MK، روش اصلاح‌شده پیش سفید کردن بدون روند (TFPW) توسط (Yue and Pilon, 2002) ارائه گردید. روش TFPW-MK جهت شناسایی روند در یک سری زمانی دارای خود همبستگی توسط (Yue and Pilon, 2002) به‌صورت زیر:

۱- شیب روند در داده‌های نمونه با استفاده از روش TSA به‌صورت زیر برآورد می‌شود (رابطه ۵).

$$b = \text{Median}\left(\frac{X_j - X_l}{j-l}\right) \quad \forall l < j \qquad (۵)$$

۲- اگر شیب تقریباً برابر صفر بود آنگاه دیگر نیازی به ادامه انجام آنالیز روند نیست، اما اگر مقدار آن برابر با صفر نبود، آنگاه روند به‌صورت خطی فرض شده و داده‌های نمونه به‌صورت $X'_t = X_t - T_t = X_t - bt$ نوشته و بدون روند می‌شوند.

۳- ضریب خودهمبستگی مرتبه اول سری بدون روند X'_t با استفاده از معادلات زیر برآورد می‌گردد (رابطه ٦).

(٦)

$$r_k = \frac{\frac{1}{n-k}\sum_{t=1}^{n-k}[X'_t - E(X'_t)][X_{t+k} - E(X'_t)]}{\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}[X'_t - E(X'_t)]^2} \qquad E(X'_t) = \frac{1}{n}\sum_{1}^{n} X'_t$$

r_1 ضریب خودهمبستگی مرتبه 1 داده‌های نمونه سری بدون X'_t و $E(X'_t)$ میانگین داده‌های نمونه است.

٤- پس از محاسبه ضریب خودهمبستگی با مرتبه اول، خودهمبستگی مرتبه اول AR(1) با استفاده از $Y'_t = X'_t - r_1 X'_{t-1}$ حذف می‌شود. این روش پیش سفید کردن پس از حذف روند از سری‌ها، روش پیش سفید کردن بدون روند نامیده می‌شود (TFPW). سری باقیمانده‌ها پس از انجام روش TFPW یک سری مستقل است. ۵- روند شناخته‌شده T_t و سری باقیمانده‌ها Y'_t به‌صورت $Y_t = Y'_t + T_t$ باهم ترکیب می‌گردد. بدیهی است که سری حاصل Y_t روند واقعی را حفظ کرده و اثر ضریب خودهمبستگی نیز حذف‌شده است. ٦- آزمون MK بر روی سری ترکیبی Y_t جهت برآورد روند واقعی انجام می‌گردد (ترابی پوده و امامقلی زاده، ۱۳۹۳).

طبقه‌بندی کیفیت آب از نظر شرب و کشاورزی

طبقه‌بندی ویلکاکس یکی از مهم‌ترین طبقه‌بندی‌ها در زمینه‌ی تعیین کیفیت آب کشاورزی است (Wilcox, 1955)

www.SID.ir

Archive of SID

که بر مبنای دو پارامتر هدایت الکتریکی (برحسب میکرو موس بر سانتی‌متر، $EC*10^{6}$) و نسبت جذب سدیم به‌عنوان خطر قلیایی‌ات در نظر گرفته می‌شود. در آب‌های شور، سدیم جایگزین کلسیم و منیزیم موجود بر روی ذرات رس خاک می‌شود. این امر باعث تخریب ساختار خاک، تولید خاک قلیایی و نهایتاً بسته شدن منافذ خاک می‌شود. ازاین‌رو انتقال آب‌وهوا در داخل خاک محدود می‌شود. این شرایط باعث کاهش بازدهی محصولات می‌شود. در این طبقه‌بندی آب کشاورزی به چهار گروه باکیفیت خوب، قابل‌قبول، نامناسب و بد تقسیم می‌شوند که ترکیب این رده‌ها، آب را ازنظر کشاورزی در چهار نوع کیفیت و ۱۶ رده تقسیم می‌کنند: شیرین- برای کشاورزی کاملاً بی‌ضرر (C_1S_1)، کمی شور- برای کشاورزی تقریباً مناسب (C_1S_2,C_2S_1,C_2S_2)، شور- کشاورزی با اعمال تمهیدات لازم ($C_1S_3,C_2S_3,C_3S_1,C_3S_2,C_3S_3$) و خیلی شور- کاملاً نامناسب-کشاورزی ($C_1S_4,C_2S_4,C_3S_4,C_4S_4,C_4S_3,C_4S_2,C_4S_1$). دیاگرام شولر یکی از مهم‌ترین طبقه‌بندی‌ها جهت بررسی کیفیت آب ازنظر شرب است. در این نمودار بر اساس پارامترهای سدیم، کلر، سولفات، کلسیم، منیزیم و pH، آب‌ها تقسیم می‌شوند.

تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی

برای تهیه نقشه پهنه‌بندی از روش‌های مختلف درون‌یابی در محیط نرم‌افزار ArcGIS می‌توان استفاده کرد. ارزیابی میزان دقت و خطا میان مقادیر مشاهده‌ای و تخمینی معیارهای مختلفی نظیر مجموع مربعات باقیمانده، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، استفاده از روش‌های مقایسه آماری نظیر آنالیز واریانس و کای اسکوار وجود دارد. در مطالعه حاضر از شاخص RMSE برای تعیین روش مناسب استفاده شد که به‌عنوان شاخصی مهم جهت نشان دادن دقت تحلیل مکانی در GIS شناخته می‌شود و از طریق رابطه ۷ و با استفاده از داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده به دست می‌آید:

$$RMSE=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n}} \qquad (۷)$$

از بین روش‌های مختلف، هرکدام که میزان RMSE کم‌تری داشته باشد به‌عنوان روش مناسب انتخاب می‌گردد. کریجینگ یک روش تخمین است که بر منطق میانگین متحرک وزن‌دار استوار است و بهترین تخمین گر خطی نااریب است (Gaus *et al*. 2003). شرط استفاده از روش کریجینگ آن است که متغیر Z دارای توزیع نرمال باشد. در غیر این صورت باید از روش کریجینگ غیرخطی استفاده و یا به نحوی توزیع متغیر نرمال گردد. رابطه کلی کریجینگ به‌صورت رابطه ۸ است:

$$Z^{*}_{(X_i)} \sum_{i=1}^{n} \lambda_i Z(X_i) \qquad (۸)$$

Z*(Xi): مقدار تخمینی متغیر در موقعیت Xi، λi: وزن نمونه i ام، Z(Xi): مقدار متغیر i ام و n تعداد مشاهدات است.

نتایج و بحث

روند تغییرات کیفیت منابع آب زیرزمینی در آبخوان نجف‌آباد

نتایج تشخیص روند تغییرات پارامترهای کیفی در محدوده آبخوان **نجف‌آباد** در جدول ۲ مشاهده می‌شود.

همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، ضریب خودهمبستگی پارامتر pH بیانگر وجود خودهمبستگی در داده‌ها است؛ بنابراین در خصوص این پارامتر، آزمون من‌کندال پیش سفید شده ملاک عمل قرار می‌گیرد و بر اساس این آزمون آماره Z در محدوده آبخوان نجف‌آباد ۳/۸۳۵- است. این موضوع نشان می‌دهد که پارامتر pH دارای روند منفی معنی‌دار در سطح ۱ درصد در محدوده آبخوان نجف‌آباد است. پارامترهای TDS، EC و TH دارای روند مثبت بوده و در محدوده آبخوان نجف‌آباد معنی‌دار

www.SID.ir

Archive of SID

هستند. آنیون‌ها و کاتیون‌ها نیز در محدوده‌ی این آبخوان دارای روند معنی‌دار مثبت هستند. نتایج روند تغییرات کیفیت آب زیرزمینی در دوره بلندمدت به‌طورکلی نشان-دهنده‌ی کاهش کیفیت آب در آبخوان نجف‌آباد در طی زمان است. نظریان و گیگلو (۱۳۹٤) نیز به‌منظور تعیین روند در داده‌ها از آزمون من کندال به‌عنوان روشی مناسب استفاده کردند.

کیفیت منابع آب زیرزمینی برای مصارف شرب و کشاورزی در محدوده آبخوان نجف‌آباد

طبقه‌بندی آب ازنظر کشاورزی توسط دیاگرام ویلکاکس صورت گرفت و نتایج نشان داد که کیفیت آب نجف‌آباد غالباً در طبقه‌ی C_3S_1 است و درصد کمی نیز C_2S_1 و C_4S_2 را شامل می‌شود. در واقع C_3S_1 در طبقه‌ای است که تقریباً شور است و کشاورزی باید با اعمال تمهیدات لازم صورت گیرد. کلاس‌های طبقه‌بندی شولر برای مصارف شرب در جدول ۳ آورده شده است. همان‌طور که در جدول نیز مشاهده می‌شود غالباً آب این منطقه در طبقه‌ی قابل‌قبول و متوسط قرار دارد.

Dev و Bali (2018) نیز در مطالعه‌ی خود با استفاده از دیاگرام شولر و دیاگرام ویلکاکس به بررسی کیفیت آب ازلحاظ شرب و کشاورزی پرداختند.

گام های پهنه‌بندی کیفی آب زیرزمینی در محدوده آبخوان نجف‌آباد

گام های پهنه‌بندی پارامترهای کیفی مهم آب زیرزمینی در شکل ۳ آورده شده است

جدول ۲- روند تغییرات پارامترهای کیفی با استفاده از روش‌های من کندال و من کندال پیش سفید شده به روش TFPW

