Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

Journal of Watershed Management Research, Vol. 14, No.28, Winter 2023 p: 55-67

"Research Paper"

A survey on spatial and temporal variations of groundwater quality and quantity index using Geographic Information System and Geostatistics (Case study: Bam- Narmashir plain)

Sedigheh Mohamadi[1] and Reza Hassanzadeh[2]

1- Associate Professor, Department of Ecology, Institute of Science and High Technology and Environmental Sciences, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran,
(Corresponding author: s.mohamadi@kgut.ac.ir)

2- Assistant Professor, Department of Ecology, Institute of Science and High Technology and Environmental Sciences, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran

Received: 7 September, 2022 Accepted: 18 December, 2022

Extended Abstract

Introduction and Objective: This research set out to determine the qualitative and quantitative characteristics of groundwater resources in Bam-Narmashir plain by using Geographic Information System and Geostatistics.

Material and Methods: In this regard, the geostatistical method of Kriging and Geographic Information System was used to investigate the spatial distribution of qualitative characteristics (e.g., chlorine content, electrical conductivity, dissolved solute concentration, magnesium, potassium, acidity, sulfate, and bicarbonate) and the groundwater quality index (GQI) as well as the depth of ground water in the ten-year statistical period of 2011-2021.

Results: The results of the preparation of spatial distribution maps of water quality variables in the statistical period revealed an increase of the value of these parameters (except for the pH variable) from the south to the north of the plain. So that from the middle of the plain to the north, this increasing trend becomes more intense. The results of preparing the difference map of GQI index during the 10-year period under investigation indicated that the quality of ground water improved in a small area of the plain and in other areas of the plain, especially in the northern parts, the difference of this index at the beginning and end this period increased by more than 400 units. This issue shows the severe drop in water quality during this period in most parts of the plain. The results of the groundwater depth change map disclosed that, except for a very small part in the middle parts of the plain, in other parts of the plain were observed a drop in the level of underground water reported to be 52 meter in the most western part of the plain and on average about 9.8 meter in other parts of the plain.

Conclusion: The results of this research showed that the quality of ground water was good for drinking purposes in a very small part of the south of the plain as an except, having an unsuitable for drinking purposes category in other parts of the plain. Overharvesting and lowering of the aquifer's water level has caused the rise of salt water and the interference of the salt and fresh water table in all areas of the plain especially its central areas, which the continuation of this process can increase the salinity of the aquifer to such an extent causing deterioration of all activities in agriculture and animal husbandry in the region. Furthermore, in the results of quantitative study of ground water indicated a strong and increasing trend in the amount of exploitation leading a decrease in the level of groundwater.

Keywords: Bam-Narmashir plain, Drinking consumption, Geostatistics, Ground water quality index, Water level drop.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.28.4.3]

[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.55]

"مقاله پژوهشی"

بررسی تغییرات مکانی و زمانی شاخص کیفیت و کمیت آب زیرزمینی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و زمین آمار (مطالعه موردی: دشت بم-نرماشیر)

صدیقه محمدی[۱] و رضا حسن‌زاده[۲]

۱- دانشیار گروه اکولوژی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران، (نویسنده مسوول: mohamadisedigeh@gmail.com)

۲- استادیار گروه اکولوژی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۵/۱۵

صفحه: ۵۵ تا ۶۷

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: این تحقیق با هدف بررسی خصوصیات کیفی و کمی منابع آب زیرزمینی دشت بم- نرماشیر با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و زمین آمار انجام شد.

مواد و روش‌ها: در این راستا از روش زمین آماری کریجینگ و سیستم اطلاعات جغرافیایی جهت بررسی توزیع مکانی خصوصیات کیفی (شامل میزان کلر، هدایت الکتریکی، غلظت املاح محلول، منیزیم، پتاسیم، اسیدیته، سولفات و بیکربنات) و شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GQI) و نیز عمق آب زیرزمینی در دوره آماری ده ساله ۱۴۰۰-۱۳۹۰ استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج حاصل از تهیه نقشه‌های توزیع مکانی متغیرهای کیفیت آب در دوره آماری مورد بررسی حاکی از افزایش مقدار این پارامترها (به‌جز متغیر pH) از جنوب به شمال دشت است. به‌طوری که از نیمه دشت به‌سمت شمال این روند افزایشی شدت بیشتری به‌خود می‌گیرد. نتایج حاصل از تهیه نقشه تفاضل شاخص GQI در طول دوره ۱۰ ساله مورد بررسی حاکی از آن است که در سطح کوچکی از دشت وضعیت کیفیت آب زیرزمینی بهبود یافته است و در سایر مناطق دشت بویژه در قسمت‌های شمالی آن میزان اختلاف این شاخص در ابتدا و انتهای دوره آماری بیش از ۴۰۰ واحد افزایش یافته است. این موضوع نشان دهنده افت شدید کیفیت آب در این دوره در عمده بخش‌های دشت است. نتایج حاصل از نقشه هم تغییر عمق آب زیرزمینی حاکی از آن است که به‌جز بخش بسیار کوچکی در قسمت‌های میانی دشت در سایر نقاط دشت شاهد افت بالای سطح آب زیرزمینی می‌باشیم که میزان این افت در غربی‌ترین نقطه دشت حتی به میزان حدود ۵۲ متر رسیده است و در سایر نقاط دشت به‌طور متوسط به افت ۹/۸ متری می‌رسد.

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از تحقیق حاضر نشان می‌دهد که در بخش بسیار کوچکی از جنوب دشت کیفیت آب زیرزمینی جهت مصارف شرب خوب می‌باشد و به جز این بخش در سایر نقاط دشت کیفیت آب زیرزمینی جهت مصارف شرب نامناسب می‌باشد. اضافه برداشت و افت سطح ایستابی آبخوان موجب بالاآمدگی آب شور و تداخل سفره آب شور و شیرین در تمام نواحی دشت بویژه نواحی مرکزی آن شده که ادامه این روند می‌تواند در آینده‌ای نه چندان دور شوری آبخوان را به‌حدی بالا ببرد که تمام فعالیت‌های کشاورزی و دامپروی منطقه را نیز نابود کند. همچنین در بخش مطالعه کمی آب زیرزمینی، نتایج حاکی از روند شدید و فزاینده میزان بهره‌برداری و در نتیجه کاهش سطح آب زیرزمینی است.

واژه‌های کلیدی: افت سطح آب، دشت بم- نرماشیر، زمین آمار، شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GQI)، مصرف شرب

مقدمه

آب زیرزمینی یک منبع طبیعی حیاتی برای تأمین آب آشامیدنی قابل اعتماد و اقتصادی در هر دو محیط شهری و روستایی است بنابراین نقش اساسی (اما اغلب کمتر مورد توجه قرار گرفته) در رفاه انسان ایفا می‌کند. در سرتاسر جهان، سفره‌های آب زیرزمینی تهدید فزاینده‌ای از آلودگی را به‌علت توسعه شهرنشینی، فعالیت‌های صنعتی، کشاورزی و معدنی تجربه می‌کنند (Foster et al., 2003). مدیریت نادرست منابع آب زیرزمینی موجب افت کیفی و کمی این منابع می‌شود (Gharbia et al., 2016). بنابراین اقدامات عملی برای حفاظت از کیفیت طبیعی منابع آب زیرزمینی مورد نیاز است. به‌طوری که برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب ابزارهای تصمیم‌گیری را برای موارد ذیل فراهم می‌سازد: (الف) تخصیص آب کافی به مصرف‌کنندگان در زمان و مکان مناسب (ب) حفاظت از آب بیش از حد به‌عنوان مثال سیلاب و (ج) حفظ کیفیت آب قابل قبول (Loucks, 1981). ارزیابی کیفی و کمی منابع آب زیرزمینی در مناطق وسیع اولین گام در جهت برنامه‌ریزی منابع آب است (Todd & Mays, 2004).

برای دستیابی به حفاظت منابع آب زیرزمینی یک روش موثر و کارآمد جهت پایش و ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی در مقیاس وسیع‌تر باید باشد تا بتواند به‌عنوان ابزاری ضروری برای ارتقای مدیریت و رشد منابع حیاتی آب زیرزمینی باشد. یکی از این روش‌ها، شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GQI) است. این شاخص یک شاخص ریاضی است و شامل ارزیابی سیستماتیک آب‌های زیرزمینی می‌باشد (Lumb et al., 2011). این شاخص عناصر موجود در آب را در سطوح مختلف کیفی مورد بررسی قرار می‌دهد و در نهایت روشی را برای مختصر سازی وضعیت کلی کیفیت آب ارائه می‌دهد. در واقع شاخص GQI متغیرهای مختلف کیفیت آب زیرزمینی را باهم ادغام می‌کند تا مقدار شاخص نهایی را جهت مقایسه محل‌های مختلف ارائه دهد (Khan et al., 2011). اولین بار بابیکر و همکاران، شاخص کیفیت آب زیرزمینی GQI را با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی GIS معرفی و در یکی از آبخوان‌های کشور ژاپن به‌کار گرفتند. آنها از نتایج آنالیز کیفی مؤلفه‌های کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، کل جامدات محلول، کلر و سولفات در ۵۰ حلقه چاه استفاده و نقشه‌های غلظت مؤلفه‌ها، نرمال و رتبه را تهیه و سپس نقشه شاخص کیفیت آب زیرزمینی آماده کردند. در این راستا، استاندارد شرب سازمان بهداشت جهانی (WHO) مورد استفاده قرار گرفت (Babiker et al., 2007). با توجه به اینکه بسیاری از روش‌های کلاسیک

