بررسی روند تغییرات کیفیت منابع آب زیرزمینی و ارزیابی شاخص IRWQIGC در بالادست سد زاینده‌رود

حسن ترابی‌پوده[۱]، حجت‌الله یونسی[۱*] و آزاده ارشیا[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۳/۱۲ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۶/۱۷)

چکیده

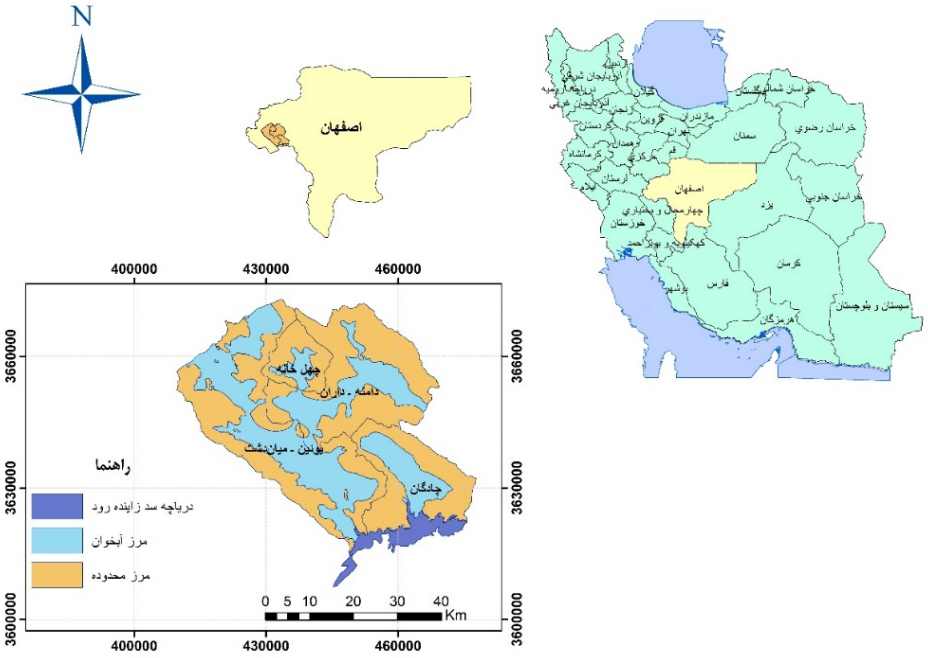
آگاهی از کیفیت منابع آب زیرزمینی که بزرگ‌ترین ذخیره قابل دسترس آب شیرین زمین هستند، یکی از نیازهای مهم و ضروری در برنامه‌ریزی و توسعه منابع آب است. هدف از این تحقیق، بررسی روند تغییرات کیفیت منابع آب زیرزمینی در آبخوان‌های بالادست سد زاینده‌رود در بازه زمانی (۱۳۹۵-۱۳۷۴) و بررسی کیفیت آب از نظر مصارف شرب و کشاورزی و ارزیابی شاخص IRWQIGC 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، کادمیوم و آرسنیک نمونه‌های آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفتند. در آبخوان‌های بالادست سد زاینده‌رود، طبقه‌بندی آب از نظر کشاورزی بیشتر در محدوده C2-S1 است و از نظر شرب بیشتر در طبقات قابل قبول و خوب است. میزان عناصر سنگین در حد مجاز است. مقدار متوسط نیترات در آبخوان‌های چهل‌خانه، دامنه- داران، بوئین‌میاندشت و چادگان به‌ترتیب ۴۳/۷۷، ۴۸/۰۸، ۳۵/۵۳ و ۲۶/۳۶ میلی‌گرم در لیتر و البته بیشینه مقدار نیترات در این مناطق، اغلب فراتر از حد مجاز رفته است. پهنه‌بندی نیترات و شاخص IRWQIGC با روش کریجینگ انجام شد. کمترین مقدار شاخص که در طبقات به‌نسبت بد قرار می‌گیرد در قسمت‌های جنوب و جنوب شرق بوئین‌میاندشت و جنوب و جنوب غرب چهل‌خانه و نیز در قسمت‌های مرکزی دامنه- داران و جنوب چادگان قرار دارد.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، زاینده‌رود، کریجینگ، IRWQIGC

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد
۲. گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: yonesi.h@lu.ac.ir

مقدمه

در سال‌های اخیر برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی علاوه بر کمبودهای کمی، مسائل کیفی را به‌وجود آورده است و این مشکلات در مناطق خشک و نیمه‌خشک که وابستگی به این منابع بیشتر است، دارای اهمیت بالاتری است (۱۲). بسیاری از محققین از آزمون من-کندال به‌عنوان بهترین گزینه برای بررسی وجود روند یکنواخت داده‌ها استفاده کرده‌اند. فرض اصلی مطالعات تحلیل روند با استفاده از آزمون MK، مستقل بودن و عدم وجود خودهمبستگی معنی‌دار در داده‌های نمونه است و البته برای حذف اثر خودهمبستگی روی آزمون MK ضروری است که قبل از انجام آزمون، اجزای خودهمبستگی از قبیل فرایند خودهمبستگی مرتبه اول ((AR(1)) از سری داده‌ها حذف شود. این فرایند به‌اصطلاح پیش سفید کردن نامیده می‌شود. به‌منظور حذف اثر ضریب خودهمبستگی روی آزمون MK کولکارنی و وان استورچ (۹)، یک روش پیش سفید کردن را قبل از انجام آزمون MK ارائه کردند (PW-MK). به‌منظور کاهش مؤثر در اثر ضریب همبستگی روی آزمون MK، روش اصلاح شده پیش سفید کردن بدون روند (TFPW) توسط یو و همکاران (۱۸) ارائه شد. ترکمان و همکاران (۱۶) 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، مسجد سلیمان و بندر ماهشهر با سطح اطمینان ۹۵ درصد و امیدیه با سطح اطمینان ۹۹ درصد بود و روند افزایشی معنادار تبخیر و تعرق در دو ایستگاه بستان و صفی‌آباد و روند کاهشی معنادار با سطح اطمینان ۹۵ درصد برای ایستگاه‌های شوشتر، ایذه، آبادان و اهواز مشاهده شد. برای ارزیابی سریع کیفیت آب از ابزاری باید استفاده کرد که میزان آلودگی آب را در زمان کوتاه‌تری نشان دهد. به‌همین خاطر از شاخص آلودگی آب WQI (Water Quality Index) برای ارائه اولیه و سریع نتیجه ارزیابی وضعیت کیفیت آب بهره می‌گیرند (۵) که بدون پیچیدگی‌های ریاضی و آماری کیفیت آب را بیان می‌کند (۸). 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 (۶). بالوشا (۴) در ارزیابی شبکه پایش میزان 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 کردند. 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. ماقش و همکاران (۱۰) در ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی در منطقه دیندیگوئل، تامیل نادو هند با استفاده از شاخص WQI و تکنیک‌های GIS به این نتیجه رسیدند که وجود نیترات در آب های زیرزمینی از فعالیت‌های انسانی است. آنالیز شیمیایی پارامترها در این منطقه نشان داد که با توجه به استانداردهای کیفیت آب‌های زیرزمینی، اغلب نمونه‌ها برای آب آشامیدنی مناسب بودند. امیری و همکاران (۳) در مطالعه‌ای با استفاده از شاخص $IRWQI_{GC}$ به ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی در محل دفن زباله در قائم‌شهر پرداختند و دریافتند که از جنوب به شمال و شمال شرق منطقه از کیفیت آب کاسته می‌شود و اغلب منطقه در طبقه به‌نسبت بد قرارگرفته است. ادیمالا (۱) در منطقه‌ای از جنوب هند به بررسی کیفیت آب زیرزمینی و ارزیابی شاخص WQI و همچنین ارزیابی ریسک سلامت در آن منطقه پرداخت. وی ۱۹۴ نمونه آب زیرزمینی را جمع‌آوری کرده و پارامترهای کیفی را بررسی و با شاخص WQI ارزیابی کرد. نتایج ارزیابی ریسک سلامت نشان داد که با توجه به نیترات و فلوراید بالا در آب منطقه، کودکان به‌علت مصرف بیشتر در معرض خطر سلامتی قرار گرفتند. صالحیان و رحمانی فضلی (۱۳) 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