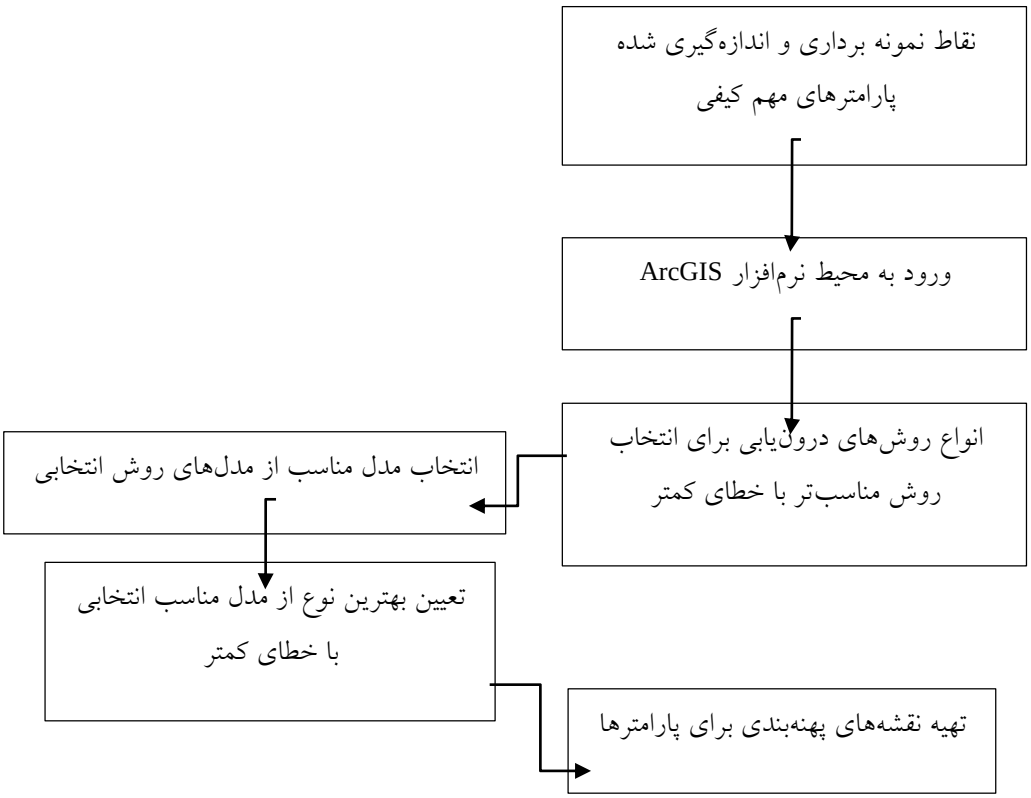
محدوده	پارامتر	شیب	ضریب	حد بالا و پایین ضریب خودهمبستگی		آزمون من کندال			
						بدون پیش سفید		پیش سفید شده به روش TFPW	
				حد بالایی	حد پایینی	P	Z	P	Z
نجف‌آباد	pH	-۰/۰۳۲	۰/۸۰۲	-۰/۳۹۷	۰/۳۰۲	۹۹/۹	-۳/۲۱٤	۹۹/۹	-۳/۸۳۵
	TDS	۳۱/٦۷	۰/۲۱۰	-۰/۳۹۷	۰/۳۰۲	۹۹/۹	۳/۵۵۲	۹۹/۵۸	۲/۸٦۸
	EC	۳۹/۵۰	۰/۱٦۸	-۰/۳۹۷	۰/۳۰۲	۹۹/۹	۳/۳۲۷	۹۹/۱۳	۲/٦۲۷
	TH	۱۰/٦۷	۰/۰۲۲	-۰/۳۹۷	۰/۳۰۲	۹۹/۹	۳/۲۱٤	۹۹/۲۷	۲/٦۸۷
	آنیون‌ها	۰/۳۷۱	۰/۰۵۸	-۰/۳۹۷	۰/۳۰۲	۹۹/۹	۳/۲۷۰	۹۹/۱۳	۲/٦۲۷
	کاتیون‌ها	۰/۳٦٦	۰/۰٦۳	-۰/۳۹۷	۰/۳۰۲	۹۹/۹	۳/۱۵۸	۹۹/۱۳	۲/٦۲۷

جدول ۳- درصد هر یک از کلاس‌های طبقه‌بندی شولر برای مصارف شرب در نجف‌آباد

طبقه‌بندی آب	TDS	TH	pH	Na	Cl	So_4
خوب	٦/۰٦	٦/۰٦	۲٤/۲٤	٤۸/٤۸	۷۸/۷۹	۳٦/۳٦
قابل‌قبول	٤۵/٤۵	٤۵/٤۵	۳۰/۳	٤۵/٤۵	۱۲/۱۲	۳۳/۳۳
متوسط	٤۵/٤۵	٤۵/٤۵	۳۹/۳۹	۳/۰۳	۳/۰۳	۲٤/۲٤
نامناسب	۳/۰۳	۳/۰۳	٦/۰٦	۳/۰۳	٦/۰٦	٦/۰٦
کاملاً نامطبوع	۰	۰	۰	۰	۰	۰
غیرقابل‌شرب	۰	۰	۱/۰۱	۰	۰	۰

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳- گام‌های پهنه‌بندی کیفی آب زیرزمینی در محدوده آبخوان نجف‌آباد

نقشه‌های پهنه‌بندی پارامترهای کیفی و نیترات در محدوده آبخوان نجف‌آباد

مشخصات اجرای روش‌های درون‌یابی مناسب منطقه و پارامترهای واریوگرام در جداول ٤ و ٥ آورده شده است. همانطور که در جدول مشاهده می‌شود با توجه به RMSE نیز دریافتیم که برای پارامترها در محدوده آبخوان نجف‌آباد روش کریجینگ مناسب‌تر است و سپس انواع مدل کریجینگ برای هر پارامتر انجام شد و مدل‌های مناسب برای هر پارامتر طبق جدول ارائه و انجام شد. نقشه‌های پهنه‌بندی پارامترهای کیفی و نیز پهنه‌بندی نیترات در محدوده آبخوان نجف‌آباد در شکل‌های ٤ تا ۹ آورده شده است.