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.28.4.3]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.55]

درون‌یابی قادر به ارائه شاخص و معیاری که تعیین کننده صحت و قابلیت اعتماد نتایج حاصل است نمی‌باشند لذا جهت فائق آمدن به این نارسایی‌ها می‌توان از روش‌های زمین آماری بهره جست. در روش زمین آمار تخمین بر اساس ساختار فضایی موجود در محیط مورد نظر صورت می‌گیرد. به‌طور کلی تخمین زمین آماری فرآیندی است که طی آن می‌توان مقدار مجهول یک کمیت در نقاط با مختصات معلوم را با استفاده از مقدار معلوم همان کمیت در نقاط دیگری با مختصات معلوم به‌دست آورد (Hassani Pak, 2005; Issak, 1989). لذا با توجه به اینکه پارامتر کمی سطح آب زیرزمینی و نیز کیفیت آب زیرزمینی از نوع ناحیه‌ای می‌باشد، کاربرد روش‌های زمین آماری با توجه به اینکه ساختار فضایی داده‌ها را ارائه می‌دهد جهت تعیین تغیرات مکانی بر سایر روش‌ها ارجحیت دارد. بنابراین با استفاده از این روش می‌توان روند تغییرات کمی و کیفی سطح آب زیرزمینی در یک دشت را مورد بررسی قرارداد. تا کنون پژوهش‌های متعددی در زمینه کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی و زمین آمار در بررسی کیفی و کمی منابع آب زیرزمینی در جهان و ایران انجام شده است. مهرجردی و همکاران به بررسی توزیع مکانی متغیرهای کیفیت آب زیرزمینی شامل TDS، EC، SAR، TH، So4، Cl- دشت یزد–اردکان با استفاده از روش‌های درون‌یابی زمین آماری و کلاسیک پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که روش کریجینگ و کوکریجینگ کارآیی بهتری نسبت به روش IDW دارد (Mehrjardi et al., 2008). عباسیان و همکاران به بررسی و تعیین کیفیت آب‌های زیرزمینی در یک دوره یک ساله سال با استفاده از چهار متغیر کیفی آب (EC، SAR، Na، Cl) برای مناسب بودن آن برای آبیاری از طریق GIS در روستاهای شهر چابهار، استان سیستان و بلوچستان در ایران پرداختند. نتایج حاکی از آن است که ۴۰ ٪ نمونه‌های طبقه‌بندی‌شده بر اساس شاخص WQI به‌عنوان آب عالی و ۶۰ ٪ نمونه‌ها در رده آب خوب قرار گرفتند (Abbasnia et al., 2018). عباسی و همکاران (۱۳۹۷)، به ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت عجب‌شیر واقع در حاشیه دریاچه ارومیه پرداختند. هدف از این مطالعه، پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی دشت با استفاده از شاخص کیفیت آب زیرزمینی و سامانه اطلاعات جغرافیایی بود. نتایج نشان داد که مقدار شاخص کیفیت بین ۶۱ تا ۸۱ در رده‌های متوسط تا قابل‌قبول است. به‌طورکلی، شاخص کیفیت آب در شمال شرقی به جنوب غربی دشت و سایر مناطق آن به‌ترتیب در رده قابل‌قبول و رده متوسط قرار می‌گیرند (Abbasi et al., 2019). رودگر ایرائی و همکاران (۱۳۹۸) با مقایسه روش‌های قطعی و زمین آمار در بررسی تغییرات مکانی نیترات دشت قائم شهر– جویبار به این نتیجه رسیدند که روش زمین آماری کوکریجینگ کارآیی بهتری دارد (Roodgar Iraee et al., 2019). شهزاد و همکاران اقدام به آنالیز مکانی–زمانی تغییرات مکانی متغیرهای کیفیت آب زیرزمینی و نیز سطح آب زیرزمینی استان پنجاب پاکستان با استفاده از GIS و زمین آمار و تکنیک هم‌پوشانی نقشه‌ها کردند. تجزیه و تحلیل توزیع فضایی EC، SAR و RSC آب زیرزمینی نشان داد که کیفیت آب زیرزمینی برای آبیاری در قسمت جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه نامناسب بود. همچنین سطح آب زیرزمینی (GWL) نیز در آن بخش از منطقه مورد مطالعه در طول پیش از فصل موسمی بالاتر بود (Shahzad et al., 2020). اسدی نیلوان و همکاران (۱۳۹۸) به تعیین مناطق با پتانسیل آب‌های زیرزمینی با استفاده از GIS و AHP پرداختند (asadi Nalivan et al., 2020). راوی و همکاران به بررسی کیفیت آب زیرزمینی جهت مصارف کشاورزی پرداختند (Ravi et al., 2020). مقدسی و همکاران (۱۴۰۰) به مقایسه عملکرد روش‌های هوش مصنوعی و زمین آمار در بررسی کیفیت آب زیرزمینی پرداختند. نتایج این تحقیق حاکی از عملکرد بهتر مدل شبکه عصبی تطبیقی– فازی نسبت به روش‌های زمین آماری است (moghaddasi et al., 2021). رام و همکاران به ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی با شاخص WQI و GIS پرداختند. نتایج این تحقیق نشان دهنده بالا بودن غلظت یون‌های سدیم، کلرید و بی‌کربنات بود (Ram et al., 2021). فرید و همکاران، به ارزیابی خطر کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از آنالیز زمین آماری و هیدروشیمیایی متغیرهای کیفیت آب پرداختند. نتایج نشان داد که طبق روش طبقه‌بندی ویلکاکس، ۴۰٪ منطقه مورد بررسی دارای کیفیت خوب تا عالی می‌باشد. همچنین نتایج تجزیه و تحلیل فضایی نشان داد که بخش بالایی (شمال شرقی و شمال غربی) ناحیه مولتان از کیفیت آب زیرزمینی مناسبی برای آبیاری برخوردار است (Farid et al., 2022). نژادی و همکاران (۱۴۰۱) به بررسی کیفیت آب زیرزمینی متاثر از آب‌بندان‌های پرورش ماهی پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که این آب‌بندان‌ها تأثیری بر کیفیت آب آبخوان ندارند (Nezhadi et al., 2022). سینگ و همکاران به بررسی کیفیت آب جهت مصارف شرب با استفاده از تحلیل آماری چندمتغیره و GIS در یک دشت آبرفتی در شمال هند پرداختند. نتایج این تحقیق حاکی از تأثیر فعالیت‌های زمین‌زایی، انسانی و صنعتی در آلودگی آب‌های زیرزمینی است (Singh et al., 2023). الحاربی اقدام به تهیه نقشه‌های آب زیرزمینی، سیلاب و خشکسالی با استفاده از GIS و سنجش از دور کردند (Alharbi, 2023). نتایج بررسی تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد عمده این تحقیقات به بررسی تغییرات مکانی متغیرهای کیفیت آب زیرزمینی و در مواردی به مطالعه همزمان سطح آب زیرزمینی پرداخته‌اند و کمتر به بررسی شاخص کیفیت آب زیرزمینی همزمان سطح آب زیرزمینی پرداخته شده است. واقع شدن دشت بم نرماشیر در حاشیه یکی از وسیع‌ترین کویرهای جهان از یک طرف و بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آبی آن و همچنین تأثیر عوامل طبیعی نظیر زلزله سال ۱۳۸۲ بم و عوامل غیرطبیعی مانند پروژه عظیم بخش سیلاب آب باریک بم، احداث سد نساء، اجرای عملیات متعدد آبخیزداری در حوزه‌های آبخیز بالادست از یک طرف و بحث تغییر اقلیم و عوارض ناشی از آن از طرف دیگر، اثرات متفاوتی را بر روند تغییرات کمی سطح آب زیرزمینی این دشت گذاشته و خواهد گذاشت. در این دشت مسائل ناشی از آب تنها به‌علت کمبود منابع آب نیست بلکه بیشتر به توزیع زمانی و مکانی ناموزون آن مربوط می‌گردد و این مشکلات با تخریب کیفیت آب زیرزمینی روزبه‌روز تشدید می‌شوند (Company, 2008). لذا در این تحقیق برآنیم به

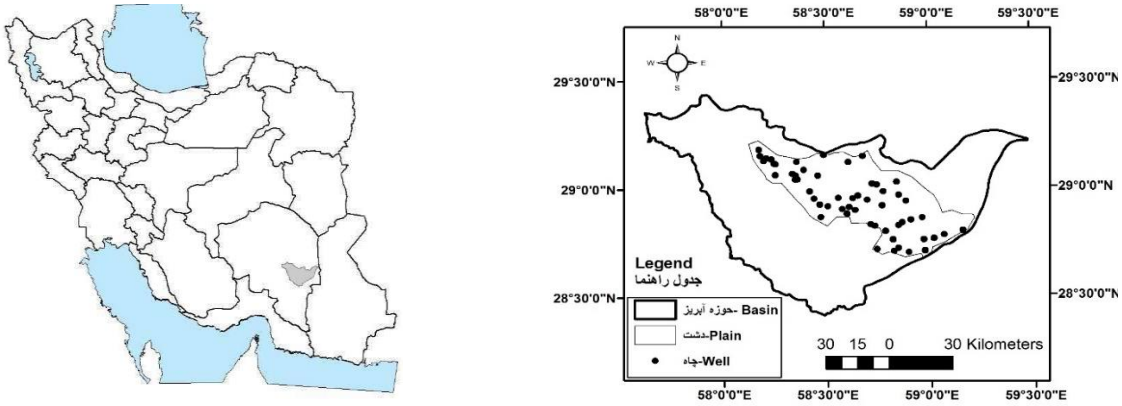
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.28.4.3]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.55]

