

مقدمه

ارزیابی کیفیت و کمیت آب، شناسایی عوامل آلاینده و نقاط آلوده در مناطقی که از منابع آب‌های زیرزمینی برای مصارف شرب استفاده می‌شود بسیار با اهمیت است. با توجه به موقعیت کشور ایران که با کمبود منابع آب شیرین و نزولات جوی روبرو است، استفاده از منابع آب زیرزمینی جهت تأمین آب شرب موردتوجه است [۱۷]. کیفیت منابع آب زیرزمینی به‌اندازه کمیت آن برای قابل‌استفاده بودن آن در مصارف مختلف، مهم و ضروری است. آگاهی از تغییرات کیفیت و کمیت آب زیرزمینی در برنامه‌ریزی و مدیریت پایدار منابع آب‌و خاک هر منطقه نقش بسزایی دارد [۷]. افزایش روزافزون آلاینده‌های شیمیایی شهری و صنعتی و شیوه‌های نوین کشاورزی، تهدیدی جدی برای محیط‌زیست به‌حساب می‌آیند. کیفیت و کمیت آب از مهم‌ترین عواملی است که باید به‌هنگام ارزیابی توسعه مناسب یک منطقه بررسی شود [۴]. تغییرات کیفیت آب زیرزمینی می‌تواند مقدمه‌ای بر تخریب منابع آب و سایر منابع به صورت‌های مستقیم و غیرمستقیم باشد [۱۳]. یکی از روش‌های بسیار ساده و دور از پیچیدگی‌های ریاضی و آماری که می‌تواند شرایط کیفی آب را بازگو کند، استفاده از شاخص‌های کیفی آب است، به‌گونه‌ای که در مدیریت کیفی آب نیز می‌توان از آن به‌عنوان یک ابزار مدیریتی قوی برای تصمیم‌گیری‌های مربوطه استفاده کرد [۱۸] و [۲۶].

بابیکر و همکاران [۲] شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GQI^4) را معرفی کرده و در آبخوان ناسونا در کشور ژاپن به کار گرفته‌اند. در این شاخص با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS^5) چندین متغیر مؤثر در کیفیت آب زیرزمینی (سدیم، منیزیم، کلسیم، سولفات، کلر، پتاسیم و مواد جامد محلول) با یکدیگر تلفیق می‌شوند و امکان پهنه‌بندی و تهیه نقشه کیفیت آب زیرزمینی فراهم می‌شود. استفاده از روش‌های سنتی برای بررسی وضعیت کمی و کیفی سفره‌های آب زیرزمینی زمان‌بر و هزینه‌بر است. از این رو روش‌های زمین‌آماري با توجه به توانمندی‌هایی هم‌چون کاهش تعداد نمونه‌برداری، کاربرد توأم و ارائه برآوردهای دقیق‌تر از وضعیت مکانی متغیرها به لحاظ استفاده می‌تواند باعث کاهش هزینه‌ها و افزایش دقت برآوردها شود [۱۳]. مزیت زمین‌آمار این است که می‌توان با استفاده از داده‌های یک کمیت در مختصات معلوم، مقدار همان کمیت را در نقطه‌ای با مختصات معلوم دیگر، واقع در درون دامنه‌ای از ساختار فضایی تخمین زد [۱۱].

بررسی پراکنش مکانی - زمانی کیفیت و کمیت آب زیرزمینی دشت نورآباد

حجت‌الله یونسی^{۱*}، آزاده ارشیا^۲ و حافظ میرزاپور^۳
 تاریخ دریافت: ۹۷/۱۱/۲۰ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۳/۰۵

چکیده

رشد شهری و افزایش آلاینده‌های آب، کاهش کیفیت و کمیت منابع آبی را در پی دارد. در این پژوهش تلاش شده است که کیفیت و کمیت آب زیرزمینی دشت نورآباد بررسی شود. بدین منظور هایتوگراف بارش اردیبهشت‌ماه از سال ۱۳۷۶ تا سال ۱۳۹۶ ترسیم گردید. با توجه به هایتوگراف ترسیمی، سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۳۸۹ به‌عنوان سال‌های پربارش و سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۶ به‌عنوان سال‌های کم بارش انتخاب شدند. نقشه پراکنش مکانی غلظت پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی و همچنین سطح آب زیرزمینی با استفاده از روش کریجینگ و انتخاب بهترین مدل با توجه به معیارهای ارزیابی ($ASE, RMSE, RMSes$) و (MSE) برای سال‌های مذکور ایجاد شد، سپس با تقسیم حاصل ضرب رتبه هر پارامتر در وزن میانگین آن بر تعداد کل پارامترها، شاخص GQI جهت بررسی کیفیت آب زیرزمینی در سال‌های مورد مطالعه (۱۳۸۳، ۱۳۸۹، ۱۳۹۳ و ۱۳۹۶) تهیه شد. نتایج نشان داد کیفیت آب این منطقه در سال‌های بررسی شده در درجه‌ی مناسب قرار دارد. در کل سال‌های مورد بررسی، ناحیه شمالی و جنوب شرقی دشت نورآباد دارای کیفیت مناسب‌تری نسبت به دیگر نواحی است. با بررسی نقشه‌های کمیت و کیفیت مشاهده شد که با افزایش فاصله سطح آب زیرزمینی از سطح زمین، کیفیت آب مناسب‌تر می‌شود.

واژه‌های کلیدی: لرستان، کریجینگ، میان‌یابی، GIS ، GQI .

۱- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، نویسنده مسئول: Email: Yonesi.h@lu.ac.ir

