

## بررسی کیفیت منابع آب زیرزمینی در آبخوان‌های زیرحوضه جنوبی زاینده‌رود

حجت‌الله یونسی<sup>۱\*</sup>، آزاده ارشیا<sup>۲</sup>، حسن ترابی پوده<sup>۳</sup>، بابک شاهی‌نژاد<sup>۴</sup>، مسعود سیدی‌پور<sup>۵</sup>، نیاز وحدت‌پور<sup>۶</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۶/۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۹/۲۳

### چکیده

تأمین آب باکیفیت مناسب برای پاسخ به تقاضای فزاینده بخش‌های مختلف، یکی از چالش‌های اصلی برنامه‌ریزان و مدیران آب کشور است. هدف از این پژوهش، بررسی روند تغییرات کیفیت منابع آب زیرزمینی در بلندمدت و همچنین محاسبه و پهنه‌بندی شاخص IRWQI<sub>GC</sub> و نترات در آبخوان‌های زیرحوضه جنوبی زاینده‌رود است. بدین منظور پارامترهای TDS، EC، SAR، pH، TH، Cl، CO<sub>3</sub>، Ca، Mg، Na، K، HCO<sub>3</sub>، NO<sub>3</sub> و عناصر سنگین شامل روی، مس، سرب، کادمیوم و آرسنیک از نمونه‌های آزمایشگاهی به تعداد ۲۹۳۵ نمونه آزمایشگاهی در فصل‌های تر و خشک بررسی شدند. روند تغییرات پارامترهای کیفی با استفاده از روش‌های MK و TFPW-MK بررسی شد و نتایج نشان‌دهنده کاهش کیفیت آب در طی زمان بود. متوسط شاخص IRWQI<sub>GC</sub> در هفت آبخوان زیرحوضه جنوبی زاینده‌رود محاسبه شد و پهنه‌بندی نترات و شاخص با روش کریجینگ انجام شد. کمترین مقدار شاخص کیفی آب در آبخوان‌های کرون و لنجانان و نجف‌آباد قرار دارد که به ترتیب در طبقات نسبتاً بد و بد قرار می‌گیرند. مقدار متوسط نترات در آبخوان‌های دامنه‌داران، کرون و نجف‌آباد بیشتر از سایر آبخوان‌هاست و به ترتیب ۴۸/۰۸، ۵۰/۴۲ و ۶۳/۱۳ میلی‌گرم در لیتر است که اغلب فراتر از حد مجاز رفته و کنترل آلودگی آب در این مناطق ضروری است. با توجه به توسعه مراکز شهری و صنعتی در اطراف زاینده‌رود در صورتی که اقدام جدی و سریع صورت نگیرد، آلودگی در بستر رودخانه صورت گرفته و سلامت انسان و دیگر موجودات را تهدید می‌کند.

کلیدواژه‌ها: آلودگی آب، کریجینگ، نترات، IRWQI<sub>GC</sub>، TFPW-MK.

۱. استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، نویسنده مسئول، yonisi.h@lu.ac.ir

۲. کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد

۳. دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد

۴. استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد

۵ و ۶. کارشناس ارشد منابع آب و محیط زیست، شرکت آب منطقه‌ای اصفهان

## مقدمه

به منظور حذف اثر ضریب خودهمبستگی بر روی آزمون MK، کولکارنی وان استورچ<sup>۱</sup> (۱۹۹۵)، یک روش پیش سفیدکردن (PW-MK) را قبل از انجام آزمون MK ارائه کردند. در مواردی که روند در یک سری زمانی وجود نداشت، وان استورچ نشان داد که پیش سفیدکردن، اثر ضریب خودهمبستگی را بر آزمون MK به طور مؤثر کاهش می دهد. یو<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۲) با استفاده از شبیه سازی نشان دادند که در صورت وجود روند و فرایند AR(1) در یک سری زمانی، روش پیش سفیدکردن وان استورچ، بخشی از روند را حذف خواهد کرد؛ بنابراین ممکن است فرض صفر مبنی بر عدم وجود روند، مورد قبول واقع شود و این در حالی است که روند ممکن است وجود داشته باشد. به منظور کاهش مؤثر در اثر ضریب همبستگی روی آزمون MK، روش اصلاح شده پیش سفیدکردن بدون روند (TFPW) توسط یو و همکاران (۲۰۰۲) ارائه شد. برداشت بی رویه از منابع آب زیرزمینی علاوه بر کمبودهای کمی، مسائل کیفی را به وجود آورده و این مشکلات در مناطق خشک و نیمه خشک که وابستگی به این منابع بیشتر است، اهمیت بیشتری دارد (سبزی پرور و شادمانی، ۲۰۱۱).

سبزی پرور و شادمانی (۲۰۱۱) با به کارگیری آزمون غیرپارامتری من-کندال وجود روند معنی دار برای سری های زمانی در سطح معنی داری ۹۵٪ را برای مناطق خشک ایران مورد ارزیابی قرار دادند. همچنین برای کاهش اثر وجود همبستگی ترتیبی بر نتایج آزمون ها از روش TFPW استفاده کردند. نظریان و فری گیگلو (۲۰۱۵) به بررسی کیفیت شیمیایی آب و روند تغییرات پارامترهای کیفی در محل ایستگاه نوده رودخانه گرگان رود استان گلستان پرداختند و به منظور تعیین روند در داده ها از آزمون من کندال استفاده کردند. نتایج آنالیز کیفی نشان داد که آب رودخانه گرگان رود در محل این ایستگاه از تیپ آب های شور مزه 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 کوتاه تری نشان

دهد. به همین دلیل از شاخص آلودگی آب (Water Quality Index) WQI برای ارائه سریع نتیجه ارزیابی وضعیت کیفیت آب بهره می گیرند که بدون پیچیدگی های ریاضی و آماری کیفیت آب را بیان می کند (ایفندی<sup>۳</sup>، ۲۰۱۶). شاخص کیفیت منابع آب ایران (IRWQI (Iran Water Quality Index) با هدف استفاده از روش مناسب با شرایط طبیعی و مسائل منابع آب ایران تهیه شده است (فرزادکیا و همکاران، ۲۰۱۶). میرزایی و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی کیفیت آب در بوشهر با استفاده از شاخص های کیفی NSFQI و IRWQI پرداختند. یافته های حاصل از این مطالعه نشان داد که بر اساس شاخص IRWQI کیفیت آب رودخانه باغان و دالکی در طبقه نسبتاً بد و از نظر شاخص NSFQI رودخانه باغان در طبقه متوسط قرار دارد. صفوی گردینی و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی تغییرات مکانی متغیرهای کیفی آب زیرزمینی جنوب دشت قروه و دهگلان با استفاده از روش های زمین آمار پرداختند و نتایج نشان داد که روش های کریجینگ معمولی و کریجینگ ساده در تخمین اکثر متغیرهای کیفی خطای کمتری داشته اند. نتایج پهنه بندی نشان داد کیفیت آب زیرزمینی در قسمت های غربی، جنوب و شرقی بهتر از سایر بخش ها بوده است. عباس نیا و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی کیفیت آب زیرزمینی چابهار در سیستان و بلوچستان جهت اهداف آبیاری با کمک شاخص کیفیت آب آبیاری و پهنه بندی آن با GIS پرداختند. نتایج حاصل نشان داد که ۴۰٪ نمونه های طبقه بندی شده به عنوان آب بسیار خوب و ۶۰٪ نمونه ها از طبقه آب خوب بودند. امیری و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه ای با استفاده از شاخص IRWQI<sub>GC</sub> به ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی در محل دفن زباله در قائم شهر پرداختند و دریافتند که از جنوب به شمال و شمال شرق منطقه از کیفیت آب کاسته می شود و اغلب منطقه در طبقه نسبتاً بد قرار گرفته است. صالحیان و رحمانی فضلی (۲۰۱۸) در مطالعه ای به بررسی پیامدهای محیطی ناپایداری منابع آب در حوضه آبریز رودخانه زاینده رود پرداختند و با روش های تحلیل تغییرات کاربری اراضی و بررسی تغییرات برداشت از آب زیرزمینی و توزیع پرسشنامه، پیامدهای محیطی ناپایداری منابع آب در