شکل ۱. موقعیت محدوده مطالعاتی بالادست سد زاینده‌رود در استان اصفهان و ایران

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. تحقیق حاضر با هدف ارزیابی روند تغییرات کیفیت منابع آب زیرزمینی و نیز محاسبه و پهنه‌بندی شاخص کیفیت منابع آب ایران ($IRWQI_{GC}$) و نیترات در محدوده آبخوان‌های بالادست سد زاینده‌رود ارائه می‌شود.

مواد و روش‌ها

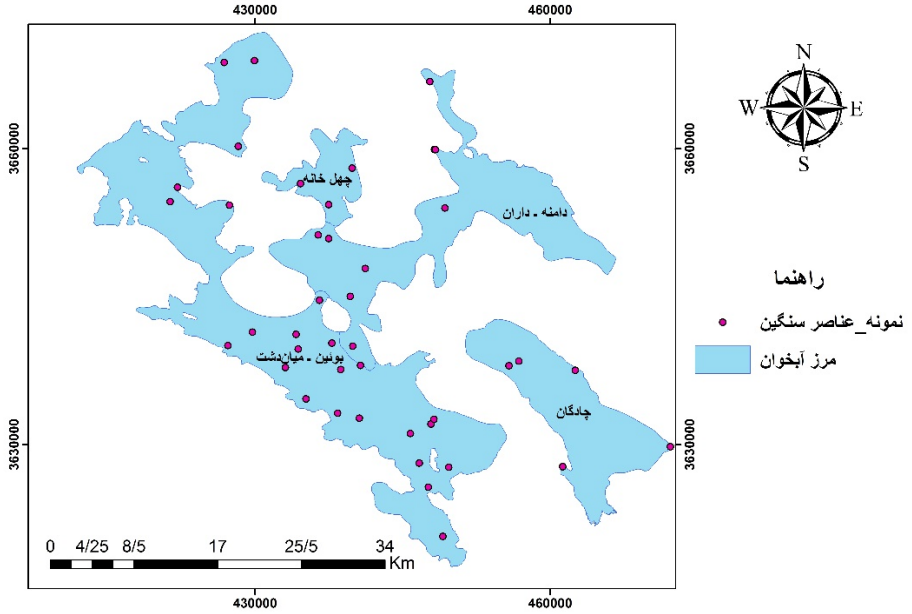
منطقه موردمطالعه

استان اصفهان با قرارگیری در منطقه خشک و نیمه‌خشک مرکزی یکی از استان‌های کم آب ایران است که همواره تحت تأثیر پدیده خشکسالی بوده است. منابع آب شیرین این استان محدود بوده و در سال‌های اخیر نیز رشد جمعیت و بهره‌برداری‌های غلط از منابع آب باعث آلودگی منابع آب و به‌خصوص منابع آب‌های زیرزمینی شده است. در شکل ۱ موقعیت آبخوان‌های بالادست سد زاینده‌رود در استان اصفهان و ایران مشخص شده است.

