

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

حسن ترابی پوده^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 (۱۳۷۴-۱۳۹۵) و بررسی کیفیت آب از نظر مصارف شرب و کشاورزی و ارزیابی شاخص IRWQIGC است. بدین منظور پارامترهای TDS، EC، SAR، TH، pH، Cl، CO₃، Ca، Mg، Na، K، HCO₃، NO₃ 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 به ترتیب 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 به نسبت 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

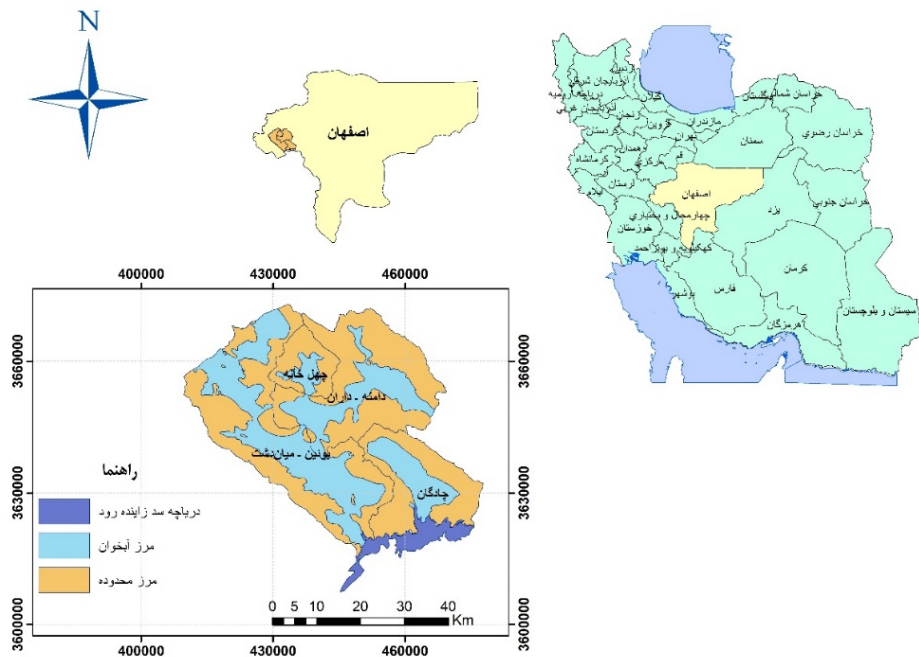
۲. گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد

*: 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 به وجود 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 به عنوان 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 به اصطلاح پیش سفید کردن نامیده می‌شود. به منظور 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). به منظور 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، هندیکان، 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. به همین 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 آب‌های 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 به نسبت بد قرار گرفته 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

روش تحقیق

تعداد نمونه‌های کیفی محدوده آبخوان‌های بالادست سد زاینده‌رود

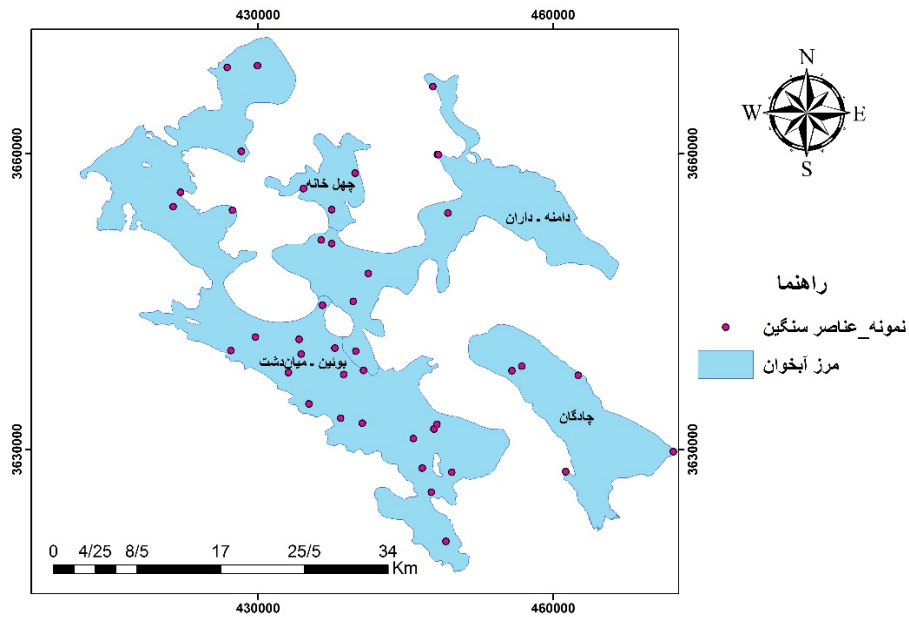
در آبخوان‌های بالادست سد زاینده‌رود که شامل آبخوان‌های چهل‌خانه، دامنه-داران، چادگان و بوئین‌میاندشت است، شرکت آب و فاضلاب روستایی در ۵۵ مکان، ۵۷ نمونه آزمایشگاهی برای آزمایش‌های شیمیایی و در ۳۸ مکان، ۴۰ نمونه برای آزمایش‌های عناصر سنگین برداشت کرده است. شرکت آب و فاضلاب شهری نیز در این محدوده در ۲۵ 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، CO₃، Ca، Mg، Na، K، HCO₃ و نیز NO₃ 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.