1. Kulkarni, Von Storch  
2. Yue

3. Effendi

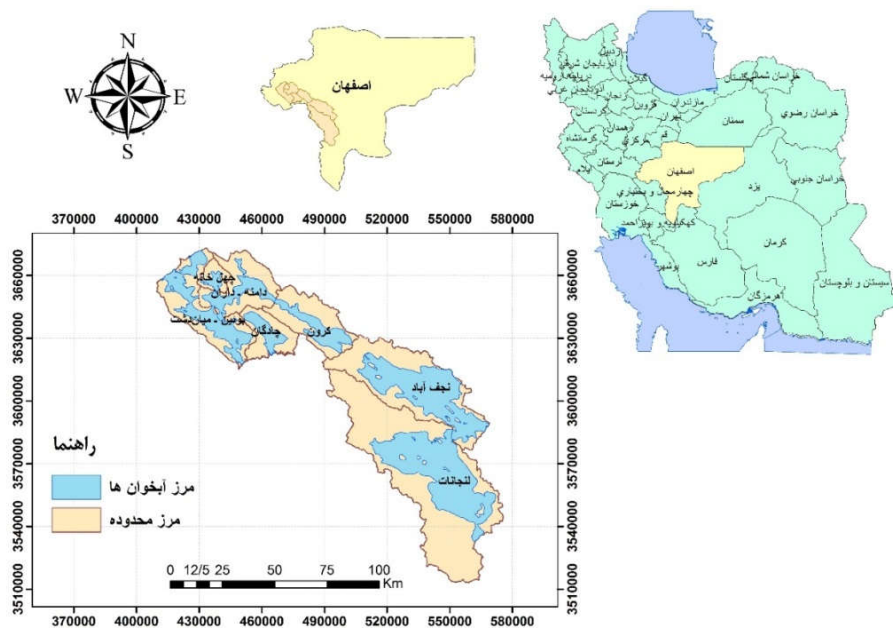
تحقیق حاضر با هدف ارزیابی روند تغییرات کیفیت منابع آب زیرزمینی و پهنه‌بندی نترات و نیز محاسبه و پهنه‌بندی شاخص کیفیت منابع آب ایران (IRWQI<sub>GC</sub>) در محدوده آبخوان‌های زیر حوضه جنوبی زاینده‌رود (۷ آبخوان) در استان اصفهان ارائه می‌شود.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

استان اصفهان با قرارگیری در منطقه خشک و نیمه‌خشک مرکزی، یکی از استان‌های کم‌آب ایران است. منابع آب شیرین این استان محدود بوده و در سال‌های اخیر نیز مواردی همچون رشد جمعیت و بهره‌برداری‌های غلط از منابع آب، باعث آلودگی منابع آب و به‌خصوص منابع آب‌های زیرزمینی در بعضی مناطق این استان شده است. در این مطالعه، کیفیت منابع آب زیرزمینی در هفت آبخوان زیرحوضه جنوبی زاینده‌رود شامل آبخوان‌های چهل‌خانه، دامنه‌داران، بوئین میاندشت، کرون، لنجانات، نجف‌آباد و چادگان مورد بررسی قرار می‌گیرد. در شکل (۱) موقعیت آبخوان‌های زیرحوضه جنوبی زاینده‌رود در استان اصفهان و ایران مشخص شده است.

زاینده‌رود را بررسی کردند؛ 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. ترکمان و همکاران (۲۰۱۹) تحلیل روند پارامترهای اقلیمی استان خوزستان را با استفاده از آزمون TFPW-MK انجام دادند؛ نتایج نشان‌دهنده روند معنادار کاهشی در پارامتر بارندگی برای ایستگاه‌های صفی‌آباد، هندیجان، مسجدسلیمان و بندر ماهشهر با سطح اطمینان ۹۵٪ و امیدیه با سطح اطمینان ۹۹٪ بود و روند افزایشی معنادار تبخیر و تعرق در دو ایستگاه بستان و صفی‌آباد و روند کاهشی معنادار با سطح اطمینان ۹۵٪ برای ایستگاه‌های شوشتر، ایذه، آبادان و اهواز مشاهده شد. ادیمالا<sup>۱</sup> (۲۰۱۹) در منطقه‌ای از جنوب هند به بررسی کیفیت آب زیرزمینی و ارزیابی شاخص WQI و همچنین ارزیابی ریسک سلامت در آن منطقه پرداخت و بیان داشت با توجه به اینکه آب زیرزمینی منبع اولیه برای نوشیدن و نیازهای خانگی است، کیفیت و سلامت آن ارتباط مستقیم با سلامت انسان دارد و ۱۹۴ نمونه آب زیرزمینی را جمع‌آوری نموده و پارامترهای کیفی را بررسی و نیز با شاخص WQI ارزیابی کرد. نتایج ارزیابی ریسک سلامت نشان داد که با توجه به نترات بالا در آب منطقه، کودکان به‌علت مصرف بیشتر در معرض خطر قرار گرفتند.



شکل (۱): موقعیت هفت آبخوان در زیرحوضه جنوبی زاینده‌رود، استان اصفهان

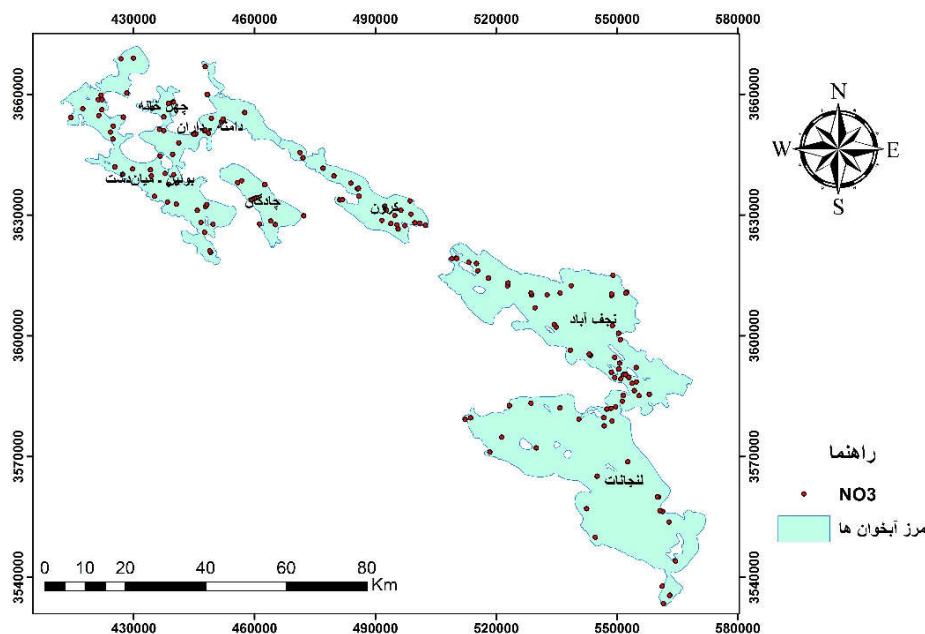
Figure (1): Location of the Seven Aquifer in the South Zayandehrood Basin, Isfahan Province