بررسی تغییرات مکانی و زمانی شاخص کیفیت آب زیرزمینی و نیز عمق آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های زمین آماری و سیستم اطلاعات جغرافیایی در طی دوره زمانی ده ساله اخیر (۱۳۹۰-۱۴۰۰) بپردازیم.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دشت بم- نرماشیر به فاصله حدود ۲۰۷ کیلومتری جنوب شرقی مرکز استان کرمان و در حاشیه کویر لوت قرار دارد. این دشت در بین طول‌های ۵۷ درجه و ۱۵ دقیقه و تا ۵۹ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی و عرض‌های ۲۸درجه و ۳۰ دقیقه تا ۲۹ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی واقع شده است. این منطقه از شمال به کویر لوت و از مشرق به کویر سیستان و از مغرب به سلسله جبال بارز محدود می‌باشد. ارتفاع متوسط دشت ۹۶۰ متر و وسعت آن ۹۶۹۶ کیلومتر مربع است. آب و هوای خشک و کویری به‌همراه تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های سرد و خشک بر این دشت حاکم است به‌طوریکه میزان بارندگی سالانه در آن بسیار کم و کمتر از ۶۰ میلیمتر می‌باشد. این دشت یکی از دشت‌های مهم کشور به‌خصوص استان کرمان می‌باشد و از نظر تأمین منابع آبی مورد نیاز بخش کشاورزی، صنعت و شرب نقش بسیار مهمی را در منطقـه ایفا می‌کند (Salajeghe, 2010).



شکل ۱- موقعیت حوزه آبریز دشت بم- نرماشیر در ایران و موقعیت چاه‌های انتخابی در دشت
Figure 1. The location of Bam-Narmashir basin in Iran and the location of selected wells in the plain

روش تحقیق

پس از انجام عملیات میدانی در تابستان سال ۱۴۰۰، نمونه‌های آب برداشت شده در محل چاه‌های انتخابی تعداد ۴۴ نمونه، به آزمایشگاه منتقل و از نظر متغیرهای کیفی مورد آنالیز قرار گرفت. این متغیرها شامل کاتیون‌ها (Na^+، Ca^{2+}، Mg^{2+})، آنیون‌ها (Cl^-، SO_4^{2-}، HCO_3^-) و متغیرهای pH، TDS، EC بود . در ادامه پس از عملیات آزمایشگاهی و تجزیه نمونه‌های آب از نظر میزان متغیرهای کیفی، اقدام به آنالیز زمین آماری و تعیین پارامترهای واریوگرام و سپس تهیه نقشه توزیع مکانی این متغیرها، به‌کمک ژئواستاتیستیک در محیط نرم‌افزار Arc GIS شد. همچنین جهت تکمیل بانک داده‌ای موردنیاز با توجه به هدف تحقیق (بررسی تغییرات در بازه زمانی ده ساله اخیر ۱۴۰۰-۱۳۹۰) داده‌های کیفیت و کمیت آب زیرزمینی مربوط به تابستان سال ۱۳۹۰ از شرکت مطالعات آب منطقه‌ای استان کرمان تهیه شد.

آنالیز زمین آماری و تجزیه و تحلیل داده‌ها به‌طور کلی یک آنالیز زمین آماری می‌تواند به دو مرحله تقسیم گردد: الف) آنالیز ساختاری یا واریوگرافی: آنالیز ساختاری شامل انتخاب یک مدل تغییرات مکانی نظیر یک نیم تغییر نما بوده و به‌همین دلیل گاهی واریوگرافی نامیده می‌شود. با فرض تعداد n(h) زوج نمونه که به فاصله افقی h از یکدیگر واقع‌اند، مقدار نیم تغییرنما به شرح رابطه ۱ محاسبه می‌شود:

$$\gamma(h)=\frac{1}{2n(h)}\sum_{i=1}^{n}\left[z(x+h)-z(x)\right]^2 \qquad (۱)$$

که در آن n(h): تعداد جفت نمونه‌های به‌کار رفته به ازاء یک فاصله مشخص مانند h

Z(x): متغیر مشاهده شده در نقطه x

Z(x+h): مقدار متغیر در دو نقطه به مختصات(x+h) است که به فاصله h از هم قرار دارند.

بنابراین تعداد جفت‌ها تابع h است که معمولاً با افزایش h تعداد جفت‌ها کم می‌شود. در این مرحله واریوگرام مناسب به ساختار فضایی داده‌ها انتخاب شد که این امر در محیط نرم‌افزاری GS+ انجام شد.

ب) اینترپلاسیون و تخمین زمین آماری: رابطه کلی تخمین‌گر کریجینگ به‌صورت رابطه ۲ است:

$$Z^*(xi)=\sum_{i=1}^{n}\lambda i Z(xi) \qquad (۲)$$

که در آن:Z(xi)، مقدار مشاهده شده Z در نقطه xi، λi، وزن یا اهمیت نسبت داده شده به مقدارZ در نقطه xi و Z*(x)، مقدار تخمین زده شده Z در نقطه x می‌باشد (Delgado et al., 2010).

در ادامه تحقیق، شاخص کیفیت آب زیرزمینی GQI هریک از چاه‌های مورد بررسی به‌دست آمد. این شاخص کیفیت آب، پارامترهای مختلف کیفی آب را برای ارائه مقدار شاخص

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.28.4.3]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.55]

نهایی با هم ترکیب می‌کند که می‌تواند برای مقایسه‌های مکانی استفاده شود. این شاخص در سال ۱۹۹۲ توسط بابیکر و همکاران برای بررسی کیفیت آبخوان Nasuno در کشور ژاپن به‌کار گرفته شد (Delgado et al., 2010). محاسبه این شاخص بر اساس استاندارد کیفیت آب شرب WHO شامل سه مرحله می‌باشد: گام اول وزن دهی می‌باشد که برای هر پارامتر با توجه به اهمیت نسبی آن در کیفیت آب زیرزمینی یک وزن خاص از ۱ تا ۵ اختصاص داده می‌شود.

گام دوم محاسبه وزن نسبی است که با استفاده از رابطه ۳ به‌دست می‌آید.

$$W_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i} \qquad (۳)$$

که در آن wi وزن هر پارامتر و n تعداد پارامترها است. گام سوم محاسبه مقیاس نرخ کیفیت qi است. این مقیاس با تقسیم غلظت هر پارامتر در هر نمونه آب بر مقدار استاندارد آن پارامتر از رابطه ۴ به‌دست می‌آید:

$$q_{i=\frac{c_i}{s}\times 100} \qquad (۴)$$

که در آن: Ci غلظت و Si مقدار استاندارد هر پارامتر شیمیایی در نمونه آب بر حسب (mg/L) است. در نهایت شاخص GQI از رابطه ۵ به‌دست می‌آید:

$$GQI = \frac{\sum_{i=1}^{n} q_i W_i}{\sum_{i=1}^{n} W_i} \qquad (۵)$$

وزن هر یک از متغیرها در محاسبه شاخص GQI بر اساس استاندارد WHO از جدول ۱ بدست می‌آید (Potop & Možný, 2011).

جدول ۱- مقادیر ضرایب وزنی پارامتر های شیمیایی آب آشامیدنی بر اساس استاندارد WHO (WHO, 2011)

Table 1. Values of weighting coefficients associated with groundwater chemical parameters according to the WHO

متغیر Variable	استاندارد WHO WHO standards (s)	وزن Weight (wi)	وزن نسبی Relative Weight (Wi)
سولفات So^{-2}_4 (Sulfate)	200(mg/l)	4	0.122
کلراید Cl^- (Chloride)	250(mg/l)	3	0.083
بی کربنات HCO_3^- (Bicarbonate)	150(mg/l)	3	0.083
اسیدیته pH (Alkalinity)	6.5-9.2	4	0.112
میزان جامدات محلول TDS (Total Dissolved Solids)	500(mg/l)	5	0.139
هدایت الکتریکی EC (Electrical Conductivity)	500(µmho/cm)	5	0.139
پتاسیم K^+ (Potassium)	10(mg/l)	2	0.055
سدیم Na^+ (Sodium)	200(mg/l)	2	0.055
منیزیم Mg^{2+} (Magnesium)	30(mg/l)	2	0.055
کلسیم Ca^{2+} (Calcium)	75(mg/l)	2	0.055
سختی TH (Total Hardness)	100(mg/l)	4	0.112
وزن کل Total weight		36	1

پس از محاسبه شاخص GQI، در هر یک از چاه‌های مورد بررسی اقدام به تهیه نقشه توزیع مکانی این شاخص در محیط نرم افزاری ArcGIS10.4 شد. در نهایت طبقه‌بندی این شاخص بر اساس جدول ۲ انجام شد:

جدول ۲- طبقه‌بندی شاخص GQI با هدف کیفیت آب شرب

Table 2. Groundwater quality classifications for drinking purpose

نوع کیفیت آب Type of water	دامنه GQI GQI range
عالی(Excellent)	<50
خوب (Good)	50-100
فقیر (Good)	100-200
خیلی فقیر (Very poor)	200-300
نامناسب برای شرب (Water unsuitable for drinking purpose)	>300