افزایش استفاده از کودهای شیمیایی در دهه‌های اخیر می‌تواند یکی از علل ایجاد روند مثبت معنی‌دار EC، TDS و TH باشد. همان‌طور که دیده شد در طی زمان، pH دارای روند منفی معنی‌دار بوده است که شاید یکی از علل آن دفن زباله‌ها در محدوده‌ی موردنظر باشد. pH نشان‌دهنده‌ی قدرت آب برای واکنش با مواد اسیدی یا قلیایی موجود در آب است و توسط دی‌اکسید کربن، کربنات و تعادل بیکربنات کنترل می‌شود (Krishna *et al*. 2015). تغییرات pH ممکن است به علت فعالیت‌های انسانی مانند دفع فاضلاب در منطقه مورد توجه واقع شود. بر اساس مطالعه‌ی صالحیان و رحمانی فضلی (۱۳۹۷) نیز در محدوده حوضه آبریز زاینده‌رود با توجه به افزایش شدت خشک‌سالی، تغییرات کاربری اراضی، گسترش سکونتگاه‌های انسانی، دست‌اندازی فعالیت‌های انسانی و افزایش کشاورزی و فشار بر سفره‌های آب زیرزمینی در پایین‌دست که جریان آب رودخانه از حالت دائمی خارج شده است، کاهش کمیت و کیفیت آب رخ داده است.

www.SID.ir

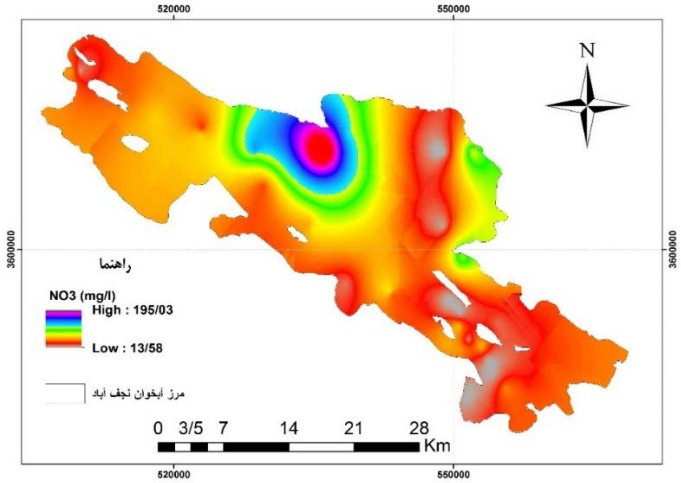
Archive of SID

جدول ٤- مشخصات اجرای درون‌یابی در محدوده آبخوان نجف‌آباد

داده (mg/l)	بهترین مدل کریجینگ	مدل	RMSE	MSE	RMSES	ASE	IDW (RMSE)
NO_3	Universal	Exponential	٢٦/١٥	./٠١	١/٢٥	٢١/٢	٢٧/٥٩
pH	Ordinary	Gaussian	./٢٤١	./٣٤	١/٠٠٤	./٢٥٧	./٢٤٥
EC	Simple	Hole Effec	٥٩٩/٢٨	-./٢١	١/٢٦	٤٣٤/٥٦	٦٤٢/١٥
TDS	Simple	J-Bessel	٣٨٦/٨٥	-./٣	١/٣٨	٢٦٥/٧٨	٤١٣/٤٣
Na	Ordinary	Gaussian	٦٧/٦٨	-./٠٧	./٩٧	٦٦/٣٩	٧١/١٥
K	Ordinary	Exponential	١/١٨	-./٠٨	١/٠٤	١١/١	١/٢٦

جدول ٥- پارامترهای واریوگرام اجرای درون‌یابی در محدوده آبخوان نجف‌آباد

عوامل محیطی	پارامترهای واریوگرام			
	سمی واریوگرام مدل	دامنه تأثیر	آستانه تأثیر	اثر قطعه‌ای
No3	Exponential	./٢٥٩	١٩٥٦/٦٤	٥١/٠٢
pH	Gaussian	./٠١٩	./٠٦٨	./٠٣
EC	Hole Effec	./١٤٢	٢٢٥٥٦٢/٥	١٢٦٨٧١/٢١
TDS	J-Bessel	./١٨٩	١١٣٤٧٢/٣	٥١٣٠٩/٣٣
Na	Gaussian	./٠٣٥	./٤٥٧	./٥٣٩
K	Exponential	./١٠٦	./٣٤٩	./٥٤١