۲- دانش‌آموخته ارشد آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان

۳- دانشجوی دکترای آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان

4. Groundwater Quality Index
 5. Geographic Information System

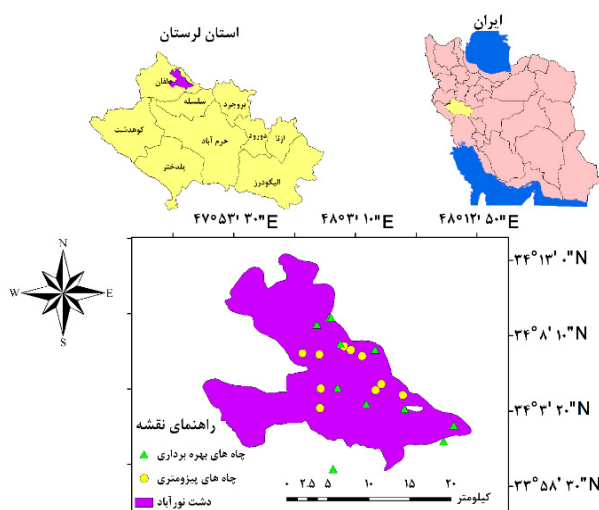
برخوری و همکاران [۳] در مطالعه‌ای جهت بررسی روند تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت جیرفت از پارامترهای Na, Mg, Ca, Cl, EC, SO₄ استفاده کردند. در این مطالعه با استفاده از روش کریجینگ کیفیت آب را پهنه‌بندی کردند. نتایج نشان داد: در بخش‌هایی که اراضی کشاورزی وجود دارد آب زیرزمینی از کیفیت پایین‌تری برخوردار است. همچنین با تهیه نقشه زمین‌شناسی مشخص گردید که سازندهای با بافت ریزدانه‌تر از کیفیت آب پایین‌تری برخوردارند. در حالت کلی چنین می‌توان نتیجه گرفت که کیفیت آب منطقه مورد مطالعه با گذشت زمان برای مصارف شرب کاهش یافته و تحت تأثیر کاربری اراضی و سازندهای زمین‌شناسی قرار گرفته است. ماچیوال و همکاران [۲۰] در مطالعه‌ای، شاخص پایداری کیفیت آب زیرزمینی GQSI را جهت برآورد احتمالاتی کیفیت آب زیرزمینی پیشنهاد کردند. نتایج GQSI برای کیفیت آب‌های زیرزمینی در ۸۴ درصد مکان‌ها هماهنگ با نتایج GQI است و نشان‌دهنده کفایت GQSI توسعه یافته است. باین حال، GQSI به دلیل چارچوب آماری، سازگاری و قابلیت مقایسه آن از GQI مناسب‌تر است. همچنین نتایج مطلوب شاخص پایداری کیفیت آب زیرزمینی OGQSI و GQSI با یکدیگر هماهنگ و خطی و قابل توجه است و رابطه ($R^2 = 0.70$) بین آن‌ها وجود دارد. بنابراین OGQSI روشی مقرون به صرفه برای نظارت و ارزیابی رضایت‌بخش از کیفیت آب‌های زیرزمینی در مناطق مختلف است. جودوی و زارع [۱۵]، کیفیت آب زیرزمینی را در آبخوان دشت فیض‌آباد در جنوب غرب مشهد از طریق برآورد شاخص GQI بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که این روش با روش‌های دیگر ارزیابی کیفیت آب همخوانی دارد و می‌توان از آن به عنوان یک شاخص مورد اطمینان برای بررسی تغییرات مکانی و زمانی کیفیت آب زیرزمینی استفاده کرد. دشتی برمکی و همکاران [۵]، در ارزیابی شاخص کیفیت آب زیرزمینی در آبخوان لنجان‌ات به این نتیجه رسیدند که کیفیت آب زیرزمینی در منطقه بررسی شده، متوسط و نسبتاً زیاد است. الفادل و همکاران [۸] در تحقیقی که در حوضه طرابلس لبنان انجام دادند به این نتیجه رسیدند که شاخص GQI می‌تواند به برنامه‌ریزی مؤثر برای مدیریت کیفیت آب در جهت بهره‌برداری پایدار از منابع آب زیرزمینی کمک کند. پاوار و همکاران [۲۳]، با استفاده از روش‌های زمین‌آمار، تغییرات مکانی و زمانی کیفیت آب زیرزمینی را ارزیابی کردند. نتایج مطالعات ایشان نشان داد که ۷۴ درصد از نمونه‌های برداشت‌شده در طبقه نامناسب قرار دارند، زیرا این منطقه در ناحیه صنعتی قرار گرفته و فعالیت‌های انسانی منجر به آلودگی آب در این منطقه شده است. ماچیوال [۱۹]، برای شناسایی منابع آلوده‌کننده آب در منطقه اودایپور هندوستان از شاخص GQI استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که فلوراید، سدیم، شوری و مواد جامد محلول به‌طور قابل ملاحظه‌ای در منطقه رو به افزایش است. ابوالنعم و همکارانش [۱]، در غزه فلسطین کیفیت آب زیرزمینی را با استفاده از زمین‌آمار بررسی کردند. نتایج مطالعات ایشان نشان داد که بسیاری از پارامترهای آبخوان، ساختار مکانی دارند و می‌توان با استفاده از زمین‌آمار کیفیت آب زیرزمینی را بررسی کرد. با توجه به ترسیم

هیدروگراف تغییرات آب زیرزمینی و کاهش روند کلی تراز آب‌های زیرزمینی در دشت نورآباد استان لرستان [۲۴]، مطالعه جامع در منابع آب زیرزمینی امری ضروری می‌باشد. بنابراین، هدف از این پژوهش، بررسی کیفیت و کمیت آب زیرزمینی دشت نورآباد با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و پهنه‌بندی کیفیت و کمیت آب زیرزمینی با استفاده از شاخص GQI است.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی:

دشت نورآباد با مساحت ۳۳۴/۰۷ کیلومترمربع در شمال استان لرستان و در شهرستان دلفان قرار دارد. این دشت بین طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۸۶ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۲۲ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه ۹۸ دقیقه تا ۳۴ درجه ۲۱ دقیقه شمالی قرار گرفته است (شکل ۱) و در ارتفاع ۱۷۰۰ متری از سطح دریا و در بین رشته‌کوه‌های زاگرس واقع شده است. نوع آبخوان آزاد و آبرفتی به مساحت ۱۳۱/۷ کیلومترمربع، ضریب ذخیره ۵ درصد، بیلان عمومی محدود؛ و رودی ۹۹۵/۲۴ و خروجی ۹۹۵/۲۴ میلیون مترمکعب در سال، متوسط تغییرات ذخیره سالانه صفر، امکان توسعه بهره‌برداری از آبرفت ۳/۴ و از سازند سخت ۴/۵ میلیون مترمکعب می‌باشد (آب منطقه‌ای استان لرستان). بررسی‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که ارتفاعات بلند منطقه از آهک‌های ضخیم لایه و مناطق کم یا متوسط ارتفاع دشت از سنگ‌های آذرین، دگرگونی و سری آهکی همراه با سنگ‌های دگرگونی تشکیل شده است. واحد مرفولوژیکی دشت شامل مخروط افکنه‌ها، پادگانه‌های آبرفتی، واریزه‌ها و آبرفت‌های سیلابی و آبرفت‌های بین دشتی است. رسوبات کنگلومرایی با پهنه‌ی وسیعی در انتهای جنوب شرقی دشت قابل مشاهده است و در شمال دشت آبرفت‌ها و واریزه‌های بادبزی به صورت نواری حاشیه دشت را می‌پوشاند و قسمت اعظم دشت را رسوبات واریزه‌ای اشغال نموده است [۲۲].



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی در ایران و استان لرستان

روش پژوهش

در این پژوهش هایتوگراف بارش اردیبهشت ماه طی سال‌های ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۶ ترسیم گردید (شکل ۲)، با توجه به میزان بارش در این دوره زمانی، چهار سال جهت بررسی تغییرات کیفیت و کمیت آب‌های زیرزمینی انتخاب شدند. بر این اساس سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۳۸۹ به عنوان سال‌های پر بارش و سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۶ به عنوان سال‌های کم بارش انتخاب شدند.

روش‌های مختلفی برای برآورد متغیرهایی که تغییرات مکانی دارند، وجود دارد. تفاوت عمده این روش‌ها مربوط به نحوه محاسبه فاکتور وزنی است که به نقاط مشاهده شده اطراف نقطه مورد تخمین، داده می‌شود [۱۱]. روش‌های میان‌یابی به‌طور کلی به دو دسته تقسیم می‌شوند. دسته اول، روش‌های میان‌یابی قطعی یا معین هستند که مستقل از ارتباط مکانی بین مقادیر یک متغیرند. دسته دوم، روش‌های میان‌یابی زمین‌آماري هستند که در آن‌ها از خودهمبستگی مکانی بین داده‌ها در فرایند تخمین استفاده می‌شود [۱۲]. در این پژوهش از روش کریجینگ استفاده شده است. دلیل استفاده از کریجینگ این است که برخلاف دیگر روش‌های میان‌یابی، مبتنی بر روشی آماری است. این روش، میانگین وزنی روی داده‌های نقطه‌ای اجرا می‌کند، جایی که خروجی برابر مجموع ضرایب مقادیر نقطه‌ای و وزن‌ها تقسیم بر مجموع وزن‌ها برآورد می‌شود [۵].

