

ارزیابی تغییرات کیفیت منابع آب زیرزمینی و شاخص $IRWQI_{GC}$ در محدوده آبخوان‌های لنجان‌ات-نجف‌آباد

حسن ترابی پوده^{۱*}، حجت‌الله یونسی^۲، علی حقی‌زاده^۳، آزاده ارشیا^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۲/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۶/۲

چکیده

منابع آب زیرزمینی بزرگ‌ترین ذخیره قابل دسترس آب شیرین زمین هستند که مدیریت و کنترل کیفی آن‌ها بسیار حائز اهمیت است. هدف از این تحقیق، بررسی تغییرات پارامترهای کیفی منابع آب زیرزمینی در آبخوان‌های لنجان‌ات-نجف‌آباد و بررسی کیفیت آب از لحاظ مصارف شرب و کشاورزی و نیز محاسبه شاخص $IRWQI_{GC}$ است. بدین منظور پارامترهای EC، SAR، TDS، PH، TH و NO_3 و عناصر سنگین شامل روی، مس، سرب، کادمیوم و آرسنیک از نمونه‌های آزمایشگاهی در بازه زمانی ۱۳۷۴-۱۳۹۵ بررسی شدند. تغییرات پارامترها در مقایسه با حجم آبخوان نشان داد که علاوه بر کاهش حجم آبخوان، افزایش ورود آلودگی نیز به آبخوان وجود داشته است. در لنجان‌ات، طبقه‌بندی آب از لحاظ کشاورزی عمدتاً C2-S1، C3-S1 و C3-S2 و در نجف‌آباد C2-S1، C3-S1 و C4-S2 است. طبقه‌بندی آب از لحاظ شرب در لنجان‌ات عمدتاً خوب و قابل قبول و در نجف‌آباد عمدتاً در طبقه قابل قبول و متوسط و در مواردی نامناسب است. میزان عناصر سنگین در حد مجاز است. پهنه‌بندی نیترات و $IRWQI_{GC}$ با استفاده روش کریجینگ انجام شد. مقدار متوسط نیترات در نجف‌آباد ۶۳/۱۳ میلی‌گرم در لیتر محاسبه شد. شاخص $IRWQI_{GC}$ در نجف‌آباد ۱۹/۸ و در لنجان‌ات ۳۵/۹ محاسبه شد که نشان‌دهنده کیفیت نسبتاً بد آب منطقه و مخصوصاً نجف‌آباد است.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، کریجینگ، لنجان‌ات-نجف‌آباد، $IRWQI_{GC}$.

۱. دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، نویسنده مسئول، torabi.ha@lu.ac.ir

۲. استادیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد

۳. دانشیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد

۴. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد

مقدمه

افزایش جمعیت و توسعه روزافزون شهرها از یک سو و افزایش سطح بهداشت و رفاه از طرف دیگر، موجب افزایش مصرف آب شده است. از سوی دیگر، تأمین آب با کمیت و کیفیت مطمئن و مناسب برای پاسخ به تقاضای فزاینده بخش‌های مختلف، یکی از چالش‌های اصلی برنامه‌ریزان و مدیران صنعت آب کشور است.

آب‌های زیرزمینی منابع اصلی تأمین آب برای مصارف کشاورزی به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شوند (احمدی و صدق‌آمیز، ۲۰۰۸). 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، اهمیت بیشتری دارد (شاکریان و همکاران، ۲۰۱۱). برای ارزیابی سریع کیفیت آب از ایزاری باید استفاده کرد که میزان آلودگی آب را در زمان کوتاه‌تری نشان دهد. به همین سبب از شاخص آلودگی آب (WQI^۱) برای ارائه اولیه و سریع نتیجه ارزیابی وضعیت کیفیت آب بهره می‌گیرند (ایفندی^۲، ۲۰۱۶) که بدون پیچیدگی‌های ریاضی و آماری کیفیت آب را بیان می‌کند (حسینی‌زاده و همکاران، ۲۰۱۳). شاخص کیفیت منابع آب ایران (IRWQI^۳) با هدف استفاده از روش مناسب با شرایط طبیعی و مسائل منابع آب ایران تهیه شده است (فرزادکیا و همکاران، ۲۰۱۶). به‌منظور محاسبه شاخص کیفیت آب زیرزمینی (IRWQI_{GC}) پارامترهایی پیشنهاد شده که به هریک از آنها بر اساس نقشی که در آلودگی آب‌های زیرزمینی دارند، وزنی تعلق گرفته می‌گیرد 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، محاسبه می‌شود. هوبن^۴ و همکاران

(۲۰۰۹) به بررسی کیفیت آب زیرزمینی حوضه آبریز کابل (افغانستان) پرداختند که نتایج نشان داد سختی آب و شوری در آب زیرزمینی این ناحیه وجود داشته و وقوع خشکسالی متمادی آن را تشدید کرده است. بالوشا^۵ و همکاران (۲۰۱۰) در ارزیابی شبکه پایش میزان نترات 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 بیشتری هستند، توسط شبکه موجود پوشش داده نمی‌شوند. بنابراین بعضی مکان‌ها باید به شبکه اضافه و تعدادی حذف شوند. ماقش^۶ و همکاران (۲۰۱۳) در ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی در منطقه دیندیگونل، تأمین نادر هند با استفاده از شاخص WQI و تکنیک‌های GIS به این نتیجه رسیدند که وجود نترات 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. رایعی^۷ (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای به ارزیابی و مدل‌سازی کیفیت منابع آب زیرزمینی با استفاده از WQI و GIS در مصر پرداخت و ۸۱۲ نمونه آب زیرزمینی را در منطقه میانی مصر بالا (استان سوهاگ) جمع‌آوری کرد و برای ارزیابی کیفیت آب، ۱۱ پارامتر آب را مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. نتایج ارزیابی WQI نشان داد که ۲۰ درصد از نمونه‌های آب زیرزمینی عالی هستند، ۷۵ درصد برای نوشیدن خوب است و ۸ درصد آب کیفیت بسیار پایین است و ۱ درصد هم برای نوشیدن نامناسب است. عباس‌نیا و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی کیفیت آب زیرزمینی چابهار در سیستان و بلوچستان با کمک شاخص کیفیت آب آبیاری و پهنه‌بندی آن با GIS پرداختند. نتایج نشان داد که ۴۰ درصد نمونه‌های طبقه‌بندی شده به‌عنوان آب بسیار خوب و ۶۰ درصد نمونه‌ها از طبقه آب خوب بودند. ترابی‌پوده و هم‌زاده (۲۰۱۸) در مطالعه‌ای به بررسی کیفیت شیمیایی آب و