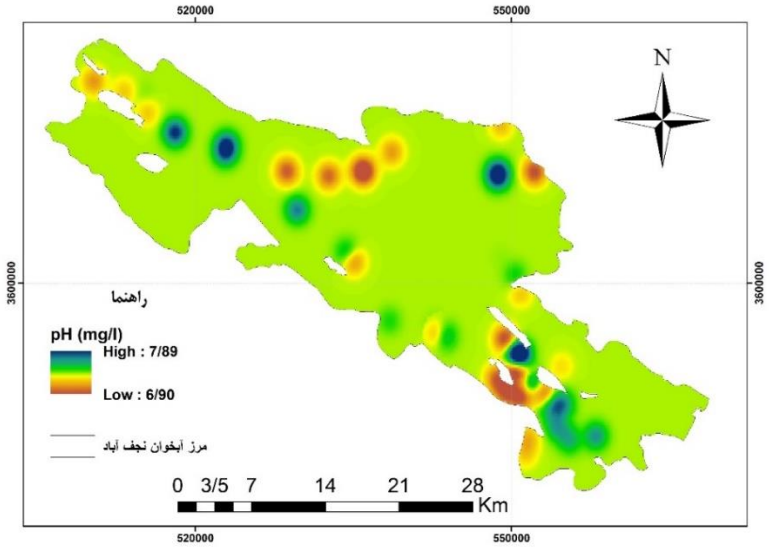


شکل ٤- نقشه پهنه‌بندی نیترات در محدوده آبخوان نجف‌آباد

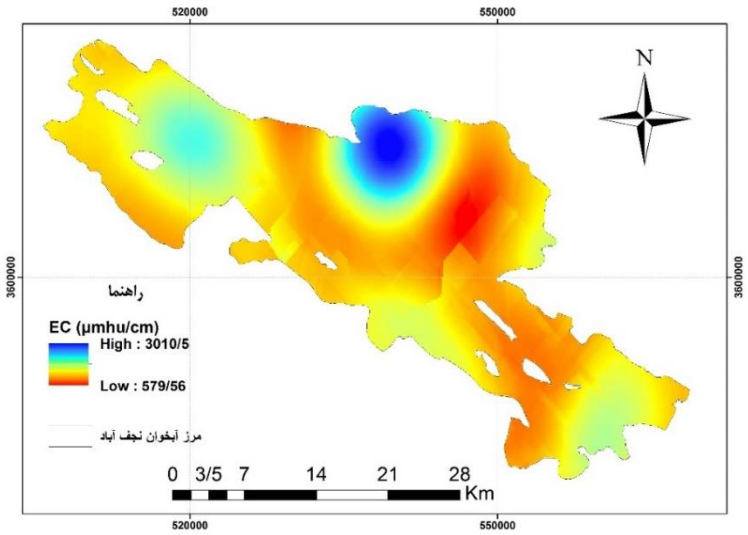
نیترات یکی از عوامل شیمیایی و شاخص آلودگی شیمیایی آب است که می‌تواند سلامت آب شرب را تحت تأثیر قرار دهد و سبب اثرات سوء بهداشتی در مصرف‌کنندگان شود. همان‌طور که در شکل ٤ مشاهده می‌شود، مقدار متوسط نیترات در قسمت‌های شمالی و مرکزی محدوده آبخوان نجف‌آباد بالاتر است و نشان می‌دهد که منابع آلوده‌کننده در این مناطق بیشتر بوده و باید اقدامات لازم جهت پاک‌سازی منطقه از منابع آلوده‌کننده انجام گیرد. ازآنجایی‌که این منطقه در نزدیکی سد زاینده‌رود واقع‌شده و یکی از اهداف مهم سد زاینده‌رود، تأمین آب شرب شهر اصفهان و دیگر شهرها و روستاهای پایین‌دست این سد است، بنابراین باید این موضوع به‌صورت جدی مدنظر قرارگرفته و ضمن شناسایی منابع آلاینده‌ی آب در این منطقه، نسبت به کنترل و حذف منابع آلاینده اقدامات لازم صورت پذیرد.

