دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی

سال هجدهم، شماره‌ی ۶۳
پاییز ۱۳۹۷، صفحات ۱۶۴-۱۴۷

*محبوبه بای[۱]
علی حقی‌زاده[۲]
ناصر طهماسبی‌پور[۳]

تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از زمین‌آمار

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۱/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۱۷

چکیده

آلودگی منابع آب زیرزمینی در حال حاضر یکی از مهم‌ترین مسائل زیست‌محیطی محسوب می‌شود. با توجه به کاربری های متعدد حوضه آبخیز پیرانشهر (مساحت حدود ۲۳۳۸۵ هکتار) در استان آذربایجان‌غربی این آبخیز به‌عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب گردید. در این مطالعه، از ۱٤٥ چاه آب‌زیرزمینی چاه مقادیر آلاینده‌های کیفی در سطح آب‌های زیرزمینی آبخیز مذکور نمونه‌برداری شد. پس از بررسی واریوگرام و مشخص شدن مکانی بودن تغییرات پارامترهای مورد بررسی، اقدام به میان‌یابی پارامترها به روش‌های مختلف درون‌یابی فوق‌الذکر شد، بدین ترتیب نقشه پراکنش مکانی آن‌ها نیز تهیه شد. با استفاده از ریشه دوم میانگین مربع خطا، بهترین مدل ارزیابی با کم‌ترین مقدار این پارامتر انتخاب شد. نتایج نشان داد که پارامترهای سختی کل، منیزیم، کلسیم و اسیدیته با استفاده از روش تخمین‌گر توابع شعاعی و پارامتر سدیم با استفاده از روش عکس فاصله و پارامتر کل مواد جامد محلول با استفاده از کریجینگ نمایی و نیترات با استفاده از کریجینگ معمولی کم‌ترین مقدار ریشه دوم میانگین مربع خطا را داشته است. همچنین نتایج نقشه‌های به‌دست آمده از زمین‌آمار نشان داد که همه پارامترها به جز دو پارامتر سدیم و سختی در کل منطقه برای

*۱- دانشجوی دکتری دانشگاه لرستان. (نویسنده مسئول). E-mail: B.mahbube@gmail.com
۲- گروه مرتع و آبخیز دانشگاه لرستان. E-mail: haghi20@gmail.com
۳- گروه مرتع و آبخیز دانشگاه لرستان.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

شرب بدون محدودیت هستند. توزیع مکانی نیترات در آب زیرزمینی منطقه نشان می‌دهد که غلظت نیترات در مناطق با قابلیت نفوذ بالا و کاربری کشاورزی و اراضی بایر (شرق و جنوب حوضه) بالاترین مقادیر را داشته است. نتایج نشان می‌دهد که آب منطقه به سمت کیفیت نامطلوب پیش می‌رود که نتیجه برداشت بیش از حد برای مصارف کشاورزی منطقه است.

کلید واژه‌ها: کیفیت آب، روش‌های زمین‌آماری، کریجینگ معمولی، پیرانشهر، ISIRI.

مقدمه

امروزه آب زیرزمینی در اکثر مناطق جهان از اهمیت بسیار بالایی در جهت تأمین آب شیرین برخوردار است. آب‌های زیرزمینی بیش‌ترین نقش را در تأمین آب شرب به عهده دارند. افزایش جمعیت و در نتیجه آن افزایش بهره‌برداری از این منابع ارزشمند باعث شده است که نه تنها کمیت منابع آب‌زیرزمینی کاهش یابد، بلکه کیفیت این منابع نیز وضعیت نامناسبی پیدا نماید؛ بنابراین، با توجه به محدود بودن منابع آب زیرزمینی، استفاده بهینه آن‌ها مورد توجه محققان قرار گرفته است. علاوه بر کمبود منابع آب که خود معضل اساسی بشر است موضوع مهم دیگری که امروزه آب‌های زیرزمینی را تهدید می‌کند، آلودگی آن‌ها است. یکی از مهم‌ترین نکات در کنترل و پیشگیری از آلودگی، شناسایی عوامل و منابع آلودگی، مناطق بحرانی آلوده شده و همچنین جهت حرکت آلودگی می‌باشد تا بتوان به کمک این اطلاعات گام‌های موثری در جهت حفظ و بالابردن کیفیت آب زیرزمینی انجام داد (Askari et al, 2009: 6). برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی در بسیاری از نقاط جهان سبب افت شدید سطح آب زیرزمینی شده است (Akbari et al, 2009: 63, Ziarani et al, 2006: 10). اگرچه ظاهر تأثیرپذیری آب‌های زیرزمینی از محیط اطراف کم‌تر از منابع آب های سطحی باشد، اما پژوهش‌ها نشان می‌دهد که همگام با منابع سطحی، کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی نیز از عوامل محیطی تأثیر می‌پذیرد و حتی در پاره‌ای از موارد این تأثیرات شدیدتر و ماندگارتر است (DuNing et al, 2007: 261). از جمله این تاثیرات می‌توان به آلودگی آب شرب مصرفی و مسمومیت‌های ناشی از استفاده آن‌ها اشاره کرد (Kathy et al, 2005: 260). لذا قبل از انجام هر اقدامی برای کنترل و کاهش آلاینده‌های آب‌های زیرزمینی و تأثیرات آن‌ها، آگاهی کامل از نحوه توزیع و پراکندگی آلاینده‌های موجود لازم و ضروری است. در اختیار داشتن چنین اطلاعاتی صرفا از طریق ایستگاه‌های سنجش آلودگی توزیع یافته در سطح منطقه مورد مطالعه و درون‌یابی نقاط نمونه‌برداری شده و انجام آنالیزهای مختلف امکان‌پذیر می‌باشد (Abdolghaderi Bookani et al, 2006: 9). پیشرفت‌های اخیر در معرفی و توسعه روش‌های غیرکلاسیک باعث افزایش تمایل برای استفاده از تکنیک زمین آمار به منظور بررسی و شناخت بیش‌تر این تغییرات شده است (Chandrasekharan et al, 2009: 63). زمین آمار شاخه‌ای از علم آمار کاربردی است که قادر به ارائه مجموعه وسیعی از تخمین‌گرهای آماری به منظور برآورد خصوصیت موردنظر در مکان فاقد اطلاعات

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

نمونه‌برداری با استفاده از اطلاعات حاصل از نقاط نمونه‌برداری شده می‌باشد. با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی[4] می‌تواند مقادیر عظیمی از داده‌ها را با سرعت زیاد و هزینه بسیار کم، نگهداری و بازیابی نمود. همچنین استفاده از GIS، امکان تحلیل‌های زمین آماری را برای کاربر فراهم می‌کند (Ahmadi and Sedghamiz, 2008: 357). مطالعات گسترده‌ای در مورد کاربرد زمین آمار در بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی در دنیا و ایران صورت گرفته که از جمله می توان به مطالعات محققان زیر اشاره نمود.