5. Baalousha
6. Magesh
7. Rabeiy

1. Water Quality Index
2. Effendi
3. Iran Water Quality Index
4. Houben

جریان سطحی ورودی به نجف‌آباد ۷۴۳/۶۳ و برای لنجان‌ات ۱۴۹۵/۹۲ میلیون مترمکعب در سال است. جریان زیرزمینی ورودی برای نجف‌آباد ۱۶ میلیون مترمکعب در سال و برای لنجان‌ات صفر بوده است. آبخوان‌های لنجان‌ات-نجف‌آباد از نوع آبخوان آزاد هستند. حجم آبخوان ثابت نبوده و منحنی تغییرات حجم آبخوان در این پژوهش آمده است. آبخوان نجف‌آباد ۹۳۲ کیلومترمربع وسعت دارد و متوسط ضریب ذخیره آن ۰/۰۲ است و آبخوان لنجان‌ات ۱۱۹۷ کیلومترمربع وسعت دارد و متوسط ضریب ذخیره آن، ۰/۰۴ است. در شکل (۱) موقعیت آبخوان‌های محدوده لنجان‌ات-نجف‌آباد در ایران و استان اصفهان مشخص شده است.

روش تحقیق

در این پژوهش، برای تهیه نقشه کیفی منابع آب زیرزمینی از شاخص کیفیت منابع آب ایران (IRWQI) و روش کریجینگ در محیط ArcGIS10.5 در محدوده آبخوان‌های لنجان‌ات-نجف‌آباد استفاده و همچنین تغییرات زمانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی مؤثر در این شاخص با استفاده از اطلاعات چهار منبع مختلف شامل آب منطقه‌ای اصفهان، آب و فاضلاب روستایی، آب و فاضلاب شهری و دانشگاه اصفهان انجام شد و بر اساس آن‌ها تحلیل‌های کیفی ارائه گردید.

روش اندازه‌گیری سطح آب در پیژومترها و سپس متوسط هر محدوده با شبکه تیسن محاسبه می‌شود. آبخوان‌های لنجان‌ات-نجف‌آباد از نوع آبخوان‌های آزاد بوده و حجم آن‌ها ثابت نبوده و در این مطالعه نیز تغییرات حجم آبخوان‌ها آمده است. کیفیت آب در لنجان‌ات-نجف‌آباد از نظر شرب و کشاورزی نیز بررسی شد. اطلاعات در بازه زمانی ۱۳۷۴-۱۳۹۵، شامل EC, SAR, TH, PH, TDS و نیز NO₃ و عناصر سنگین شامل روی، مس، سرب، کادمیوم و آرسنیک هستند. در لنجان‌ات ۱۰۰۰ نمونه کیفی و در نجف‌آباد ۱۰۱۲ نمونه کیفی در بازه زمانی ۱۳۷۴-۱۳۹۵ اخذ شده است. تعداد نمونه‌های کیفی در لنجان‌ات و نجف‌آباد در جدول (۱) آمده است.

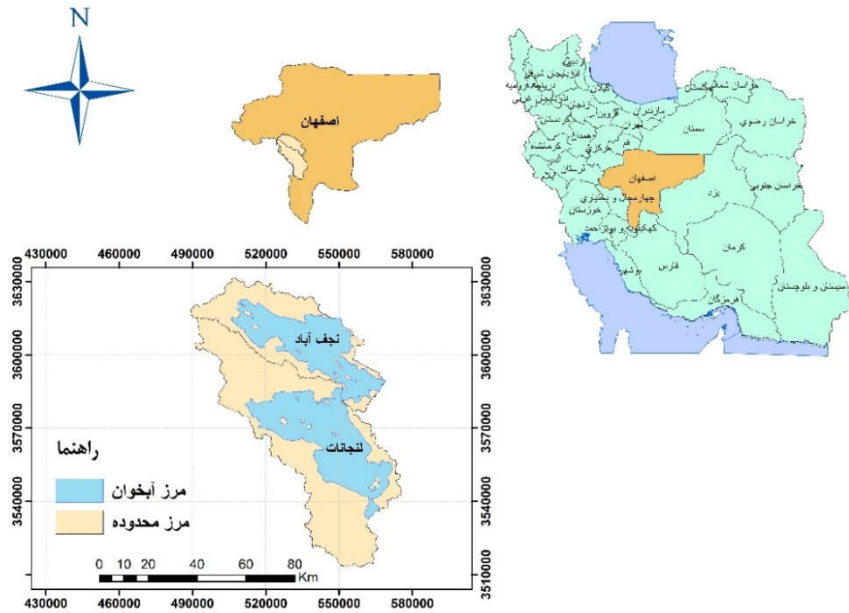
تغییرات پارامترهای کیفی در حوضه کشکان پرداختند و دیاگرام شولر را برای هر ایستگاه استخراج و تحلیل کردند و برای بررسی کیفیت آب از نظر کشاورزی از دیاگرام ویلکاکس استفاده کردند. نتایج نشان داد که کیفیت آب در آن محدوده کاهش یافته است. امیری و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه‌ای با استفاده از شاخص IRWQI_{GC} به ارزیابی 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 نسبتاً بد قرار گرفته است. ادیمالا^۱ (۲۰۱۹) در منطقه‌ای از جنوب هند به بررسی کیفیت آب زیرزمینی و ارزیابی شاخص WQI و همچنین ارزیابی ریسک سلامت در آن منطقه پرداخت. وی بیان داشت که 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 و پارامترهای کیفی را بررسی و نیز با شاخص WQI ارزیابی کرده است. نتایج ارزیابی ریسک سلامت نشان داد که با توجه به نیترات و فلوراید زیاد در آب منطقه مورد مطالعه، کودکان به‌علت مصرف بیشتر در معرض خطر سلامتی قرار گرفتند.

تأمین آب باکیفیت مطمئن و مناسب برای پاسخ به تقاضای فزاینده بخش‌های مختلف، یکی از چالش‌های اصلی برنامه‌ریزان و مدیران صنعت آب کشور است. تحقیق حاضر با هدف بررسی تغییرات کیفیت منابع آب زیرزمینی و ارزیابی شاخص IRWQI_{GC} در محدوده آبخوان‌های لنجان‌ات-نجف‌آباد 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 رشد جمعیت و بهره‌برداری‌های غلط از منابع آب باعث آلودگی منابع آب و به‌خصوص منابع آب‌های زیرزمینی شده است.