www.SID.ir

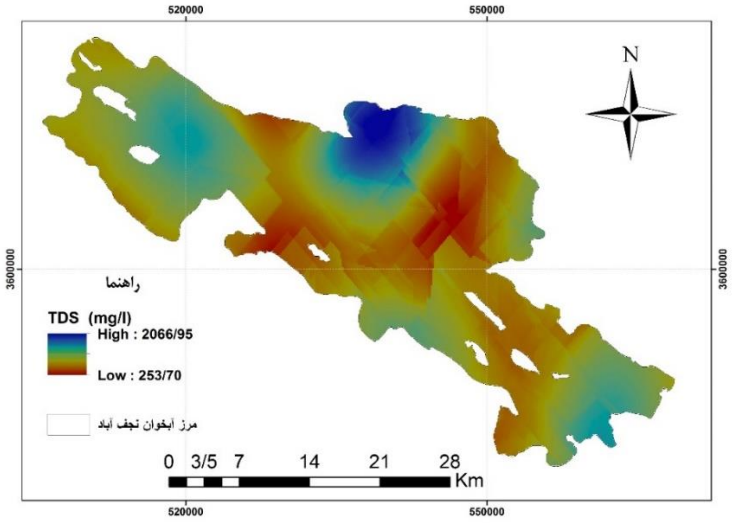
Archive of SID



شکل ۵- نقشه پهنه‌بندی pH در محدوده آبخوان نجف‌آباد



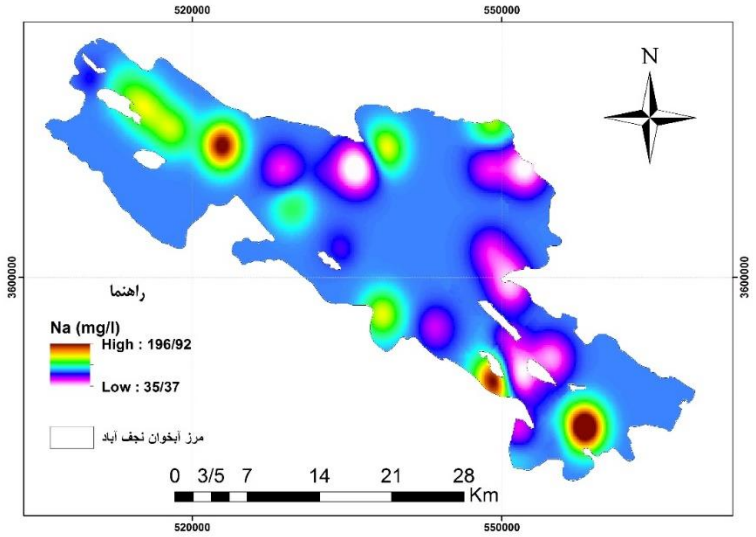
شکل ٦- نقشه پهنه‌بندی EC در محدوده آبخوان نجف‌آباد



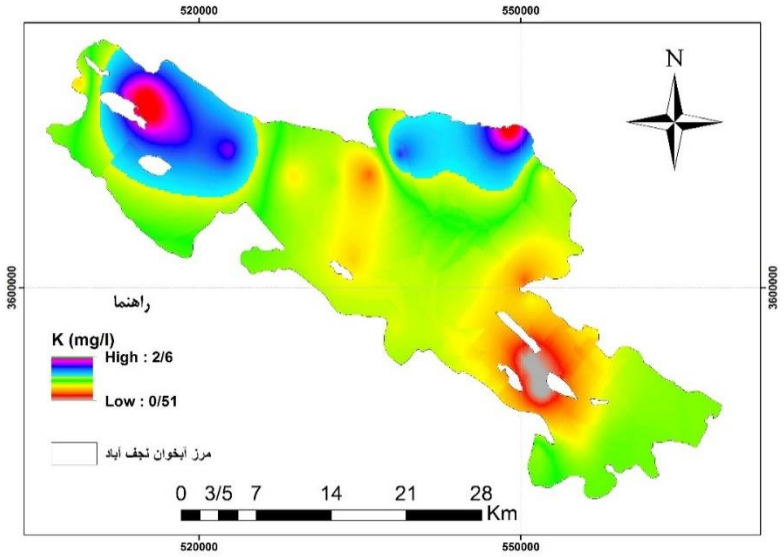
شکل ۷- نقشه پهنه‌بندی TDS در محدوده آبخوان نجف‌آباد

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۸ – نقشه پهنه‌بندی Na در محدوده آبخوان نجف‌آباد



شکل ۹– نقشه پهنه‌بندی K در محدوده آبخوان نجف‌آباد

همان‌طور که در نقشه‌های پهنه‌بندی مشاهده شد، بیشترین مقدار نیترات در قسمت‌های شمالی و مرکزی آبخوان نجف‌آباد قرار دارد و کمترین مقدار pH نیز در قسمت‌های شمالی و مرکزی این منطقه مشاهده شد. بیشترین مقدار EC در نواحی شمالی منطقه مشاهده شد. صفوی گردینی و همکاران (۱۳۹۷) نیز بیان داشتند که روش‌های کریجینگ معمولی و کریجینگ ساده در تخمین اکثر متغیرهای کیفی خطای کمتری نشان می‌دهد و بسیاری دیگر از پژوهشگران نیز پهنه‌بندی کیفی را در GIS انجام دادند و روش کریجینگ را روشی مناسب برای تهیه نقشه پهنه‌بندی معرفی کردند زیرا که نتایج حاصل از کریجینگ ازنظر واریانس مکانی، موقعیت مکانی، موقعیت و توزیع نمونه‌ها قابل‌اعتماد است و نسبت به روش‌های دیگر، بیشتر موردتوجه پژوهشگران در مطالعات آب زیرزمینی بوده است.

بالا بودن مقدار نیترات ممکن است از اثرات دفن زباله‌ها در نزدیکی این مناطق باشد و البته دفع فاضلاب خام نیز (Tahernezhad *et al.* 2016) همان‌طور که در مقدمه‌ی

www.SID.ir

Archive of SID

پژوهش حاضر اشاره شد از منابع اصلی یون‌های نیترات در منابع آب‌های شهری و روستایی هستند. پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده، مناطق دفع فاضلاب خام و دفن زباله‌ها شناسایی‌شده و فاصله‌ی چنین مناطقی تا نواحی آلوده به نیترات در محدوده آبخوان نجف‌آباد که در این پژوهش پهنه‌بندی شد، صورت گیرد. تصفیه آب برای حذف نیترات معمولاً راه مناسبی برای جلوگیری از مشکلات نیترات است (Nowruzi *et al*. 2007).