روش کریجینگ

روش کریجینگ برای برآورد نقطه ناشناخته، به هر یک از نمونه‌های اندازه‌گیری شده وزنی را نسبت می‌دهد. کریجینگ یک تخمین گر خطی به صورت رابطه (۱) است:

$$Z^* = \sum_{i=1}^n \omega_i \cdot Z(x_i) \quad (1)$$

که در آن $Z(x_i)$: مقدار تغییر مکانی مشاهده شده در x_i ، ω_i : وزن آماری که به نمونه x_i نسبت داده می‌شود و بیان گر اهمیت نقطه i ام در برآورد است. انواع کریجینگ بر اساس ساختار فضایی

داده‌ها عبارت‌اند از: الف) روش‌های خطی شامل کریجینگ ساده، کریجینگ معمولی، کریجینگ عام، کریجینگ توأم، ب) روش‌های غیرخطی شامل کریجینگ لگاریتمی، کریجینگ انفصالی، کریجینگ شاخص [۲۱].

کریجینگ معمولی: این روش معمول‌ترین روش کریجینگ است که در نرم‌افزار GIS هم معمولاً از آن استفاده می‌شود. فرض در این روش این است که میانگین متغیر ناحیه‌ای در فضای تخمین مقداری نامعلوم است [۱۱].

کریجینگ عام

هنگامی که داده‌ها غیر ایستا (حاوی روند) باشند، استفاده از تخمین گرهای غیرخطی مانند کریجینگ عام توصیه می‌شود [۱۲]. تشخیص روند معمولاً از طریق ترسیم نیم- تغییر نما در جهات مختلف امکان‌پذیر است؛ در صورت وجود روند، نیم تغییر نما به آستانه‌ی مشخصی نرسیده و مقدار آن با افزایش فاصله سهمی وار افزایش می‌یابد. در روش کریجینگ عام، ابتدا روند موجود در داده‌ها شناسایی شده و از داده‌ها حذف شده و تخمین بر اساس باقیمانده‌ها انجام می‌گیرد. در انتها، روند حذف شده با باقیمانده‌های برآورد شده جمع می‌شوند [۱۶]. تخمین گر کریجینگ عام بر اساس رابطه (۲) تعریف می‌شود [۱۴]:

$$Z^*(u_0) = m(u_0) + \varepsilon(u_0) \quad (2)$$

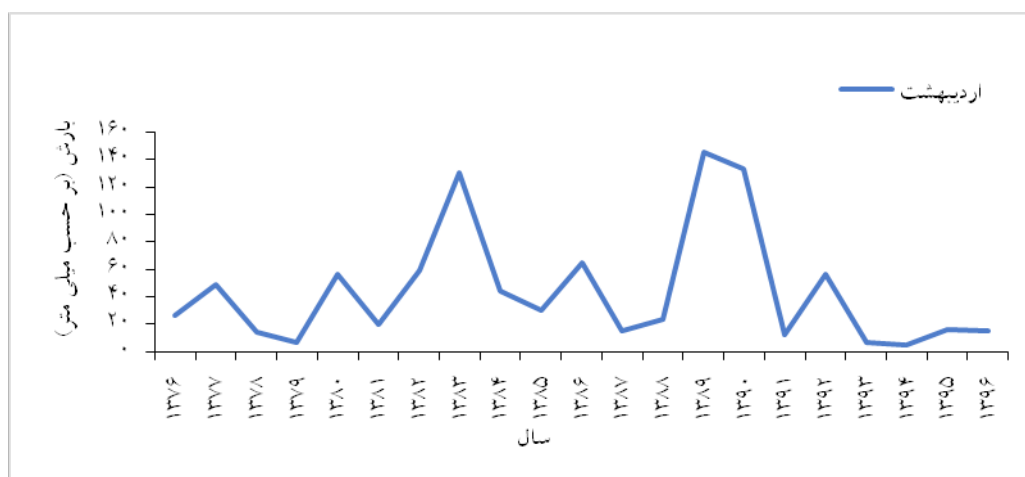
که در آن $m(u_0)$ میانگین داده‌هاست که تابع مختصات است، $\varepsilon(u_0)$ جزیی باقیمانده است که معمولاً به عنوان یک تابع توزیع تصادفی پایا با میانگین صفر و واریانس ثابت، شبیه‌سازی می‌شود [۱۰].

شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GQI)

شاخص کیفیت آب زیرزمینی از رابطه (۳) به دست می‌آید [۲]:

$$GQI = 100 - \left(\frac{r_1 w_1 + r_2 w_2 + \dots + r_n w_n}{N} \right) \quad (3)$$

در این رابطه، r میزان نقشه رتبه‌بندی (۱ تا ۱۰)، w وزن نسبی



شکل ۲: هایتوگراف بارش در اردیبهشت ماه طی سال‌های ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۶ در ایستگاه باران‌سنجی نورآباد

$$ASE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n S^2}{n}} \quad (6)$$

MSE: میانگین استاندارد شده خطا است که به صورت رابطه (۷) تعیین می شود.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(Z_i^* - Z_i)^2}{S^2} \quad (7)$$

در فرمول های ذکر شده، Z_i^* : مقدار تخمین زده شده و Z_i : مقدار مشاهده شده، S : واریانس خطا در نقطه i ام و n تعداد مشاهدات است. ضمن این که بهترین برآورد باید کمترین RMSE را داشته باشد و RMSES باید به ۱ نزدیک تر باشد [۶].

نتایج و بحث

در این پژوهش برای تعیین کیفیت آب زیرزمینی دشت نورآباد، هفت پارامتر تأثیرگذار شامل (کلسیم، سدیم، منیزیم، پتاسیم، کلسیم، سولفات و کل مواد جامد محلول) در سال های ۱۳۸۳، ۱۳۸۹، ۱۳۹۳ و ۱۳۹۶ که از شرکت آب منطقه ای استان لرستان اخذ گردید، انتخاب شدند. در مرحله اول پارامترهای مذکور با استفاده از روش کریجینگ مورد ارزیابی قرار گرفتند و بهترین مدل کریجینگ در هر کدام از پارامترها با توجه به معیارهای ارزیابی RMSES، RMSE و ASE انتخاب شد (جدول ۱).

توسعه شاخص کیفیت آب های زیرزمینی

این فرآیند شامل تغییر مکانی اندازه گیری ها و تبدیل های چندباره داده های کیفیت آب زیرزمینی به صورت یک مقدار رتبه بندی شاخص کیفیت آب زیرزمینی است [۵].

نقشه ی اولیه (I)

در مرحله اول، برای هر پارامتر از داده های نقطه ای با استفاده از آزمون ۱۱ مدل برازش در روش کریجینگ و بررسی RMSES، ASE و MSE غلظت پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی میانبایی شد و با عنوان نقشه های اولیه (I) تهیه شدند. غلظت پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی سال ۱۳۹۶ به عنوان نمونه نقشه های میانبایی شده با توجه به مقادیر جدول ۱، در شکل ۲ ارائه شده است.