شکل (۱): موقعیت محدوده آبخوان لنجان-نجف‌آباد در استان اصفهان

Figure (1): Position of Lenjanat-Najafabd aquifer area in Isfahan province

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{(Mg^{2+}) + (Ca^{2+})}{2}}} \quad (1)$$

در آب‌های شور، سدیم جایگزین کلسیم و منیزیم موجود بر روی ذرات رس خاک می‌شود. این امر باعث تخریب ساختار خاک، تولید خاک قلیایی و در نهایت بسته شدن منافذ خاک می‌شود. از این رو انتقال آب و هوا 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 (جدول ۲). 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)، خیلی شور و نامناسب (C1S4, C2S4, C3S4, C4S4, C4S3, C4S2, C4S1).

دیگرام شور 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 مصارف آشامیدنی تقسیم می‌شوند (جدول ۳).

جدول (۱): تعداد نمونه‌های کیفی در لنجانات و نجف‌آباد

Table (1): Number of quality samples in Lenjanat and Najafabad

سازمان	لنجانات	نجف‌آباد
آب و فاضلاب روستایی	۳۷ مکان، ۳۸ نمونه آزمایشگاهی، آزمایش‌های شیمیایی	۲۲ مکان، ۲۴ نمونه، آزمایش‌های شیمیایی
آب و فاضلاب شهری	۲۰ مکان، ۲۹ نمونه آزمایشگاهی	۲۳ مکان، ۲۴ نمونه، آزمایش‌های عناصر سنگین
آب منطقه‌ای	۴۱ نقطه، ۱۰۰۱ نمونه آزمایشگاهی	۲۶ نقطه، ۱۰۱۳ نمونه آزمایشگاهی

طبقه‌بندی آب بر اساس ویلکاکس و شولر

طبقه‌بندی ویلکاکس یکی از مهم‌ترین طبقه‌بندی‌ها در زمینه تعیین کیفیت آب کشاورزی است (ویلکاکس، ۱۹۴۸) که بر مبنای دو پارامتر هدایت الکتریکی (برحسب میکرو موس بر سانتی‌متر، $EC * 10^6$) و نسبت جذب سدیم به عنوان خطر قلیایی ات در نظر گرفته می‌شود. میزان SAR طبق رابطه (۱) با افزایش سدیم افزایش می‌یابد (ریچاردز، ۱۹۵۴).

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 (۲) شاخص کل کیفیت آب محاسبه می‌شود؛ طبق این شاخص، کیفیت آب زیرزمینی به ۷ دسته مطابق با جدول (۵) تقسیم شده است.

$$\gamma = \sum_{i=1}^n W_i \quad (2)$$

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

جدول (۵): معادل توصیفی شاخص کیفیت آب
Table (5): 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 برای نشان دادن دقت تحلیل مکانی در GIS شناخته می‌شود (نظری‌زاده و همکاران، ۲۰۰۶) و با استفاده از داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی شده به دست می‌آید. البته در این مطالعه علاوه بر RMSE، میزان MSE و RMSES نیز محاسبه شدند (رابطه ۳).

جدول (۲): طبقه‌بندی آب کشاورزی طبق دیاگرام ویلکاکس

Table (2): Classification of agricultural water according to the Wilcox diagram

رد	SAR	رد	EC	کیفیت آب
S1	SAR < ۱۰	C1	EC < ۲۵۰	عالی
S2	۱۰ < SAR < ۱۸	C2	۲۵۰ < EC < ۷۵۰	خوب
S3	۱۸ < SAR < ۲۶	C3	۷۵۰ < EC < ۲۲۵۰	متوسط
S4	SAR > ۲۶	C4	EC < ۲۲۵۰	نامناسب

جدول (۳): طبقه‌بندی آب شرب طبق دیاگرام شولر

Table (3): Classification of drinking according to Schuler diagram

Cl	So4	Na	Mg	Ca	PH	طبقه‌بندی آب
۲۸	۳۷	۶۹	۴/۵	۲۰	۷/۲	قابلیت شرب
۳۵	۴۸	۷۳	۶	۲۵	۷/۸	قابلیت شرب
۵۴	۵۷	۱۰۴	۳۷	۸۵	۹	نامناسب
۵۵۰	۶۵۰	۷۳۰	۷۲	۱۳۰	۱۰	بد

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 (ISIRI, ۱۳۸۸). به‌منظور محاسبه شاخص کیفیت آب زیرزمینی (IRWQI_{GC}) پارامترهای جدول ۴ 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.

جدول (۴): پارامترهای شاخص IRWQI_{GC} و وزن آن‌ها

Table (4): IRWQI_{GC} Indicator Parameters and Their Weights

ردیف	پارامتر	وزن	توضیحات
۱	نیترات	۰/۱۵۱	برحسب میلی‌گرم بر لیتر
۲	کلیرم مدفوعی	۰/۱۳۴	برحسب MPN/100ml
۳	هدایت الکتریکی	۰/۱۲۹	برحسب میکرو زیمنس بر سانتی‌متر
۴	سختی کل	۰/۱۰۳	برحسب میلی‌گرم بر لیتر کربنات کلسیم
۵	SAR	۰/۰۸۹	-
۶	BOD	۰/۰۸۸	برحسب میلی‌گرم بر لیتر
۷	فسفات	۰/۰۸۵	برحسب میلی‌گرم بر لیتر
۸	COD	۰/۰۸	برحسب میلی‌گرم بر لیتر
۹	PH	۰/۰۷۴	بر اساس استاندارد
۱۰	اکسیژن محلول	۰/۰۶۷	برحسب درصد اشباع

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

نتایج

بررسی کیفیت منابع آب زیرزمینی در لنجانات

در جدول (۶) متوسط مکانی میانگین‌های زمانی پارامترهای کیفی در محدوده لنجانات در چهار بازه زمانی با یکدیگر مقایسه شده است. همان طور که دیده می‌شود مقادیر متوسط مکانی بازه زمانی ۱۳۷۴-۱۳۸۵ نسبت به بازه کل ۱۳۷۴-۱۳۹۵ به لحاظ کیفیت، وضعیت مطلوب تری دارد و این در حالی است که مقادیر متوسط مکانی از سال ۱۳۸۵-۱۳۹۰ و ۱۳۹۰-۱۳۹۵ کیفیت کمتری دارند. طبقه‌بندی آب از نظر کشاورزی در محدوده لنجانات غالباً C3S1 است و نیز C2S1 است. کلاس‌های طبقه‌بندی شولر برای مصارف شرب در محدوده لنجانات در جدول (۷) آورده شده است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (3)$$

$$MSE = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n}$$

از بین روش‌های مختلف، هرکدام که میزان RMSE کمتری داشته باشد به عنوان روش مناسب انتخاب می‌شود.