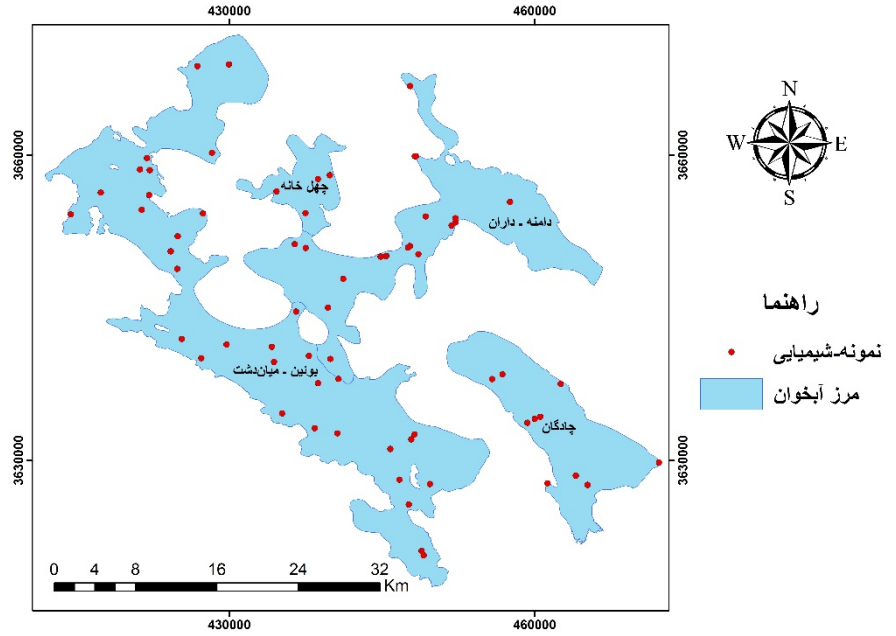
روش تحقیق

تعداد نمونه‌های کیفی محدوده آبخوان‌های بالادست سد زاینده‌رود

در آبخوان‌های بالادست سد زاینده‌رود که شامل آبخوان‌های چهل‌خانه، دامنه- داران، چادگان و بوئین‌میاندشت است، شرکت آب و فاضلاب روستایی در ۵۵ مکان، ۵۷ نمونه آزمایشگاهی برای آزمایش‌های شیمیایی و در ۳۸ مکان، ۴۰ نمونه برای آزمایش‌های عناصر سنگین برداشت کرده است. شرکت آب و فاضلاب شهری نیز در این محدوده در ۲۵ مکان دارای ۷۳ نمونه آزمایشگاهی است. شرکت آب منطقه‌ای اصفهان نیز در ۲۳ نقطه، ۴۶۶ نمونه آزمایشگاهی برداشت کرده است. دانشگاه اصفهان نیز در ۶۰ مکان و برای هر مکان، دو نمونه در فصل‌های تر و خشک برای آزمایش‌های فیزیکوشیمیایی و عناصر سنگین برداشت کرده است. اطلاعات شامل EC، TDS، SAR، pH، TH، Cl، CO_3، Ca، Mg، Na، K، HCO_3 و نیز NO_3 و عناصر سنگین شامل روی، مس، سرب، کادمیوم و آرسنیک هستند. موقعیت مکانی نمونه‌برداری‌ها توسط برخی سازمان‌های مذکور در شکل‌های ۲ و ۳ آورده شده است.



شکل ۲. مکان‌های نمونه‌گیری عناصر سنگین توسط شرکت آب و فاضلاب روستایی در محدوده آبخوان‌ها



شکل ۳. مکان‌های نمونه‌گیری نیترات و برخی پارامترهای کیفی توسط شرکت آب و فاضلاب شهری در محدوده آبخوان‌ها

آزمون MK روی سری زمانی بدون حذف ضریب خود همبستگی (پیش سفید نشده)

آزمون MK یکی از پرکاربردترین آزمون‌های غیرپارامتریک 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. برای انجام این آزمون ابتدا باید آماره S را با رابطه (۱) محاسبه کرد که در آن x_j: مقدار داده j ام، n: تعداد داده‌ها و $sgn(\theta)$: تابع علامت بوده و با رابطه (۲)

قابل محاسبه است (۱۵):

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

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

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

$$E(S)=0$$
$$\operatorname{Var}(S)=\frac{n(n-1)(2n+5)-\sum_{m=1}^{n}t_m(t_m-1)(2t_m+5)}{18} \qquad (۳)$$

که در آن t_m تعداد داده‌های یکسان در دسته i 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 (۱۴).

$$Z=\begin{cases}\dfrac{S-1}{\sqrt{\operatorname{Var}(S)}} & S>0\\ 0 & S=0\\ \dfrac{S+1}{\sqrt{\operatorname{Var}(S)}} & S<0\end{cases} \qquad (۴)$$

آزمون MK روی سری زمانی پیش سفید شده به‌روش TFPW

روش TFPW-MK برای شناسایی روند در یک سری زمانی دارای خودهمبستگی توسط یو و پیلون (۱۸) به‌صورت زیر ارائه شد:

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

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

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 می‌شود (رابطه ۶):

$$r_k=\frac{\frac{1}{n-k}\sum_{t=1}^{n-k}\left[X'_t-E(X'_t)\right]\left[X_{t+k}-E(X'_t)\right]}{\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}\left[X'_t-E(X'_t)\right]^2} \qquad (۶)$$
$$E(X'_t)=\frac{1}{n}\sum_{1}^{n}X'_t$$

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

۴- پس از محاسبه ضریب خودهمبستگی با مرتبه اول، خودهمبستگی مرتبه اول (۱) AR با استفاده از $Y'_t=X'_t-r_1X'_{t-1}$ 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 شناخته شده T_t و سری باقی‌مانده‌ها Y'_t به‌صورت $Y_t=Y'_t+T_t$ با هم 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 برای برآورد روند واقعی انجام می‌شود.

طبقه‌بندی آب بر اساس ویلکاکس و شولر

طبقه‌بندی ویلکاکس یکی از مهم‌ترین طبقه‌بندی‌ها در زمینه تعیین کیفیت آب کشاورزی است (۱۷) که بر مبنای دو پارامتر هدایت الکتریکی (برحسب میکرو موس بر سانتی‌متر، $EC*10^6$) و نسبت جذب سدیم به‌عنوان خطر قلیاییت درنظر گرفته می‌شود. میزان SAR طبق رابطه ۷ با افزایش سدیم افزایش می‌یابد (۱۲):

$$SAR=\frac{Na^+}{\sqrt{\frac{(Mg^{2+})+(Ca^{2+})}{2}}} \qquad (۷)$$

در آب‌های شور، سدیم جایگزین کلسیم و منیزیم موجود روی ذرات رس خاک می‌شود. این امر باعث تخریب ساختار خاک، تولید خاک قلیایی و درنهایت بسته شدن منافذ خاک می‌شود. از این‌رو انتقال آب‌وهوا در داخل خاک محدود می‌شود. این

شرایط باعث کاهش بازدهی محصولات می‌شود. در این طبقه‌بندی آب کشاورزی به چهار گروه با کیفیت خوب، قابل قبول، نامناسب و بد تقسیم می‌شوند که ترکیب این رده‌ها، آب را از نظر کشاورزی در چهار نوع کیفیت و ۱۶ رده تقسیم می‌کنند: شیرین- برای کشاورزی کاملاً بی‌ضرر (C1S1)، کمی شور- برای کشاورزی تقریباً مناسب (C1S2، C2S1، C2S2)، شور- کشاورزی با اعمال تمهیدات لازم (C1S3، C2S3، C3S1، C3S2، C3S3) و خیلی شور- کاملاً نامناسب - کشاورزی (C1S4، C2S4، C3S4، C4S4، C4S3، C4S2، C4S1). دیاگرام شولر یکی از مهم‌ترین طبقه‌بندی‌ها برای بررسی کیفیت آب از نظر شرب است. در این نمودار بر اساس پارامترهای شیمیایی سدیم، کلر، سولفات، کلسیم، منیزیم و pH، آب‌ها از نظر مصرف آشامیدنی تقسیم می‌شوند (۲).

شاخص کیفیت منابع آب ایران (IRWQI)

پژوهشکده علوم محیطی دانشگاه شهید بهشتی تحت نظارت سازمان محیط زیست 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 در منابع مختلف پیشنهاد شده که به هر کدام 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 ۸ شاخص کل کیفیت آب محاسبه می‌شود و طبق این شاخص، کیفیت آب زیرزمینی به ۷ دسته مطابق با جدول ۱ تقسیم شده است.