نقشه ی اولیه (II)

برای بیان کردن داده ها به صورت نرم جهانی^۷، غلظت اندازه گیری شده در هر سلول X' ، در نقشه ی اولیه، به مقدار استاندارد مطلوب آن (ISIRI)^۸، X ، با استفاده از شاخص اختلاف نرمال شده^۹ طبق رابطه (۸) ارائه می شود [۲].

$$C = (X' - X) / (X' + X) \quad (8)$$

نقشه ی به دست آمده نشان می دهد که برای هر سلول، یک مقدار شاخص آلودگی با محدوده بین -۱ تا ۱ وجود دارد. نقشه بیانگر

پارامترها، و N ، تعداد کل پارامترهای استفاده شده در تحلیل ها هستند. وزن نسبی هر پارامتر، به مقدار میانگین رتبه بندی (r) آن ها ارتباط دارد. قسمت اصلی شاخص کیفیت آب زیرزمینی نشان دهنده ترکیب خطی میانگین از فاکتورهاست. وزن مختص هر پارامتر بیان کننده اهمیت نسبی آن پارامتر در آب زیرزمینی مربوط به مقدار رتبه بندی میانگین (نقشه رتبه بندی) آن است. پارامترهایی که تأثیر بیشتری بر کیفیت آب های زیرزمینی (میزان میانگین بالا) دارند، در ارزیابی کلی کیفیت آب زیرزمینی مهم تر هستند. در نهایت و با تقسیم حاصل ضرب رتبه هر پارامتر در وزن میانگین آن بر تعداد کل پارامترها، شاخص کیفیت آب زیرزمینی با محدوده مقدار شاخص بین ۱ تا ۱۰۰ به دست می آید. به این ترتیب تأثیر پارامترها به صورت انفرادی، تا حد زیادی کاهش می یابد و محاسبه شاخص هرگز به تعداد معینی از پارامترهای شیمیایی محدود نمی گردد. ۱۰۰ در قسمت اول این معادله، باعث می شود که مقادیر نزدیک به عدد ۱۰۰ نشان دهنده کیفیت مطلوب و مقادیر نزدیک به ۱ کیفیت نامطلوب را نشان دهند [۵].

معیارهای ارزیابی

روش های عمده ای که در بررسی صحت میانبایی استفاده می شود شامل صحت یابی^۱ و صحت یابی سرتاسری^۲ است [۲۵] در روش اول یک منطقه تعلیمی و یک منطقه آزمایش انتخاب می شود. در ابتدا برای منطقه تعلیمی رابطه ی میانبایی به دست می آید، سپس برای منطقه آزمایش به کار می رود و میزان دقت برآورد محاسبه می شود [۱۴]، معیارهای ارزیابی استفاده شده در این مطالعه بر اساس پارامترهایی از قبیل $RMSE^4$ ، $RMSES^3$ ، ASE^5 و MSE^6 تعریف می شوند. مهم ترین معیار برای ارزیابی تخمین، مقدار مجذور میانگین مربع خطا (RMSE) است [۹].

RMSE مجذور میانگین مربع خطا است و به صورت رابطه (۴) محاسبه می شود.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_i^* - Z_i)^2} \quad (4)$$

RMSES میانگین ریشه دوم خطای استاندارد است و به صورت رابطه (۵) محاسبه می شود.

$$RMSES = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(Z_i^* - Z_i)^2}{S^2}} \quad (5)$$

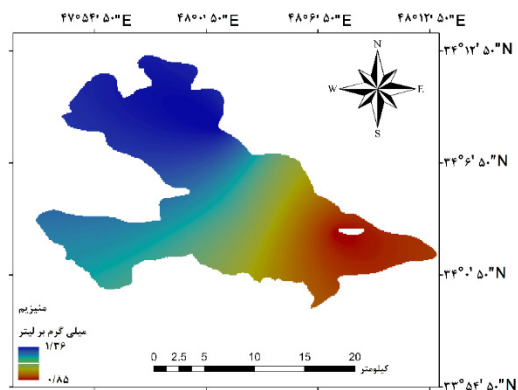
ASE: میانگین خطای استاندارد است که می تواند برای کریجینگ ساده و معمولی بر اساس رابطه (۶) محاسبه شود.

1. Validation
2. Cross-Validation
3. Root Mean Square Error Standardized
4. Root Mean Square Error
5. Average Standard Error
6. Mean Standardized Error

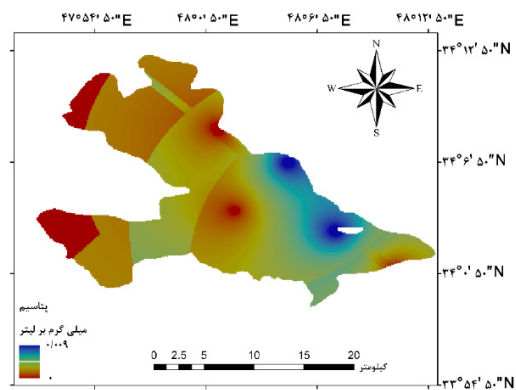
7. universal norm
8. Institute of Standards and Industrial Research of Iran
9. normalized difference index

جدول ۱: انتخاب بهترین مدل کریجینگ با استفاده از معیارهای ارزیابی

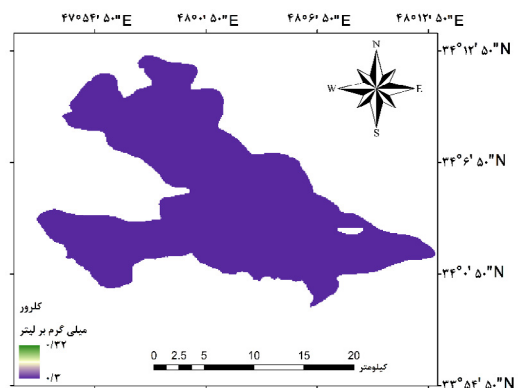
پارامتر	مدل کریجینگ	بهترین نوع	معیار ارزیابی	۱۳۸۳	مدل کریجینگ	بهترین نوع	معیار ارزیابی	۱۳۸۹
کلر	معمولی	Stable	RMSE	۰/۱۱	عام	Circular	RMSE	۰/۱۱
			MSE	-۰/۰۲۸			MSE	۰/۰۱
			RMSES	۱/۲۱			RMSES	۱/۰۳
			ASE	۰/۰۸۴			ASE	۰/۱۱
سولفات	عام	Circular	RMSE	۰/۴۱	عام	Spherical	RMSE	۰/۱۷
			MSE	-۰/۰۶۹			MSE	-۰/۰۸
			RMSES	۰/۹۸			RMSES	۰/۸۸
			ASE	۰/۴۲			ASE	۰/۱۷
کلسیم	عام	Exponential	RMSE	۰/۳۳	معمولی	Circular	RMSE	۰/۶
			MSE	-۰/۰۳۷			MSE	-۰/۰۰۶
			RMSES	۱/۰۲			RMSES	۱/۰۵
			ASE	۰/۳۳			ASE	۰/۵۶
منیزیم	عام	Spherical	RMSE	۰/۵۱	عام	Rational Quadratic	RMSE	۰/۳۷
			MSE	۰/۰۴			MSE	-۰/۱۴
			RMSES	۱/۰۳			RMSES	۱/۰۳
			ASE	۰/۵			ASE	۰/۳۳
پتاسیم	معمولی	Gaussian	RMSE	۰/۰۱۴	معمولی	Rational Quadratic	RMSE	۰/۰۲
			MSE	۰/۰۱۸			MSE	-۰/۰۲
			RMSES	۱/۰۳			RMSES	۰/۹۴
			ASE	۰/۰۱۴			ASE	۰/۰۲
سدیم	معمولی	Gaussian	RMSE	۰/۰۱	عام	Circular	RMSE	۰/۰۵
			MSE	۰/۰۲			MSE	۰/۰۴
			RMSES	۰/۹۳			RMSES	۰/۹۶
			ASE	۰/۰۱			ASE	۰/۰۵
کل مواد جامد محلول	عام	Stable	RMSE	۳۷/۱۸	عام	Stable	RMSE	۳۷/۵۲
			MSE	۰/۰۶			MSE	۰/۰۰۷
			RMSES	۰/۹۹			RMSES	۱/۰۱
			ASE	۳۷/۳۷			ASE	۳۶/۹۲
کلر	عام	Rational Quadratic	RMSE	۰/۰۹	معمولی	Gaussian	RMSE	۰/۰۹
			MSE	-۰/۰۲			MSE	۲/۲۲
			RMSES	۱/۰۱			RMSES	۱
			ASE	۰/۰۸			ASE	۰/۰۹
سولفات	عام	J-Bessel	RMSE	۰/۱۲	عام	Stable	RMSE	۰/۵۳
			MSE	-۰/۰۴			MSE	-۰/۰۱
			RMSES	۱/۱۷			RMSES	۱/۰۶
			ASE	۰/۰۹			ASE	۰/۴۵
کلسیم	معمولی	Gaussian	RMSE	۰/۸۶	معمولی	Stable	RMSE	۰/۷
			MSE	-۰/۰۱			MSE	-۰/۰۸
			RMSES	۱/۰۰۲			RMSES	۰/۹۶
			ASE	۰/۸۶			ASE	۰/۶۸
منیزیم	عام	Gaussian	RMSE	۰/۴۳	عام	Circular	RMSE	۰/۲۳
			MSE	-۰/۰۶			MSE	۰/۰۱
			RMSES	۰/۹۸			RMSES	۰/۸
			ASE	۰/۴۴			ASE	۰/۳
پتاسیم	معمولی	Stable	RMSE	۰/۰۰۷	معمولی	Stable	RMSE	۰/۰۰۵
			MSE	۰/۰۴			MSE	-۰/۰۲
			RMSES	۱/۰۴			RMSES	۰/۹۶
			ASE	۰/۰۰۶			ASE	۰/۰۰۵
سدیم	عام	Spherical	RMSE	۰/۰۳	معمولی	Gaussian	RMSE	۰/۰۷
			MSE	-۰/۰۳			MSE	۰/۱
			RMSES	۱/۰۱			RMSES	۱/۱
			ASE	۰/۰۳			ASE	۰/۰۶
کل مواد جامد محلول	عام	Stable	RMSE	۶۵/۷۸	عام	Stable	RMSE	۱۰۸/۱۶
			MSE	-۰/۰۵			MSE	-۰/۰۱
			RMSES	۱/۰۲			RMSES	۱/۰۴
			ASE	۶۴/۰۸			ASE	۸۸/۹۸