## روش تحقیق

## تعداد نمونه‌های کیفی در محدوده آبخوان‌ها

اطلاعات شامل EC، TDS، SAR، pH، TH، Cl، CO<sub>3</sub>، Ca، Mg، Na، K، HCO<sub>3</sub> و نیز NO<sub>3</sub> و عناصر سنگین شامل روی، مس، سرب، کادمیوم و آرسنیک هستند. تعداد نمونه‌های کیفی محدوده آبخوان‌های زیرحوزه جنوبی زاینده‌رود در جدول (۱) آمده است. نمونه‌ها در فصول تر و خشک برداشت شده‌اند و توزیع مکانی نمونه‌ها در شکل (۲) آمده است.

| جدول (۱): تعداد نمونه‌های کیفی در آبخوان‌ها            |                     |
|--|---------------------|
| تعداد نمونه‌های کیفی                                   | سازمان              |
| ۱۳۷ مکان، ۱۴۳ نمونه آزمایشگاهی، آزمایش‌های شیمیایی     | آب و فاضلاب روستایی |
| ۱۳۰ مکان، ۱۳۶ نمونه آزمایشگاهی، آزمایش‌های عناصر سنگین | آب و فاضلاب شهری    |
| ۸۰ مکان، ۱۸۲ نمونه آزمایشگاهی                          | آب منطقه‌ای         |
| ۱۰۳ نقطه، ۲۹۳۵ نمونه آزمایشگاهی                        |                     |



شکل (۲): مکان‌های نمونه‌برداری برای بررسی پارامترهای کیفیت آب

Figure (2): Sampling sites for water quality parameters

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (1)$$

$$\text{sgn}(\theta) = \begin{cases} 1 & \text{if } \theta > 0 \\ 1 & \text{if } \theta = 0 \\ -1 & \text{if } \theta < 0 \end{cases} \quad (2)$$

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

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

آزمون MK روی سری زمانی بدون حذف ضریب خودهمبستگی (پیش سفیدنشده)

آزمون MK یکی از پرکاربرترین آزمون‌های غیر پارامتریک برای تحلیل روند داده‌هاست. فرض صفر  $H_0$  مستقل بودن و یکنواختی توزیع داده‌های نمونه و فرض مقابل  $H_1$  وجود یک روند یکنواخت در داده‌هاست. برای انجام این آزمون ابتدا باید آماره  $S$  را با رابطه (۱) محاسبه کرد که در آن  $X_j$  مقدار داده زام،  $n$  تعداد داده‌ها و  $\text{sgn}(\theta)$  تابع علامت بوده و با رابطه (۲) قابل محاسبه است (سبزی‌پرور و شادمانی، ۲۰۱۱).

۴. 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 سفیدکردن پس از حذف روند از سری‌ها، روش پیش سفیدکردن بدون روند نامیده می‌شود (TFPW). سری باقی‌مانده‌ها پس از انجام روش TFPW یک سری مستقل است.

۵. روند شناخته‌شده  $T_t$  و سری باقی‌مانده‌ها  $Y'_t$  به صورت  $Y_t = Y'_t + T_t$  باهم ترکیب می‌شود. بدیهی است که سری حاصل  $Y_t$  روند واقعی را حفظ کرده و اثر ضریب خودهمبستگی نیز حذف شده است.  
۶. آزمون MK روی سری ترکیبی  $Y_t$  جهت برآورد روند واقعی.

### شاخص کیفیت منابع آب ایران (IRWQI)

پژوهشکده علوم محیطی دانشگاه شهید بهشتی تحت نظارت سازمان محیط‌زیست در سال ۱۳۹۰، راهنمای محاسبه شاخص کیفیت آب را در دو بخش آب‌های سطحی و زیرزمینی برای پارامترهای متداول و سمی آب منتشر کرده است. به‌منظور محاسبه شاخص کیفیت آب زیرزمینی  $(IRWQI_{GC})$  پارامترهایی پیشنهاد شده که به هرکدام از آن‌ها بر اساس نقشی که در آلودگی آب‌های زیرزمینی دارند، وزنی تعلق گرفته است که البته تعداد پارامترها می‌تواند تغییر کند. با توجه به پارامترهای کیفی موجود برای هر منبع، مقدار شاخص از طریق نمودارهای مربوط به هر پارامتر در نشریه راهنمای محاسبه شاخص کیفیت آب مشخص خواهد شد. سپس وزن کل بر اساس تعداد پارامترهایی که در تعیین شاخص کل مؤثر بوده‌اند، با استفاده از رابطه (۷) شاخص کل کیفیت آب محاسبه می‌شود و طبق این شاخص، کیفیت آب زیرزمینی به هفت دسته مطابق با جدول (۲) تقسیم شده است (میرزایی و همکاران، ۲۰۱۷).

$$IRWQI_{GC} = \left[ \prod_{i=1}^n I_i W_i \right]^{\frac{1}{\gamma}} \quad \gamma = \sum_{i=1}^n W_i \quad (7)$$

که در آن،  $W_i$  وزن پارامتر  $i$ ام،  $n$  تعداد پارامترها،  $I_i$  مقدار شاخص برای پارامتر  $i$ ام است.

$$E(X'_t) = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n X'_t \quad (3)$$

که در آن،  $t_m$  تعداد داده‌های یکسان در دسته  $t$ ام است. آماره آزمون MK یا  $Z$  با رابطه (۴) محاسبه می‌شود. احتمال آماره  $Z$  آزمون MK را می‌توان با استفاده از توزیع تجمعی نرمال محاسبه کرد. در صورتی که آماره  $Z$  مثبت باشد، روند سری داده‌ها صعودی و در صورت منفی بودن آن، روند نزولی در نظر گرفته می‌شود (سبزی‌پرور و شادمانی، ۲۰۱۱).

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

### آزمون MK روی سری زمانی پیش سفیدشده به روش

#### TFPW

روش TFPW-MK برای شناسایی روند در یک سری زمانی دارای خودهمبستگی به صورت زیر ارائه شد (یو و همکاران، ۲۰۰۲):

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

$$b = \text{Median} \left( \frac{X_j - X_i}{j - i} \right) \quad \forall i < j \quad (5)$$

که در آن،  $X_j$  مقدار داده  $j$ ام و  $X_i$  مقدار داده  $i$ ام است.  
۲. اگر شیب تقریباً برابر صفر بود، دیگر نیازی به ادامه انجام آنالیز روند نیست، اما اگر مقدار آن برابر با صفر نبود، روند به صورت خطی فرض شده و داده‌های نمونه به صورت  $X'_t = X_t - T_t = X_t - bt$  (که در آن  $b$  شیب روند و  $T$  تعداد داده‌های گره‌دار و  $X_t$  داده مشاهده‌ای در زمان  $t$  است) نوشته شده و بدون روند می‌شوند.

۳. ضریب خودهمبستگی مرتبه اول سری بدون روند  $X'_t$  با استفاده از معادلات زیر برآورد می‌شود (رابطه ۶).

$$r_k = \frac{\frac{1}{n-k} \sum_{t=1}^{n-k} [X'_t - E(X'_t)][X'_{t+k} - E(X'_t)]}{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n [X'_t - E(X'_t)]^2} \quad (6)$$

که در آن،  $r_1$  ضریب خودهمبستگی مرتبه ۱ داده‌های نمونه سری بدون  $X'_t$  و  $E(X'_t)$  میانگین داده‌های نمونه است.