جدول ۱. معادل توصیفی شاخص کیفیت آب

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

$$IRWQI_{GC}=\left[\prod_{i=1}^{n} I_i^{W_i}\right]^{\frac{1}{\gamma}} \qquad \gamma=\sum_{i=1}^{n} W_i \qquad (۸)$$

که در آن w_i: وزن پارامتر i ام، n: تعداد پارامترها و I_i: مقدار شاخص برای پارامتر i ام است.

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 کای‌اسکوئر وجود دارد. در مطالعه حاضر از شاخص RMSE برای تعیین روش مناسب استفاده شد که به‌عنوان شاخصی مهم برای نشان دادن دقت تحلیل مکانی در GIS شناخته می‌شود (۱۱) و از طریق رابطه ۹ و با استفاده از داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده به‌دست می‌آید:

$$RMSE=\sqrt{\frac{\sum_{t=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2}{n}} \qquad (۹)$$

از بین روش‌های مختلف، هر کدام که میزان RMSE کمتری داشته باشد به‌عنوان روش مناسب انتخاب می‌شود. البته در این مطالعه علاوه بر RMSE، میزان MSE و RMSES و ASE نیز محاسبه شدند.

کریجینگ یک روش تخمین است که بر منطق میانگین

متحرک وزن‌دار استوار است و بهترین تخمین‌گر خطی نااریب است (۷). شرط استفاده از روش کریجینگ آن است که متغیر Z دارای توزیع نرمال باشد. در غیر این‌صورت باید از روش کریجینگ غیرخطی استفاده و یا به‌نحوی توزیع متغیر نرمال شود. رابطه کلی کریجینگ به‌صورت رابطه ۱۰ است:

$$Z^{*}_{(Xi)} = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i \, Z(Xi) \qquad (۱۰)$$

که در آن، $Z^{*}_{(Xi)}$: مقدار تخمینی متغیر در موقعیت Xi، λi: وزن مربوط به نمونه i ام، Z(Xi): مقدار متغیر iام و n نیز تعداد مشاهدات است.

نتایج

روند تغییرات کیفیت منابع آب زیرزمینی در آبخوان‌های بالادست سد زاینده‌رود

نتایج تشخیص روند تغییرات کیفی در محدوده آبخوان‌های بالادست سد زاینده‌رود در جدول ۲ مشاهده می‌شود.

همان‌طور که در جدول ۲ دیده می‌شود ضرایب خودهمبستگی پارامتر pH در تمام محدوده‌ها بیانگر وجود خودهمبستگی در داده‌ها است؛ بنابراین در خصوص این پارامتر آزمون من‌کندال پیش سفید شده ملاک عمل قرار می گیرد و بر اساس این آزمون آماره Z در محدوده دامنه- داران معادل ۳/۲۳-، در محدوده بوئین‌میاندشت ۲/۹۳-، در محدوده چهل‌خانه ۱/۷۲- و در محدوده چادگان ۲/۲۰- است. این موضوع نشان می‌دهد که پارامتر pH دارای روند منفی معنی‌دار در سطح یک درصد در محدوده‌های دامنه- داران و بوئین‌میاندشت، در سطح ۱۰ درصد در محدوده چهل‌خانه و در سطح ۵ درصد در محدوده چادگان است. پارامترهای TDS، EC و TH برعکس روند منفی pH دارای روند مثبت بوده و در محدوده‌های دامنه- داران و بوئین‌میاندشت در سطح ۵ درصد معنی‌دار است. روند تغییرات این پارامترها در محدوده چهل‌خانه معنی‌دار نیست و این موضوع نشان می‌دهد که این محدوده از وضعیت بهتری نسبت به سایر محدوده‌ها برخوردار است. در محدوده چادگان همان‌طور که دیده می‌شود پارامترهای TDS و EC در سطح یک درصد معنی‌دار بوده و دارای روند مثبت است. تغییرات آنیون‌ها و کاتیون‌ها در همه محدوده‌ها مورد بررسی قرار گرفت و همان‌طور که دیده می‌شود آنیون‌ها و کاتیون‌ها در محدوده‌های دامنه- داران، بوئین‌میاندشت و چادگان فاقد روند معنی‌دار و تنها در محدوده چهل‌خانه دارای روند معنی‌دار منفی در سطح ۱۰ درصد (سطح اعتماد ۹۰ درصد) هستند. و این موضوع نشان‌دهنده روند کاهشی آنیون‌ها و کاتیون‌ها در این محدوده مطالعاتی است. به‌طور کلی بررسی روند تغییرات پارامترها در این منطقه بیانگر کاهش کیفیت آب در همه محدوده‌ها است.

کیفیت منابع آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی و شرب در آبخوان‌های بالادست سد زاینده‌رود

در آبخوان‌های چهل‌خانه و دامنه- داران، طبقه‌بندی آب از نظر کشاورزی بر اساس طبقه‌بندی ویلکاکس به‌طور عمده C2-S1 (کمی شور- مناسب برای کشاورزی) است و درصد کمی نیز در طبقه C1-S1 قرار دارد. از نظر شرب طبق دیاگرام شولر به‌طور عمده خوب و درصد کمی نیز در طبقه قابل قبول قرار دارد. نمونه‌های عناصر سنگین گرفته شده در این محدوده مطالعاتی نیز نشان می‌دهد که میزان عناصر سنگین در حد مجاز است. آب از لحاظ صنعتی خورنده و کیفیت آب به‌لحاظ سختی کل، آب سخت است. در آبخوان بوئین‌میاندشت، کیفیت آب از نظر کشاورزی بیشتر C2-S1 و درصد کمی در طبقه C3-S1 قرار دارد و از نظر شرب طبق دیاگرام شولر بیشتر خوب و درصد کمی نیز در طبقه قابل قبول قرار دارد. در آبخوان چادگان، کیفیت آب از نظر کشاورزی C2-S1 است و از نظر شرب در طبقه خوب قرار دارد. نمونه‌های عناصر سنگین گرفته شده نیز نشان می‌دهد که میزان عناصر سنگین در حد مجاز است و آب از لحاظ صنعتی خورنده و کیفیت آب به‌لحاظ سختی، آب سخت است.