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.

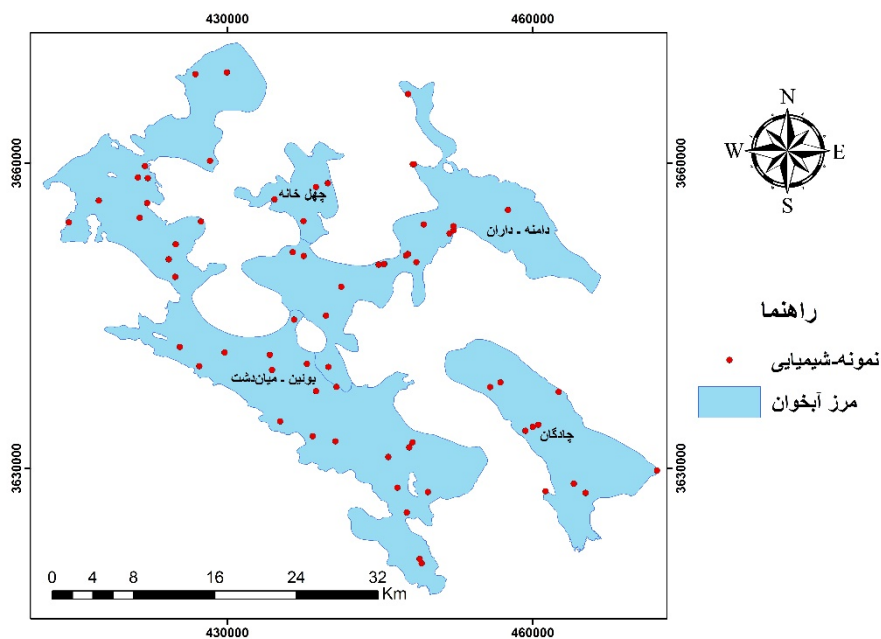
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

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.



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



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

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 $\text{sgn}(\theta)$: تابع علامت بوده و با رابطه (۲)

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

آزمون MK یکی از پرکاربرترین آزمون‌های غیرپارامتریک برای تحلیل روند داده‌ها است. فرض صفر H_0 مستقل بودن و

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

$$E(X'_t) = \frac{1}{n} \sum_1^n X'_t$$

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

$$Y'_t = X'_t - r_1 X'_{t-1}$$

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 به صورت

$$Y_t = Y'_t + T_t$$

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 قلیابیت در نظر گرفته می‌شود. میزان SAR طبق رابطه ۷ با افزایش سدیم افزایش می‌یابد (۱۲):

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{(Mg^{2+}) + (Ca^{2+})}{2}}} \quad (7)$$

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

قابل محاسبه است (۱۵):

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

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

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

$$E(S) = 0$$

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{m=1}^n t_m(t_m-1)(2t_m+5)}{18} \quad (3)$$

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).

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

آزمون MK روی سری زمانی پیش سفید شده به روش TFPW

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

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

$$b = \text{Median} \left(\frac{X_j - X_1}{j-1} \right) \quad \forall 1 < j \quad (5)$$

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 به صورت خطی فرض شده و داده‌های نمونه به صورت $X'_t = X_t - T_t = X_t - bt$ نوشته و بدون روند می‌شوند.

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

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

$$IRWQI_{GC} = \left[\prod_{i=1}^n I_i W_i \right]^{\frac{1}{\gamma}} \quad \gamma = \sum_{i=1}^n W_i \quad (8)$$

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 کای اسکور 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 پیش‌بینی شده به‌دست می‌آید:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (9)$$

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

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)، شور- کشاورزی با اعمال تمهیدات لازم (C2S1, C2S2)، شور- کشاورزی با اعمال تمهیدات لازم (C1S3, C2S3, C3S1, C3S2, C3S3) و خیلی شور- کاملاً نامناسب - کشاورزی (C1S4, C2S4, C3S4, C4S3, C4S4, 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.