Najafpour et al (2017) توزیع مکانی پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی در حوزه آبریز رودخانه شور را با استفاده از زمین‌آمار بررسی کردند. نتایج نشان داد روش کریجینگ معمولی برای اکثر پارامترها بهترین روش درون‌یابی است. بر طبق نقشه‌های پهنه‌بندی تجمع پارامترهای کیفیت آب و آلودگی در شمال حوضه بسیار بیش‌تر است که این امر با وضعیت هیدروژئولوژیک منطقه در تعامل بود. Mohammadyari et al (2017) با استفاده از روش‌های زمین‌آمار خصوصیات شیمیایی آب‌های زیرزمینی مناطق خشک و نیمه خشک مهران و دهلران مورد بررسی قرار دادند. نقشه نهایی توسط روش کریجینگ به‌دست آمد. مطابق این نقشه ۳۷ درصد از منطقه برای شرب مناسب، ۱۳ درصد نسبتا مناسب و ۵۰ درصد نامناسب بود. آن‌ها بیان داشتند که آب منطقه برای شرب در حد مطلوب نیست و عامل اصلی کاهش کیفیت آب را سازند گچساران بیان کردند. Rahelinamin and Mohseni (2017) به بررسی تغییرات مکانی نیترات و فسفات آب‌های زیرزمینی و شناسایی مهم‌ترین عوامل آلودگی از طریق ارزیابی روش‌های سری کریجینگ، کوکریجینگ و مدل رگرسیون چندگانه در حوزه‌ی آبخیز قره‌سو- استان گلستان پرداختند. مقایسه روش‌ها، بیانگر بالا بودن توان روش کوکریجینگ با استفاده از متغیر کمکی در درون‌یابی میزان نیترات و فسفات می‌باشد. براساس نتایج مدل‌سازی با رگرسیون چندگانه خطی، متغیرهای مستقل ارتفاع، خاک، فاصله از زمین‌های کشاورزی، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، تراکم جمعیت و میزان مصرف کود ازته در سطح ۹۹ درصد تاثیر معنی‌دار داشتند. فاصله از مناطق مسکونی، سطح آب زیرزمینی و فاصله از جاده در سطح ۹۵ درصد نیز رابطه معنی‌دار با پراکنش نیترات داشته‌اند. در مورد فسفات، متغیرهای مستقل فاصله از جنگل، زمین‌شناسی و تراکم جمعیت در سطح ۹۹ درصد و متغیر مستقل رابطه بین تراکم سطح زیرکشت و میزان مصرف کود فسفاته در سطح ۹۵ درصد، رابطه معنی‌دار با پراکنش فسفات در حوزه آبخیز قره‌سو داشته‌اند. Daliri et al (2016) تغییرات مکانی-زمانی و پهنه‌بندی سطح آب زیرزمینی آبخوان کوهپایه-سگزی در استان اصفهان با استفاده از روش های زمین آماری مورد بررسی قرار دادند. نتایج ارزیابی متقابل تخمین سطح آب زیرزمینی حاکی از دقت بیش‌تر روش کریجینگ نسبت به روش وزن‌دهی عکس فاصله بود. بر اساس نقشه‌های تولید شده سطح آب زیرزمینی، پایین‌ترین تراز سطح آب در جنوب‌شرقی آبخوان می‌باشد و بالاترین تراز سطح آب در مرکز، جنوب و جنوب‌غربی آبخوان دیده می‌شود. Malekian and Mirdashtvan (2015) با استفاده از زمین‌آمار به پهنه‌بندی کیفیت آب برای مصارف کشاورزی در دشت هشتگرد پرداختند. آن‌ها برای این کار از دو پارامتر SAR و EC در قالب روش ویلکوکس استفاده کردند. نتایج پهنه‌بندی بر اساس روش کوکریجینگ نشان داد

4- Geographic Information System (GIS)

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

که ۹۹ درصد سطح آبخوان برای آبیاری در رده خوب و ۱ درصد سطح آبخوان در رده متوسط قرار دارد. Rostami Khalaj et al (2011) نشان دادند که یون سولفات با استفاده از روش درون‌یابی تخمین‌گر موضعی[5] کم‌ترین مقدار ریشه میانگین مربعات خطا[6] را داشته و جهت تهیه نقشه توزیع مکانی پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی از این روش استفاده شد. Zehtabian et al (2010) با استفاده از روش‌های زمین‌آمار تغییرات کیفیت آب زیرزمینی در آبخیز گرمسار را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد این روش برتری قابل ملاحظه‌ای در معیارهای ارزیابی چون میانگین مربعات خطا[7] و ضریب همبستگی از خود نشان می‌دهد. Marofi et al (2009) در ارزیابی روش‌های زمین‌آمار جهت تخمین هدایت الکتریکی و pH زه‌آب‌های آبراهه‌ای دشت همدان به این نتیجه رسیدند که روش‌های تخمین‌گر موضعی و عکس فاصله به ترتیب بهترین الگو برای تخمین هدایت الکتریکی و pH منطقه محسوب می‌شوند. Askari et al (2009) در بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی در دشت قزوین به‌وسیله تحلیل‌های زمین‌آماری و GIS به این نتیجه رسیدند که روش درون‌یابی تابع پایه شعاعی نسبت به روش‌های درون‌یابی دیگر نتایج بهتری را نشان داده است. Chetsazan et al (2008) به پهنه‌بندی هیدروژئوشیمیایی عناصر کمیاب آرسنیک، آهن و منگنز در آبخوان آبرفتی میداوود خوزستان با استفاده از GIS پرداختند و به این نتیجه رسیدند که روش درون‌یابی IDW در این مورد مناسب‌تر از کریجینگ است. Ghalib (2017) به ارزیابی شیمیایی آب زیرزمینی و آب مورد استفاده برای آبیاری در عراق پرداخت. پارامترهای فیزیکوشیمیایی شامل ترکیبات اصلی کاتیون و آنیون، PH، غلظت املاح محلول، هدایت الکتریکی بوده است که از ۹۸ نمونه از چاه‌ها برداشت شد. نتایج نشان داد توزیع مکانی غلظت املاح محلول و مقدار هدایت الکتریکی و اکثر یون‌ها در نمونه‌های گرفته شده از آب زیرزمینی به‌طور قابل ملاحظه‌ای به علت تغییرات لیتولوژی در این ناحیه، متفاوت هست. مقایسه کیفیت آب‌های زیرزمینی با استانداردهای آب آشامیدنی نشان داد که بیش‌تر نمونه‌های آب زیرزمینی برای نوشیدن و آبیاری مناسب نمی‌باشند. Jong Yeon et al (2017) در نواحی روستایی کره به ارزیابی کیفی آب‌های زیرزمینی پرداختند. آن‌ها در این مطالعه سه هدف الف) ارزیابی کیفی آب‌های زیرزمینی برای مصارف کشاورزی و صنعتی، ب) تعیین انواع آب‌های زیرزمینی، ج) ردیابی منابع یونی را دنبال می‌کردند. ارزیابی کیفیت آب بر اساس نمودار ویلکوکس "عالی به خوب" و "خوب یا مجاز" و با استفاده از نمودار آزمایشگاهی شوری شورای ایالات متحده در وضعیت C_1S_1 (عالی / عالی) و C_2S_1 (خوب / عالی). طبقه‌بندی شد (Shabani, 2012: 83). در ارزیابی روش‌های زمین‌آماری در تهیه نقشه‌های کیفی آب‌های زیرزمینی و پهنه‌بندی آن‌ها دریافتند که در بین روش‌های معین روش تابع پایه شعاعی[8] جهت تهیه نقشه تغییرات شوری و تغییرات نیترات در منطقه مناسب می‌باشد. سپس از مقایسه دو روش کریجینگ و RBF، روش کریجینگ را انتخاب کرد. Nagarajan et al (2010) در

5- Local Polynomial Interpolation (LPI)
6- Root Mean Square Error (RMSE)
7- Mean Square Error (MSE)
8- Radial Basis Function (RBF)