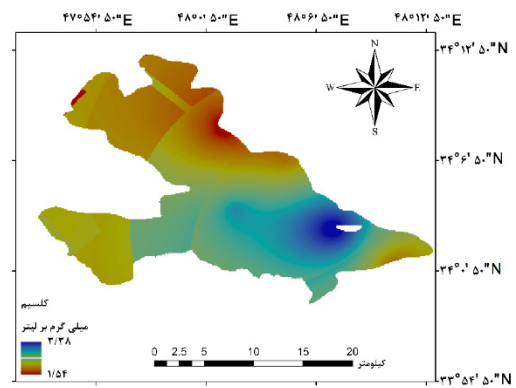
(ب)



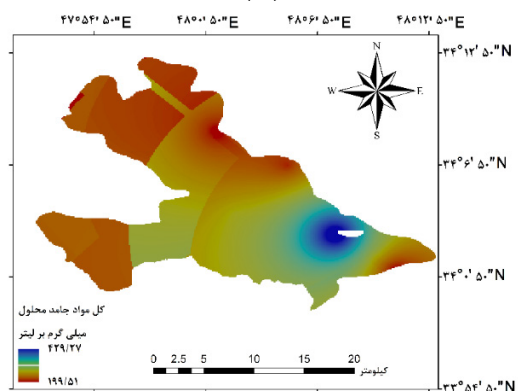
(الف)



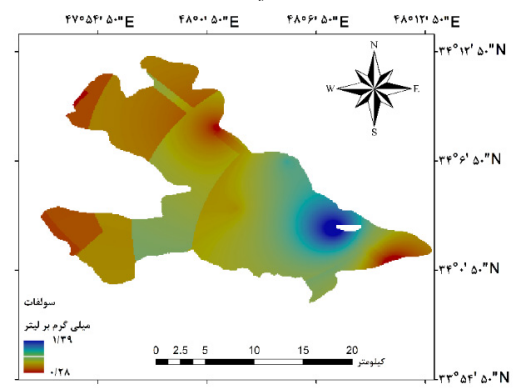
(ت)



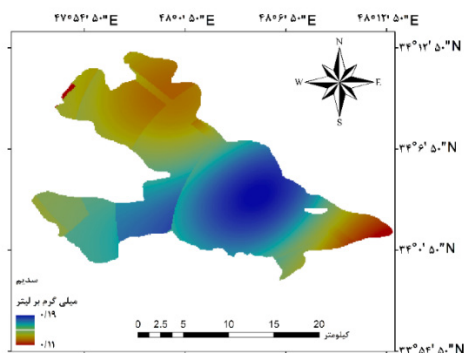
(پ)



(ج)



(ث)



(چ)

شکل ۲: پراکنش مکانی غلظت پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی سال ۱۳۹۶. الف) پتانسیم. ب) میزان دما. پ) کسبیم. ت) کلر. ث) سولفات. ج) کل مواد جامد محلول. چ) سدیم.

چندجمله‌ای زیر با محدوده تغییرات ۱ تا ۱۰ استفاده کرد. در این رابطه (۹)، c، مقدار شاخص آلاینده برای هر سلول و r مقدار رتبه مربوط به آن است [۲]:

$$r = 0.5C^2 + 4.5C + 5 \quad (9)$$

در نهایت طبق معادله ۳ شاخص کیفیت آب زیرزمینی با تقسیم حاصل ضرب رتبه هر پارامتر در وزن میانگین آن بر تعداد کل پارامترها برای سال‌های ۱۳۸۳، ۱۳۸۹، ۱۳۹۳ و ۱۳۹۶ به دست آمد (شکل ۳). در این شاخص عدد ۱۰۰ نشان‌دهنده کیفیت بالای آب زیرزمینی و هرچه به عدد ۱۰ نزدیک‌تر می‌شویم از کیفیت آب زیرزمینی کاسته می‌شود (جدول ۳)

جدول ۳: کیفیت آب بر اساس GQI [۲]

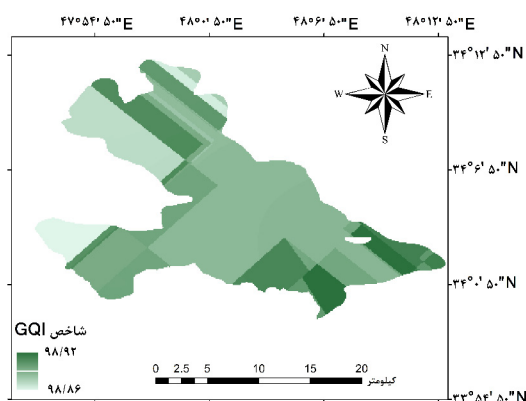
GQI	کیفیت آب
۹۱-۱۰۰	مناسب
۷۱-۹۰	قابل قبول
۵۱-۷۰	متوسط
۲۶-۵۰	ضعیف
۰-۲۵	پایین

شاخص آلودگی است که به عنوان نسبت بین غلظت اندازه‌گیری شده آلاینده و حداکثر سطح آلاینده قابل پذیرش محاسبه شده است [۵].
جدول ۲: حداکثر غلظت مجاز هر پارامتر طبق موسسه استاندارد