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.

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 این صورت باید از روش کریجینگ غیرخطی استفاده و یا به‌نحوی توزیع متغیر نرمال شود. رابطه کلی کریجینگ به‌صورت رابطه ۱۰ است:

$$Z_{(Xi)}^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(X_i) \quad (10)$$

که در آن، $Z_{(Xi)}^*$: مقدار تخمینی متغیر در موقعیت X_i ، λ_i : وزن مربوط به نمونه i ام، $Z(X_i)$: مقدار متغیر i ام 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 من‌کنندال پیش سفید شده ملاک عمل قرار می‌گیرد و بر اساس این آزمون آماره Z در محدوده دامنه- داران معادل $3/23-$ ، در محدوده بوئین‌میاندشت $2/93-$ ، در محدوده چهل‌خانه $1/72-$ و در محدوده چادگان $2/20-$ 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

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

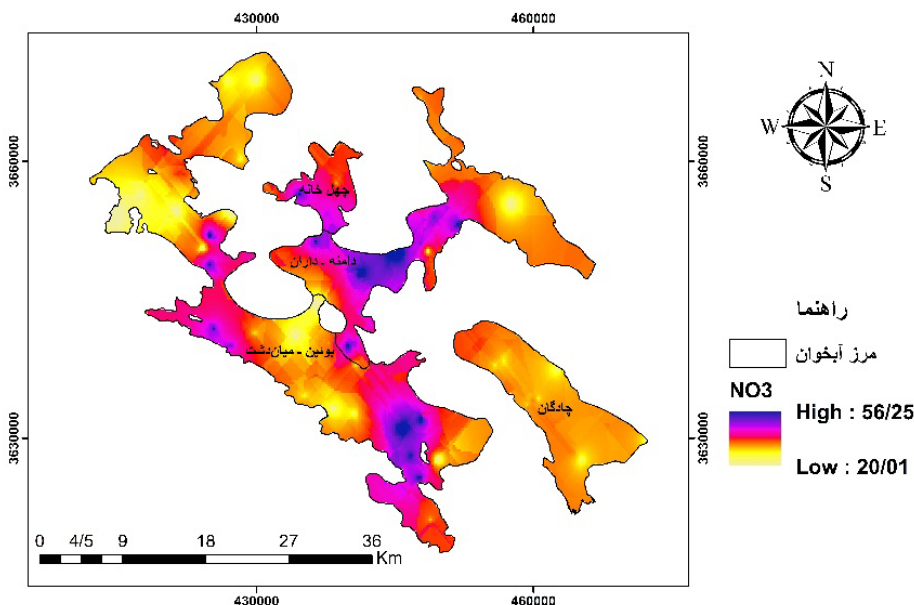
آزمون من کندال				حد بالا و پایین ضریب خودهمبستگی		ضریب خودهمبستگی	شیب	نام پارامتر	نام محدوده
پیش سفید شده به روش TFPW		بدون پیش سفید		حد پایینی	حد بالایی				
Z	P	Z	P						
-۳/۲۳	۹۹/۹۰	-۲/۷۱	۹۹/۳۱	۰/۳۰۳	-۰/۳۹۸	۰/۶۴۷	-۰/۰۲۹	pH	دامنه - داران
۲/۲۰	۹۷/۲۵	۲/۳۴	۹۸/۱۰	۰/۳۰۳	-۰/۳۹۸	۰/۲۹۸	۲/۰۲۷	TDS	
۲/۱۴	۹۶/۸۰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

در داده‌های آب و فاضلاب روستایی و آب و فاضلاب شهری در بسیاری از موارد از حد مجاز فراتر رفته به طوری 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

تهیه نقشه پهنه‌بندی نیترات و شاخص $IRWQI_{IC}$ 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

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

ASE	RMSES	MSE	RMSE	بهترین نوع	مدل	داده
۱۸/۴۷	۰/۹۱۲	۰/۰۴۳	۱۶/۹۳	Stable	Simpel	NO ₃
۱۱/۴۸	۰/۹۳۱	-۰/۰۳۹	۱۰/۵۸	J-Bessel	Ordinary	IRWQIGC