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

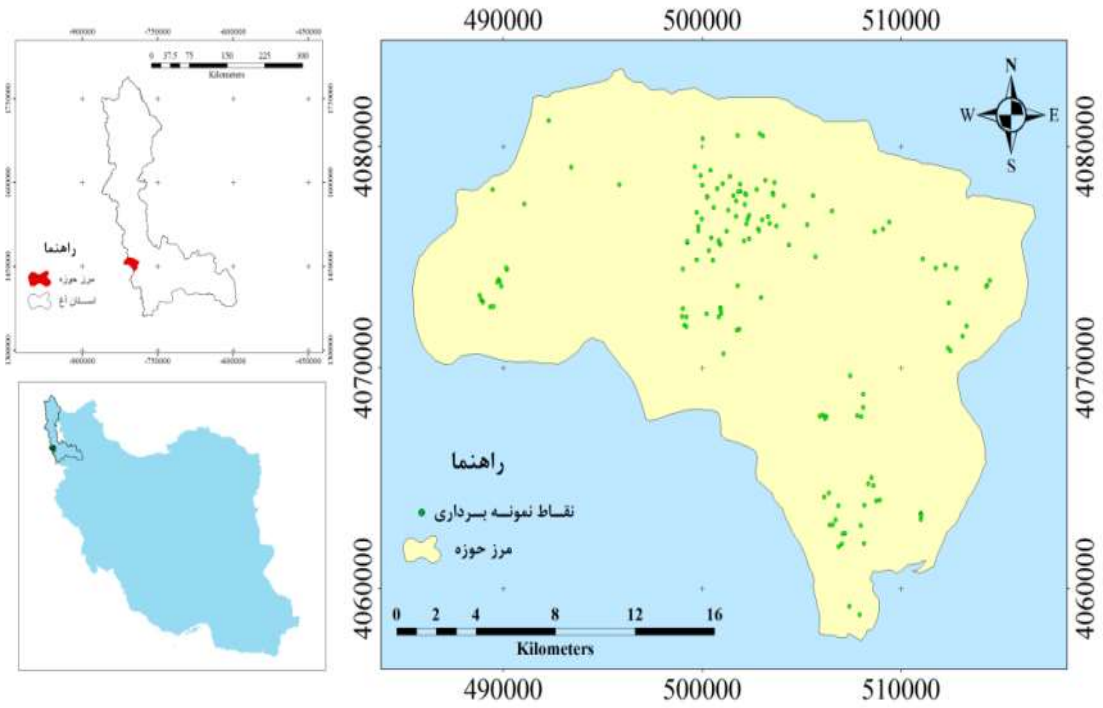
هندوستان به بررسی پارامترهای PH، هدایت الکتریکی، دما و نیترات در آب‌های زیرزمینی و تناسب آن برای استفاده در آب آشامیدنی و کشاورزی پرداختند. نتایج این تحقیق حاکی از آن است که غلظت پارامترهای نیترات، کلرید و سولفات متاثر از منابع آلودگی سطحی از قبیل فعالیت‌های انسانی و کشاورزی بر کیفیت آب زیرزمینی می‌باشند. Makkasap and Satapanajaru (2010) در تحقیقی توزیع مکانی فلزات سنگین از قبیل Cd، Zn و Hg را در آب‌های زیرزمینی راینگ[۹] تایلند که به شدت تحت‌تأثیر فعالیت کشاورزی و صنعتی بود با استفاده از روش کریجینگ[۱۰] مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که بسیاری از فلزات سنگین دارای غلظتی بیش از حد استانداردهای کیفی آب‌های زیرزمینی تایلند می‌باشد. Zamzam and Rahnama (2009) تغییرات پارامترهای هدایت الکتریکی[۱۱]، کلسیم، کلرور، منیزیم، سدیم، T.D.S[۱۲] و SAR[۱۳] موجود در آب زیرزمینی دشت رفسنجان مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از این مطالعه با بررسی و تجزیه‌وتحلیل داده‌های کیفیت شیمیایی ٦٥ پیزومتر از سال (۱۳۷۸ تا ۱۳۸۵) توسط نمودارهای ویلکوکس و شولر[۱٤] نشان دهنده‌ی کیفیت بد آب برای مصارف کشاورزی است و همچنین بررسی کیفیت آب زیرزمینی این دشت از لحاظ شرب نشان داد که آب این دشت تقریبا نامناسب برای شرب است. بنابراین این مطالعه در تلاش است تا ضمن مقایسه روش‌های مختلف درون‌یابی و تعیین بهترین روش تخمین و با استفاده از نرم‌افزار GIS، تغییرات مکانی توزیع آب زیرزمینی را در حوضه آبخیز پیرانشهر برای مصرف شرب پهنه‌بندی کند.

محدوده مورد مطالعه

حوضه آبخیز پیرانشهر در ۱۰ کیلومتری غرب شهرستان پیرانشهر واقع در استان آذربایجان‌غربی می‌باشد. موقعیت جغرافیایی آن بین طول‌های جغرافیایی ″۰۲ ′۵۷ °٤٤ و ″۳۳ ′۱۱ °٤٥ و عرض‌های جغرافیایی ″۰۲ ′٤۰ °۳٦ و ″٥۰ ′٥۳ °۳٦ واقع شده است (شکل ۱). میانگین بارندگی سالیانه حوضه، ٦٥۰ میلی‌متر است که بیش‌تر در فصل زمستان و به شکل برف می‌باشد. حداقل و حداکثر درجه حرارت سالیانه به‌ترتیب ٦/۷- و ۳۱/٤ درجه سانتی‌گراد و بر طبق طبقه بندی آمبرژه جزء منطقه نیمه‌خشک سرد محسوب می‌شود. دامنه ارتفاعی از ۱٤۰۰ تا ۳۲٥٤ متر بالاتر از سطح دریا می‌باشد که دامنه ارتفاعی ۱٤٤۰ تا ۲۰۰۰ متر (٦۰٪) بیش‌ترین درصد را به خود اختصاص داده است. منطقه مورد مطالعه دارای مساحتی معادل ۲۳۳۸٥/۲۰ هکتار می‌باشد که از این مساحت ۹٦۹٦/۱۸ هکتار آن زمین‌های کشاورزی (٤۱/٤٪) و ۱۳٦٦۳/۸ هکتار آن را مراتع (٥۹/٦٪) تشکیل می‌دهند.

9- Rayong Province
10- Kriging
11- Electrical Conductivity
12- Total Dissolved Solids
13- Sodium Absorption Ratio
14- Wilcox and Schuler diagram

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان

مواد و روش‌ها

با بررسی و مرور منابع علمی طرح تحقیق حاضر به صورت زیر در (شکل ۲) تدوین گردید.



شکل ۲: نمودار جریانی مراحل انجام تحقیق

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

- بررسی تغییرات مکانی داده‌ها

هر متغیر تصادفی را می‌توان به صورت دو مولفه‌ی قطعی و تصادفی در نظر گرفت. جهت تعیین میزان ارتباط مکانی یک متغیر تصادفی در زمین آمار از نیم‌تغییرنما استفاده می‌شود. در این تحقیق برای ترسیم نیم‌تغییرنما از نرم‌افزار GS^+ استفاده شد. نیم تغییرنما کمیتی برداری است که میزان ارتباط مکانی بین نقاط اندازه‌گیری شده را برحسب مربع تفاضل مقدار دو نقطه و در نظر گرفتن فاصله و جهت آن‌ها نشان می‌دهد. یک نیم تغییرنما، با استفاده از مقادیر معلوم مقادیر مجهول را برآورد می‌کند. فرم محاسباتی یک نیم تغییرنما به صورت رابطه (۱) است:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n} ((Z(x_i + h)) - z(x_i))^2$$ رابطه (۱)

که در آن: $y(h)$: مقدار شبیه واریوگرام در فاصله (h)، $z(x_i+h)$: مقدار اندازه‌گیری شده متغیر در مکان (x_i+h)، $z(x_i)$: مقدار اندازه‌گیری شده متغیر در مکان x_i، n: تعداد اندازه‌گیری های انجام شده در محدوده مورد مطالعه است (Hasani Pak, 1998: 330). در این تحقیق جهت بررسی تغییرات مکانی pH, TDS, Ca, Mg, TH, Na و No_3 از ۱۴۵ نقطه از سطح حوضه که نماینده منطقه مورد مطالعه بودند، نمونه برداری انجام شد که این نمونه‌برداری در آخر فصل برداشت کشاورزی و در شهریورماه سال (۱۳۹۳) انجام و مورد تجزیه قرار گرفتند و پارامترهای مذکور اندازه گیری گردید. در این تحقیق سعی بر آن است که روش‌های مختلف درون‌یابی با هم مقایسه گردند و بهترین روش انتخاب گردد تا بر اساس آن نقشه پهنه بندی کیفیت آب زیرزمینی تهیه شود.