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، پهنه‌بندی برخی پارامترهای کیفی آبخوان نجف‌آباد انجام شد و نیز بررسی آلودگی آب و تهیه نقشه پهنه‌بندی نیترات در آبخوان نجف‌آباد با استفاده از تکنیک‌های GIS و بهره‌گیری از روش‌های درون‌یابی صورت گرفت. روند تغییرات بلندمدت پارامترهای کیفی با استفاده از آزمون‌های MK و TFPW-MK بررسی شد. در این محدوده کیفیت آب باگذشت زمان، کاهش‌یافته است. علت‌های مختلفی سبب کاهش کیفیت آب این منطقه در طی زمان شده است.

مصارف بالاتر آب به نسبت افزایش جمعیت در این محدوده نیز می‌تواند از جمله علل کاهش کیفیت آب در طی دوره‌ی بلندمدت باشد. در نتایج مطالعه‌ی حاضر مشاهده شد که پارامترهای TDS، EC و TH دارای روند معنی‌دار مثبت بودند. آنیون‌ها و کاتیون‌ها نیز دارای روند معنی‌دار مثبت بودند. کیفیت آب ازنظر مصارف شرب و کشاورزی نیز در محدوده آبخوان نجف‌آباد مورد بررسی قرار گرفت. کیفیت آب ازنظر کشاورزی در مواردی خیلی شور و نامناسب برای کشاورزی و در مواردی نیز شور است و کشاورزی باید با اعمال تمهیدات انجام گیرد اما عمدتاً در محدوده‌ی C_3-S_1 قرار دارد. کیفیت آب ازنظر شرب در این محدوده عمدتاً در طبقه قابل‌قبول و متوسط و در مواردی نیز در طبقه نامناسب قرار دارد.

میزان عناصر سنگین در محدوده آبخوان مطالعاتی در حد مجاز است. آب ازلحاظ صنعتی خورنده و کیفیت آب به لحاظ سختی کل، آب سخت است. بیشترین مقدار نیترات در قسمت‌های شمالی و مرکزی آبخوان نجف‌آباد قرار دارد و کمترین مقدار pH نیز در قسمت‌های شمالی و مرکزی این منطقه مشاهده شد.

بیشترین مقدار EC در نواحی شمالی منطقه مشاهده شد. مقدار متوسط غلظت نیترات ۶۳/۱۳ میلی‌گرم در لیتر محاسبه شد و ماکزیمم مقدار نیترات در قسمت‌های شمالی و مرکزی این آبخوان تا ۱۹۵ میلی‌گرم در لیتر رفته است. اگر یکی از علت‌های اصلی بالا بودن نیترات در محدوده آبخوان نجف‌آباد، عملیات کشاورزی در منطقه باشد می‌توان گفت آلاینده‌های مربوط به استفاده از سموم شیمیایی نیز باید در اندازه‌گیری‌های آتی مدنظر قرار گیرد.

با توجه به توسعه مراکز شهری و صنعتی در اطراف زاینده رود در صورتی که اقدام جدی و سریع صورت نگیرد آلودگی در بستر رودخانه صورت گرفته و سلامت انسان و دیگر موجودات را تهدید می‌کند.

به‌منظور جلوگیری از افزایش نیترات در شبکه توزیع آب آشامیدنی، اقداماتی چون عدم ورود فاضلاب شهری به منابع آب و تصفیه فاضلاب ضروری به نظر می‌رسد. پیشنهاد می‌شود پایش مستمر و بررسی‌های کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی در محدوده آبخوان نجف‌آباد به‌ویژه نقاط با غلظت بالای نیترات انجام گیرد و با بررسی علت‌های دقیق افزایش غلظت نیترات در منطقه از ادامه‌ی این وضع جلوگیری شود. انجام اقدامات لازم برای کنترل آلودگی در محدوده آبخوان نجف‌آباد بسیار ضروری است.

www.SID.ir

Archive of SID

فهرست منابع

ترابی پوده، ح.، امامقلی زاده، س. ۱۳۹۳. بررسی روند تغییرات دبی رودخانه در استان لرستان با استفاده از روشTFPW-MK . مجله تحقیقات علوم زمین کاربردی، ١٤ (٣٥): ٧٣-٩٣.

سبزی پرور، ع.، شادمانی، م. ۱۳۹۰. تجزیه‌وتحلیل روند تبخیر و تعرق و مرجع با استفاده از آزمون من کندال و اسپیرمن در مناطق خشک ایران. مجله آب و خاک (علوم و فناوری کشاورزی)، ٢٥ (٤): ٨٣٤ – ٨٢٤.

سلگی، ا.، نصیری، م. ۱۳۹۸. پهنه‌بندی برخی از پارامترهای کیفیت آب قابل شرب در شهر ملایر، مجله آبیاری و مهندسی آب ایران، ۲ (۱): ۱۷۷-۱۹۰.

صالحیان، س. رحمانی فضلی، ا. ۱۳۹۷. بررسی پیامدهای محیطی ناپایداری منابع آب در حوضه رودخانه زاینده رود. مجله تحقیقات جغرافیای طبیعی، ۵۰ (۲): ۳۹۱-٤٠٦.

صفوی گاردینی، م.، محمدرضا پور، ع.، بهرامی، ع.، محمدی صدیق، م.، سالاری، م. ۱۳۹۷. بررسی و ارزیابی تنوع مکانی متغیرهای کیفیت آب‌های زیرزمینی در جنوب دشت قروه و دهگلان با استفاده از روش‌های زمین‌آماری. مجله آبیاری و مهندسی آب، ۹ (۳۳): ١٦٧-١٨٣.