وزن مربوط به نمونه  $\lambda_m$ ،  $Z(X_i)$  مقدار متغیر  $\lambda_m$  و  $n$  نیز تعداد مشاهدات است.

## نتایج و بحث

### روند تغییرات کیفیت منابع آب زیرزمینی

نتایج روند تغییرات پارامترهای کیفی با استفاده از روش‌های من کندال و من کندال پیش‌سفیدشده به روش TFPW در جدول (۳) آورده شده است.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، ضرایب خودهمبستگی پارامتر pH در تمام محدوده‌ها بیانیگر وجود خودهمبستگی در داده‌هاست. بنابراین در خصوص این پارامتر آزمون من کندال پیش‌سفیدشده ملاک عمل قرار می‌گیرد و بر اساس این آزمون آماره  $Z$  در محدوده آبخوان دامنه‌داران معادل  $3/23$ ، بوئین میاندشت  $2/93$ ، چهل‌خانه  $1/72$ ، چادگان  $2/20$ ، لنجان‌ات  $4/16$ ، نجف‌آباد  $3/835$  و کرون  $2/86$  است. این موضوع نشان می‌دهد که پارامتر pH دارای روند منفی معنی‌دار در سطح ۱٪ در محدوده آبخوان‌های دامنه‌داران، بوئین میاندشت، لنجان‌ات، نجف‌آباد و کرون است و در سطح ۱۰٪ در محدوده آبخوان چهل‌خانه و در سطح ۵٪ در محدوده آبخوان چادگان است. پارامترهای EC، TDS و TH، دارای روند مثبت بوده و در محدوده‌های دامنه‌داران و بوئین میاندشت و چادگان و لنجان‌ات و نجف‌آباد معنی‌دار است. آنیون‌ها و کاتیون‌ها در محدوده‌های دامنه‌داران، بوئین میاندشت و چادگان فاقد روند معنی‌دار هستند و در محدوده چهل‌خانه و کرون، روند معنی‌دار منفی دارند و در محدوده آبخوان‌های لنجان‌ات و نجف‌آباد دارای روند معنی‌دار مثبت هستند. روند منفی pH حاکی از کاهش کیفیت و نیز آلوده شدن آب است که ممکن است در اثر دفن زباله در اطراف آبخوان‌ها باشد. روند مثبت EC، TDS و TH نیز حاکی از کاهش کیفیت آب آبخوان‌های منطقه در طی زمان است. نتایج به‌طور کلی نشان‌دهنده کاهش کیفیت آب در آبخوان‌های زیرحوزه جنوبی زاینده‌رود در طی زمان 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 از جمله علل کاهش کیفیت آب است.

جدول (۲): معادل توصیفی شاخص کیفیت آب (میرزایی و همکاران، ۲۰۱۷)

Table (2): The descriptive equivalent of the water quality index

| مقدار شاخص  | معادل توصیفی |
|-------------|--------------|
| کمتر از ۱۵  | خیلی بد      |
| ۱۵-۲۹/۹     | بد           |
| ۳۰-۴۴/۹     | نسبتاً بد    |
| ۴۵-۵۵       | متوسط        |
| ۵۵/۱-۷۰     | نسبتاً خوب   |
| ۷۰/۱-۸۵     | خوب          |
| بیشتر از ۸۵ | بسیار خوب    |

### تهیه نقشه 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 (گاس<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۳) و با استفاده از داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی شده به دست می‌آید (رابطه ۸).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (8)$$

از بین روش‌های مختلف، هرکدام که میزان RMSE کمتری داشته باشد، روش مناسب‌تری است.

### روش کریجینگ

کریجینگ یک روش تخمین است که بر منطق میانگین متحرک وزن‌دار استوار است و بهترین تخمین‌گر خطی نااریب می‌باشد (گاس و همکاران، ۲۰۰۳). شرط استفاده از روش کریجینگ آن است که متغیر  $Z$  دارای توزیع نرمال باشد. در غیر این صورت باید از روش کریجینگ غیرخطی استفاده یا به‌نحوی توزیع متغیر نرمال گردد. رابطه کلی کریجینگ به‌صورت رابطه (۹) است:

$$Z^*(X_i) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(X_i) \quad (9)$$

که در آن،  $Z^*(X_i)$  مقدار تخمینی متغیر در موقعیت  $X_i$ ،  $\lambda_i$



جدول (۳): روند تغییرات پارامترهای کیفی با استفاده از روش‌های من کندال و من کندال پیش‌سفیدشده به روش TFPW  
 Table (3): Trend of Qualitative Parameters Changes Using MK and TFPW-MK