جدول ۲. روند تغییرات پارامترهای کیفی با استفاده از روش‌های من کندال و من کندال پیش سفید شده به‌روش TFPW

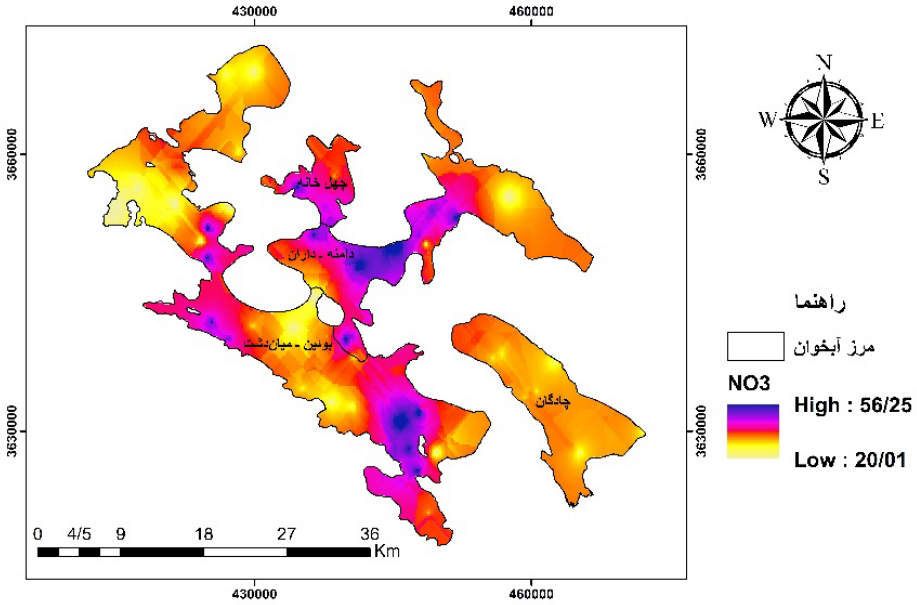
نام محدوده	نام پارامتر	شیب	ضریب خودهمبستگی	حد بالا و پایین ضریب خودهمبستگی		آزمون من کندال			
						بدون پیش سفید		پیش سفید شده به‌روش TFPW	
				حد بالایی	حد پایینی	P	Z	P	Z
دامنه- داران	pH	-۰/۰۲۹	۰/۶۴۷	-۰/۳۹۸	۰/۳۰۳	۹۹/۳۱	-۲/۷۱	۹۹/۹۰	-۳/۲۳
	TDS	۲/۰۲۷	۰/۲۹۸	-۰/۳۹۸	۰/۳۰۳	۹۸/۱۰	۲/۳۴	۹۷/۲۵	۲/۲۰
	EC	۳/۰۱۶	۰/۲۵۲	-۰/۳۹۸	۰/۳۰۳	۹۷/۱۸	۲/۲۰	۹۶/۸۰	۲/۱۴
	TH	۰/۷۲۷	۰/۱۴۱	-۰/۳۹۸	۰/۳۰۳	۷۷/۵۷	۱/۲۱	۵۱/۷۳	۱/۱۲
	آنیون‌ها	۰/۰۰۶۶	۰/۲۵	-۰/۳۹۸	۰/۳۰۳	۱۳/۱۱	-۰/۱۷	۳۰/۷۱	-۰/۳۹
	کاتیون‌ها	۰/۰۰۰۷	۰/۲۸	-۰/۳۹۸	۰/۳۰۳	۶/۷۸	-۰/۸	۴۳/۴۷	-۰/۵۷
بوئین‌میاندشت	pH	-۰/۰۲۶	۰/۴۷۷	-۰/۳۹۸	۰/۳۰۳	۹۹/۲۱	-۲/۶۵	۹۹/۶۵	-۲/۹۳
	TDS	۲/۲۰۵	۰/۰۴۸	-۰/۳۹۸	۰/۳۰۳	۹۵/۵۰	۲	۹۸/۹۷	۲/۵۷
	EC	۳/۳۵۷	۰/۰۲۸	-۰/۳۹۸	۰/۳۰۳	۹۵/۱۷	۱/۹۷	۹۸/۹۷	۲/۵۷
	TH	۱/۰۵۳	-۰/۱۶۵	-۰/۳۹۸	۰/۳۰۳	۸۴/۸۷	۱/۴۴	۹۷/۶۵	۲/۲۶
	آنیون‌ها	-۰/۰۰۱	-۰/۲۰۲	-۰/۳۹۸	۰/۳۰۳	۹/۱۶	-۰/۱۱	۹۹/۱۳	-۲/۶۳
	کاتیون‌ها	۰/۰۰۳	-۰/۳۶۵	-۰/۳۹۸	۰/۳۰۳	۱۷/۸۱	۰/۲۲	۴۳/۴۷	۰/۵۷
چهل‌خانه	pH	-۰/۰۱۳	۰/۵۰۲	-۰/۳۹۸	۰/۳۰۳	۹۲/۹۰	-۱/۸۰	۹۱/۵۵	-۱/۷۲
	TDS	۰/۳۰۸	-۰/۰۱۵	-۰/۳۹۸	۰/۳۰۳	۲۶/۲۴	۰/۳۴	۶۵/۰۲	۰/۹۴
	EC	۰/۴۶۲	-۰/۰۱۷	-۰/۳۹۸	۰/۳۰۳	۲۲/۴۴	۰/۲۸	۶۵/۰۲	۰/۹۴
	TH	-۰/۶۲۵	-۰/۰۳۶	-۰/۳۹۸	۰/۳۰۳	۶۰/۱۸	-۰/۸۵	۳۹/۳۵	-۰/۵۱
	آنیون‌ها	-۰/۰۳	-۰/۰۵۸	-۰/۳۹۸	۰/۳۰۳	۹۰/۴	-۱/۶۶	۷۴	-۱/۱۲
	کاتیون‌ها	-۰/۰۳	-۰/۰۰۱	-۰/۳۹۸	۰/۳۰۳	۹۰/۴	-۱/۶۶	۸۰	-۱/۳۰
چادگان	pH	-۰/۰۲۸	۰/۶۱۹	-۰/۴۳۲	۰/۳۲۱	۸۴/۸۷	-۱/۴۳	۹۷/۱۸	-۲/۲۰
	TDS	۲/۵۹۵	۰/۳۵۱	-۰/۴۳۲	۰/۳۲۱	۹۹/۵۴	۲/۸۳	۹۹/۹۰	۳/۱۱
	EC	۴	۰/۳۵۴	-۰/۴۳۲	۰/۳۲۱	۹۹/۵۴	۲/۸۳	۹۹/۹۰	۳/۱۱
	TH	۱/۲۲۲	۰/۱۸۱	-۰/۴۳۲	۰/۳۲۱	۹۶/۳۸	۲/۱۰	۹۳/۰۵	۱/۸۲
	آنیون‌ها	۰/۰۱۱	-۰/۰۵۴	-۰/۴۳۲	۰/۳۲۱	۵۶	۰/۷۷	۴۱	۰/۵۳
	کاتیون‌ها	۰/۰۰۲	-۰/۰۳۴	-۰/۴۳۲	۰/۳۲۱	۳۰	۰/۳۸	۱۸	-۰/۲۳