روش کریجینگ

کریجینگ یک روش تخمین استوار بر منطق میانگین متحرک وزن دار و بهترین تخمین گر خطی نارایب است (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 و یا به نحوی توزیع متغیر نرمال شود. رابطه کلی کریجینگ به صورت رابطه (۴) است:

$$Z^*(X_i) = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i Z(X_i)}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} \quad (4)$$

که در آن، $Z^*(X_i)$ مقدار تخمینی متغیر در موقعیت X_i ، λ_i وزن

جدول (۶): متوسط مکانی میانگین‌های زمانی پارامترهای کیفی در لنجانات

Table (6): Spatial average of temporal averages of qualitative parameters in Lenjanat

PH	EC	TH	SAR	TDS	بازه زمانی
۷/۶۶	۱۶۱۴/۳۱	۵۱۸/۴۹	۲/۸۴	۱۱۱۴/۵۷	۱۳۹۵-۱۳۹۰
۷/۹۷	۱۵۴۰/۲۰	۴۷۳/۳۷	۲/۹۸	۱۰۶۳/۳۵	۱۳۹۰-۱۳۸۵
۸/۱۲	۱۵۳۲/۲۷	۴۸۲/۰۷	۳/۱۵	۱۰۵۴/۲۴	۱۳۸۵-۱۳۷۴
۷/۸۸	۱۵۶۶/۹۳	۵۰۱/۳۱	۲/۹۵	۱۰۸۰/۱۷	۱۳۷۴-۱۳۹۵

جدول (۷): درصد هریک از کلاس‌های طبقه‌بندی شولر برای مصارف شرب در لنجانات

Table (7): The percentage of each Schuler classification class for drinking in Lenjanat

So4	Cl	Na	PH	TH	TDS	طبقه‌بندی آب
۵۶	۸۴	۸۰	۴۰	۱۶	۳۲	خوب
۴۰	۱۶	۱۶	۴۴	۷۶	۵۶	قابل قبول
۴	۰	۴	۱۶	۸	۱۲	متوسط
۰	۰	۰	۰	۰	۰	نامناسب
۰	۰	۰	۰	۰	۰	کاملاً نامطبوع
۰	۰	۰	۰	۰	۰	غیر قابل شرب

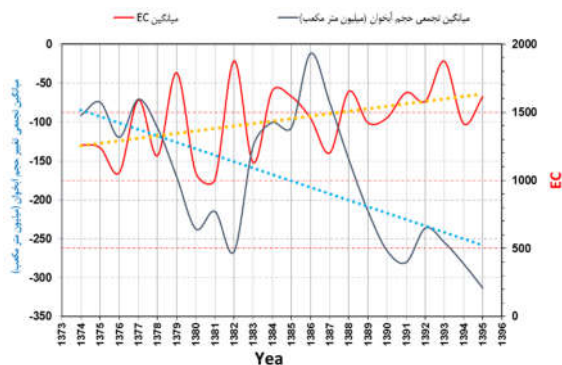
تغییرات حجم آبخوان پرداخته شد. در شکل (۲) روند تغییرات حجم آبخوان و مقایسه آن با روند تغییرات EC در بازه زمانی ۱۳۷۴-۱۳۹۵ نشان داده شده است. EC در این شکل متوسط مکانی کل داده‌های برداشت شده در هر سال است.

بررسی تغییرات زمانی متوسط تغییرات مکانی

پارامترهای کیفی-تغییرات حجم آبخوان در لنجانات

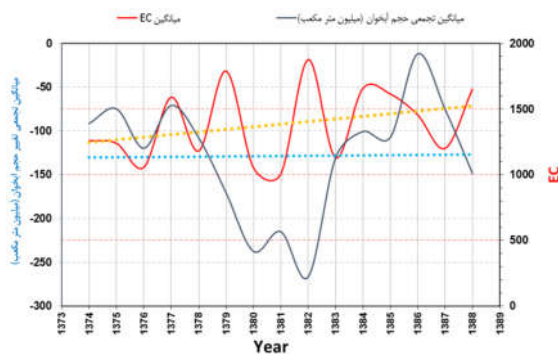
در این قسمت به بررسی تغییرات زمانی متوسط تغییرات مکانی پارامترهای کیفیت نمونه‌های آب منطقه‌ای و مقایسه آن با

همان طور که دیده می شود در این دوره با وجود عدم تغییرات درازمدت حجم آبخوان، تغییرات EC افزایشی است. این موضوع نشان می دهد که علاوه بر کاهش حجم آبخوان، افزایش ورود آلودگی به آبخوان نیز در سالهای جاری وجود داشته است. تغییرات حجم آبخوان و مقایسه آن با تغییرات TDS نیز در بازه زمانی ۷۴-۹۵ دارای تغییراتی مشابه تغییرات EC است. در بررسی تغییرات حجم آبخوان و مقایسه آن با تغییرات PH در بازه زمانی ۱۳۷۴-۱۳۹۵ نیز مشاهده شد که با کاهش حجم آبخوان، PH نیز کاهش یافته است. این کاهش PH از سال ۱۳۸۶ شدت بیشتری پیدا کرده است. در شکل ۴ تغییرات حجم آبخوان و مقایسه آن با تغییرات TH (سختی کل) نیز نشان داده شده است.