لازم به ذکر است کلیه مراحل آنالیز زمین آماری جهت بررسی کمی عمق آب زیرزمینی در محل چاه‌های پیزومتری دشت نیز انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از بررسی خصوصیات آماری داده‌های کیفیت و کمیت عمق آب زیرزمینی در بازه زمانی مورد بررسی در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل آماری داده‌های کیفی مورد بررسی حاکی از آن است که در مورد متغیرهای سولفات، پتاسیم، منیزیم و کلسیم و pH میانگین این داده‌ها بدون درنظر گرفتن سطح موثر هر چاه، در ابتدا و انتهای دوره آماری در محدوده قابل قبول کمتر از میزان حداکثر مجاز استاندارد WHO (به‌ترتیب ۲۰۰، ۱۰، ۳۰ و ۷۵ میلی گرم بر لیتر برای یون‌های مورد ذکر و محدوده ۶/۵-۹/۲ برای pH)، بیکربنات، میزان جامدات محلول، سدیم و سختی در محدوده بیش از حداکثر میزان مجاز (۱۵۰، ۵۰۰، ۲۰۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و برای یون کلراید در ابتدای دوره آماری کمتر از حداکثر مجاز و در انتهای دوره بیش از میزان حداکثر مجاز (۲۵۰ mg/l) می‌باشد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.28.4.3]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.55]

جدول ۳- جدول خصوصیات آماری متغیرهای مورد بررسی

Table 3. Statistical descriptions of groundwater quality parameters

انحراف معیار Std.Dev		میانگین Mean		حداکثر Max		حداقل Min		متغیر Variable
1400	1390	1400	1390	1400	1390	1400	1390	
162.74	136.2	180.71	163.96	902.96	667.62	14.41	14.40	So^{-2}_4
484.24	328.06	291.17	209.25	2836	2034.83	10.63	10.63	Cl^-
115.58	118.26	206.18	230.5	817.67	866.48	61.02	103.73	HCO_3^-
0.30	0.39	8.11	7.94	8.7	8.8	7.3	6.9	pH
991.67	768.84	953.78	815.99	5473	4232	165	205	TDS
1525.66	1182.86	1467.16	1255.24	8420	6510	254	315	EC
0.50	0.38	0.79	0.71	3.128	2.74	0.391	0.391	K^+
293.59	212.37	237.99	203.68	1609.3	1298.93	27.59	39.08	Na^+
24.92	22.54	21.76	20.09	170.1	165.24	2.43	2.43	Mg^{2+}
54.72	42.40	64.34	51.98	280.56	260.52	12.02	10.02	Ca^{2+}
225.87	187.16	249.61	212.37	1200	1140	50	50	TH
436.81	339.46	424.52	365.67	2415.22	1837.64	80.93	93.06	GQI
28.16	23.17	46.49	34.04	128.09	109.35	9.45	5.45	عمق آب Water depth

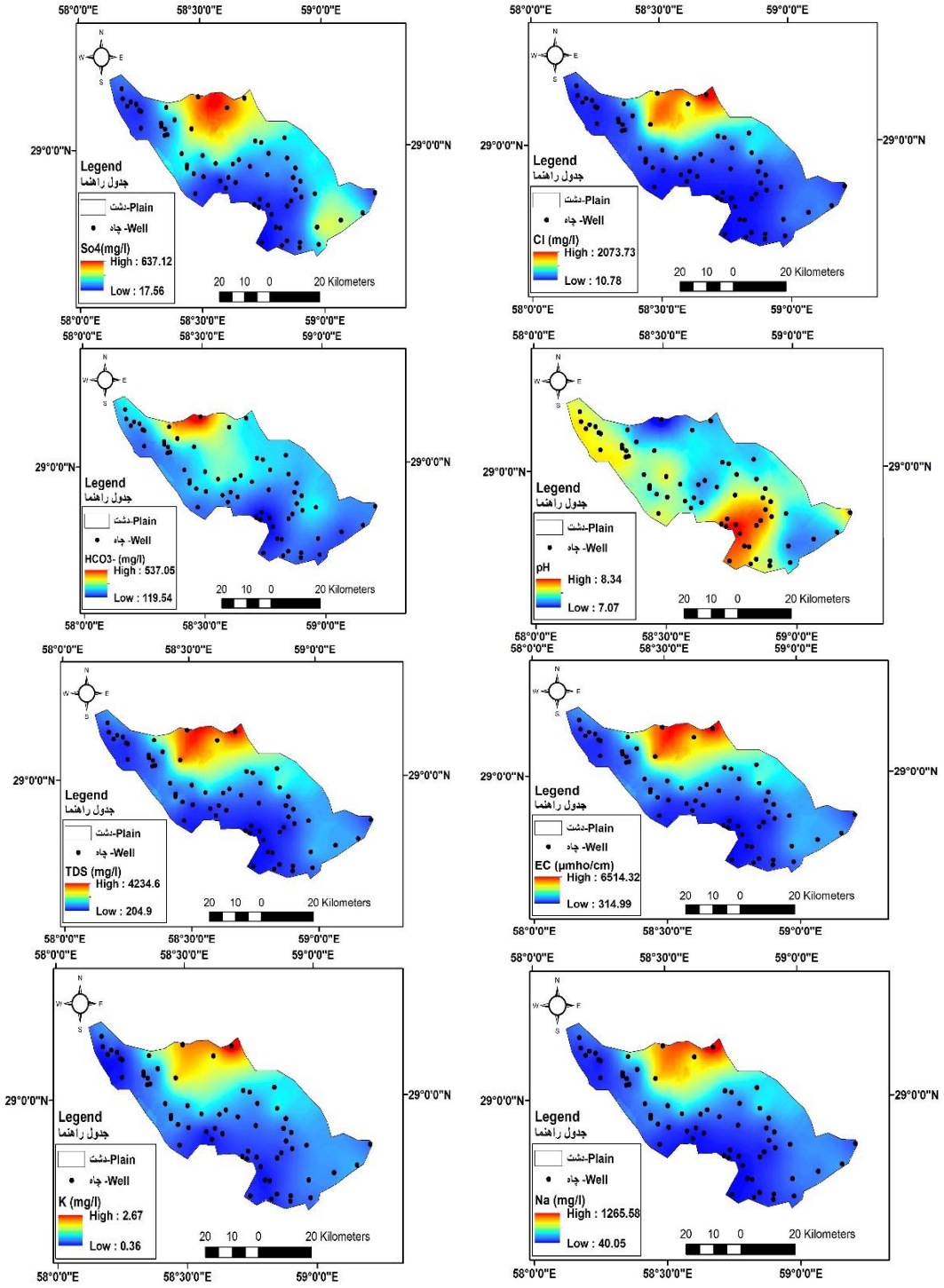
نتایج حاصل از تحلیل زمین آماری متغیرهای مورد بررسی در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج حاصل از جدول ۴ حاکی از آن است که مناسب‌ترین مدل برازش شده به ساختار فضایی عمده داده‌های کیفیت آب زیرزمینی مدل کروی و برای داده‌های کمی عمق آب زیرزمینی مدل گوسین می‌باشد. نتایج برازش مدل واریوگرام مناسب به داده‌های کیفیت آب زیرزمینی و انتخاب مدل واریوگرام بهینه کروی برای آنها با نتایج تحقیقات یکتاپرست و امیری، دلبری و همکاران، آدیکاری و همکاران و دلگادو و همکاران مطابقت دارد (Yektaparast & Amiri 2016؛ Delbari et al., 2016؛ Adhikary et al., 2010؛ Delgado et al., 2010). همچنین نتایج حاصل از آنالیز واریوگرامی داده‌های کمی چاه‌های پیزومتری در انتخاب مدل واریوگرام بهینه گوسی با نتایج تحقیقات صفری در دشت چمچمال، محمدی و همکاران در دشت کرمان، پیری و بامری در دشت سیرجان، نخعی سرودانی و همکاران در منطقه معدنی گهرزمین، تئودوریدو و همکاران در شرق مقدونیه همخوانی دارد (Safari, 2002؛ Mohammadi et al., 2012؛ Piri & Bameri, 2014؛ Nakhaie Sarvedani et al., 2022؛ Theodoridou et al., 2017). همچنین نتایج نشان دهنده همبستگی مکانی قوی در متغیرهای مورد بررسی با توجه به بالا بودن نسبت بخش ساختاری واریانس به کل واریانس داده‌ها (C/C0+C) است. به‌طوری‌که اگر این نسبت کمتر از ۰/۲۵ باشد وابستگی مکانی ضعیف و اگر بین ۰/۲۵ تا ۰/۷۵ باشد وابستگی مکانی متوسط و بالاتر از ۰/۷۵، وابستگی مکانی قوی است (Cambardella et al., 1994). دامنه تأثیر چاه‌های کیفی آب در مورد متغیرهای کیفیت آب از ۲۰ کیلومتر تا ۳۱/۲ کیلوتر و در مورد عمق آب زیرزمینی چاه‌های پیزومتری از ۶۷/۵ کیلومتر در ابتدای دوره مورد بررسی به ۱۱۱/۷ کیلوتر در انتهای دوره می‌رسد. در ادامه نتایج حاصل از تهیه نقشه‌های تحلیل فضایی متغیرهای کیفی و کمی مورد بررسی در شکل ۲ ارائه شده است.