| نام محدوده    | نام پارامتر | شیب     | ضریب خودهمبستگی | حد بالا و پایین ضریب خودهمبستگی |           | آزمون من کندال |                         |
|---------------|-------------|---------|-----------------|---------------------------------|-----------|----------------|-------------------------|
|               |             |         |                 | حد بالایی                       | حد پایینی | بدون پیش‌سفید  | پیش‌سفیدشده به روش TFPW |
|               |             |         |                 | Z                               | P         | Z              | P                       |
| دامنه‌داران   | pH          | -۰/۰۲۹  | ۰/۶۴۷           | -۰/۳۹۸                          | ۰/۳۰۳     | ۹۹/۳۱          | ۹۹/۹۰                   |
|               | TDS         | ۲/۰۲۷   | ۰/۲۹۸           | -۰/۳۹۸                          | ۰/۳۰۳     | ۹۸/۱۰          | ۹۷/۲۵                   |
|               | EC          | ۳/۰۱۶   | ۰/۲۵۲           | -۰/۳۹۸                          | ۰/۳۰۳     | ۹۷/۱۸          | ۹۶/۸۰                   |
|               | TH          | ۰/۷۲۷   | ۰/۱۴۱           | -۰/۳۹۸                          | ۰/۳۰۳     | ۷۷/۵۷          | ۵۱/۷۳                   |
|               | آنیون‌ها    | ۰/۰۰۶۶  | ۰/۲۵            | -۰/۳۹۸                          | ۰/۳۰۳     | ۱۳/۱۱          | ۳۰/۷۱                   |
| بوئین میاندشت | کاتیون‌ها   | ۰/۰۰۰۷  | ۰/۲۸            | -۰/۳۹۸                          | ۰/۳۰۳     | ۶/۷۸           | ۴۳/۴۷                   |
|               | pH          | -۰/۰۲۶  | ۰/۴۷۷           | -۰/۳۹۸                          | ۰/۳۰۳     | ۹۹/۲۱          | ۹۹/۶۵                   |
|               | TDS         | ۲/۲۰۵   | ۰/۰۴۸           | -۰/۳۹۸                          | ۰/۳۰۳     | ۹۵/۵۰          | ۹۸/۹۷                   |
|               | EC          | ۳/۳۵۷   | ۰/۰۲۸           | -۰/۳۹۸                          | ۰/۳۰۳     | ۹۵/۱۷          | ۹۸/۹۷                   |
|               | TH          | ۱/۰۵۳   | -۰/۱۶۵          | -۰/۳۹۸                          | ۰/۳۰۳     | ۸۴/۸۷          | ۹۷/۶۵                   |
| چهل‌خانه      | آنیون‌ها    | -۰/۰۰۱  | -۰/۲۰۲          | -۰/۳۹۸                          | ۰/۳۰۳     | ۹/۱۶           | ۹۹/۱۳                   |
|               | کاتیون‌ها   | ۰/۰۰۳   | -۰/۳۶۵          | -۰/۳۹۸                          | ۰/۳۰۳     | ۱۷/۸۱          | ۴۳/۴۷                   |
|               | pH          | -۰/۰۱۳  | ۰/۵۰۲           | -۰/۳۹۸                          | ۰/۳۰۳     | ۹۲/۹۰          | ۹۱/۵۵                   |
|               | TDS         | ۰/۳۰۸   | -۰/۰۱۵          | -۰/۳۹۸                          | ۰/۳۰۳     | ۲۶/۲۴          | ۶۵/۰۲                   |
|               | EC          | ۰/۴۶۲   | -۰/۰۱۷          | -۰/۳۹۸                          | ۰/۳۰۳     | ۲۲/۴۴          | ۶۵/۰۲                   |
| چادگان        | TH          | -۰/۰۶۲۵ | -۰/۰۳۶          | -۰/۳۹۸                          | ۰/۳۰۳     | ۶۰/۱۸          | ۳۹/۳۵                   |
|               | آنیون‌ها    | -۰/۰۰۳  | -۰/۰۵۸          | -۰/۳۹۸                          | ۰/۳۰۳     | ۹۰/۴           | ۷۴                      |
|               | کاتیون‌ها   | -۰/۰۰۳  | -۰/۰۰۱          | -۰/۳۹۸                          | ۰/۳۰۳     | ۹۰/۴           | ۸۰                      |
|               | pH          | -۰/۰۲۸  | ۰/۶۱۹           | -۰/۴۳۲                          | ۰/۳۲۱     | ۸۴/۸۷          | ۹۷/۱۸                   |
|               | TDS         | ۲/۵۹۵   | ۰/۳۵۱           | -۰/۴۳۲                          | ۰/۳۲۱     | ۹۹/۵۴          | ۹۹/۹۰                   |
| لنجانان       | EC          | ۴       | ۰/۳۵۴           | -۰/۴۳۲                          | ۰/۳۲۱     | ۹۹/۵۴          | ۹۹/۹۰                   |
|               | TH          | ۱/۲۲۲   | ۰/۱۸۱           | -۰/۴۳۲                          | ۰/۳۲۱     | ۹۶/۳۸          | ۹۳/۰۵                   |
|               | آنیون‌ها    | ۰/۰۱۱   | -۰/۰۵۴          | -۰/۴۳۲                          | ۰/۳۲۱     | ۵۶             | ۴۱                      |
|               | کاتیون‌ها   | ۰/۰۰۲   | -۰/۰۳۴          | -۰/۴۳۲                          | ۰/۳۲۱     | ۳۰             | ۱۸                      |
|               | pH          | -۰/۰۳۲  | ۰/۸۳۹           | -۰/۳۹۷                          | ۰/۳۰۲     | ۹۹/۹           | ۹۹/۹                    |
| کرون          | TDS         | ۱۳/۰۹   | -۰/۲۴۷          | -۰/۳۹۷                          | ۰/۳۰۲     | ۸۷/۲۷          | ۹۷/۲۵                   |
|               | EC          | ۱۷/۷۷   | -۰/۲۵۸          | -۰/۳۹۷                          | ۰/۳۰۲     | ۸۳/۹           | ۹۷/۶۵                   |
|               | TH          | ۶/۸۱    | -۰/۲۹۷          | -۰/۳۹۷                          | ۰/۳۰۲     | ۹۰/۹           | ۹۹/۸۹                   |
|               | آنیون‌ها    | ۰/۰۳۷۱  | ۰/۰۵۸           | -۰/۳۹۷                          | ۰/۳۰۲     | ۹۹/۹           | ۹۵/۷۱                   |
|               | کاتیون‌ها   | ۰/۰۳۷۲  | ۰/۰۵۸           | -۰/۳۹۷                          | ۰/۳۰۲     | ۹۹/۹           | ۹۹/۱۳                   |
| نجف‌آباد      | pH          | -۰/۰۱۹  | ۰/۵۶۴           | -۰/۳۹۷                          | ۰/۳۰۲     | ۹۹/۲۵          | ۹۹/۵۸                   |
|               | TDS         | ۱/۴۶۶   | ۰/۰۹۱           | -۰/۳۹۷                          | ۰/۳۰۲     | ۸۳/۹۹          | ۸۴/۲۹                   |
|               | EC          | ۰/۶۸۷   | ۰/۰۷۶           | -۰/۳۹۷                          | ۰/۳۰۲     | ۲۶/۲۴          | ۳۹/۲۵                   |
|               | TH          | -۰/۱۷۲  | -۰/۰۶۵          | -۰/۳۹۷                          | ۰/۳۰۲     | ۱۷/۸۱          | ۲۱/۶۷                   |
|               | آنیون‌ها    | -۰/۰۲۸  | ۰/۴۱            | -۰/۳۹۷                          | ۰/۳۰۲     | ۸۰/۵۷          | ۹۶/۸                    |
| کرون          | کاتیون‌ها   | -۰/۰۲۷  | ۰/۴۸            | -۰/۳۹۷                          | ۰/۳۰۲     | ۸۳/۹۹          | ۹۶/۸                    |
|               | pH          | -۰/۰۳۲  | ۰/۸۰۲           | -۰/۳۹۷                          | ۰/۳۰۲     | ۹۹/۹           | ۹۹/۹                    |
|               | TDS         | ۳۱/۶۷   | ۰/۲۱۰           | -۰/۳۹۷                          | ۰/۳۰۲     | ۹۹/۹           | ۹۹/۵۸                   |
|               | EC          | ۳۹/۵۰   | ۰/۱۶۸           | -۰/۳۹۷                          | ۰/۳۰۲     | ۹۹/۹           | ۹۹/۱۳                   |
|               | TH          | ۱۰/۶۷   | ۰/۰۲۲           | -۰/۳۹۷                          | ۰/۳۰۲     | ۹۹/۹           | ۹۹/۲۷                   |
| کرون          | آنیون‌ها    | ۰/۳۷۱   | ۰/۰۵۸           | -۰/۳۹۷                          | ۰/۳۰۲     | ۹۹/۹           | ۹۹/۱۳                   |
|               | کاتیون‌ها   | ۰/۳۶۶   | ۰/۰۶۳           | -۰/۳۹۷                          | ۰/۳۰۲     | ۹۹/۹           | ۹۹/۱۳                   |

بالادست زاینده‌رود در جدول (۵) آورده شده است. نقشه

### نقشه پهنه‌بندی نترات و شاخص $IRWQI_{GC}$

مشخصات آماری نترات در جدول (۴) آمده است. پهنه‌بندی نترات در شکل (۲) آورده شده است.