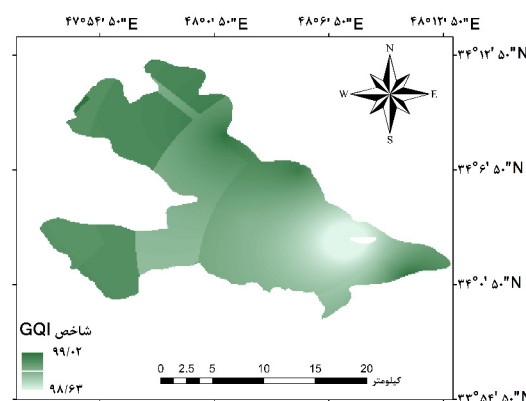
و تحقیقات صنعتی ایران (ISIRI)	
TDS	۱۰۰۰
Cl	۲۵۰
SO4	۲۵۰
Ca	۳۰۰
Mg	۳۰
Na	۲۰۰
K	۱۲

نقشه رتبه‌بندی

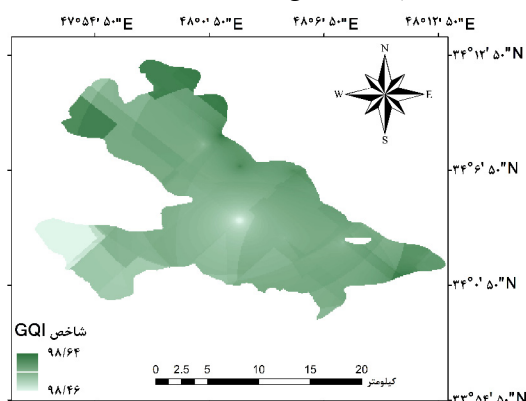
در این مرحله، شاخص آلودگی (نقشه اولیه II)، به یک نقشه رتبه‌بندی با محدوده بین ۱ تا ۱۰ تبدیل می‌شود. رتبه ۱ نشان‌دهنده کم‌ترین آلودگی آب زیرزمینی و رتبه ۱۰ بیشینه آن است. در نقشه جدید کمترین سطح آلودگی (۱-) برابر ۱، سطح حد واسطه (۰) برابر ۵، و بیش‌ترین سطح (۱) معادل ۱۰ است. بنابراین، می‌توان از تابع



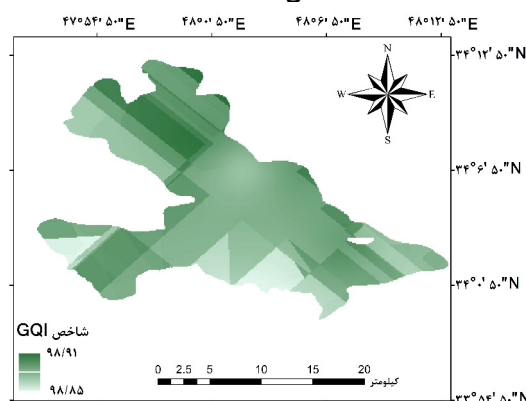
ب- شاخص GQI سال ۱۳۹۳



الف- شاخص GQI سال ۱۳۹۶



د- شاخص GQI ۱۳۸۳



ج- شاخص GQI سال ۱۳۸۹

شکل ۳: اشکال (الف تا د) نتایج حاصل از کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از شاخص GQI دشت نورآباد

مناطق روشن و کم‌رنگ سطح آب به سطح زمین نزدیک‌تر می‌شود. مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین وزنی شاخص GQI و سطح آب زیرزمینی تهیه‌شده از میان‌بایی‌های حاصل از مدل کریجینگ در جدول ۵ ارائه‌شده است.

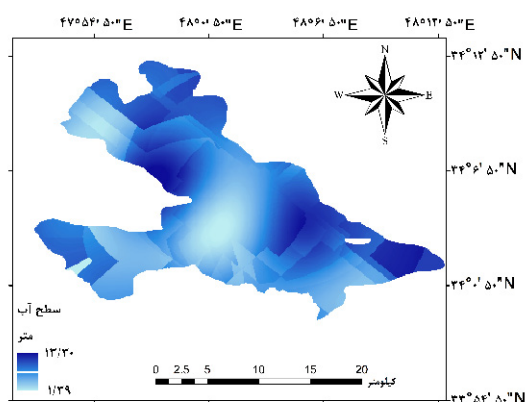
جدول ۵: مقادیر GQI و سطح آب زیرزمینی-دشت نورآباد

سال	مقادیر شاخص GQI			مقادیر سطح آب زیرزمینی		
	حداقل	حداکثر	میانگین وزنی	حداقل	حداکثر	میانگین وزنی
۱۳۸۳	۹۸/۴۶	۹۸/۶۴	۹۸/۵۷	۰/۶۸	۹/۳۱	۵/۱۵
۱۳۸۹	۹۸/۸۵	۹۸/۹۱	۹۸/۸۹	۰/۸۳	۷/۹۱	۵/۰۴
۱۳۹۳	۹۸/۸۶	۹۸/۹۲	۹۸/۹۰	۱/۳۹	۱۳/۳	۷/۶۸
۱۳۹۶	۹۸/۶۳	۹۹/۰۲	۹۸/۸۱	۰/۶۷	۹/۰۸	۴/۷۹

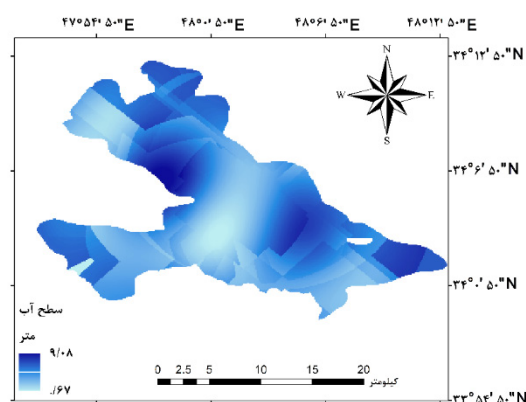
طبقه‌بندی کیفیت آب در این پژوهش با توجه به رنگ‌بندی ظاهری مشخص می‌شود. رنگ‌های سبز متمایل به تیره، حداکثر کیفیت آب، سایه‌های سبزرنگ، کیفیت متوسط و رنگ‌های روشن، حداقل کیفیت در دشت نورآباد را نشان می‌دهند. اعداد مربوط به شاخص GQI هرچه به ۱۰۰ نزدیک‌تر باشد کیفیت آب زیرزمینی بالاتر و هرچه به ۱ نزدیک‌تر شود دارای کیفیت ضعیف‌تری است. در ادامه از ده حلقه چاه پی‌زومتری جهت میان‌بایی سطح آب زیرزمینی دشت نورآباد استفاده شد. سطح آب هرکدام از چاه‌ها در اردیبهشت‌ماه برای سال‌های مختلف موردبررسی (۱۳۸۳، ۱۳۸۹، ۱۳۹۳ و ۱۳۹۶) تفکیک شد. سپس با استفاده از روش کریجینگ و معیارهای ارزیابی بهترین مدل‌ها انتخاب (جدول ۴) و میان‌بایی انجام شد (شکل ۴). همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود با پررنگ شدن نقشه‌های سطح آب زیرزمینی، سطح آب از سطح زمین دورتر می‌شود و در