تهیه نقشه پهنه‌بندی نیترات و شاخص $IRWQI_{GC}$ در محدوده آبخوان‌های بالادست سد زاینده‌رود

در آبخوان چهل‌خانه میزان نیترات طبق مطالعات و اندازه‌گیری‌های انجام شده توسط دانشگاه اصفهان در طرح تعیین حریم کیفی در حد مجاز بوده و این در صورتی است که در داده‌های آب و فاضلاب روستایی و آب و فاضلاب شهری در بسیاری از موارد از حد مجاز فراتر رفته به‌طوری که در داده‌های آب و فاضلاب روستایی به ۵۹ میلی‌گرم در لیتر و در داده‌های آب و فاضلاب شهری حتی به ۶۳ میلی‌گرم در لیتر رسیده است. در آبخوان دامنه- داران، میزان نیترات طبق

جدول ۳. مشخصات اجرای روش کریجینگ در محدوده آبخوان‌های بالادست سد زاینده‌رود

داده	مدل	بهترین نوع	RMSE	MSE	RMSES	ASE
NO_3	Simpel	Stable	۱۶/۹۳	۰/۰۴۳	۰/۹۱۲	۱۸/۴۷
IRWQIGC	Ordinery	J-Bessel	۱۰/۵۸	-۰/۰۳۹	۰/۹۳۱	۱۱/۴۸



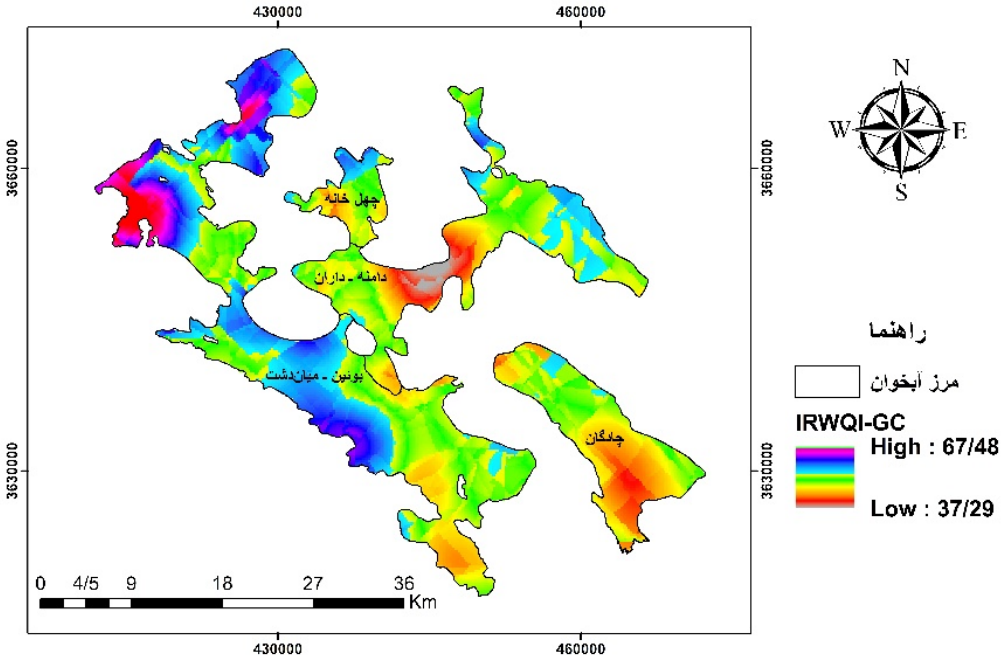
شکل ۴. نقشه پهنه‌بندی نیترات در محدوده آبخوان‌های بالادست سد زاینده‌رود (۱۳۹۵)

اندازه‌گیری‌های انجام شده توسط دانشگاه اصفهان در حد مجاز نبوده و حداکثر نیترات مشاهده شده در فصل تر معادل ۷۵ میلی‌گرم در لیتر و در فصل خشک ۸۳ میلی‌گرم در لیتر است. همچنین میزان نیترات در آزمایش‌های آب و فاضلاب روستایی و آب و فاضلاب شهری در بسیاری از موارد از حد مجاز فراتر رفته به‌طوری که در داده‌های آب و فاضلاب روستایی به ۶۹ و در داده‌های آب و فاضلاب شهری به ۸۸/۳ میلی‌گرم در لیتر رسیده است. در آبخوان بوئین‌میاندشت، میزان نیترات طبق اندازه‌گیری‌های دانشگاه اصفهان در حد مجاز نبوده و حداکثر نیترات مشاهده شده در فصل تر معادل ۱۶۳ میلی‌گرم در لیتر و در فصل خشک ۱۰۵/۶۸ میلی‌گرم در لیتر است و در داده‌های آب و فاضلاب روستایی به ۷۴/۸ و در داده‌های آب و فاضلاب شهری حتی به ۸۵/۱ میلی‌گرم در لیتر رسیده است. در آبخوان چادگان، میزان نیترات طبق اندازه‌گیری‌های دانشگاه اصفهان در حد مجاز بوده و حداکثر نیترات مشاهده شده در فصل تر معادل ۲۷/۱۳ و در فصل خشک ۳۷ میلی‌گرم در لیتر است و در داده‌های آب و فاضلاب روستایی به ۳۱/۴ و در داده‌های آب و فاضلاب شهری حتی به ۳۵/۷۴ میلی‌گرم در لیتر رسیده است. مشخصات اجرای روش کریجینگ در محدوده آبخوان‌های بالادست زاینده‌رود در جدول ۳ آورده شده است. نقشه پهنه‌بندی نیترات در شکل ۴ آورده شده است.

همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، مقادیر متوسط نیترات به‌ترتیب در آبخوان‌های دامنه- داران و چهل‌خانه و بوئین‌میاندشت بالاتر است و نشان می‌دهد که منابع آلوده کننده در این مناطق بیشتر بوده اما چادگان نسبت به سه آبخوان دیگر که در مجاورت یکدیگر قرار گرفته‌اند، مقدار متوسط نیترات کمتری دارد.