- عکس فاصله (IDW)

روش عکس فاصله (IDW): در این روش مقدار فاکتور وزنی (λ_i) با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$\lambda_i = \frac{{D_i}^{-a}}{\sum_{i=1}^{n} {D_i}^{-a}}$$ رابطه (۲)

که در آن، D_i: فاصله بین نقطه برآورد شده و مقدار مشاهده شده در نقطه i، a: تعداد نقاط مشاهده شده می‌باشد. این روش دارای توان‌های مختلف است که در این تحقیق توان ۱ تا ٤ استفاده گردید و توان دارای کم‌ترین خطا استفاده شد.

- روش تابع شعاعی (RBF)

تابع شعاعی تابعی به صورت $\Phi j(X) = \Phi(X-Xj)$ می باشد که وابسته به فاصله بین $x=R^d$ و نقطه ثابت $Xj \varepsilon R^d$ است. در این تابع Φ تابعی پیوسته و وابسته به هر زیرمجموعه $\Omega \varepsilon R^d$ می باشد. R نشان‌دهنده فاصله اقلیدوسی بین هر جفت نقطه در مجموعه Ω می باشد. این روش دارای ۵ تابع کرنال (Completely Regularized Spline, Spline With Tension, Multiquadric, Inverse Multiquadric, Thin Plate Spline) می باشد که در این تحقیق روش Spline With Tension که دارای کم‌ترین مقدار RMSE بود انتخاب شد.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

- روش کریجینگ

کریجینگ یک روش تخمین است که بر منطق میانگین متحرک وزن‌دار استوار است و بهترین تخمین‌گر خطی نااریب است[۱۵] (Nas, 2009: 1073). در صورتی که $z(x_i)$ مقدار اندازه‌گیری شده متغیر در مکان (x_i)، Z_0 مقدار تخمین زده شده متغیر در نقطه (x_0) از ترکیب خطی رابطه (۳) است:

رابطه (۳)
$$Z_0 = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i Z(x_i)$$

که در آن: λ_i: وزن داده شده به متغیر x در نقطه i، n: تعداد نقاطی که متغیر در آن‌ها اندازه‌گیری شده است. این نوع کریجینگ را کریجینگ خطی می‌نامند. زیرا ترکیب خطی از n داده است. شرط استفاده از این تخمین‌گر نرمال بودن متغیر است (Elias Azar, 2002: 300). جهت ارزیابی روش‌های زمین‌آماری و انتخاب بهترین روش از نرم‌افزار ArcGIS که توانایی انجام تکنیک ارزیابی متقابل و معیار آماری ریشه‌ی دوم میانگین مربع خطا (RMSE) استفاده شد که روش محاسبه‌ی آن به صورت زیر در رابطه (٤) ارائه شده است:

رابطه (٤)
$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\left[\sum_{i=1}^{n}(\hat{Z}(x_i) - Z(x_i))^2\right]}/n$$

که در آن: $\hat{z}(x_i)$: مقدار برآورد شده در نقطه‌ی x_i، $z(x_i)$: مقدار اندازه‌گیری شده در نقطه‌ی x_i، i: شماره‌ی نقاط، n: تعداد نقاط مشاهده شده معیار را دارد، استفاده گردید.

RMSE به‌عنوان پارامتر مهمی جهت نشان دادن دقت تحلیل مکانی در سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور[۱۶] محسوب می‌شود در این روش در هر مرحله یک نقطه مشاهده‌ای حذف شده و با استفاده از بقیه نقاط مشاهده‌ای، آن نقطه برآورد می‌گردد (Siska and Hung, 2001: 8)، بر این اساس، این کار برای کلیه نقاط مشاهده‌ای تکرار می‌گردد و در پایان به ازای هر نقطهٔ مشاهده‌ای یک نقطه‌ی برای برآورد وجود خواهد داشت.

USEPA[۱۷] مقدار استاندارد نیتروژن- نیتراتی را در آب آشامیدنی[۱۸] ۱۰ ppm تعیین کرده است (Daniels and Mesner, 2005) که معادل ٤٤ میلی‌گرم بر لیتر نیترات است. WHO (2006)[۱۹] و ISIRI (2003 and 2005)[۲۰] نیز مقدار ۵۰ میلی گرم بر لیتر را به عنوان مقدار مجاز نیترات در آب آشامیدنی معرفی کرده‌اند.

15- Best Linear Unbiased Estimator
16- Remote Sensing (RS)
17- Environmental Protection Agency (US EPA)
18- Part Per Million (PPM)
19- WHO (World Health Organization)
20- Institute of Standards and Industrial Research of Iran (ISIRI)

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

USEPA[21] مقدار استاندارد نیتروژن-نیتراتی را در آب آشامیدنی[22] ppm ۱۰ تعیین کرده است (Daniels and Mesner, 2005) که معادل ٤٤ میلی‌گرم بر لیتر نیترات است. WHO (2006)[23] و ISIRI (2003 and 2005)[24] نیز مقدار ۵۰ میلی گرم بر لیتر را به عنوان مقدار مجاز نیترات در آب آشامیدنی معرفی کرده‌اند.

جهت بررسی همزمان اثرات جوامع انسانی بر کیفیت آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه و مقایسه نمونه‌ها با آستانه‌های مطرح شده توسط نهادهای بهداشتی ملی و بین‌المللی مرزبندی‌های زیر برای میزان نیترات مد نظر قرار گرفته است:

mg/L ۵-۰: غلظت بسیار مطلوب

mg/L ۱۵-۵: احتمال اثرگذاری فعالیت‌های انسانی

mg/L ۲۵-۱۵: آلودگی ناشی از فعالیت‌های انسانی

mg/L ٤۵-۲۵: غلظت مطلوب نیترات در آب آشامیدنی

mg/L ۵۰-٤۵: ماکزیمم غلظت مجاز بر اساس EPA

mg/L ۵۰< : تعیین درصد نمونه‌های آلوده بر اساس استانداردهای معتبر ملی و بین‌المللی و نشان دهنده اثرات شدید فعالیت‌های انسانی است (McLay et al, 2001: 191; Anayah et al, 2009:588)

استفاده از روش‌های زمین‌آماری مستلزم بررسی وجود ساختار مکانی در بین داده‌ها است که توسط آنالیز واریوگرام این امر بررسی می‌شود و شرط استفاده از این آنالیز نرمال بودن داده‌ها است. پارامترهای pH, Na و No_3 در این تحقیق با توجه به هیستوگرام داده‌ها نرمال نبودند و دارای چولگی بودند که با گرفتن لگاریتم از داده‌ها نرمال شدند. بقیه پارامترها نرمال بودند. برخی از خصوصیات آماری راجع به جامعه آماری در (جدول ۱) آورده شده است.