جدول ۴: انتخاب بهترین مدل کریجینگ با استفاده از معیارهای ارزیابی

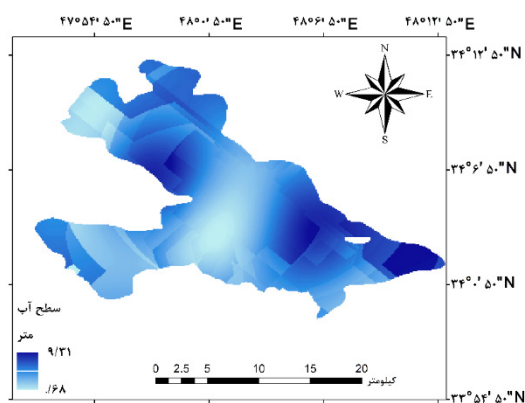
سال	مدل کریجینگ	بهترین نوع	RMSE	MSE	RMSES	ASE
۱۳۸۳	معمولی	J-Bessel	۴/۰۱	-۰/۰۳	۱/۰۵	۳/۷۴
۱۳۸۹	معمولی	J-Bessel	۴/۲۳	-۰/۰۴	۱/۰۶	۳/۸۹
۱۳۹۳	معمولی	J-Bessel	۵/۲۱	۰/۰۰۴	۱/۰۶	۴/۸۴
۱۳۹۶	معمولی	J-Bessel	۳/۴۴	-۰/۰۲	۱/۰۲	۳/۳۴



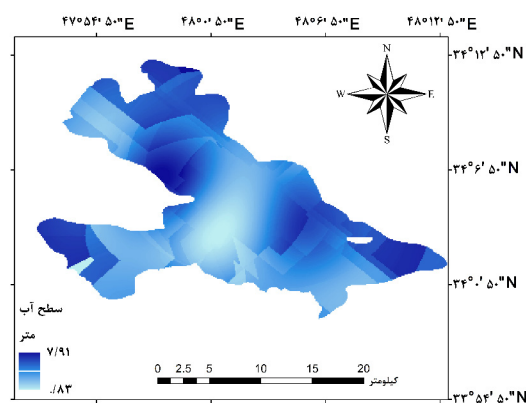
ب- سطح آب زیرزمینی ۱۳۹۳



الف- سطح آب زیرزمینی ۱۳۹۶



د- سطح آب زیرزمینی ۱۳۸۳



ج- سطح آب زیرزمینی ۱۳۸۹

شکل ۴: (الف تا د) پراکنش مکانی سطح آب زیرزمینی (نسبت به سطح زمین) سال‌های ۱۳۸۳، ۱۳۸۹، ۱۳۹۳ و ۱۳۹۶ دشت نورآباد

مشاهده شد که پارامترهای کیفیت آبخوان، ساختار مکانی داشته و با روش‌های زمین‌آمار قابل بررسی است.

نتیجه‌گیری

در نتایج این مطالعه مشاهده شد که میزان بارش اردیبهشت‌ماه دشت نورآباد از سال ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۶ روندی متغیر را طی کرده است و برخی سال‌ها پربارش و برخی کم‌بارش بودند و در سال‌های اخیر دچار افت میزان بارش شده است. با بررسی‌های صورت گرفته در سال‌های پربارش (۱۳۸۳ و ۱۳۸۹) مشاهده می‌شود سطح آب زیرزمینی به سطح زمین نزدیک‌تر شده است و در سال‌های کم بارش (۱۳۹۳ و ۱۳۹۶) سطح آب زیرزمینی از سطح زمین فاصله بیش‌تری دارد. با تحلیل نقشه‌های تهیه‌شده در دشت نورآباد مشاهده می‌شود کیفیت کلی آب زیرزمینی جهت شرب در این منطقه دارای کیفیت مناسب در سال‌های موردبررسی است. همچنین در نواحی شمالی و جنوب شرقی دشت، کیفیت نسبت به دیگر مناطق مناسب‌تر است. جهت بررسی دقیق‌تر علت و عوامل کاهش سطح آب و کیفیت آب زیرزمینی پیشنهاد می‌شود، کاربری اراضی و الگوی کشت دشت نورآباد مورد تحلیل قرار گیرد.

منابع

1. Abu-alnaeem M.F, Yusoff I, Ng T.F, Alias Y, Raksmei M. 2018. Assessment of groundwater salinity and quality in Gaza coastal aquifer, Gaza Strip, Palestine: An integrated statistical, geostatistical and hydrogeochemical approaches study. Science of the Total Environment, 615: 972-989.
2. Babiker, S., Mohamed, M A., Hiyama, T. 2007. Assessing groundwater Quality using GIS, water Resour Manage, 21: 699-715.
3. Barkhori, S., Mahdavi, R., Zehtabian, Gh., Gholami, H. 2018. Investigation of temporal and spatial variations of groundwater quality indices in Jiroft plain. Quarterly journal of the Iranian Range and Desert Research. 25 (2): 355-365.
4. Cordoba E., Martinez A., Ferrer E. 2010. Water quality indicators: comparison of a probabilistic index and a general quality index, The case of the confederacion hidrografica del jucar (spain)", Ecological Indicators 10: 1049-1054.
5. Dashti Barmaki, M., Rezaei, M., Saberi Nasr, A. 2014. Evaluation of Groundwater Quality Index (GQI) in Lenjanat Aquifer using Geographic Information System. Engineering Geology, 8 (2): 2121-2138 (In Persian).
6. De Beurs, K. 1998. Evaluation of spatial interpolation techniques for climate variables: Case study of Jalisco, Mexico. MSc thesis. Department of Statistics and Department

در تحلیل جدول ۵ و مقایسه اشکال ۳ و ۴ نتایج زیر به دست آمد؛ در بررسی نقشه کمیت و کیفیت آب زیرزمینی سال ۱۳۸۳ حداقل سطح آب زیرزمینی در مرکز حوزه مطالعاتی و حداکثر آن در جنوب شرقی حوزه مشاهده می‌شود. همچنین بررسی نقشه حاصل از شاخص GQI نشان می‌دهد که کم‌ترین کیفیت آب زیرزمینی در مرکز، و بیش‌ترین کیفیت آب زیرزمینی در جنوب شرق و شمال حوزه موردبررسی قرار دارد. در بررسی نقشه کمیت و کیفیت آب زیرزمینی سال ۱۳۸۹ حداقل سطح آب زیرزمینی در مرکز حوزه و حداکثر سطح آب در ناحیه شمالی و محدوده غربی حوزه مشاهده می‌شود. همچنین نقشه حاصل از شاخص GQI بیش‌ترین کیفیت را در ناحیه شمالی و غربی حوزه و کمترین کیفیت را در ناحیه جنوب و مرکز حوزه نشان می‌دهد. در بررسی نقشه کمیت و کیفیت آب زیرزمینی سال ۱۳۹۳ کم‌ترین سطح آب در ناحیه مرکزی و شمال غربی، و بیش‌ترین سطح آب در غرب و جنوب غربی حوزه مشاهده می‌شود. همچنین نقشه حاصل از شاخص GQI بیش‌ترین کیفیت را در جنوب و جنوب غرب، و کم‌ترین کیفیت را در غرب و شمال غربی حوزه مورد مطالعه نشان می‌دهند. نقشه کمیت آب زیرزمینی سال ۱۳۹۶ نیز همانند نقشه کمیت سال ۱۳۹۳ در ناحیه مرکزی و شمال غربی کمترین سطح آب، و در غرب و جنوب غربی بیش‌ترین سطح آب مشاهده می‌شود. اما بررسی حاصل از شاخص GQI کیفیت آب زیرزمینی نشان داد در جنوب شرقی حوزه کمترین کیفیت و شمال غربی بیش‌ترین کیفیت آب زیرزمینی مشاهده می‌شود. در تحلیل‌های صورت گرفته بر روی نقشه‌های کمیت و کیفیت آب زیرزمینی مشاهده می‌شود که ارتباط متوسطی بین کاهش سطح آب و کاهش کیفیت آب زیرزمینی وجود دارد. دلیل این امر می‌تواند عدم وجود اطلاعات کافی (تعداد چاه‌ها) در منطقه مورد مطالعه باشد. همچنین بررسی اجمالی جدول ۵ نیز نشان داد که با افزایش فاصله سطح آب زیرزمینی از سطح زمین کیفیت آب زیرزمینی به نحوی افزایش یافته است. دلیل این امر می‌تواند دور شدن سطح آب زیرزمینی از آلودگی‌های سطح زمین باشد. محققانی همچون جودوی و زارع [۱۵]، دشتی برمکی و همکاران [۵]، الفادل و همکاران [۸] و ماچیوال [۱۹] نیز همچون مطالعه حاضر از شاخص GQI استفاده کردند و بیان داشتند که این روش با روش‌های دیگر ارزیابی کیفیت آب همخوانی دارد و می‌توان از آن به عنوان یک شاخص مورد اطمینان برای بررسی تغییرات مکانی و زمانی کیفیت آب زیرزمینی استفاده کرد که در این پژوهش نیز این شاخص کارایی خود را در بررسی کیفیت آب زیرزمینی نشان داد. اما در همین راستا، ماچیوال و همکاران [۲۲] شاخص پایداری کیفیت آب زیرزمینی GQSI را شاخصی مناسب‌تر نسبت به GQI جهت برآورد احتمالاتی کیفیت آب زیرزمینی پیشنهاد دادند. محققانی همچون پوار و همکاران [۲۳] و ابوالنعم و همکاران [۱] نیز همچون مطالعه حاضر با استفاده از روش‌های زمین‌آمار، تغییرات مکانی و زمانی کیفیت آب زیرزمینی را ارزیابی کردند. در پژوهش حاضر نیز