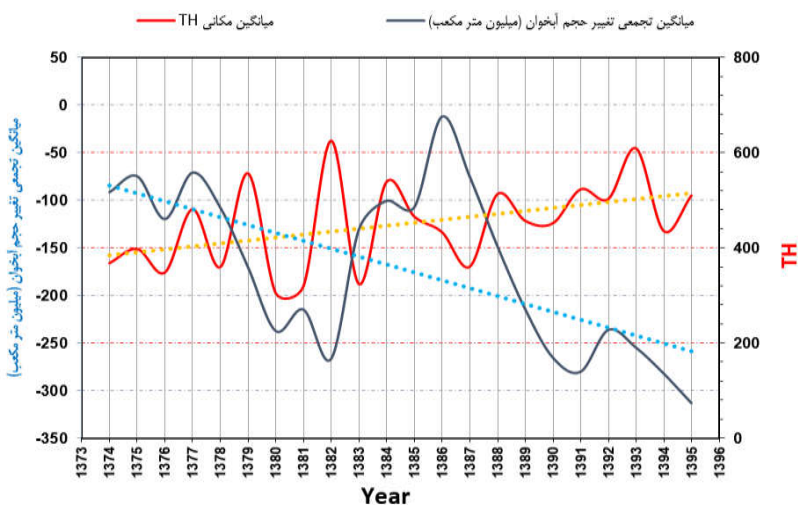


شکل (۲): تغییرات حجم آبخوان و EC (۱۳۷۴-۱۳۹۵)
Figure (2): Changes in aquifer volume and EC (1995-2016)

همان طور که مشاهده می شود با کاهش حجم آبخوان، EC آب افزایش یافته است. حال باید دید که با افزایش حجم آبخوان، دوباره کیفیت به حالت اولیه برمی گردد یا خیر. برای بررسی این موضوع دوره ۱۳۷۴ تا ۱۳۸۹ که یک بازه با تغییرات حجم آبخوان بدون روند است، انتخاب شد و دوباره برای این دوره، تغییرات EC محاسبه شد که در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل (۳): تغییرات حجم آبخوان و EC (۱۳۷۴-۱۳۸۹)
Figure (3): Changes in aquifer volume and EC (1995-2010)



شکل (۴): تغییرات حجم آبخوان و TH (۱۳۷۴-۱۳۹۵)
Figure (4): Changes in aquifer volume and TH (1995-2016)

بررسی کیفیت منابع آب زیرزمینی در نجف آباد

کیفیت در این بازه‌های زمانی همچون لنجانات است. بررسی این داده‌ها نشان می‌دهد که باگذشت زمان، کیفیت آب زیرزمینی در این محدوده کاهش داشته است.

در جدول ۸ متوسط مکانی متوسط‌های زمانی پارامترهای کیفی در محدوده نجف‌آباد در چهار بازه زمانی با یکدیگر مقایسه شده است. همان‌طور که دیده می‌شود، تغییرات

جدول (۸): متوسط مکانی میانگین‌های زمانی پارامترهای کیفی در نجف‌آباد

Table (8): Mean spatial time intervals of qualitative parameters in Najafabad

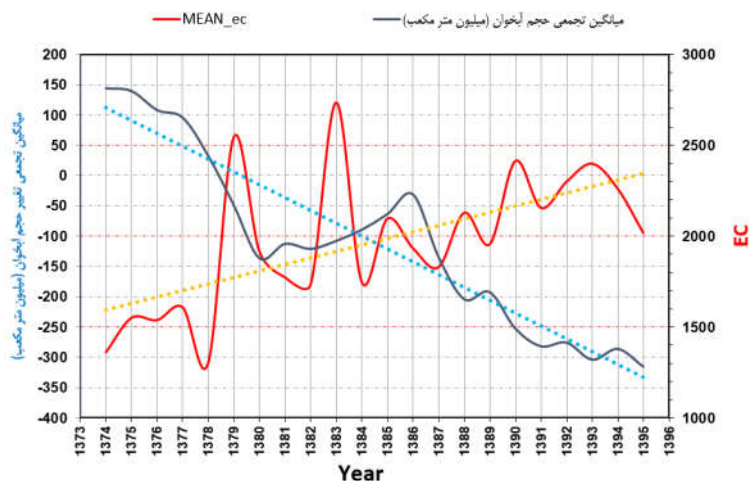
PH	EC	TH	SAR	TDS	بازه زمانی
۷/۴۶	۲۲۱۲/۸۷	۶۴۳/۲۰	۴/۲۳	۱۶۱۰/۷۰	۱۳۹۵-۱۳۹۰
۷/۸۲	۲۳۱۵/۳۵	۷۰۳/۴۱	۳/۵۸	۱۶۱۱/۸۵	۱۳۹۰-۱۳۸۵
۷/۹۰	۲۰۵۴/۲۵	۶۲۱/۸۰	۳/۶۶	۱۴۲۶/۰۶	۱۳۸۵-۱۳۷۴
۷/۶۷	۲۱۰۰/۸۷	۶۲۳/۲۲	۳/۸۵	۱۴۹۱/۸۵	۱۳۹۵-۱۳۷۴

بررسی تغییرات زمانی متوسط تغییرات مکانی

لنجانات انجام شد، این مقایسه در نجف‌آباد نیز انجام گرفت که در شکل‌های (۵) تا (۷) آورده شده است.

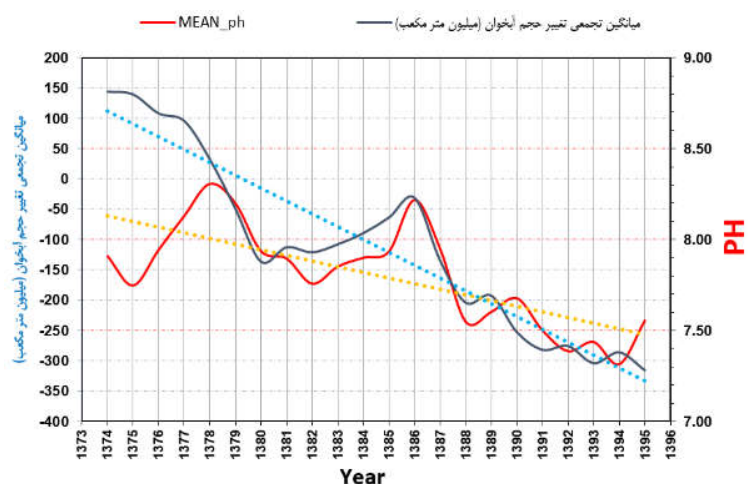
پارامترهای کیفی-تغییرات حجم آبخوان در نجف‌آباد