جدول ۱ - نتایج آنالیز آماری پارامترهای مورد بررسی

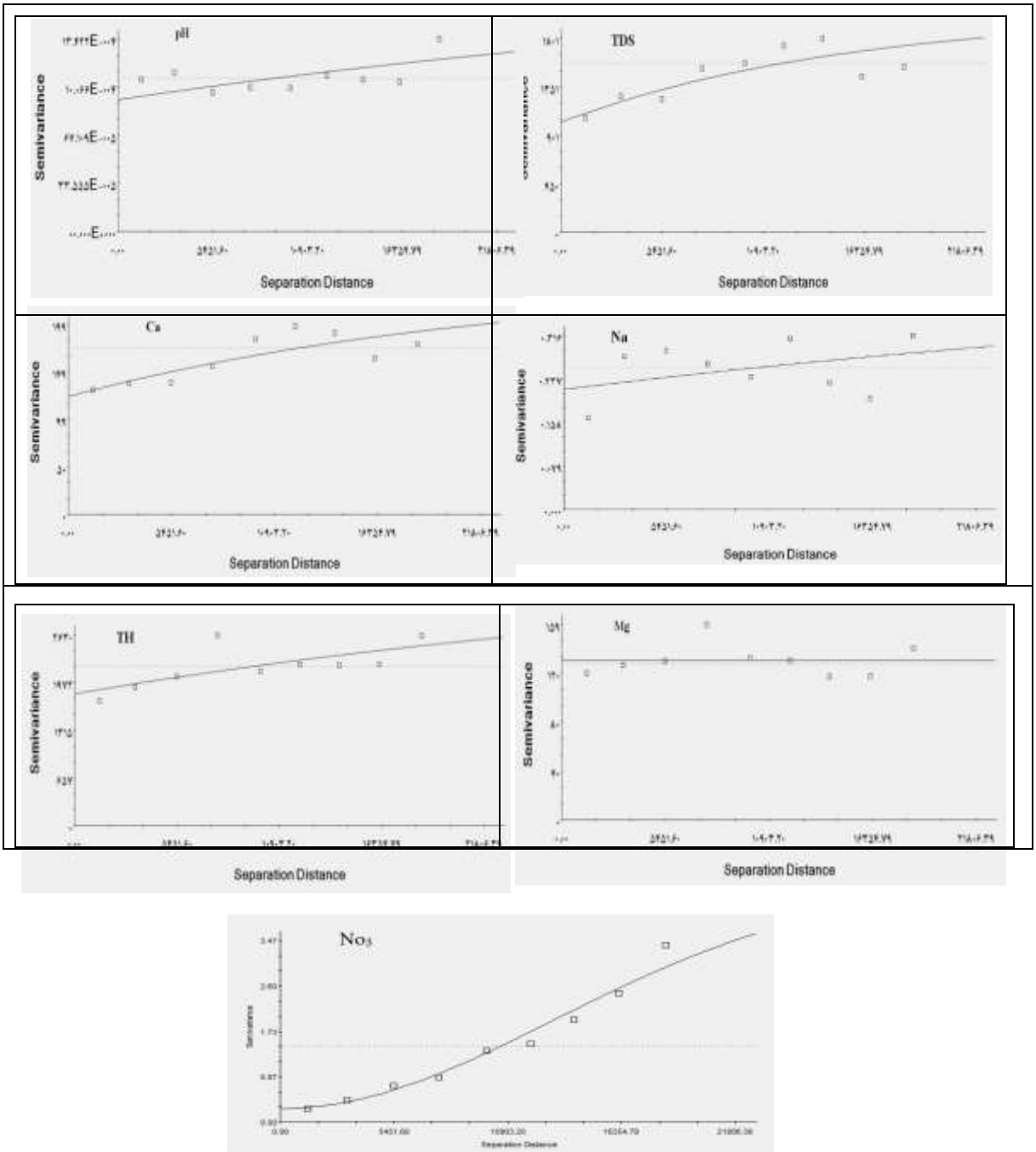
متغیر مورد بررسی	تعداد نمونه	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی	میانه
pH	۱٤۵	۱/۹۳	۲/۱٤	۲/۰۲	۰/۰۳	۰/٤٦	٤/۵	۲/۰۲
TDS (mg/l)	۱٤۵	۵۳	۲۷۵	۱٦۳/۸۳	۳۹/٦٦	-۰/۰۷	۳/٤۳	۱٦٤
Ca (mg/)	۱٤۵	۸/۰۱	۷٦/۱۵	٤۵/۲۷	۱۳/۲	-۰/۳۷	۳/۱۷	٤۸/۰۹
Mg (mg/l)	۱٤۵	۰	۵۸/۳٦	۱۸/۹۷	۱۱/۲۸	۰/۵۱	۲/۹۲	۱۷/۰۲
TH (mg/l)	۱٤۵	۸۰	۳۰۰	۱۹۰/۹۷	٤٦/۷۹	۰/۲٤	۲/۵۷	۱۹۰
Na (mg/l)	۱٤۵	۲/٤۹	۵/۵۳	۳/۷۱	۰/۵	۰/٤۲	۳/۷۲	۳/٦۸
No3 (mg/l)	۱٤۵	۰	٤	۱/۹۹	۱/۲	۰/۱٤	۱/۷۹	۱/٦

همچنین نتایج حاصل از برازش مدل واریوگرام به واریوگرام تجربی نشان می‌دهد که بهترین مدل برازش داده شده به پارامتر کیفی Mg مدل کروی و برای pH, TDS, Ca, TH, Na مدل نمایی و No3 مدل گوسی می‌باشد. به منظور تعیین

21- Environmental Protection Agency (US EPA)
22- Part Per Million (PPM)
23- WHO (World Health Organization)
24- Institute of Standards and Industrial Research of Iran (ISIRI)

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

بهترین مدل واریوگرام به ساختار فضایی داده‌ها از رفتار واریوگرام در نزدیکی مبدأ مختصات، مجموع مربعات باقی‌مانده، نسبت مولفه ساختاری به کل واریانس مدل استفاده گردید و واریوگرام‌های مربوطه در (شکل ۳) و پارامترهای مربوط به آن‌ها در (جدول ۲) قابل مشاهده است.



شکل ۳: واریوگرام‌های مربوط به پارامترهای کیفی آب زیرزمین

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

جدول ۲- مشخصات مدل واریوگرام برای پارامترهای کیفی

متغیر	مدل	اثر قطعه‌ای	آستانه	شعاع تاثیر (متر)	C/(C0+C)	R2	RSS
pH	نمایی	۰/۰۰۰۰۹۱	۰/۰۰۱	۵۱۱۰۰	۰/۵۰۳	۰/۸٤	۰/۰۰۰۰۰۰۰۸
TDS (mg/l)	نمایی	۱۰۲۱	۲۰٤۳	٤٦٤٤۰	۰/۵	۰/۹۲٦	۱۷۷۲۷۷
Ca (mg/)	نمایی	۱۲۳/۳	۲٤٦/۷	٦۸۹٤۰	۰/۵	۰/٦٤۵	۱۷۷۲
Mg (mg/l)	کروی	۱۳۰/۰۱۱	۱۳۰/۱٦۳	۱۸٤۹۲	۰/۰۰۱	۰/۸	۱٤٤۰
TH (mg/l)	نمایی	۱۸/۱۷	۳٦۳۵	۲۱۸۹۰	۰/۵	۰/۷۸۲	۳٦۱۰٦۱
Na (mg/l)	نمایی	۰/۲۱۸	۰/٤۳۷	۵۳۳۰۰	۰/۵۰۱	۰/۷٦	۰/۰۱۹
No3 (mg/l)	نمایی	۰/۲٦	٤/۵۲۹	۱۸٤۸۰	۰/۹٤	۰/۹٦	۰/۲۹۱