نظریان، س.، ب. فریدگیگلو. ١٣٩٤. بررسی کیفیت شیمیایی آب و روند تغییرات پارامترهای کیفی در محل ایستگاه نوده رودخانه گرگان رود استان گلستان. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، ۵ (۱۹). ۸۰-۹۳.

Baalousha, H. 2010. Assessment of a groundwaterquality monitoring network using vulnerability mapping and geostatistics: A case study fromHeretaunga Plains, New Zealand. J. Agricultural. W.Management 97: 240-246.

Dev, R., Bali, M. 2018. Evaluation of groundwater quality and its suitability for drinking and agricultural use in district Kangra of Himachal Pradesh, India. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. 2018 Mar 26.

Gaus, I., Kinniburgh, D. G., Talbot, J. C., Webster, R. 2003. Geostatistical analysis of arsenic concentration in groundwater in Bangladesh using disjunctive Kriging. Environmental geology 44: 939-948.

Jalali, M. and Z. Kolahchi. 2008. Groundwater quality in an irrigated, agricultural area of northern Malayer, western Iran. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 80: 95–105.

Krishna kumar, S., A. Logeshkumaran, N. S. Magesh, P.S. Godson and N. Chandrasekar. 2015. Hydro-geochemistry and application of water quality index (WQI) for groundwater quality assessment, Anna Nagar, part of Chennai City, Tamil Nadu, India.Appl Water Sci, 5:335–343.

Kulkarni, A, Von Storch, H. 1995. Monte Carlo experiments on the effect of serial correlation on the Mann–Kendall test of trend. Meteorologische Zeitschrift 4(2): 82–85.

Nowruzi, H., Shahbazi, A., Ranjbar, M., Zafarmir Mohammadi, A. 2007. Survey of nitrate and nitrite ions in groundwater resources of Hamadan province, 10th National Conference on Environmental Health, Hamadan, Hamadan University of Medical Sciences.

Reda, A.H. 2016. Physico-Chemical Analysis of Drinking Water Quality of Arbaminch Town. J Environ Anal Toxicol, 6:2.

Sajil, K. P. J., P. Jegathambal and E. J. James. 2014. Chemometric evaluation of nitrate contamination in the groundwater of a hard rock area in Dharapuram, South India. Applied Water Science, 4, 397e405.

Tahernezhad, Z., Z. Yousefi and N. Mousavinasa. 2016. A survey on fluoride, nitrate, iron, manganese and total hardness in drinking water of Fereydoonkenar city during 2008-2013. Journal of Advances in Environmental Health Research (JAEHR), 4(2): 102-112.

Tariq, S. R. 2014. Multivariate Statistical Analyses of Fluoride and Other Physicochemical Parameters in Groundwater Samples of Two Megacities in Asia: Lahore and Sialkot. Hindawi Publishing Corporation Journal of Chemistry. Volume 2014, Article ID 682452, 11 pages.

WHO. 2011. Guidelines for drinking-water quality (4th ed.). Geneva: World Health Organization.

Wilcox, LV.1955. Classification and use of irrigation water. USDA, Circular 969.Washington, DC. USA.

Yue, S., Pilon, P. 2002. The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series. Hydrological Processes 16 (9): 1807–1829.

www.SID.ir

Archive of SID

ISSN 2251-7480

Groundwater quality trend analysis and zoning using TFPW-MK and GIS (Case Study: Najaf Abad Aquifer)

Hojatallah Yonesi[1]*, Hasan Torabipoudeh[2], Babak Shahinejad[3], Azadeh Arshia[4], Hafez Mirzapour[5]

[1] Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University.
[2] Associate Professor of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University
[3]Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University.
[4] Graduated from Watershed Engineering Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University
[5] Phd from Watershed Engineering Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University
*Corresponding author email: yonesi.h@lu.ac.ir

Received: 24-10-2019 Accepted: 09-06-2020

Abstract

Investigating the quality and contamination of groundwater resources in the planning and development of water resources is very important and necessary. The purpose of this study is to map the quality of water, pollution, and study the trend of changes in quality parameters in the long run in Najafabad aquifer. For this purpose, the parameters EC, TDS, SAR, pH, TH, Cl, CO_3, Ca, Mg, Na, K, HCO_3, NO_3 and heavy elements including zinc, copper, lead, cadmium and arsenic were investigated from laboratory samples. . The agricultural water quality classification according to the Wilcox diagram is mainly in the range of C_3-S_1 and in the drinking water according to the Schuler diagram it is mainly acceptable and intermediate and in some cases inappropriate. The amount of heavy elements is allowed. The trend of changes in qualitative parameters was evaluated using MK and TFPW-MK methods and the results showed that water quality decreased over time. Some qualitative parameters were mapped in ArcGIS environment. The average nitrate concentration was calculated to be 63.13 mg / L and the maximum nitrate concentration in the northern and central parts of the aquifer was 193 mg / L. Regarding the results of this study, continuous monitoring and quantitative and qualitative investigations of groundwater resources and necessary measures to control pollution in the Najafabad aquifer area is very necessary.

Keywords: Groundwater, Nitrate, Pollution, Zoning

www.SID.ir