همانند بررسی‌هایی که در این مورد در محدوده



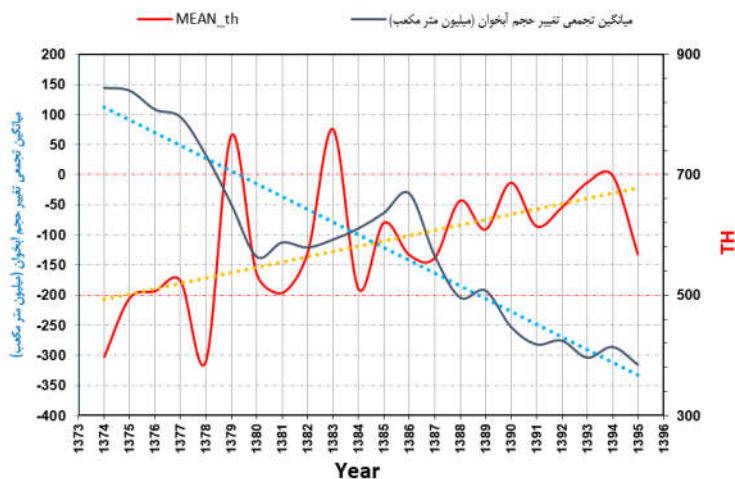
شکل (۵): تغییرات حجم آبخوان و EC (۱۳۹۵-۱۳۷۴)

Figure (5): Changes in aquifer volume and EC (1995-2016)



شکل (۶): تغییرات حجم آبخوان و PH (۱۳۹۵-۱۳۷۴)

Figure (6): Changes in aquifer volume and PH (1995-2016)



شکل (۷): تغییرات حجم آبخوان و TH (۱۳۹۵-۱۳۷۴)
Figure (7): Changes in aquifer volume and TH (1995-2016)

طبقه‌بندی آب از نظر کشاورزی در نجف‌آباد، اغلب کلاس‌های طبقه‌بندی شولر برای مصارف شرب در محدوده C3S1 است و نیز C2S1 و C4S2 را شامل می‌شود. لنجان‌ات در جدول (۹) آورده شده است.

جدول (۹): درصد هر یک از کلاس‌های طبقه‌بندی شولر برای مصارف شرب در نجف‌آباد
Table (9): The percentage of each Schuler classification class for drinking in Najafabad

So4	Cl	Na	PH	TH	TDS	طبقه‌بندی آب
۳۶/۳۶	۷۸/۷۹	۴۸/۴۸	۲۴/۲۴	۶/۰۶	۶/۰۶	خوب
۳۳/۳۳	۱۲/۱۲	۴۵/۴۵	۳۰/۳	۴۵/۴۵	۴۵/۴۵	قابل قبول
۲۴/۲۴	۳/۰۳	۳/۰۳	۳۹/۳۹	۴۵/۴۵	۴۵/۴۵	متوسط
۶/۰۶	۶/۰۶	۳/۰۳	۶/۰۶	۳/۰۳	۳/۰۳	نامناسب
۰	۰	۰	۰	۰	۰	کاملاً نامطبوع
۰	۰	۰	۱/۰۱	۰	۰	غیر قابل شرب

(۱۰) و همچنین مشخصات آماری نیترات در جدول (۱۱) آورده شده است. نقشه پهنه‌بندی نیترات در شکل (۸) مشاهده می‌شود.

جدول (۱۱): مشخصات آماری میزان نیترات
Table (11): Statistical data of Nitrate

محدوده	ماکزیمم	مینیمم	متوسط نیترات
لنجان‌ات	۷۰/۹۷	۰/۹۰	۲۸/۹۷
نجف‌آباد	۲۰۹/۱۴	۵/۹۶	۶۳/۱۳

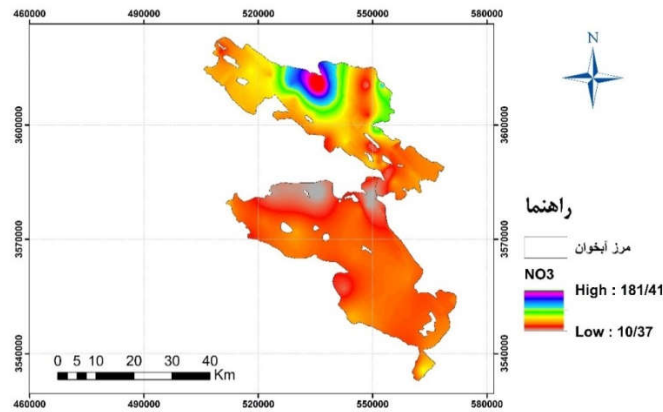
بررسی عناصر نیترات در آبخوان‌های مطالعاتی

مقدار متوسط نمونه‌های آزمایشگاهی عناصر سنگین برای آبخوان‌های محدوده مطالعاتی در حد مجاز است. مشخصات اجرای روش کریجینگ در لنجان‌ات-نجف‌آباد در جدول

جدول (۱۰): مشخصات اجرای روش کریجینگ

Table (10): Specifications for the Kerjing method

داده	مدل کریجینگ	RMSE	MSE	RMSES
IRWQI	Ordinary	۸/۶۴	۰/۰۲۸	۰/۹۶۷
NO3	Ordinary	۲۱/۷۸	۰/۰۰۷	۱/۱۰۶



شکل (۸): نقشه پهنه بندی نترات در آبخوان های لنجانات-نجف آباد
 Figure (8): Nitrate Zoning Map in Lenjanat-Najafabad aquifers

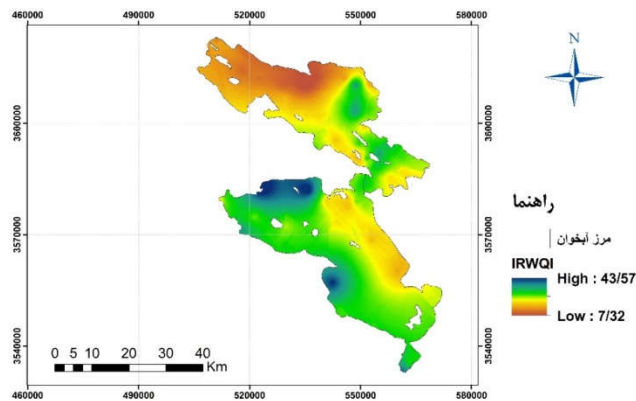
محاسبه شاخص IRWQI

در محدوده لنجانات-نجف آباد برای نمونه های آزمایشگاهی کیفیت منابع آب زیرزمینی، شاخص IRWQI محاسبه شد که خلاصه ای از پارامترهای آماری این اندازه گیری ها در جدول (۱۲) نشان داده شده (شکل ۱۲) و نشان دهنده پایین بودن عدد شاخص و در نتیجه، کیفیت نامناسب آب منطقه، به خصوص در نجف آباد و به ویژه در قسمت های شمال و شمال غربی این منطقه است. همچنین در لنجانات در

قسمت های شمال و شمال غرب، عدد شاخص کمتر و کیفیت آب نامناسب است.