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

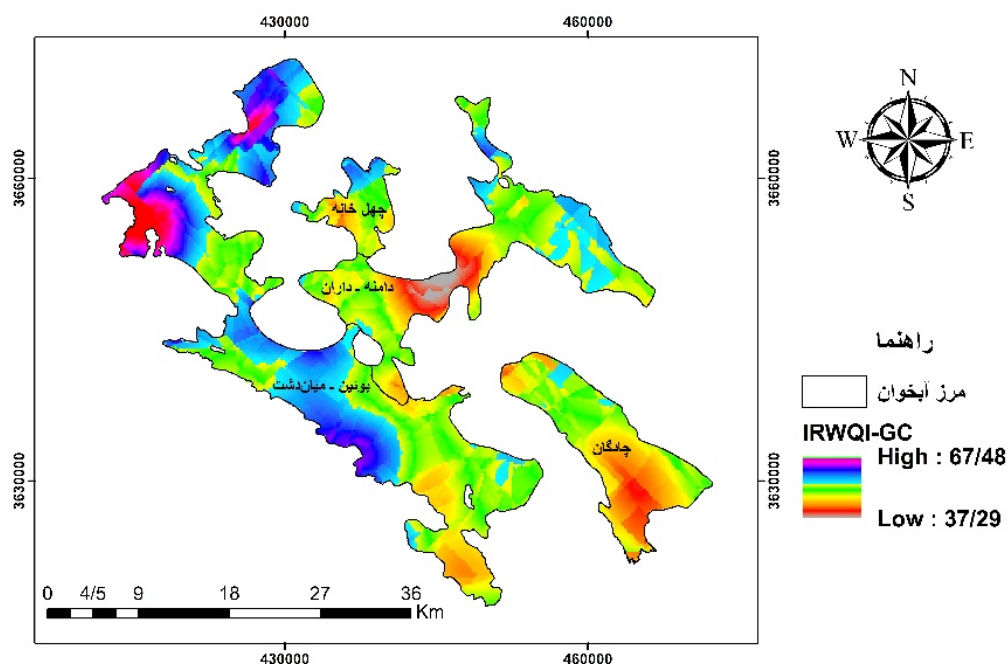
اندازه‌گیری‌های دانشگاه اصفهان در حد مجاز بوده و حداکثر نیترات مشاهده شده در فصل تر معادل ۲۷/۱۳ و در فصل خشک ۳۷ میلی‌گرم در لیتر است و در داده‌های آب و فاضلاب روستایی به ۳۱/۴ و در داده‌های آب و فاضلاب شهری حتی به ۳۵/۷۴ میلی‌گرم در لیتر رسیده است. مشخصات اجرای روش کریجینگ در محدوده آبخوان‌های بالادست 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 به ترتیب 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.

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 به طوری 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

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
بوئین میان‌دشت	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 IRWQIGC

در محدوده آبخوان‌های بالادست سد زاینده‌رود شاخص IRWQIGC 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 بوئین میان‌دشت 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 قسمت‌های 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 IRWQIGC برای محدوده آبخوان‌های بالادست سد زاینده‌رود محاسبه شد. در این محدوده کیفیت آب با گذشت زمان، کاهش یافته است و محدوده‌های دامنه - داران و بوئین میان‌دشت دارای روند منفی

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 و خوب 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 نیترا نیز با استفاده از روش کریجینگ انجام شد. بیشترین مقدار نیترا در قسمت‌های مرکزی دامنه-داران و نیز جنوب و جنوب غرب بوئین‌میاندشت و جنوب و جنوب غرب چهل‌خانه قرار

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 افزایش EC عللی غیر از عوامل زمین‌شناسی داشته است. یکی از پارامترهای مؤثر در افزایش EC می‌تواند افزایش نیترا در این محدوده‌ها باشد که به‌علت عدم وجود اطلاعات درازمدت مقدار نیترا 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

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 در صورتی 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.

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 نیترا 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

منابع مورد استفاده

- 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.
- Alizadeh, A. 2006. Principles of Applied Hydrology. Twenty-Fifth Printing. Astan Ghods Razavi Publications. Mashhad. (in Farsi).
- 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).
- 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.
- Effendi, H. 2016. River water quality preliminary rapid assessment using pollution index. *Procedia Environmental Sciences* 33: 562-567.
- Farzadkia, M., Y. Poureshgh and A. Joneidijafari. 2016. Water quality of Aghlaghan River based on NSFQI index and zoning it by Geographic Information System (GIS). *International Journal of Occupational and Environmental Health* 1(1): 68-78. (In Farsi).
- 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.
- 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).
- 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.
- 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.
- 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).
- Richards, L. A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *Soil Science* 78: 154.
- 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).
- 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).
- 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.

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

H. Torabipoudeh¹, H. Yonesi^{1*} and A. Arshia²

(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, CO₃, Ca, Mg, Na, K, HCO₃ and NO₃ 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