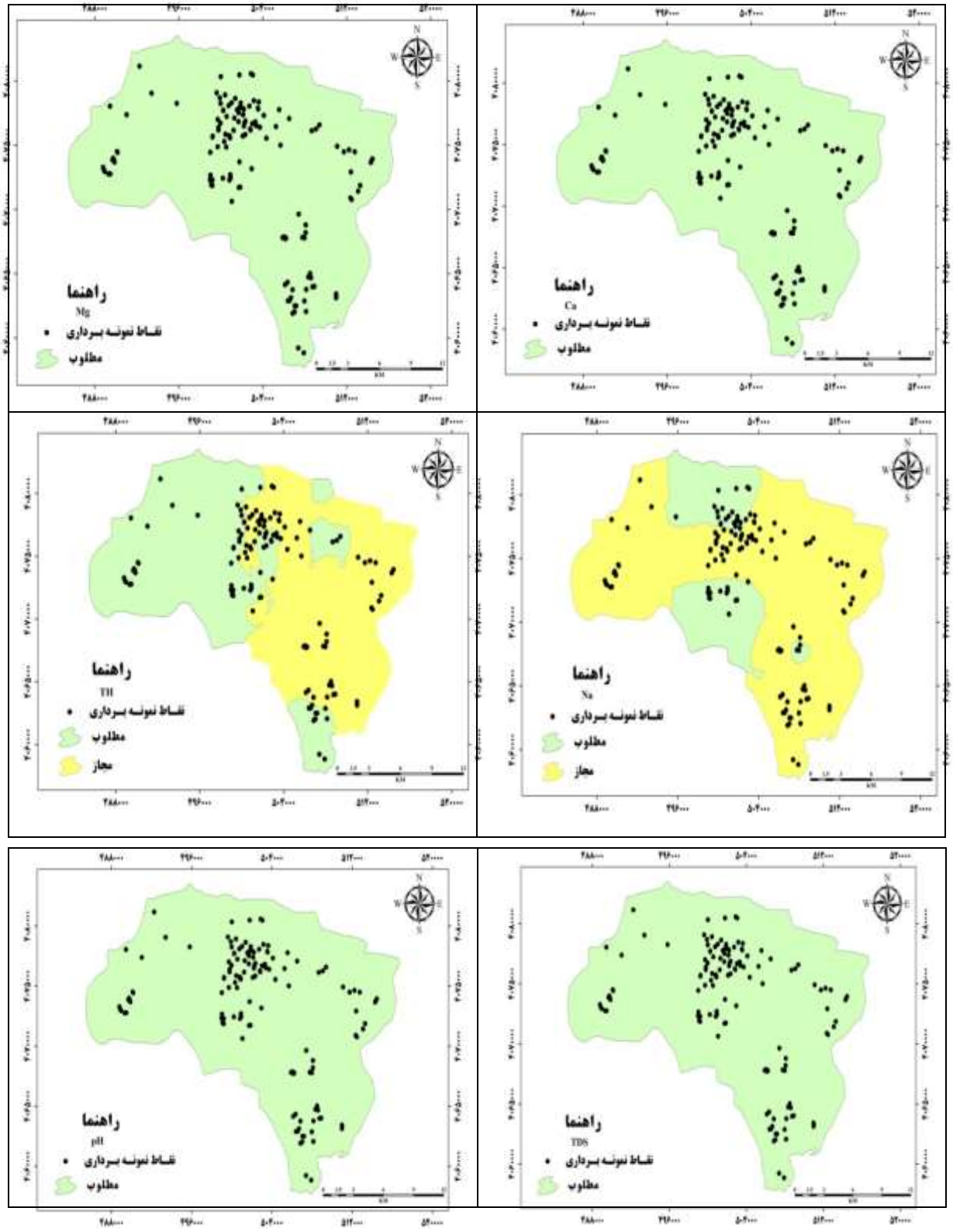
- مناسب‌ترین روش میان‌یابی

برای تعیین مناسب‌ترین روش میان‌یابی در بین روش‌های درون‌یابی از مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده شد. نتایج نشان داد که پارامترهای pH, Ca, Mg, TH با استفاده از روش تخمین گر توابع شعاعی و تابع کرنال (Spline With Tension) و پارامتر TDS با استفاده از روش کریجینگ نمایی و پارامتر Na با استفاده از روش عکس فاصله و No3 با استفاده از کریجینگ معمولی کم‌ترین مقدار RMSE را داشته است. (جدول ۳) مقادیر مورد نظر را نشان می‌دهد و جهت تهیه نقشه توزیع مکانی پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی از این روش‌ها استفاده شد (شکل ٤).

جدول ۳- مقادیر RMSE پارامترهای مورد مطالعه با استفاده از روش‌های زمین‌آماری

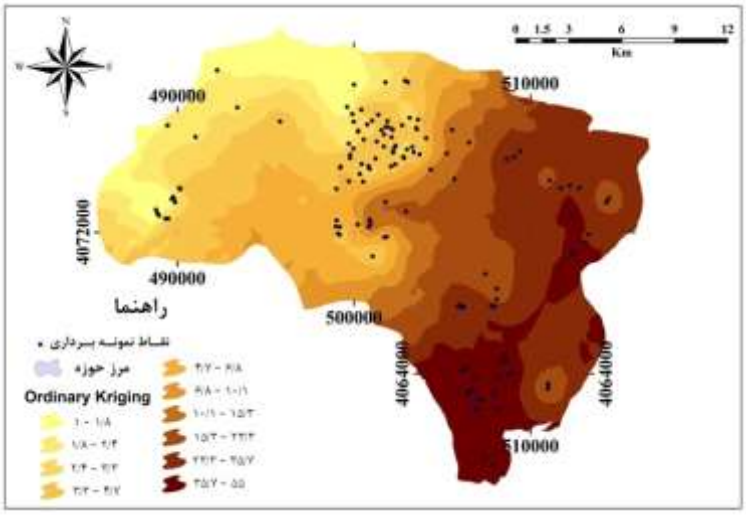
متغیرها	IDW	GPI	LPI	RBF	Kriging	روش تخمین انتخابی با توجه به RMSE کم‌تر	مدل انتخابی
pH	۰/۲٤۵	۰/۲۵۵	۰/۲۵۹	۰/۲۳٤	۰/۲۵۵	RBF	Spline With Tension
TDS (mg/l)	۳۳/۵۳	۳٤/۳۷	۳۳/۲۹	۳۳/۲	۳۲/۹٤	Kriging	Exponential
Ca (mg/)	۱۰/۸۸	۱۱/۷۲	۱۱/۷۵	۱۰/۷۵	۱۱/۲۲	RBF	Spline With Tension
Mg (mg/l)	۱۰/۰۳	۱۰/۷۱	۹/۹	۹/۷۷	۹/۹۷	RBF	Spline With Tension
TH (mg/l)	٤۲/۸٤	٤۳/۹	٤۲/۲۹	٤۲/۰۱	٤۲/۲۲	RBF	Spline With Tension
Na (mg/l)	۲۷/۵۵	۳۰/۸۳	۲۹/۰۵	۲۷/۷۸	۲۷/٦۲	IDW	Power 2
No_3 (mg/l)	٤/٦	٦/۱	٤/٤	٤/۷	٤/۲	Kriging	Exponential

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]



شکل ٤: پهنه‌بندی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی منطقه

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]



ادامه شکل ٤: پهنه‌بندی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی منطقه

فراوانی نسبی غلظت نیترات (جدول ٤) در منطقه پیرانشهر نشان می‌دهد که ۲۹/٦٦ درصد از نمونه‌ها تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی (غلظت بیش از ۱۵ میلی‌گرم در لیتر) بوده‌اند و تنها ۱/۳۸ درصد از نمونه‌ها دارای غلظت بیش‌تر از مقدار توصیه شده WHO (۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) بودند. بررسی نمونه‌ها نشان داد که ۹٦/۵۵ ٪ نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه دارای غلظت کم‌تر از مقدار توصیه شده EPA (٤۵ میلی‌گرم بر لیتر) بودند و بنابراین ۳/٤۵٪ نمونه‌ها آلوده بودند که بیش‌تر در بخش جنوبی منطقه قرار داشتند. بنابراین آلودگی این مناطق می‌تواند در ارتباط با مصرف بالای کودهای نیتراته (با توجه به فعالیت‌های گسترده کشاورزی در این مناطق) باشد. بررسی روند تغییرات مکانی در حوضه مورد مطالعه نیز نشان می‌دهد که غلظت نیترات از غرب به شرق حوضه و در راستای شمالی–جنوبی افزایش پیدا کرده است که تمرکز زمین‌های کشاورزی و اراضی بایر نیز در شرق و جنوب منطقه واقع شده است.