جدول ۴. مشخصات آماری IRWQIGC در محدوده آبخوان‌های بالادست سد زاینده‌رود

محدوده	واریانس IRWQIGC	ماکزیمم IRWQIGC	مینیمم IRWQIGC	متوسط IRWQIGC
چهل‌خانه	۱۰۱/۴	۶۹	۴۱	۵۰/۲
دامنه- داران	۱۳۹/۸	۷۲	۲۳/۶	۴۶/۴
بوئین‌میاندشت	۱۴۲/۵	۷۶	۲۷/۷	۵۴/۵
چادگان	۵۹/۷	۵۶	۳۳	۴۶/۶



شکل ۵. نقشه پهنه‌بندی شاخص IRWQIGC در محدوده آبخوان‌های بالادست سد زاینده‌رود (۱۳۹۵)

محاسبه شاخص $IRWQI_{GC}$

در محدوده آبخوان‌های بالادست سد زاینده‌رود شاخص $IRWQI_{GC}$ محاسبه شد که مشخصات آماری این اندازه‌گیری‌ها در جدول ۴ نشان داده شده است. پهنه‌بندی شاخص در این محدوده نیز در شکل ۵ آورده شده است.

همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود در آبخوان بوئین‌میاندشت در قسمت‌های جنوبی و شرقی، کمترین مقدار شاخص مشاهده می‌شود. در آبخوان چهل‌خانه در قسمت‌های جنوبی، مرکزی و غربی و در آبخوان دامنه- داران در قسمت های مرکزی کمترین مقدار شاخص مشاهده می‌شود. همچنین مقدار شاخص در قسمت‌های جنوبی چادگان کمتر از سایر قسمت‌های این آبخوان است و در واقع کیفیت آب با توجه به این شاخص کیفی در قسمت‌های جنوبی چادگان کمتر است.

بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش، روند تغییرات پارامترهای کیفی منابع آب زیرزمینی در آبخوان‌های بالادست سد زاینده‌رود بررسی شد و همچنین کیفیت آب از نظر مصارف شرب و کشاورزی مورد بررسی قرار گرفت و نیز شاخص $IRWQI_{GC}$ برای محدوده آبخوان‌های بالادست سد زاینده‌رود محاسبه شد. در این محدوده کیفیت آب با گذشت زمان، کاهش یافته است و محدوده‌های دامنه- داران و بوئین‌میاندشت دارای روند منفی

شدیدتری نسبت به دو محدوده دیگر در طی زمان هستند و شاید علت آن مصارف بالاتر آب به نسبت جمعیت در این محدوده‌ها باشد که علل این موضوع می‌تواند در مطالعات دیگری مورد بحث و بررسی قرار گیرد. در نتایج مطالعه حاضر مشاهده شد که پارامترهای کیفی شامل آنیون‌ها و کاتیون‌ها در سه محدوده مطالعاتی دامنه- داران، بوئین‌میاندشت و چادگان فاقد روند معنی‌دار بودند و این موضوع نشان می‌دهد افزایش EC در این محدوده‌ها ناشی از تغییرات آنیون‌ها و کاتیون‌ها نیست و احتمالاً علل تغییرات و افزایش EC عللی غیر از عوامل زمین‌شناسی داشته است. یکی از پارامترهای مؤثر در افزایش EC می‌تواند افزایش نیترات در این محدوده‌ها باشد که به‌علت عدم وجود اطلاعات درازمدت مقدار نیترات این موضوع قابل بررسی نیست. اما شواهد و همچنین 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 تمام محدوده‌ها pH دارای روند منفی معنی‌دار بوده است که شاید یکی از علل آن دفن زباله‌ها در محدوده‌های مورد نظر باشد. بر اساس مطالعه صالحیان و رحمانی فضلی (۱۳) نیز در محدوده حوضه آبریز زاینده‌رود با توجه به افزایش شدت خشکسالی و تغییرات کاربری اراضی و گسترش سکونتگاه‌های انسانی و 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. لازم و ضروری است که اقدامات لازم برای مقابله با کاهش کیفیت و آلودگی آب این مناطق توسط مدیران و برنامه‌ریزان مدنظر قرار گیرد. از آنجایی که آبخوان‌های مورد مطالعه در بالادست سد زاینده‌رود واقع شده 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 قرار گرفته و ضمن شناسایی منابع آلاینده آب در این محدوده‌ها، نسبت به کنترل و حذف این منابع آلاینده اقدامات مقتضی صورت پذیرد. در محدوده آبخوان‌های بالادست سد زاینده‌رود، کیفیت آب از نظر کشاورزی، بیشتر C2-S1 است که در واقع در طبقه کمی شور و مناسب برای کشاورزی قرار دارند. کیفیت آب از نظر شرب در این محدوده بیشتر در طبقات قابل قبول وخوب قرار دارد. میزان عناصر سنگین در محدوده آبخوان‌های مطالعاتی در حد مجاز است. آب از لحاظ صنعتی خورنده و کیفیت آب به لحاظ سختی کل، آب سخت است. در بررسی کیفیت منابع آب محدوده آبخوان‌های بالادست سد زاینده‌رود بر اساس شاخص کیفیت منابع آب ایران (IRWQI) با توجه به اینکه این مطالعه برای منابع آب‌های زیرزمینی صورت گرفت از شاخص $IRWQI_{GC}$ استفاده شد. ماقش و همکاران (۱۰) و ادیمالا (۱) نیز شاخص WQI را برای بررسی کیفیت منابع آب، مناسب برشمردند اما در مطالعه حاضر با توجه به اینکه منطقه تحقیق در ایران قرار دارد از شاخص WQI اما مناسب شرایط کشور ایران یعنی IRWQI استفاده شد، همان‌طور که در مطالعه امیری و همکاران (۳) در قائم‌شهر ایران، کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از این شاخص کیفی اندازه‌گیری شده است. مقادیر متوسط شاخص $IRWQI_{GC}$ در محدوده آبخوان‌های مطالعاتی، کیفیت آب را بیشتر در طبقه متوسط نشان داد و البته در مواردی مقادیر مینیمم شاخص در آبخوان‌های دامنه- داران و بوئین‌میاندشت، کیفیت آب را در طبقه بد و در آبخوان‌های چهل‌خانه و چادگان، کیفیت را در طبقه به‌نسبت بد نشان داد. کمترین مقدار متوسط شاخص که در طبقات به‌نسبت بد قرار می‌گیرد در قسمت‌های جنوب و جنوب غرب بوئین‌میاندشت، قسمت‌های مرکزی دامنه- داران و چهل‌خانه و جنوب چادگان قرار دارد. پهنه‌بندی نیترات نیز با استفاده از روش کریجینگ انجام شد. بیشترین مقدار نیترات در قسمت‌های مرکزی دامنه- داران و نیز جنوب و جنوب غرب بوئین‌میاندشت و جنوب و جنوب غرب چهل‌خانه قرار