جدول (۱۲): مشخصات آماری IRWQI
 Table (12): IRWQI statistical data

محدوده	انحراف معیار	واریانس	ماکزیمم	مینیمم	متوسط
	IRWQI	IRWQI	IRWQI	IRWQI	IRWQI
لنجانات	۱۶/۱	۲۰۶/۳	۶۳/۲	۱۱/۵	۳۵/۹
نجف آباد	۱۰/۱	۱۰۱/۳	۵۴/۱	۵	۱۹/۸



شکل (۹): نقشه پهنه بندی IRWQI در آبخوان های لنجانات-نجف آباد
 Figure 9: IRWQI Mapping Map in Lenjanat-Najafabad aquifers

بحث و نتیجه گیری

در این پژوهش، تغییرات زمانی میانگین تغییرات مکانی پارامترهای کیفی در مقایسه با تغییرات حجم آبخوان در لنجانات-نجف آباد بررسی شد. علاوه بر کاهش حجم آبخوان، افزایش ورود آلودگی نیز به آبخوان در سال های اخیر وجود داشته است؛ بنابراین می توان نتیجه گرفت که با کاهش حجم

آبخوان از یک طرف و افزایش ورود آلاینده ها به منابع آب زیرزمینی از طرف دیگر، افزایش آلودگی آب آبخوان مشهود است. در لنجانات، کیفیت آب از لحاظ کشاورزی، شور و کشاورزی باید با اعمال تمهیدات انجام گیرد و در نجف آباد مواردی خیلی شور و نامناسب برای کشاورزی و در مواردی نیز شور و کشاورزی باید با اعمال تمهیدات انجام گیرد. طبقه بندی آب از لحاظ شرب با توجه به دیگرام شولر در

نامناسب آب منطقه، به‌خصوص در نجف‌آباد و به‌ویژه در قسمت‌های شمال و شمال غربی این منطقه است و نیز در لنجان‌ات در قسمت‌های شمال و شمال شرق، عدد شاخص کمتر و کیفیت آب، پایین است. نقشه پهنه‌بندی نیترات در این محدوده مطالعاتی نیز نشان از مقدار فراتر از حد مجاز نیترات در شمال و شمال غرب نجف‌آباد دارد. بالوشا و همکاران (۲۰۱۰) و عباس‌نیا و همکاران (۲۰۱۸) نیز روش کریجینگ را روشی مناسب برای تهیه نقشه پهنه‌بندی معرفی کردند.

مزیت این مطالعه، استفاده از شاخص کیفیت منابع آب ایران برای بررسی کیفیت آب زیرزمینی (IRWQI_{GC}) و همچنین بررسی تغییرات زمانی پارامترهای کیفی در این مناطق است که تاکنون انجام نگرفته است. اگر یکی از علت‌های اصلی زیاد بودن نیترات، عملیات کشاورزی در منطقه باشد، می‌توان گفت آلاینده‌های مربوط به استفاده از سموم شیمیایی نیز باید در اندازه‌گیری‌های آتی مد نظر قرار گیرد. تغییرات پارامترهای کیفی آب در داده‌های آب منطقه‌ای اصفهان نشان داد که کیفیت آب در منابع موجود در محدوده آبخوان با گذشت زمان بدتر شده است. در این مناطق پس از بررسی‌هایی همچون مطالعه حاضر، اقداماتی همچون بازیافت زیاله‌ها در حال انجام است. حال اینکه سهم هریک از منابع آلوده‌کننده چقدر است، به‌آسانی و با حجم اطلاعات موجود تقریباً کار مشکلی است ولی قطعاً باید رویکرد عدم آلودگی منابع آب به‌عنوان یک رویکرد ملی مد نظر قرار گیرد.

لنجان‌ات عمدتاً خوب و قابل قبول و در نجف‌آباد عمدتاً در طبقه قابل قبول و متوسط و در مواردی نامناسب و حتی درصد کمی غیر نوشیدنی مشاهده شد. ترابی‌پوده و هم‌زاده (۲۰۱۸) نیز برای بررسی کیفیت منابع آب زیرزمینی، تغییرات پارامترهای کیفی را بررسی و نیز از دیاگرام شولر و ویلکاکس به طبقه‌بندی کیفیت آب دست یافتند.

میزان عناصر سنگین در محدوده مطالعاتی در حد مجاز است اما میزان نیترات در محدوده مطالعاتی نجف‌آباد، بیشترین مقدار را دارد و متوسط مکانی نمونه‌های اندازه‌گیری‌شده در این محدوده، از حد مجاز فراتر رفته است.

در بررسی کیفیت منابع آب آبخوان‌های لنجان‌ات-نجف‌آباد 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 (۲۰۱۳)، رایبعی (۲۰۱۷)، ادیمالا (۲۰۱۹) 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 این شاخص اما مناسب شرایط کشور ایران (IRWQI) استفاده شد. همان‌طور که در مطالعه امیری و همکاران (۲۰۱۸) در قائم‌شهر، کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از این شاخص کیفی انجام گرفته است. پهنه‌بندی شاخص در محدوده مطالعاتی با استفاده از روش کریجینگ صورت گرفت و نتایج حاصل، نشان‌دهنده پایین بودن عدد شاخص و در نتیجه کیفیت

مراجع

1. Abbasnia, A., Radfard, M., Mahvi, A. H., Nabizadeh, R., Yousefi, M., Soleimani, H., 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. Ahmadi, S.H., Sedghamiz, A., 2008. Application and evaluation of kriging and cokriging methods on groundwater depth mapping, Environmental Monitoring and Assessment 138, 357-368.
4. Amiri, F., Tabatabaei, T., Valipour, S., 2018. Assessment and analysis of groundwater quality in landfills using IRWQI_{GC}. Journal of Soil and Water Sciences. 22 (1): 211-226. (In Persian).
5. Baalousha, H., 2010. Assessment of a groundwater quality monitoring network using vulnerability mapping and geostatistics: A case study from Heretaunga Plains, New Zealand. J. Agricultural. W. Management. 97: 240-246.