جدول ۴- نتایج تحلیل زمین آماری پارامترهای مورد بررسی

Table 4. The results of geostatistical analysis of studied parameters

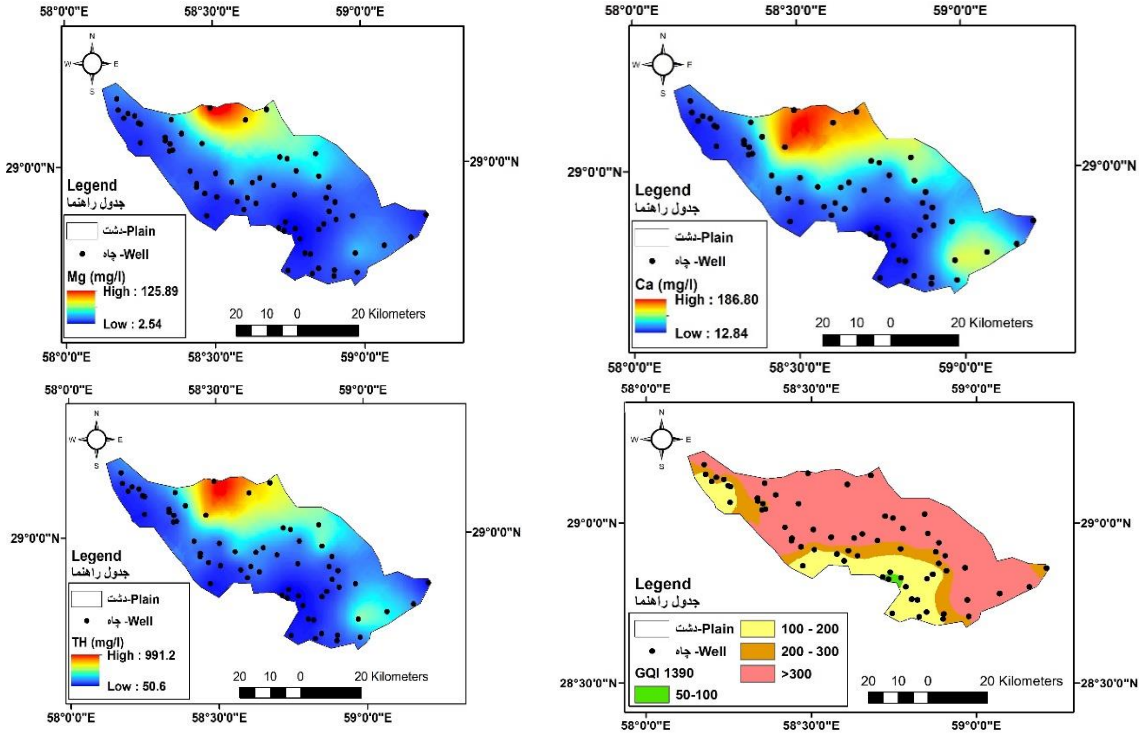
ضریب همبستگی R^2		پایداری ساختار فضایی (%) C/C0+C		دامنه تأثیر Range (متر)		آستانه Sill (C0+C) (مترمربع)		اثر قطعه ای Nugget (C0) (مترمربع)		مدل Model		متغیر Variable
1400	1390	1400	1390	1400	1390	1400	1390	1400	1390	1400	1390	
0.41	0.59	0.69	0.94	27500	25000	0.62	0.61	0.19	0.037	کروی (circular)	کروی (circular)	So^{-2}_4
0.53	0.53	0.99	0.99	26700	26700	1.55	1.28	0.001	0.001	کروی(circular)	کروی(circular)	Cl^-
0.86	0.84	0.85	0.77	31200	20800	0.27	0.15	0.04	0.035	نمایی (Exponential)	کروی(Crcular)	HCO_3^-
0.38	0.56	0.92	0.91	26500	20000	$9.5*10^{-4}$	0.001	$8.7*10^{-5}$	0.001	کروی(Circular)	کروی(Circular)	pH
0.52	0.54	0.99	0.99	27000	26500	0.63	0.52	0.001	0.001	کروی(Circular)	کروی(Circular)	TDS
0.52	0.55	0.99	0.99	29000	30600	0.19	0.19	0.001	0.001	کروی(Circular)	کروی(Circular)	K^+
0.51	0.53	0.97	0.99	27700	27400	0.79	0.63	0.03	0.001	کروی(Circular)	کروی(Circular)	Na^+
0.56	0.66	0.92	0.99	26100	26400	0.59	0.53	0.051	0.001	کروی(Circular)	کروی(Circular)	Mg^{2+}
0.42	0.65	0.93	0.99	25800	21600	0.43	0.43	0.032	0.001	کروی(Circular)	کروی(Circular)	Ca^{2+}
0.45	0.63	0.93	0.99	26000	23000	0.49	0.48	0.036	0.001	کروی(Circular)	کروی(Circular)	TH
0.52	0.54	0.99	0.99	27000	26500	0.63	0.52	0.001	0.001	کروی(Circular)	کروی(Circular)	EC
0.52	0.54	0.99	0.99	27200	26800	0.6	0.51	0.001	0.001	حلزونی (Spherical)	حلزونی (Spherical)	GQI
0.94	0.82	0.94	0.95	111700	76500	2.39	2.24	0.14	0.119	گوسین (Gaussian)	گوسین (Gaussian)	Depth

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.28.4.3]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.55]



شکل ۲- نقشه توزیع مکانی متغیرهای کیفیت آب زیرزمینی و نیز شاخص کیفی GQI دشت بم- نرماشیر در سال ۱۳۹۰
Figure 2. Spatial distribution map of groundwater quality variables and GQI of Bam-Narmashir plain in 2011

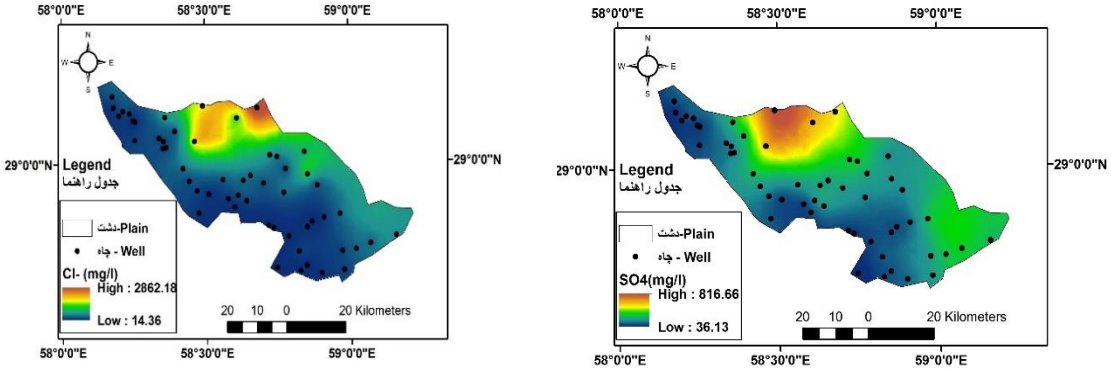
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.28.4.3]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.55]



ادامه شکل ۲- نقشه توزیع مکانی متغیرهای کیفیت آب زیرزمینی و نیز شاخص کیفی GQI دشت بم- نرماشیر در سال ۱۳۹۰

Continued Figure 2. Spatial distribution map of groundwater quality variables and GQI of Bam-Narmashir plain in 2011