دارد. بالوشا (۴) نیز روش کریجینگ را روشی مناسب برای تهیه نقشه پهنه‌بندی معرفی کردند زیرا که 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 محققین در مطالعات آب زیرزمینی بوده است. اگر یکی از علت‌های اصلی بالا بودن نیترات در بعضی موارد از محدوده آبخوان‌های بالادست زاینده‌رود، عملیات کشاورزی در منطقه باشد می‌توان گفت آلاینده‌های مربوط به استفاده از سموم شیمیایی نیز باید در اندازه‌گیری‌های آتی مدنظر قرار گیرد. از علل آلودگی رودخانه زاینده‌رود نیز می توان به زهکشی ذوب آهن، پساب کارخانه پلی اکریل، پساب کارخانه نساجی و تصفیه‌خانه اصفهان اشاره کرد. با توجه به توسعه مراکز شهری و صنعتی در اطراف زاینده‌رود درصورتی که اقدام جدی و سریع صورت نگیرد آلودگی در بستر رودخانه صورت گرفته و سلامت انسان و دیگر موجودات را تهدید می‌کند. اینکه سهم هر مورد در کاهش کیفیت و آلودگی آبخوان‌ها چقدر است با حجم اطلاعات موجود تقریباً کار مشکلی است ولی باید رویکرد عدم آلودگی منابع آب به‌عنوان یک رویکرد ملی مدنظر قرار گیرد.

منابع مورد استفاده

1. 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.
2. Alizadeh, A. 2006. Principles of Applied Hydrology. Twenty-Fifth Printing. Astan Ghods Razavi Publications. Mashhad. (in Farsi).
3. Amiri, F., T. Tabatabaei and S. Valipour. 2018. Assessment and analysis of groundwater quality in landfills using $IRWQI_{GC}$. *Journal of Soil and Water Sciences* 22(1): 211-226. (In Farsi).
4. Baalousha H. 2010. Assessment of a groundwater quality monitoring network using vulnerability mapping and geostatistics: A Case study from Heretaunga Plains, New Zealand. *Agricultural Water Management* 97: 240-246.
5. Effendi, H. 2016. River water quality preliminary rapid assessment using pollution index. *Procedia Environmental Sciences* 33: 562-567.
6. Farzadkia, M., Y. Poureshgh and A. Joneidijafari. 2016. Water quality of Aghlaghan River based on NSFWQI index and zoning it by Geographic Information System (GIS). *International Journal of Occupational and Environmental Health* 1(1): 68-78. (In Farsi).
7. Gaus, I., D. G. Kinniburgh, J. C. Talbot and R. Webster. 2003. Geostatistical analysis of arsenic concentration in groundwater in Bangladesh using disjunctive Kriging. *Environmental Geology* 44: 939-948.
8. Hoseinzadeh, E., N. Rahimi, A. R. Rahmani and L. Ezzati. 2013. Quality assessment of takab Sarugh River right branch by wilcox index and its zoning using geographical information system. *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences (JMUMS)* 23(103): 77-87. (In Farsi).
9. Kulkarni, A. and H. Von Storch. 1995. Monte Carlo experiments on the effect of serial correlation on the Mann–Kendall test of trend. *Meteorologische Zeitschrift* 4(2): 82-85.
10. Magesh, N., S. Krishnakumar, N. Chandrasekar and J. P. Soundranayagam. 2013. Groundwater quality assessment using WQI and GIS techniques, Dindigul district, Tamil Nadu, India. *Arabian Journal of Geosciences* 6: 4179-4189.
11. Nazarizadeh, F., B. Ershadian, K. ZandVakili and M. Nouriemamzade'i. 2006. Investigating the variations in groundwater quality in Balarood plain in Khuzestan province originally published as an ASCE 1981 Water Forum Conference Proceedings. (in Farsi).
12. Richards, L. A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *Soil Science* 78: 154.
13. Salehian, S. and A. Rahmani Fazli. 2018. Investigation of environmental consequences of water resources instability in Zayandehrood river basin. *Journal of Natural Geography Research* 50(2): 391-406. (In Farsi).
14. Sabziparvar A. and M. Shademani. 2011. Analysis of the trend of evapotranspiration and reference using Mann Kendall and Spearman test in arid regions of Iran. *Water and Soil Journal (Agricultural Sciences and Technology*) 25(4): 824 - 834. (In Farsi).
15. Torabi Pudeh, H. and S. Imamgholizadeh. 2014. Investigating the trend of river discharge changes in Lorestan province using TFPW-MK method. *Journal of Applied Geosciences Research* 14(35): 73-93. (In Farsi).

16. Turkman, M., A. Noroozi and M. Hemayi. 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 Farsi).
17. Wilcox, L. V. 1955. Classification and Use of Irrigation Water. USDA, Circular 969.Washington, DC. USA.
18. Yue, S. and P. Pilon. 2002. The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series. *Hydrological Processes* 16(9): 1807-1829.

Journal of Water and Soil Science
Vol. 24, No. 2, Summer 2020, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Evaluation of Quality Changes in the Groundwater Resources and IRWQIGC Upstream of Zayandehrood Dam

H. Torabipoudeh[1], H. Yonesi[1]* and A. Arshia[2]

(Received: June 2-2019 ; Accepted: September 8-2019)

Abstract

Understanding the quality of groundwater resources, which are the largest available freshwater reservoir, is one of the needs in planning and developing water resources. The purpose of this research was to study the quality changes of groundwater resources in the upstream aquifers of Zayandehrood Dam (1995-2016) and to evaluate water quality in terms of drinking and agricultural consumption and evaluation of IRWQIGC. For this purpose, EC, TDS, SAR, PH, TH, Cl, CO_3, Ca, Mg, Na, K, HCO_3 and NO_3 parameters and heavy elements including zinc, copper, lead, cadmium and arsenic were investigated from laboratory samples. In the upstream aquifers of the Zayandehrood Dam, the water classification was mainly agricultural in the C2-S1 range, and it was generally acceptable in the drinking classes. The amount of heavy elements was allowed. The average amount of nitrate in the Chehelkhaneh, Damanehdaran, Boein-Miandasht and Chadegan aquifers was calculated to be 43.77, 48.08, 35.53 and 26.36 mg / l, respectively, and the maximum nitrate levels in these areas, however, were often exceeded. Nitrate zoning and IRWQIGC were performed by the kriging method. The lowest index values, which fell into relatively poor classes, were in the south and southwestern parts of Boein-Miandasht and south and south-west of the Chehelkhaneh, and in the central parts of Damanehdaran, and the south of Chadegan.

Keywords: Groundwater, IRWQIGC, Kriging, Zayandehrood

1. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Khoramabad, Iran.
2. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Khoramabad, Iran.
*: Corresponding author, Email: yonesi.h@lu.ac.ir