مشخصات اجرای روش کریجینگ در محدوده آبخوان‌های

جدول (۴): مشخصات آماری نترات در آبخوان‌ها

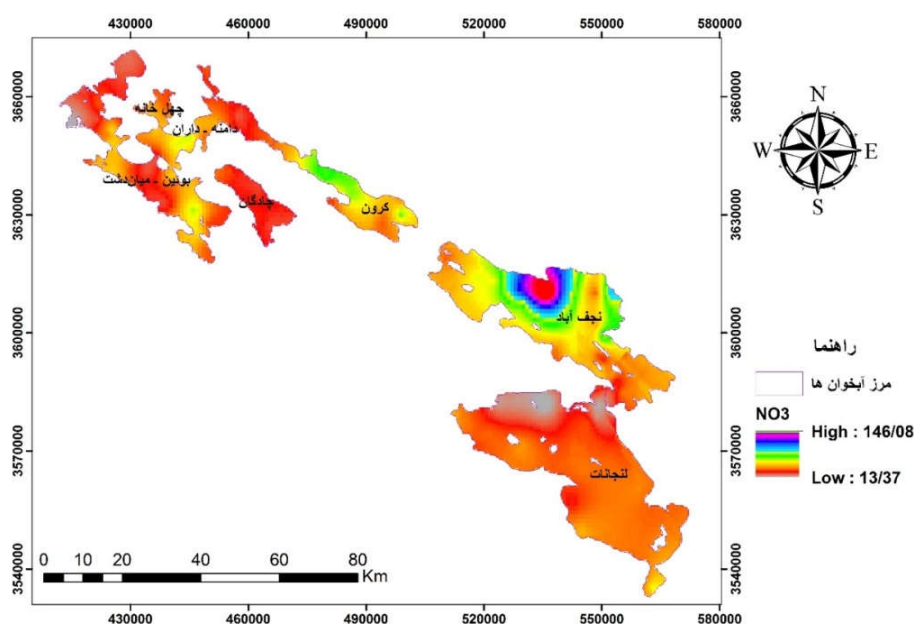
Table (4): Statistical data of Nitrate in aquifers

| نام محدوده    | متوسط نترات | مینیمم | ماکزیمم |
|---------------|-------------|--------|---------|
| چادگان        | ۲۶/۳۶       | ۳/۵۰   | ۳۵/۷۴   |
| بوئین میاندشت | ۳۵/۵۳       | ۳/۲۱   | ۸۵/۱۰   |
| چهل‌خانه      | ۴۳/۷۷       | ۴/۱۱   | ۶۳/۲۰   |
| دامنه‌داران   | ۴۸/۰۸       | ۱۵/۱۰  | ۸۸/۳۰   |
| لنجانان       | ۲۸/۹۷       | ۰/۹۰   | ۷۰/۷۹   |
| نجف‌آباد      | ۶۳/۱۳       | ۵/۹۶   | ۲۰۹/۱۴  |
| کرون          | ۵۰/۴۲       | ۱۳/۸۰  | ۱۰۱/۸۰  |

جدول (۵): مشخصات اجرای روش کریجینگ در آبخوان‌ها

Table (5): Specifications for the Kerjning method in aquifers

| داده         | مدل کریجینگ | بهترین نوع  | RMSE  | MSE   | RMSSES | ASE   |
|--------------|-------------|-------------|-------|-------|--------|-------|
| $IRWQI_{GC}$ | Ordinary    | Exponential | ۹/۵۸  | ۰/۱۵  | ۰/۹۹۴  | ۹/۷۷  |
| NO3          | Universal   | Exponential | ۲۰/۵۲ | ۰/۰۰۵ | ۱/۰۳۴  | ۱۹/۸۵ |



شکل (۲): نقشه پهنه‌بندی نترات در محدوده آبخوان‌های زیرحوزه جنوبی زاینده‌رود

Figure (2): Nitrate Zoning Map in Zayandehrood southern sub-basin aquifers

نترات در بعضی موارد از محدوده آبخوان‌های زیرحوزه جنوبی زاینده‌رود، عملیات کشاورزی در منطقه باشد، می‌توان گفت آلاینده‌های مربوط به استفاده از سموم شیمیایی نیز باید در اندازه‌گیری‌های آتی مدنظر قرار گیرد. سلگی و نصیری

همان‌طور که در شکل (۲) مشاهده می‌شود، بیشترین مقدار متوسط نترات در قسمت‌های شمال و شمال غربی نجف‌آباد و بعد از آن در آبخوان کرون و قسمت‌های مرکزی دامنه‌داران قرار دارد. اگر یکی از علت‌های اصلی بالا بودن



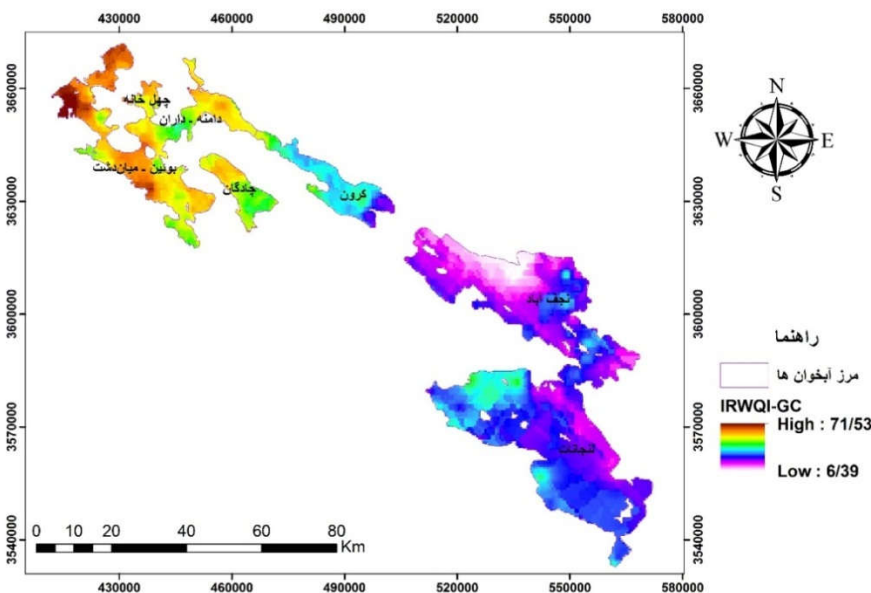
مناسبی برای جلوگیری از مشکلات نیترات است (نوروزی، ۲۰۰۷). در محدوده آبخوان‌های زیرحوضه جنوبی زاینده‌رود شاخص  $IRWQI_{GC}$  محاسبه شد که مشخصات آماری این اندازه‌گیری‌ها در جدول (۶) آمده است. پهنه‌بندی شاخص در این محدوده نیز در شکل (۳) آورده شده است.

(۲۰۱۹) نیز پهنه‌بندی برخی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی را با استفاده از GIS در شهر ملایر انجام دادند و شاهد آلودگی در مناطقی بودند که دفع غیراصولی فاضلاب صورت گرفته بود. به نظر می‌رسد دفع فاضلاب خام در مناطق شهری و روستایی، منبع اصلی یون‌های نیترات در منابع آب هستند (طاهرزاد، ۲۰۱۶). تصفیه آب برای حذف نیترات معمولاً راه

جدول (۶): مشخصات آماری  $IRWQI_{GC}$  در محدوده آبخوان‌ها

Table (6):  $IRWQI_{GC}$  statistical data in aquifers

| محدوده         | ماکزیمم $IRWQI_{GC}$ | مینیمم $IRWQI_{GC}$ | متوسط $IRWQI_{GC}$ |
|----------------|----------------------|---------------------|--------------------|
| چهل‌خانه       | ۶۹                   | ۴۱                  | ۵۰/۲               |
| دامنه‌داران    | ۷۲                   | ۲۳/۶                | ۴۶/۴               |
| بوئین میان‌دشت | ۷۶                   | ۲۷/۷                | ۵۴/۵               |
| چادگان         | ۵۶                   | ۳۳                  | ۴۶/۶               |
| لنجان‌ات       | ۶۳                   | ۱۱                  | ۳۵/۹               |
| نجف‌آباد       | ۵۴/۱                 | ۵                   | ۱۹/۸               |
| کرون           | ۵۹                   | ۱۴                  | ۳۳/۱               |



شکل (۳): نقشه پهنه‌بندی شاخص  $IRWQI_{GC}$  در محدوده آبخوان‌های زیرحوضه جنوبی زاینده‌رود

Figure (3):  $IRWQI_{GC}$  Mapping Map in Zayandehrood southern sub-basin aquifers

استفاده از آزمون‌های MK و TFPW-MK بررسی شد و نتایج به طور کلی نشان‌دهنده کاهش کیفیت آب در آبخوان‌های زیرحوضه جنوبی زاینده‌رود در طی زمان بود. 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 محدوده مورد

همان‌طور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود، کمترین مقادیر شاخص  $IRWQI_{GC}$  مربوط به آبخوان‌های کرون و نجف‌آباد و لنجان‌ات است و در نتیجه، کیفیت آب زیرزمینی این مناطق پایین‌تر است و باید در برنامه‌ریزی‌ها و اقدامات لازم کنترلی و حفاظتی در اولویت اقدام قرار گیرند.

### بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش، روند تغییرات بلندمدت پارامترهای کیفی با

مذکور در پایین دست سد زاینده رود قرار دارند و بر اساس مطالعه صالحیان و رحمانی فضلی (۱۳۹۷) نیز فشار بر سفره‌های آب زیرزمینی، به خصوص در پایین دست حوزه زاینده رود که جریان آب رودخانه از بخش‌های میانی از حالت دائمی خارج شده است و بهره‌برداران، کمبود آب خود را با بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی و حفر چاه جبران می‌کنند، کاهش کمی و کیفی آب و آلودگی در این مناطق، بیشتر مشهود است. عباس‌نیا و همکاران (۲۰۱۸) و صفوی گردینی و همکاران (۲۰۱۸) نیز پهنه‌بندی کیفی را در GIS انجام دادند و روش کریجینگ را روشی مناسب برای تهیه نقشه پهنه‌بندی معرفی کردند؛ زیرا نتایج حاصل از کریجینگ از نظر واریانس مکانی، موقعیت مکانی، موقعیت و توزیع نمونه‌ها قابل اعتماد است و نسبت به روش‌های دیگر، بیشتر مورد توجه محققان در مطالعات آب زیرزمینی بوده است. ادیمالا (۲۰۱۹) نیز شاخص WQI را برای بررسی کیفیت منابع آب، مناسب برشمرد، اما در مطالعه حاضر با توجه به اینکه منطقه تحقیق در ایران قرار دارد، از این شاخص مناسب شرایط کشور (IRWQI) استفاده شد. همان طور که در مطالعه امیری و همکاران (۲۰۱۸) در قائم‌شهر، کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از این شاخص کیفی انجام گرفته است.

آنالیز روند کیفیت منابع آب زیرزمینی نشان داد که کیفیت آب در آبخوان‌های زیرحوضه جنوبی زاینده رود با گذشت زمان بدتر شده است. 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. لازم و ضروری است که اقدامات لازم برای مقابله با کاهش کیفیت و افزایش آلودگی آب این مناطق برای پاک‌سازی منطقه از منابع آلوده‌کننده توسط مدیران و برنامه‌ریزان 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.

نظر باشد. pH نشان‌دهنده قدرت آب برای واکنش با مواد اسیدی یا قلیایی موجود در آب است و توسط دی‌اکسید کربن، کربنات و تعادل بیکربنات کنترل می‌شود (کریشنا، ۲۰۱۵). تغییرات pH ممکن است به علت فعالیت‌های انسانی مانند دفع فاضلاب در منطقه، مورد توجه واقع شود. ترکمان و همکاران (۲۰۱۹) نیز همچون مطالعه حاضر از آزمون TFPW-MK در مطالعات خود استفاده کردند و نتایج تحلیل روند را با استفاده از این روش، مناسب ارزیابی نمودند. بر اساس مطالعه صالحیان و رحمانی فضلی (۲۰۱۸) که با روش‌های تحلیل تغییرات کاربری اراضی و بررسی تغییرات برداشت از آب زیرزمینی و توزیع پرسشنامه انجام شد، کیفیت آب همچون مطالعه حاضر در نواحی مذکور از زیرحوضه جنوبی زاینده رود با توجه به افزایش شدت خشک‌سالی و تغییرات کاربری اراضی و افزایش کشاورزی و دخالت‌های انسانی و برداشت‌های بی‌رویه آب زیرزمینی کاهش یافته است. میزان عناصر سنگین در محدوده آبخوان‌های زیرحوضه جنوبی زاینده رود در حد مجاز است. آب از لحاظ صنعتی خورنده و در مواردی رسوب‌گذار است. کیفیت آب به لحاظ سختی کل، اغلب آب سخت است. شاخص IRWQI<sub>GC</sub> برای محدوده آبخوان‌های زیرحوضه جنوبی زاینده رود محاسبه و سپس با روش کریجینگ پهنه‌بندی شد. پهنه‌بندی نیترات نیز در آبخوان‌ها انجام گرفت. در بررسی کیفیت منابع آب محدوده آبخوان‌های زیرحوضه جنوبی زاینده رود بر اساس شاخص کیفیت منابع آب ایران (IRWQI) با توجه به اینکه این مطالعه برای منابع آب‌های زیرزمینی صورت گرفت، از شاخص IRWQI<sub>GC</sub> استفاده شد. در محدوده آبخوان‌های مورد مطالعه، بیشترین مقدار متوسط نیترات در آبخوان‌های نجف‌آباد، کرون و دامنه‌داران به ترتیب ۶۳/۱۳، ۵۰/۴۲ و ۴۸/۰۸ میلی‌گرم در لیتر است. با توجه به نقشه‌های پهنه‌بندی IRWQI<sub>GC</sub> حاصل از روش کریجینگ، قسمت‌های شمال و شمال غربی نجف‌آباد و قسمت‌های مرکزی و شمال شرقی لنجان‌ات و نیز قسمت شرق آبخوان کرون، کمترین مقدار شاخص کیفی و در نتیجه، پایین‌ترین کیفیت منابع آب زیرزمینی را دارند. آبخوان‌های