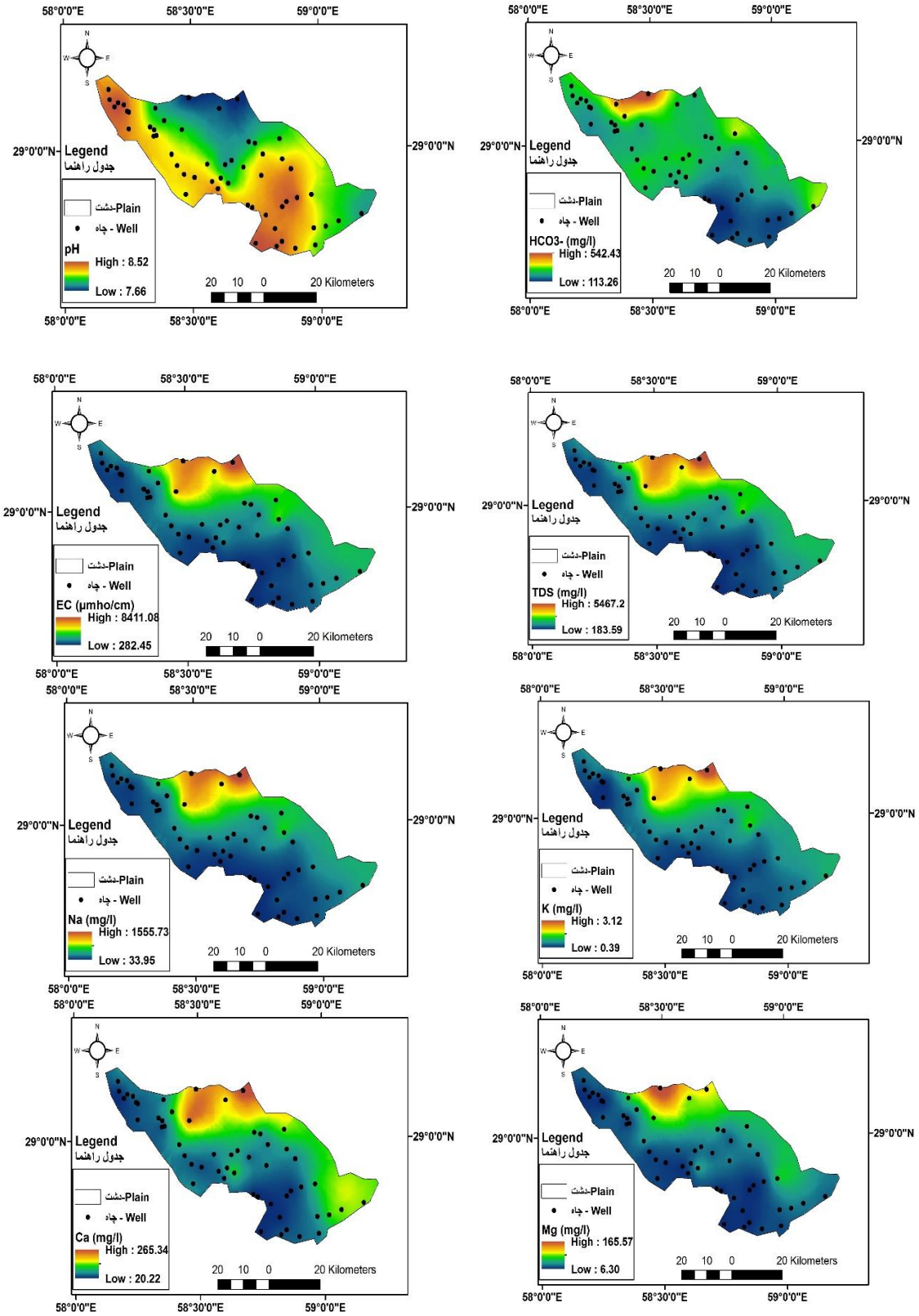
نتایج حاصل از نقشه‌های توزیع مکانی متغیرهای کیفیت آب در ابتدای دوره آماری مورد بررسی (۱۳۹۰) حاکی از افزایش مقدار این پارامترها (به‌جز متغیر pH) از جنوب به شمال است. به‌طوری‌که از نیمه دشت به‌سمت شمال این روند افزایشی شدت بیشتری به‌خود می‌گیرد. در مورد متغیر اسیدیته آب مقدار این متغیر در قسمت‌های جنوبی دشت بالا بوده و قلیایی‌تر است و به‌سمت خروجی شمالی و شرقی دشت این میزان به‌سمت خنثی شدن میل می‌کند. همچنین نتایج حاصل از تهیه نقشه شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GQI) نشان می‌دهد که در عمده سطح دشت کیفیت آب زیرزمینی برای آشامیدن نامناسب است و فقط در بخش کوچک از دشت واقع در جنوب دشت کیفیت آب زیرزمینی خوب می‌باشد. نتایج حاصل از تهیه نقشه‌های تحلیل فضایی متغیرهای کیفی و کمی مورد بررسی در انتهای دوره آماری مورد بررسی (۱۴۰۰) در شکل ۳ ارائه شده است.



شکل۳- نقشه توزیع مکانی متغیرهای کیفیت آب زیرزمینی و نیز شاخص کیفی GQI دشت بم- نرماشیر در سال ۱۴۰۰

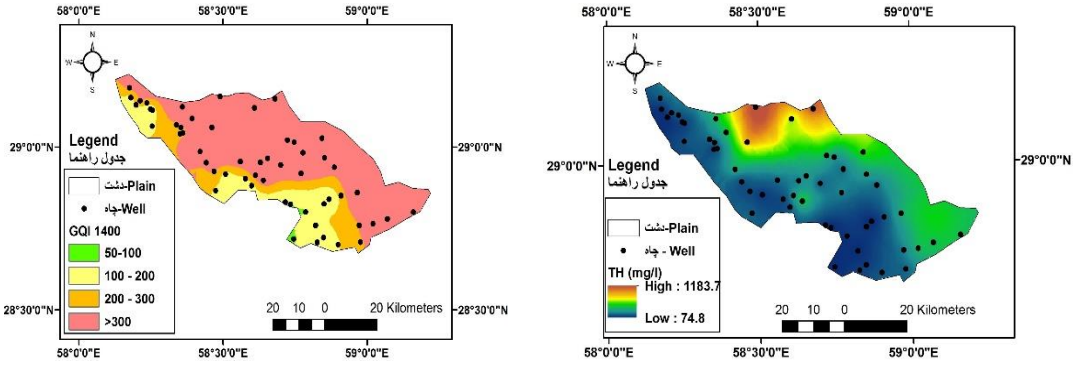
Figure 3. Spatial distribution map of groundwater quality variables and GQI of Bam-Narmashir plain in 2021

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.28.4.3]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.55]



ادامه شکل۳- نقشه توزیع مکانی متغیرهای کیفیت آب زیرزمینی و نیز شاخص کیفی GQI دشت بم- نرماشیر در سال ۱۴۰۰
Continued Figure 3. Spatial distribution map of groundwater quality variables and GQI of Bam-Narmashir plain in 2021

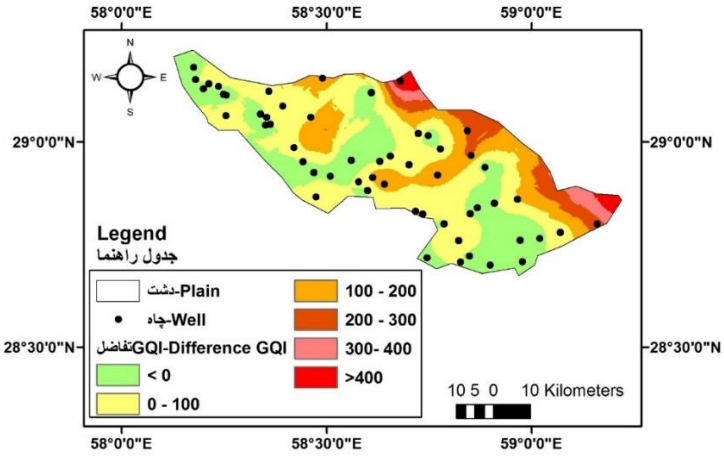
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.28.4.3]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.55]



ادامه شکل۳- نقشه توزیع مکانی متغیرهای کیفیت آب زیرزمینی و نیز شاخص کیفی GQI دشت بم- نرماشیر در سال ۱۴۰۰
Continued Figure 3. Spatial distribution map of groundwater quality variables and GQI of Bam-Narmashir plain in 2021

نتایج حاصل از نقشه‌های پهنه‌بندی مکانی خصوصیات کیفی آب زیرزمینی دشت حاکی از آن است که اکثر خصوصیات کیفی در امتداد شمال- جنوب تغییرپذیری بالایی را به‌خود اختصاص می‌دهند. در این راستا تمامی خصوصیات کیفی مورد بررسی شامل میزان کلر، هدایت الکتریکی، غلظت املاح محلول، منیزیم، سولفات و بیکربنات (به‌جز اسیدیته) از جهت جغرافیایی جنوب به‌سمت شمال دشت روند افزایشی دارد و از نیمه دشت در این جهت رو به شمال این روند افزایشی شدت بیشتری به‌خود اختصاص می‌دهد. علت این امر احتمالاً مربوط به تغییرات سازندهای زمین‌شناسی منطقه و تأثیر آنها در کیفیت آب، تشدید بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی و افت کمی آب زیرزمینی و نیز خروج آب زیرزمینی در شمال دشت و در نتیجه افزایش غلظت املاح است.

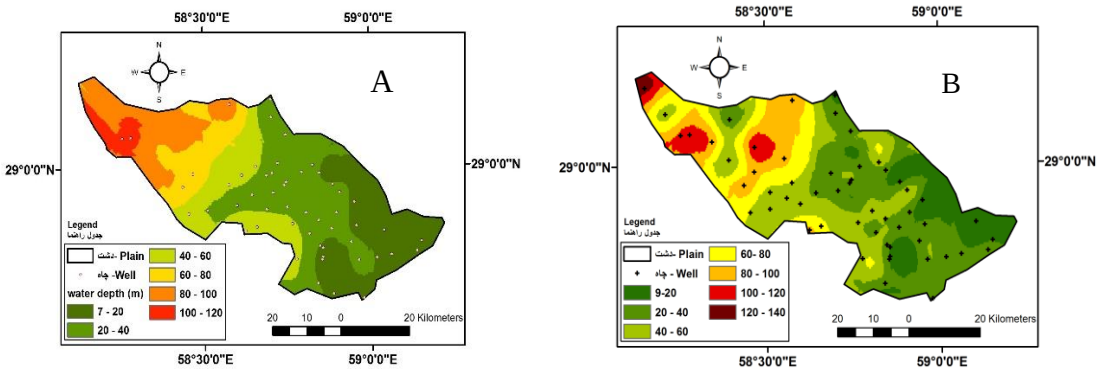
بررسی‌ها در خصوص شاخص کیفی آب زیرزمینی دشت بم- نرماشیر با شاخص GQI در شکل ۳ حاکی از آن است که در قسمت‌های جنوبی دشت وضعیت منابع آب زیرزمینی جهت مصارف شرب دارای کیفیت خوب، قسمت‌های میانی دشت کیفیت ضعیف است و به‌سمت قسمت‌های شمالی دشت از کیفیت منابع آب زیرزمینی به‌شدت کاسته شده و میزان شاخص GQI به بیش از ۳۰۰ (حدود ۷۰۷) می‌رسد که بر اساس طبقه‌بندی استاندارد سازمان بهداشت جهانی، غیرمناسب جهت مصارف شرب است. علت افزایش میزان شاخص GQI در بخش شمالی دشت، همان بالا بودن میزان متغیرهای کیفی آب در این بخش به دلایل ذکر شده و در نتیجه تبعیت این شاخص از عملکرد متغیرهای کیفی آب است. نتایج حاصل از تغییرات شاخص کیفی GQI در دوره آماری ده مورد بررسی در شکل ۴ ارائه شده است.