جدول ٤- فراوانی نسبی غلظت نیترات در آب زیرزمینی قبل از فصل برداشت

فراوانی نسبی ٪	فراوانی	غلظت نیترات (mg/l)
۵۷/۹۳	۸٤	۵ -۰
۱۱/۰۳	۱٦	۱۵ -۵
٤/۸۳	۷	۲۵ -۱۵
۲۲/۷٦	۳۳	٤۵ -۲۵
۲/۰۷	۳	۵۰ -٤۵
۳۸/۱	۲	>۵۰

یافته‌ها و بحث

در این مقاله از روش‌های زمین‌آماری عکس فاصله با توان (۱ تا ٤)، توابع شعاعی (با پنج تابع کرنل)، تخمین‌گر موضعی (GPI) با توان (۱ تا ۳)، تخمین‌گر عام (LPI) با توان (۱ تا ۳) و روش کریجینگ معمولی (Ordinary

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

Kriging) مدل‌های کروی، گوسی، نمایی) در نرم‌افزار Arc GIS مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که پارامترهای pH, Ca, Mg, TH با استفاده از روش تخمین گر توابع شعاعی و پارامتر Na با استفاده از روش عکس فاصله و پارامتر TDS با استفاده از کریجینگ نمایی و No_3 با استفاده از کریجینگ معمولی کم‌ترین مقدار RMSE را داشته‌اند و جهت تهیه نقشه توزیع مکانی پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی از این روش‌ها استفاده شد. با توجه به استانداردهای موسسه استاندارد و تحقیقاتی صنعتی ایران (ISIRI)، کیفیت آب‌ها به سه طبقه مطلوب، مجاز و نامطلوب تقسیم شد و نقشه پارامترها به‌دست آمد. نتایج نقشه‌های به‌دست آمده از زمین‌آمار نشان داد که همه پارامترها به جز دو پارامتر سدیم و سختی، در کل منطقه برای شرب بدون محدودیت هستند. البته مقدار پارامترها نزدیک به محدوده مجاز بوده که نشان‌دهنده پیش‌روی کیفیت آب به سمت نامطلوب است. دو پارامتر سدیم (غرب، شرق و جنوب شرقی)، سختی (شرق حوضه) در محدوده مجاز قرار دارند. این نتایج نشان می‌دهد که آب منطقه به سمت کیفیت نامطلوب پیش می‌رود که نتیجه برداشت بیش از حد برای کشاورزی منطقه است. البته در مورد مقادیر بالای سختی می‌توان گفت با توجه به این‌که بیش‌تر چشمه‌های نمونه‌برداری شده در منطقه کوهستانی واقع شده‌اند و در این مناطق مقدار سختی بالا می‌باشد (Mahdavi, 2009: 441) توجیه پذیر می‌باشد. بیش‌تر زمین‌های کشاورزی منطقه نیز در شرق و جنوب‌شرقی واقع شده‌اند که بخش کم شیب حوضه را تشکیل می‌دهد و نفوذ آب‌های آبیاری در این محل بیش‌تر، در نتیجه کاهش کیفیت آب را به دنبال دارد. نتایج این بررسی نشان می‌دهند که غلظت نیترات بیش از ۴۳٪ از نمونه‌ها بالاتر از ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر بوده است و نشان دهنده اثرات بالای فعالیت‌های انسانی بر غلظت نیترات (Shabani, 2012: 83; (McLay et al, 2001: 191; Anayah et al, 2009: 588 در منطقه مورد مطالعه است. نتایج این تحقیق روش کریجینگ را به عنوان بهترین روش جهت پهنه‌بندی نیترات معرفی می‌کند و بر کارایی بالای روش کریجینگ منطبق با نتایج Shabani (2012)، Najafpour et al (2017) و Mohammadyari et al (2017) همسو است. نتایج این تحقیق با نتایج تحقیق Askari et al (2009) که روش RBF را به عنوان بهترین روش معرفی می‌کند و نتایج تحقیق Marofi et al (2009) و Chetsazan et al (2008) که روش عکس فاصله را به‌عنوان بهترین روش معرفی می‌کنند مطابقت دارد. تفاوت در نوع روش انتخابی در مناطق مختلف دنیا نشان از تغییرپذیری روش‌ها دارد که باید توجه داشت در هر منطقه برای پارامترهای مختلف روش‌های مختلف جهت پهنه‌بندی مورد استفاده قرار بگیرد.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به‌دست آمده روش‌های زمین‌آماری با توجه به مطالعات قبلی و این مطالعه توانایی قابل ملاحظه‌ای در تحلیل مکانی خصوصیات آب زیرزمینی و پهنه‌بندی کیفیت آن دارند. نبود اطلاعات معتبر در کیفیت آب زیرزمینی معمولاً برای پایش کیفی منابع آب زیرزمینی محدودیتی جدی است. توسعه سامانه اطلاعات جغرافیایی در برنامه‌های مختلف آب شرب امری ضروری می‌باشد. نمونه‌برداری آب شرب و پایش آن باید در طراحی برنامه‌ها، اجرا و ارزیابی

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

به‌عنوان عنصر اولیه قرار گیرد. سیستم اطلاعات جغرافیایی بر اساس الگوی کیفیت آب زیرزمینی با شناخت الگوهای شیمیایی، در تفهیم فرآیندهای ژئوشیمیایی منطقه استفاده و می‌تواند برای مدیریت سلامت عمومی مورد استفاده قرار گیرد. بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که آب زیرزمینی حوضه پیرانشهر تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی و به‌ویژه فعالیت های کشاورزی بوده است. البته ۵۷٪ از نمونه‌ها دارای غلظت بین صفر تا ۵ میلی‌متر با کاربری مرتع خوب هستند که در ارتفاعات بالا واقع شده‌اند و دور از دسترس فعالیت‌های کشاورزی هستند. در مناطق کشاورزی به ویژه مناطق دارای بیش‌ترین آلودگی نیترات، با دادن آگاهی به کشاورزان در زمینه آلودگی آب‌های زیرزمینی در اثر استفاده بیش از حد از کودهای شیمیایی نیتروژن‌دار و یا جایگزین کردن کودهای دیرحل یا غیرنیتراتی، از آلوده شدن بیش از حد این منابع جلوگیری شود. پیشنهاد می‌شود که در انجام امور مربوط به آب زیرزمینی (پهنه‌بندی، بررسی زون تغییرات مکانی و زمانی و ...) از روش‌های درون‌یابی به خصوص زمین‌آمار استفاده شود.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