Policy, 6: 5-2 (In Persian).

18. Liou, S. M., Lo, S. L., Hu, C. Y. 2003. Application of twostagefuzzy set theory to river quality evaluation in Taiwan. *Water Res*, 37: 1406-1416.

19. Machiwal, D., Jha M.K. 2015. Identifying sources of groundwater contamination in a hard-rock aquifer system using multivariate statistical analyses and GIS-based geostatistical modeling techniques. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 4: 80-110.

20. Machiwal, D., Islam, A., Kamble, T. 2019. Trends and probabilistic stability index for evaluating groundwater quality: The case of quaternary alluvial and quartzite aquifer system of India. *Journal of Environmental Management*. 237 (2019): 457–475.

21. Nouraii Nejad, S. Sedghi Asl, M., Parvizi, M. 2014. Application of Land Use in the Analysis of the Level of Stand in the Dams Range (Case Study: Shah Qasem Dam). *Geology, Engineering*, 9 (4), Winter 2014 (In Persian).

22. Office of Study Studies .2011. Regional Water Company of Lorestan Province (In Persian).

23. Pawar, S., Panaskard, B., Wagh, V.M. 2014. Characterization of groundwater using water quality index of solapur industrial (case study: Maharashtra, India). *International journal of Research in Engineering & Technology*, 2 (4): 31-36.

24. Pourhighi, A., Radmanesh, F., Maleki, AS. Simulation of Lorestan-Delfan plain aquifer and study of management scenarios using MODFLOW model. *Water and Soil Journal*. 29 (4): 886-897.

25. Shabani, A., Matin Far, H R., Arkhie, S., Rahimi Harabadi, S. 2011. Modeling of rainfall erosion factor by using land statistics (Case study: Ilam dam dam). *Journal of Applied Measurement and GIS in Natural Resources Science*, 2 (2): 55-68 (In Persian).

26. Simoes, F., Moreira, A. B., Bisinoti, M. C., Gimenez, S. & Santos, M. 2008. Water quality index as a simple indicator of aquaculture effects on aquatic bodies. *Ecological Indicators*, 38: 476-480.

of Soil Science and Geology, Wageningen Agricultural University, The Netherlands.

7. Dinapajoo, y., Fakhiri Fard, A. Hassanpour Eghdam, M A., Beheshti, V. 2015. Analysis of Changes in Groundwater Quality in Shabestar-Sufian Plain, *Journal of Irrigation Science and Engineering*, 38 (1): 69-55 (In Persian).

8. El-Fadel, M., Tomaszewicz, M., Adra, Y., Sadek, S. and Abou Najm, M. 2014. GIS-Based Assessment for the Development of a Groundwater Quality Index towards Sustainable Aquifer Management, *Water Resources Management*. 28(11):71–87.

9. Fathi Zad, H., Karimi, H., Tazeh, M. 2014 Investigation of different geomorphology algorithms for the seasonal precipitation of Ilam province. *Journal of Applied Geosciences Research*, Fourteenth, 35: 145-139 (In Persian).

10. Goovaerts, P. 1997. *Geostatistics for natural resources evaluation*. Oxford University Press, New York.

11. Hasani Pak. 2013. *Earth Stat*. Tehran University Press, Third Edition, 328 pp (In Persian).

12. Isaaks, E.H., and R.M. Srivastava. 1989 .An introduction to applied geostatistics .Oxford University Press. New York.

13. Jahanshahi, A., Rohi Moghadam, E., Dehvari, A. 2014. Evaluation of Groundwater Quality Parameters Using GIS and Earthmoving (Case Study: Aquifer in Shahrabak plain). *Knowledge of Abkhak*, 24 (2): 1383-1397 (In Persian).

14. Johnston, K. J. 2000. *Using ArcGIS geostatistics analyst*. New York: ESRI. KOULI, equation (RUSLE) in a catchment of Sicily (southern Italy). *Environ Geol*. 50, 1129-1140.

15. Judo, M., Zare, A. 2009. Introduction of GQI Indicator for Assessing Groundwater Quality for Drinking Water Purposes, Twenty-Seventh Earth Science Forum and 13th Iranian Geological Society Conference, Geological Survey, Tehran (In Persian).

16. Kambhammettu, B.V., Allena, P., King. J.P. 2011. Application and evaluation of universal kriging for optimal contouring of groundwater levels. *J. Earth Syst. Sci.*, 120: 413-422.

17. Kimeijani, A. 1996. A Brief Look at the Formation of the World Trade Organization and an Analysis of the Legal and Economic Aspects of Iran's Accession to the World Trade Organization, *Economics, Research and Economic*



Abstract

**Investigating of Spacing Spatial and Temporal Distribution of Quality and Quantities
Groundwater at Noorabad Plain**H. Yonesi^{1*}, A. Arshia² and H. Mirzapour³

Received: 2019/02/09 Accepted: 2019/05/26

Results of urban growthing and increasing pollutants water leads to decreasing of quality and quantity of water resources. Quality and Quantities groundwater at Noorabad Plain are conducted in this study. For this purpose, traced the hitographs of rainfall from April 1997 to 2017. According to the drawn hitograph, the years 2004, 2010 and years 2014, 2017 were selected as rainy years and low rainfall years respectively. Spatial distribution's map for concentration of groundwater quality parameters and groundwater level by Kriging method were created. In addition, the best of selection of model according to the assessment criteria (RMSES, RMSE, ASE and MSE) were created for these years. By dividing the product by the rank of each parameter in its average weight on the total number of parameters, the GQI index was prepared to study the groundwater quality in the years studied. The results show that: the water quality of this area is in a good grade during the studied years. In all of the examined years, the northern and southeast areas of the noorabad plain have better quality than other areas. By investigating of quantitative and qualitative maps, it was noted that, by increasing the distance of groundwater level from the ground, water quality becomes more appropriate.

Keywords: GIS, GQI, Interpolation, Kraiging, lorestan

1- Assistant Professor of Water Engineering, Lorestan University, Corresponding author, Email: yonesi.h@lu.ac.ir

2- Graduated Master of Watershed Management, Faculty of Agriculture, Lorestan University

3- Ph.D. student of Watershed Management, Faculty of Agriculture, Lorestan University