شکل ۴- نقشه هم تغییر شاخص کیفی آب زیرزمینی GQI دشت بم-نرماشیر در طی دوره آماری ده ساله مورد بررسی
Figure 4. The iso change map of GQI index in Bam-Narmashir plain during the ten-year

نتایج حاصل از تهیه نقشه تفاضل شاخص GQI در طول دوره ۱۰ ساله مورد بررسی (شکل ۴) حاکی از آن است که در سطح کوچکی از دشت با میزان تفاضل کمتر از صفر که در نقشه به رنگ سبز نشان داده شده است وضعیت کیفیت آب زیرزمینی بهبود یافته است و در سایر مناطق دشت به‌ویژه در قسمت‌های شمالی آن میزان تفاضل این شاخص در ابتدا و انتهای دوره آماری ۱۰ ساله مورد بررسی بیش از ۴۰۰ واحد افزایش یافته است. این موضوع نشان دهنده افت شدید کیفیت آب در این دوره در عمده بخش‌های دشت می‌باشد. نتایج حاصل از تهیه نقشه توزیع مکانی متغیر کمی عمق آب زیرزمینی در ابتدا و انتهای دوره آماری مورد بررسی در شکل ۵ ارائه شده است.

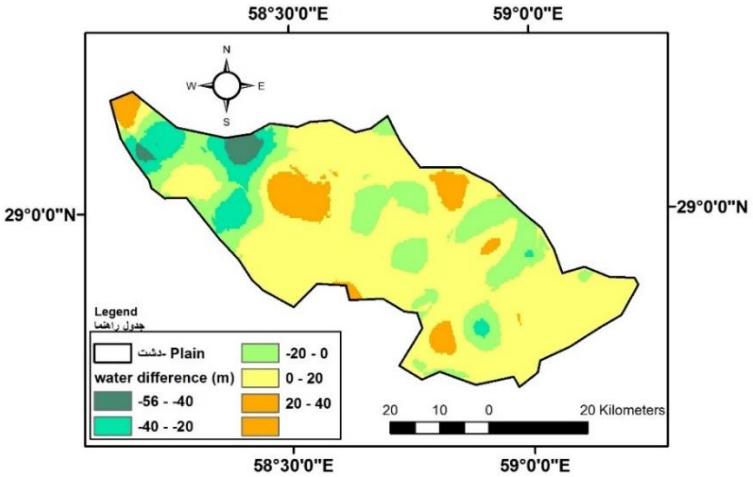
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.28.4.3]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.55]



شکل ۵- نقشه توزیع مکانی عمق آب زیرزمینی دشت بم- نرماشیر در سال‌های ۱۳۹۰ (A) و ۱۴۰۰(B)

Figure 5. Spatially distribution map of groundwater depth in Bam-Narmashir in years 2011 (A) and 2021 (B)

نتایج حاصل از بررسی نقشه‌های هم تغییر آب زیرزمینی در ابتدای دوره آماری مورد بررسی (۱۳۹۰)، شکل A، حاکی از تغییرات عمق آب در امتداد شرقی- غربی است. به‌طوریکه در قسمت‌های شرقی دشت عمق آب زیرزمینی پایین بوده و به‌سمت غرب دشت افزایش عمق آب زیرزمینی و کاهش سطح آب زیرزمینی را شاهد می‌باشیم. همچنین نتایج حاصل از بررسی نقشه هم عمق آب زیرزمینی در انتهای دوره آماری مورد بررسی (۱۴۰۰)، شکل B، حاکی از همان روند تغییرات افزایشی در امتداد شرقی- غربی است و نیز نتایج بیان‌کننده روند افزایشی عمق آب در دوره زمانی مورد بررسی است. نتایج حاصل از تهیه نقشه هم تغییر عمق آب زیرزمینی در دوره آماری مورد بررسی در شکل ۶ ارائه شده است.



شکل ۶- نقشه هم تغییر عمق آب زیرزمینی دشت بم-نرماشیر در دوره آماری مورد بررسی

Figure 6. The iso change map of groundwater depth in Bam-Narmashir plain during the ten-year

نتایج حاصل از نقشه هم تغییر آب زیرزمینی دشت بم-نرماشیر در طی دوره آماری ۱۰ ساله (شکل ۶) حاکی از آن است که بجز لکه‌های پراکنده در قسمت‌های میانی دشت و نیز بخش شمال غربی دشت (که در نقشه به رنگ سبز ارائه شده است) در سایر نقاط دشت شاهد افت بالای سطح آب زیرزمینی می‌باشیم که میزان این افت در غربی ترین نقطه دشت حتی به میزان ۵۲ متر می‌رسد. با توجه به اینکه این چاه که در معرض افت شدید عمق آب زیرزمینی است چاهی است که در ده سال گذشته یعنی در ابتدای دوره آماری مورد بررسی دایر نبوده و با توجه به اینکه بخش غربی دشت ورودی آب زیرزمینی دشت است و در معرض تغذیه مصنوعی سفره آب زیرزمینی از طریق پروژه‌های پخش سیلاب است لذا علت‌یابی این افت در این بخش از دشت از افق‌های تحقیقاتی پژوهش حاضر است. افت متوسط سطح آب زیرزمینی دشت در دوره زمانی ده ساله مورد بررسی به حدود ۹/۸ متر می‌رسد که تقریباً معادل ۹۸ سانتیمتر در هر سال است. نتایج این تحقیق در مورد افت سالانه حدود ۹۸ سانتیمتری در سطح دشت در بازه زمانی مورد بررسی با نتایج تحقیقات سلاجقه و همکاران (Salajeghe, 2010) در دشت بم-نرماشیر همخوانی دارد. البته نتایج تحقیقات ایشان افت میزان ۴۷ سانتی متر سالانه را در بازه زمانی ده ساله ۱۳۸۷-۱۳۷۸ نشان می‌دهد. این نتیجه حاکی از روند شدید و فزاینده میزان بهره‌برداری و در نتیجه کاهش سطح آب زیرزمینی است. نتایج حاصل از این تحقیق در مورد تأثیر بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و خشکسالی‌ها بر افت سطح آب در اکوسیستم‌های آسیب‌پذیر مناطق خشک و نیمه‌خشک با نتایج تحقیقات پیری و همکاران در دشتستان بوشهر و پوتپ و مزنی مطابقت دارد (piri et al., 2022؛ Potop & Možný, 2011).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.28.4.3]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.55]

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از تحقیق حاضر نشان می‌دهد که در بخش بسیار کوچکی از جنوب دشت کیفیت آب زیرزمینی جهت مصارف شرب خوب می‌باشد و به‌جز این بخش در سایر نقاط دشت کیفیت آب زیرزمینی جهت مصارف شرب نامناسب می‌باشد. اضافه برداشت و افت سطح ایستابی آبخوان موجب بالاآمدگی آب شور و تداخل سفره آب شور و شیرین خصوصا در تمام نواحی دشت بویژه نواحی مرکزی آن شده که ادامه این روند می‌تواند در آینده‌ای نه‌چندان دور شوری آبخوان را به‌حدی بالا ببرد که تمام فعالیت‌های کشاورزی و دامپروی منطقه را نیز نابود کند. پیشنهاد می‌شود در خصوص عملیات مربوط به بهبود کیفیت منابع آب زیرزمینی در بخش‌های مذکور با نگرشی جامع نگر تدابیر لازم به‌منظور جلوگیری از روند فعلی با اجرای طرح‌های آبخوانداری و تغذیه مصنوعی، ضمن توقف روند منفی فعلی اقدام به تقویت و احیای آبخوان نمود. همچنین در بخش مطالعه کمی آب زیرزمینی دشت شاهد افت شدید سطح آب زیرزمینی در همه قسمت‌های دشت می‌باشیم که میزان این افت در غربی‌ترین نقطه دشت به‌میزان ۵۲ متر می‌رسد. همچنین نتایج حاصل حاکی از بالاآمدگی سطح آب زیرزمینی در بازه زمانی ده ساله مورد بررسی به‌صورت لکه‌های پراکنده بویژه در بخش شمال‌غربی دشت است که علت آن احتمالاً به‌دلیل احداث چاه‌های پیزومتری جدید در این مناطق، اجرای پروژه‌های عظیم آبخیزداری و پخش سیلاب، گورآب‌های متعدد، تغذیه مصنوعی سفره با استفاده از چاه‌های تزریق و نیز تغذیه سفره توسط رودخانه‌ها و مسل‌های سیلابی می‌باشد. پیش‌بینی می‌شود در صورت ادامه روند بهره برداری موجود در آن بخش‌های دشت نیز روند منفی و افت سطح آب زیرزمینی را شاهد باشیم. پیشنهاد می‌شود بررسی و جلوگیری از برداشت‌های غیرمجاز بایستی در اولویت دستگاه‌های اجرایی در رسیدن به آب زیرزمینی با کیفیت مطلوب باشد. همچنین پیشنهاد می‌شود با اضافه کردن چند پیزومتر با پراکندگی مناسب در سطح دشت پایش سطح آب زیرزمینی این دشت در همه قسمتهای دشت به صورت منظم انجام شود.

تقدیر و تشکر

این پژوهش در قالب طرح پژوهشی به شماره قرارداد ۹۹/۲۳۶/ص/۷ با استفاده از اعتبارات پژوهشی پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته انجام شده است.