1. Abbasnia, A., Radfard, M., Mahvi, A.H., Nabizadeh, R., Yousefi, M., Soleimani, H. and Alimohammadi, M., 2018. Groundwater quality assessment for irrigation purposes based on irrigation water quality index and its zoning with GIS in the villages of Chabahar, Sistan and Baluchistan, Iran. Data in brief 19, 623-631.
2. Adimalla, N., 2019. Controlling factors and mechanism of groundwater quality variation in semiarid region of South India: an approach of water quality index (WQI) and health risk assessment (HRA). Environmental Geochemistry and Health. 1-28.
3. Amiri, F., Tabatabaei, T. and Valipour, S., 2018. Assessment and analysis of groundwater quality in landfills using IRWQI<sub>GC</sub>. Journal of Soil and Water Sciences. 22 (1): 211-226. (In Persian).
4. Effendi H., 2016. River water quality preliminary rapid assessment using pollution index. Procedia Environ Sci. 33: 562-7.
5. Farzadkia, M., Poureshgh, Y. and Joneidijafari A., 2016. Water quality of Aghlaghan River based on NSFQI index and zoning it by Geographic Information System (GIS). J Occup Environ Health. 1(1): 68-78. (In Persian)
6. Gaus, I., Kinniburgh, D.G., Talbot, J.C. and Webster, R., 2003. Geostatistical analysis of arsenic concentration in groundwater in Bangladesh using disjunctive Kriging. Environmental geology 44, 939-948.
7. Kulkarni, A. and 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
8. Krishna kumar, S., Logeshkumaran, A., Magesh, N.S., Godson, P.S. and Chandrasekar, N., 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.
9. Mirzaei, R., Abbasi, N. and Sakizadeh, M., 2017. Evaluation of Water Quality of Current Rivers in Bushehr Province Using Water Quality Index, Southern Medical Biennial, Bushehr University of Medical Sciences, 20 (5): 470-480. (In Persian).
10. Nazarian, S. and Faridgigloo, B., 2015. Evaluation of water chemical quality and trend of changes in qualitative parameters at Nodeh River Gorganrud station in Golestan province. Journal of Irrigation and Water Engineering. 5 (19). 80-93. (In Persian).
11. Nowruzi, H., Shahbazi, A., Ranjbar, M. and 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.
12. Sabziparvar, A. and Shademani M., 2011. Analysis of the trend of evapotranspiration and reference using Mann Kendall and Spearman test in arid regions of Iran. 1390 Water and Soil. Journal Agricultural Sciences and Technology. 25(4): 824-834. (In Persian).
13. Safavi Gardini, M., Mohammad Reza Pour, A., Bahrami, A., Mohammadi Sediqh, M. and Salarijazi, M., 2018. Investigation and assessment of spatial variability of groundwater quality variables in south of Qorveh and Dehgolan plain using geostatistical methods. Journal of Irrigation and Water Engineering. 9 (33). 167-183. (In Persian).
14. Salehian, S. and Rahmani Fazli, A., 2018. Investigation of Environmental Consequences of Water Resources Instability in Zayandehrood River Basin. Journal of Natural Geography Research, 50 (2): 391-406. (In Persian).
15. Solgi, A. and Nasiri, M., 2019. Zoning of Some Drinking Water Quality Parameters in Malayer City, Iranian Journal of Irrigation and Water Engineering, 2 (1): 177-190. (In Persian).
16. Tahernezhad, Z., Yousefi Z. and Mousavinasa, N., 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.
17. Turkman, M., Noroozi, A. and Hemayi, M., 2019. The trend analysis of climate parameters of Khuzestan province using the Man-Kendall test (TFPW-MK). Journal of Environmental Science Studies, 4(1): 884-895. (In Persian).
18. Yue, S., Pilon, P. and et al., 2002. The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series. Hydrological Processes. 16 (9): 1807-1829.

## Evaluating Groundwater Quality in Zayandehrood Southern Sub-basin Aquifers

Hojjatallah Yonesi<sup>1\*</sup>, Azadeh Arshia<sup>2</sup>, Hasan Torabipoudeh<sup>3</sup>, Babak Shahinejad<sup>4</sup>, Masoud Sayedipour<sup>5</sup>,  
 Niaz Vahdatpour<sup>6</sup>

Received: 29/08/2019

Accepted: 14/12/2019

### Extended abstract

**Introduction:** Supplying good water quality to meet the growing demands of different sectors is one of the main challenges faced by water planners and managers in Iran. The purpose of this study, therefore, was to investigate the trend of changes in groundwater quality in the long run and to calculate and map the quality index of water and nitrate in Zayandehrood sub-aquifers. To quickly assess water quality, a tool should be used to show the amount of water contamination in a short time. To this end, Water Quality Index (WQI) is used to quickly present the water quality assessment, expressing the water quality without mathematical and statistical complexity. The Iranian Water Quality Index (IRWQI) has been developed with the aim of using the appropriate approach to natural conditions and Iran's water resources issues.

**Materials and methods:** some 2935 laboratory samples collected from wet and dry seasons were examined in terms of several water quality indices including EC, TDS, SAR, pH, TH, Cl, CO<sub>3</sub>, Ca, Mg, Na, K, HCO<sub>3</sub>, NO<sub>3</sub>, and heavy elements such as zinc, copper, lead, cadmium and arsenic. The trend of changes in qualitative parameters was evaluated, using MK and TFPW-MK methods whose results showed a decrease in water quality over time. Different interpolation methods were used to map zoning in ArcGIS software. The average IRWQIGC index was calculated in 7 aquifers of Zayandehrood sub-basin, and nitrate zonation and index were determined through kriging method.

**Results:** The pH parameter displayed a significant negative trend at 1% level in Damanehdaran, Buin Miandasht, Lenjanat, Najafabad and Kron aquifers, at 10% in the forty house aquifer, and at 5% in the Chadegan aquifer. However, in contrast to the negative pH trend, the TDS, EC, and TH parameters showed a positive trend being significant in the range of Damanehdaran, Buin Miandasht, Chadegan, Lenjanat, and Najafabad. While the anions and cations had no significant trend in the domains of the Damanehdaran, Buin Miandasht and Chadegan, they displayed significant negative trends in the Chehelkhaneh and Kron and a significant positive trend in the Lenjanat and Najafabad aquifers. The results of the study generally indicated a decline of water quality in Zayandehrood aquifer over time. The amount of heavy elements in the aquifer beneath the southern Zayandehrood Basin was reported as being within the permissible range. It should be noted that water is industrially corrosive and in some cases sedimentary. If considered in terms of overall hardness, water is often hard. In this regard, the findings of the study suggested that the highest average nitrate levels in Damanehdaran, Kron and Najafabad aquifers were 48.08, 50.42, and 63.13 mg / L, respectively, whereas the maximum nitrate content in these areas often exceeded the permitted range. Moreover, the lowest values of water quality index were found in Kron, Najafabad, and Lenjanat aquifers which could be classified in bad and relatively bad classes, respectively.

1. Assistant Professor of Water Engineering, Lorestan University, Khorramabad, Corresponding Author, yonesi.h@lu.ac.ir

2. Graduate of Watershed Management, Lorestan University, Khorramabad

3. Associate Professor of Water Engineering, Lorestan University, Khorramabad

4. Assistant Professor of Water Engineering, Lorestan University, Khorramabad

5 & 6. MSc in Water Resources and Environment, Isfahan Regional Water Company

DOI: 10.22052/deej.2020.9.26.45

**Discussion and Conclusion:** The trend analysis of Groundwater quality showed that water quality in the Zayandehrood sub-basin aquifers declined over time. The managers and planners are, thus, required to take some practical measures in reducing the contaminations exist in those areas. The lowest values of IRWQI<sub>GC</sub> index were found in Kron, Najafabad, and Lenjanat aquifers, leading to the lower quality of groundwater in these areas. Most of the average nitrate content was reported in the north and northwestern parts of Najafabad, followed by Kron aquifer and the central part of the slopes. Considering the fact that high nitrate rate in some cases mainly originates from the aquifer below the Southern Basin, it could be argued that the agricultural operations in the area would, due to the use of chemical pesticides and water pollution control activities in the area, be contaminated if measured in future. These areas are essential. The aquifers are located below the Zayandehrood Dam. Groundwater aquifers are seriously under pressure, especially on the downstream of the Zayandehrood Basin where water has been permanently off the middle of the river, and dredgers attempt to compensate for water scarcity by exploiting groundwater resources and drilling. As these wells have to compensate for the shortage of water in the region, the quantitative and qualitative decline of water and its pollution is more evident in these areas. A considerable number of researchers have also used the TFPW-MK test in their studies, and many of them have performed qualitative zoning in GIS and regarded kriging method as a suitable method for zoning mapping because the results of kriging are reliable in terms of spatial variance, location, location and sample distribution and then the other ones. Moreover, researchers have been interested in groundwater studies.

**Keywords:** IRWQI<sub>GC</sub>, Kriging, Nitrate, TFPW-MK, Water Pollution.