6. Effendi, H., 2016. River water quality preliminary rapid assessment using pollution index, *Procedia Environ Sci.* 33: 562-7.
7. Farzadkia, M., Poureshgh, Y., 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. (Persian)
8. Gaus, I., Kinniburgh, D.G., Talbot, J.C., Webster, R., 2003. Geostatistical analysis of arsenic concentration in groundwater in Bangladesh using disjunctive Kriging. *Environmental geology* 44, 939-948.
9. Hoseinzadeh, E., Rahimi, N., Rahmani, Al., 2013. Quality assessment of takab Sarugh River right branch by wilcox index and its Zoning Using Geographical information system, *J Mazandaran Univ Med Sci (JMUMS).* 23(103): 77-8. (Persian)
10. Houben, G., Tünnermeier, T., Eqrar, N., Himmelsbach, T., 2009. Hydrogeology of the Kabul Basin (Afghanistan), part II: groundwater geochemistry. *Hydrogeology journal* 17, 935-948.
11. Magesh, N.S., Krishnakumar, S., Chandrasekar, N., Soundranayagam, J.P., 2013. Groundwater quality assessment using WQI and GIS techniques, Dindigul district, Tamil Nadu, India. *Arab. J. Geosci.* 6: 4179-4189.
12. Nazarizadeh, F., Ershadian, B., ZandVakili, K., Nouriemamzade'i, M., 2006. Investigating the variations in groundwater quality in Balarood plain in Khuzestan province originally published as an ASCE 1981 Water Forum Conference Proceedings. (Persian)
13. Rabeiy, R.E., 2017. Assessment and modeling of groundwater quality using WQI and GIS in Upper Egypt area. *Environmental Science and Pollution Research.* 25 (31): 808-817.
14. Richards, L.A., 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils 78, 154.
15. Shakerian, N., Zehtabian, G.R., Azarnivand, H., Khosravi, H., 2011. Evaluation of desertification intensity based on soil and water criteria in Jarghooyeh region. *Desert* 16, 23-32.
16. Torabi Pudeh, H., Hamezadeh, p., 2018. Investigation of chemical quality of water and changes in quality parameters in Kashkan basin, *Journal of ecohydrology,* 5 (1): 23-36. (Persian)
17. Wilcox, L., 1955. Classification and use of irrigation waters.

Assessment of Groundwater Quality Changes and Evaluation of IRWQI_{GC} in Lenjanat-Najafabad Aquifers Area

Hasan Torabipoudeh^{1*}, Hojatallah Younesi², Ali Haghizadeh³, Azadeh Arshia⁴

Received: 07/05/2019

Accepted: 24/08/2019

Extended abstract

Introduction: Groundwater is the main source of water supply for agricultural purposes, especially in arid and semi-arid regions. the Water Quality Index (WQI) is used to provide early and quick results of the assessment of water quality status, IRWQI has been developed with the aim of using appropriate method with natural conditions and water resources issues in Iran. In this research, the trend analysis of parameters and quality assessment of groundwater resources of Lenjanat-Najafabad aquifer using IRWQI_{GC} are reviewed.

Materials and methods: In this research, the time variation of water quality parameters was investigated using data from four different sources including Regional Water Company of Isfahan, Water and Wastewater Company of Isfahan Province, Isfahan Urban Water and Wastewater Company, and Isfahan University. Based on these, qualitative analysis of presentation Became The data for the time period (1995-2016) include EC, TDS, SAR, PH, TH and also NO₃ and heavy metals including zinc, copper, lead, cadmium and arsenic. The water quality in Lenjanat-Najafabad was evaluated for agriculture and drink using the Wilcox and Schuler classification. ArcGIS software can be used for mapping the mapping of different interpolation methods. In the present study, the RMSE index was used to determine the appropriate method. In this region, the Kriging method is more appropriate.

Results: The average spatial temporal of quality parameters in Lenjanat range was compared in four-time intervals and the results indicate a decrease in the quality of groundwater resources in recent years. The trend of changes in parameters compared to the aquifer volume showed that in addition to reducing the size of the aquifer, there has been an increase in the incidence of contamination in the aquifer in recent years. In Lenjanat, agricultural water classification is mainly in the C2-S1, C3-S1 and C3-S2 regions, and in Najafabad in C2-S1, C3-S1 and C4-S2. The classification of drinking water according to the Shouler diagram in Lenjanat is mostly good and acceptable, and in Najafabad it was mostly found in acceptable and moderate class, and in some cases inappropriate. The amount of heavy metals is within the limits. The zonation of nitrate and IRWQIGC index were performed using Kriging method. The average nitrate value in Najafabad was 63/13 mg / L. The IRWQIGC index was calculated in Najafabad at 19/8 and in Langunat, 35/9, indicating poor water quality in the area.

Discussion and Conclusion: The results showed that in addition to decreasing the size of the aquifer, there has been an increase in the incidence of contamination in the aquifer in recent years. it can be concluded that by decreasing the size of the aquifer from the other side and increasing the input of pollutants to groundwater resources, on the other hand, the increase of water pollution in the aquifer is evident. In other studies, researchers

1. Associate Professor of Water Engineering, Lorestan University, Khorramabad, Iran; torabi.ha@lu.ac.ir

2. Assistant Professor of Water Engineering, Lorestan University, Khorramabad, Iran

3. Associate Professor Department of Watershed Engineering, Lorestan University, Khorramabad, Iran

4. Master of Science in Watershed Management, Department of Range and Watershed Management, Lorestan University, Khorramabad, Iran

DOI: 10.22052/deej.2018.7.25.29

also examined the process of changing the quality parameters for the assessment of the quality of groundwater resources, as well as the Schuler and Wilcox diagram for water quality classification. The amount of nitrate in the range of Najafabad is the highest and the average spatial range of samples measured in this range exceeds the limit. Regarding the quality of water resources in the Lenjanat-Najafabad aquifer based on Iran Water Quality Index (IRWQI), the IRWQIGC index was used in this study for groundwater resources. Other researchers also used the WQI index for review. The quality of water resources is appropriate, but in the present study, considering that the research area in Iran is located, this indicator, but suitable for the conditions of IRWQI country, was used. Indicator zonation in the study area was performed using Kriging method and the results indicate that the index is low and as a result of inappropriate water quality of the region, especially in Najafabad, the index is less and water quality is inappropriate. Nitrate zoning map in this study area also shows an amount beyond the limit of nitrate in the areas mentioned. Other researchers have also introduced the Kriging method as a suitable method for mapping the map. If one of the main causes of high nitrate levels is agricultural activity in the area, it can be said that pollutants related to the use of chemical pesticides should be considered in future measurements. The trend analysis in Isfahan Regional Water Data showed that the water quality in the resources in the aquifer area has become worse with time. However, how big the share of each pollutant is, with the amount of information available, is difficult to quantify, but the approach of not polluting water resources should certainly be considered as a national approach.

Keywords: Groundwater, IRWQI_{GC}, Kriging, Lenjanat-Najafabad.