منابع

Abbasi, Z., Azimzadeh, H., Talebi, A., & Sotoudeh, A. (2019). Evaluating quality of Ajabshir groundwater resources based on Groundwater Quality Indicator (GQI) and geographical information system. *Journal of Water and Soil Science*, 22(4), 99-108. https://doi.org/10.29252/jstnar.22.4.99

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. https://doi.org/10.1016/j.dib.2018.05.061

Adhikary, P. P., Chandrasekharan, H., Chakraborty, D., & Kamble, K. (2010). Assessment of groundwater pollution in West Delhi, India using geostatistical approach. *Environmental Monitoring and Assessment*, 167, 599-615. https://doi.org/10.1007/s10661-009-1076-5

Alharbi, T. (2023). Mapping of Groundwater, Flood, and Drought Potential Zones in Neom, Saudi Arabia, Using GIS and Remote Sensing Techniques. *Water*, 15(5), 966. https://doi.org/10.3390/w15050966

asadi Nalivan, O., Sadoddin, A., Karami, G., & Sheikh, V. (2020). Identification of Groundwater Potential Zones using Geographic Information System and Analytical Hierarchy Process (AHP) (Case Study: Hable-rud River Basin-Iran) [Research]. *Journal of Watershed Management Research*, 11(21), 36-47. https://doi.org/10.52547/jwmr.11.21.36 (In Persian).

Babiker, I. S., Mohamed, M. A., & Hiyama, T. (2007). Assessing groundwater quality using GIS. *Water Resources Management*, 21, 699-715.

Cambardella, C. A., Moorman, T., Novak, J., Parkin, T., Karlen, D., Turco, R., & Konopka, A. (1994). Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil science society of America journal*, 58(5). 1501-1511. DOI: 10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x

Company, R. W. (2008). The Water Appearance of Kerman Province, Iran.

Delbari, M., Amiri, M., & Motlagh, M. B. (2016). Assessing groundwater quality for irrigation using indicator kriging method. *Applied Water Science*, 6, 371-381. https://doi.org/10.1007/s13201-014-0230-6

Delgado, C., Pacheco, J., Cabrera, A., Batllori, E., Orellana, R., & Bautista, F. (2010). Quality of groundwater for irrigation in tropical karst environment: The case of Yucatan, Mexico. *Agricultural water management*, 97(10), 1423-1433. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.04.006

Farid, H. U., Ayub, H. U., Khan, Z. M., Ahmad, I., Anjum, M. N., Kanwar, R. M. A., . . . Sakinder, P. (2022). Groundwater quality risk assessment using hydro-chemical and geospatial analysis. *Environment, Development and Sustainability*, 1-23. DOI: 10.1007/s10668-022-02403-6

Foster, S., Garduno, H., Kemper, K., Tuinhof, A., Nanni, M., & Dumars, C. (2003). Groundwater quality protection: defining strategy and setting priorities. GW Mate briefing note series ; no. 8 Washington, D.C. World Bank Group.

Gharbia, A. S., Gharbia, S. S., Abushbak, T., Wafi, H., Aish, A., Zelenakova, M., & Pilla, F. (2016). Groundwater quality evaluation using GIS based geostatistical algorithms. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 4(2), 89-103. http://dx.doi.org/10.4236/gep.2016.42011

Hassani Pak, A. (2005). Geostatistics. University of Tehran Press. Tehran.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.28.4.3]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.55]

Issak, E. H. S., R. M. (1989). An Introduction to Applied Geostatistics. Oxford University Press. Oxford.
Khan, H. H., Khan, A., Ahmed, S., & Perrin, J. (2011). GIS-based impact assessment of land-use changes on groundwater quality: study from a rapidly urbanizing region of South India. *Environmental Earth Sciences*, 63, 1289-1302. DOI: 10.1007/s12665-010-0801-2
Loucks, D. P., Stedinger, J. R., & Haith, D. A. (1981). Water Resources Systems Planning and Analysis (First Edition ed.). Prentice Hall.
Lumb, A., Sharma, T., & Bibeault, J. F. (2011). A review of genesis and evolution of water quality index (WQI) and some future directions. *Water Quality, Exposure and Health*, 3, 11-24. https://doi.org/10.1007/s12403-011-0040-0
Mehrjardi, R. T., Jahromi, M. Z., Mahmodi, S., & Heidari, A. (2008). Spatial distribution of groundwater quality with geostatistics (case study: Yazd-Ardakan plain). *World Applied Sciences Journal*, 4(1), 9-17.
Moghaddasi, M., Mardiyan, M., & Parsa, M. (2021). Comparison and Assessment of Intelligent and Geostatistical Models for Analysis of Spatial Variations of Groundwater Quality (Komijan Plain) [Research]. *Journal of Watershed Management Research*, 12(24), 54-64. https://doi.org/10.52547/jwmr.12.24.54 (in Persian).
Mohammadi, S., Salajegheh, A., Mahdavi, M., & Bagheri, R. (2012). An ivestigation on spatial and temporal variations of groundwater level in Kerman plain using suitable geostatistical method (During a 10-year period). *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 19(1), 60-71. https://doi.org/10.22092/ijrdr.2012.103069
Nakhaie Sarvedani, B., Jahanshahi, R., & Assari, A. (2022). Determining the best places for dewatering wells in the Gohar-Zamin pit mine, using geostatistical methods. *Geopersia*, 12(2), 287-298. https://doi.org/10.22059/geope.2022.339672.648651
Nezhadi, L., Shahnazari, A., Azimi, M., & Yasobi, S. (2022). Investigation of Water Quality of Fish Farming Ab-Bandans and Its Effect on Groundwater in Mazandaran Province [Research]. *Journal of Watershed Management Research*, 13(26), 135-145. https://doi.org/10.52547/jwmr.13.26.135 (In Persian).
Piri, H., & Bameri, A. (2014). Investigating the quantity variation trend of ground water table using geostatistics and GIS (Case study: Sirjan Plain). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 5(1), 29-44. DOI: 10.52547/jwmr.13.26.58
Piri, H., Mobaraki, M., & Siasar, S. (2022). Temporal and Spatial Modeling of Groundwater Level in Bushehr Plain using Artificial Intelligence and Geostatistics [Research]. *Journal of Watershed Management Research*, 13(26), 58-68. https://doi.org/10.52547/jwmr.13.26.58 (In Persian).
Potop, V., & Možný, M. (2011). The application a new drought index–Standardized precipitation evapotranspiration index in the Czech Republic. *Mikroklima a mezoklima krajinných structur a antropogenních prostředí*, 2(4), 1-12.
Ram, A., Tiwari, S., Pandey, H., Chaurasia, A. K., Singh, S., & Singh, Y. (2021). Groundwater quality assessment using water quality index (WQI) under GIS framework. *Applied Water Science*, 11, 1-20. https://doi.org/10.1007/s13201-021-01376-7
Ravi, R., Aravindan, S., Shankar, K., & Balamurugan, P. (2020). Suitability of groundwater quality for irrigation in and around the main Gadilam river basin on the east coast of southern India. *Archives of Agriculture and Environmental Science*, 5(4), 554-562. https://doi.org/10.26832/24566632.2020.0504019
Roodgar Iraee, R., Gholami Sefidkohi, M. A., & Palangi, J. A. (2019). Comparison of Deterministic and Geomorphic Methods for Determining Spatial Variations of Nitrate in Ghaemshahr-Juybar Plan. *Journal of Watershed Management Research*, 10(20), 158-167. DOI: 10.29252/jwmr.10.20.158 (In Persian).
Safari, M. (2002). Determination filtration network of Groundwater using geostatistic method. Tarbiyat Modares University, Tehran.
Salajeghe, A., Salajeghe, A., Baniasadi, A., Abkar, A., & Rafsanjani, A. (2010, 2010). Investigating the factors affecting on quantitative changes of groundwater table in Bam- Narmashir plain using software GS+ Proceedings of the 6th National Conference on Watershed Management Science and Engineering of Iran,
Shahzad, H., Farid, H. U., Khan, Z. M., Anjum, M. N., Ahmad, I., Chen, X., . . . & Gulakhmadov, A. (2020). An integrated use of gis, geostatistical and map overlay techniques for spatio-temporal variability analysis of groundwater quality and level in the punjab province of pakistan, south asia. *Water*, 12(12), 3555. DOI: 10.3390/w12123555
Singh, K. K., Tewari, G., Kumar, S., Busa, R., Chaturvedi, A., Rathore, S. S., . . . & Gangwar, A. (2023). Understanding urban groundwater pollution in the Upper Gangetic Alluvial Plains of northern India with multiple industries and their impact on drinking water quality and associated health risks. *Groundwater for Sustainable Development*, 21, 100902. https://doi.org/10.1016/j.gsd.2023.100902
Theodoridou, P., Varouchakis, E., & Karatzas, G. (2017). Spatial analysis of groundwater levels using fuzzy logic and geostatistical tools. *Journal of Hydrology*, 555, 242-252. https://doi. org/ 10. 016/ j.jhydrol.2017.10.027.
Todd, D. K., & Mays, L. W. (2004). Groundwater hydrology. John Wiley & Sons. New York. WHO. (2011). Guidelines for drinking-water quality. WHO chronicle, 38(4), 104-108.
Yektaparast Moafegh, N. A., Amiri, E. (2016). Evaluation of groundwater quality parameters in Gilan province using Geostatistics and Gs+ software (case study: West Gilan plain) 5th International Conference on Research in Science and Technology, London, United Kingdom. 644-657.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.28.4.3]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.55]