References

- Abdolghaderi Bookani, N., Hojjat, S. A., Ale sheikh, A. A., (2006), "Modeling of groundwater contaminants using statistical analysis (case study: Shiraz Town)", ***10th Symposium of Iran Geology Council, Tehran, Iran Topography Organization, September 4-6***, Tehran, 9 p. [In Persian]
- 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. [In Persian].
- Akbari, M., Jarge, M. R., Madani Sadat, H., (2009), "Assessment of decreasing of groundwater-table using Geographic Information System (GIS), Case study: Mashhad Plain Aquifer", ***J. of Water and Soil Conservation,*** 16 (4): 63-78. [In Persian].
- Anayah, F. M., Almasri, M. N., (2009), "Trends and occurrences of nitrate in the groundwater of the WestBank, Palestine", ***Applied Geography***, 29: 588-601
- Askari, M., Mosaedi, A., Dehghani, A. A., Meftah Halghi., M., (2009), "Application of geostatistics and GIS analysis, in study of groundwater quality spatial variability, Case study: Qazvin aquifer, Iran", ***1st International Conference on Water Resources: Emphasis on Regional Development, August 15-17, Shahroud, 2009***, 6 p. [In Persian].
- Chandrasekharan, H., Sarangi, A., Nagarajan, M., Singha, V. P. Rao, D. U. M. Stalin, k. Natarajan, K. and Chandrasekharan, B., Anbazhagan, S., (2009), "Variability of soil–water quality due to Tsunami-2004 in the coastal belt of Nagapattinam district", ***Tamilnadu. Journal of Environmental Management***, 89: 63-72.
- Chetsazan, M., Ranghzan, K., Doraninejad, M., (2008), "Zoning of hydrogeochemical rare earth elements, Manganese, Arsenic, iron using GIS in aquifer of Maydavod, Khozestan province Plain, Iran", ***11th Symposium of Geological Society of Iran, Ferdowsi. University Mashad, September 3-6***, 10 p. [In Persian].
- Daliri, M., Boustnian, M., Afrasyab, P., (2016), "Spatial and temporal variability and zonation of groundwater the Kohpaye-saghzi aquifer, Esfahan Province", ***Journal of Geograpical Space***, 15 (52): 305-324. [In Persian].
- Daniels, B., Mesner, N., (2005), "***Safe drinking water in Utah, Nitrate***", [on line]: http://thomsonscientific.com).
- DuNing, X., LI, X., Y., Song, D., Yang, G., (2007), "Temporal and spatial dynamical simulation of groundwater characteristics in Minqin Oasis", ***Sci China Ser D***: Earth Sci, 50: 261-273.
- Elias Azar, K. H., (2002), "***Rehabilitation of saline and sodic soils (soil and water management)***", Urmia: Urmia Jihad University publications, 330 p. [In Persian].
- Ghalib, H. B., (2017), "Groundwater chemistry evaluation for drinking and irrigation utilities in east Wasit province, Central Iraq", ***Appl Water Sci***, 7: 3447-3467.
- Hasani Pak, A. A., (1998), "**Geostatistics**", Tehran University Press, Tehran, 330 p. [In Persian].
- ISIRI 2441, (2005), "Natural mineral water-specifications institute of standard and industrial research of Iran", First revision, [on line]: www.isiri.org.
- ISIRI 6694, (2003), "Water-Packaged (bottled) drinking waters-Specifications Institute of Standard and Industrial Research of Iran. First revision", [on line]: www.isiri.org.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

- Jong Yeon, H., Sunhwa, P., Hyun-Koo, K., Moon-Su, K., Hun-Je, J., Ji-In, K., Gyeong-Mi, L., In-Kyu, S., Tae-Seung, K., (2017), "Hydrochemistry for the Assessment of Groundwater Quality in Korea", ***Journal of Agricultural Chemistry and Environment***, 6: 1-29.
- Kathy, P., (2005), "Water recreation and disease plausibility of associated infections: Acute effects, sequelae and mortality", ***World Health Organization in UK***, 260 p.
- Mahdavi, M., (2009), "***Applied hydrology***", Vol. 2, 2nd Ed, Tehran**,** University of Tehran Press. 441 p. [In Persian].
- Makkasap, T., Satapanajaru, T., (2010), "***Spatial distribution of Cd, Zn and Hg in groundwater at Rayong Province, Thailand***", World Academy of Science, 72 p.
- Malekian, A., Mirdashtvan, M., (2015), "Assessing groundwater quality for domestic and agricultural use using geostatistics analysis", ***Journal of Range and Watershed Management (Iranian Journal of Natural Resources***), 68 (4): 809-820. [In Persian].
- Marofi, S., Toranjeyan, A., Zare Abyane., H., (2009), "Evaluation of geostatistical methods for estimating electrical conductivity and pH of stream drained water in Hamedan-Bahar Plain", ***J. of Water and Soil Conservation***, 16 (2): 169-187. [In Persian].
- McLay, C. D. A., Dragten, R., Sparling, G., Selvarajah, N., (2001), "Predicting groundwater nitrate concentrations in a region of mixed agricultural land use a comparison of three approaches", ***Environmental Pollution***, 115: 191-204.
- Mohammadyari, F., Aghdar, H., Basiri, R., (2017), "Zoning groundwater quality for drinking using geo-statistical methods Case Study: Arid Regions in Mehran and Dehloran", ***Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)***, 26 (101): 199-208. [In Persian].
- Nagarajan, R., Rajmohan, N., Mahendran, U., Senthamilkumar, S., (2010), "Evaluation of groundwater quality and its suitability for drinking and agricultural use in Thanjavur city, Tamil Nadu, India", ***Environ Monit Assess***, 171: 289-308.
- Najafpour, N., Torabi Pudeh, H., Yonesi, H. A., (2017), "Evaluation of GIS and interpolation methods in determination of spatial distribution and classified groundwater quality", ***Iranian water research resource***, 13 (3): 1-9. [In Persian].
- Nas, B., (2009), "Geostatistical approach to assessment of spatial distribution of groundwater quality", ***Polish J. of Environ. Stud***, 18: 1073-1082.
- Rahelinamin, R., Mohseni, B., (2017), "A review of groundwater Nitrate and Phosphate place changes and identify the most important factors of pollution through the evaluation of the methods of the Kriging and Co- Kriging series, and multiple regression model in watershed of Golestan province Gharahsoo", ***Journal of Geograpical Space***, 17 (59) :311-330. [In Persian].
- Rostami Khalaj, M., Mohseni Saravi, M., Afsharnia, R., Hesami, D., (2011), "Chemical spatial distribution of groundwater using specific methods: Case study: Mashhad city", 7th National Seminar on Watershed Management, Esfahan University, April 4 , 2011, Esfahan, 9 p. [In Persian].
- Shabani, M., (2011), "Assessment of geostatistical methods for zonation and product of groundwater quality maps case of study area Neiriz Plain Fars Province", ***Journal of Natural Geography Lar***, 13: 83-96. [In Persian].
- Siska, P. P., Hung, K., (2001), "Assessment of kriging accuracy in the GIS environment", 21st Annual ESRI International Conference, San Diego, July 9-13, pp 378-386.
- US EPA (Environmental Protection Agency), (1990), "Estimated national occurrence and exposure to nitrate/nitrite in public drinking water supplies", ***Washington, DC: U. S. Environmental Protection Agency***.
[on line]: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK231046/.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

- WHO (World Health Organization), (2006), "***Guidelines for drinking-water quality [Electronic Resource]: incorporating first addendum***", World Health Organization. Geneva Switzerland volume. 1, Recommendations, 3rd edition, 595 p. [on line]: http://www.who.int/water_sanitation_health /dwq/gdwq0506.pdf).
- Zamzam, A., Rahnama, M. B., (2009), "Chemical quality assessment of Rafsanjan plain's groundwater using Schoeller and Wilcox diagrams", The first International Conference on Water Resources, August 15-17, 2009, Shahroud,7 p. [In Persian].
- Zehtabian, G. H., Janfaza, E., Mohammad Asgari, H., Nematollahi, M. J., (2010), "Modeling of ground water spatial distribution for some chemical properties: Case study in Garmsar watershed", ***Iranian journal of Range and Desert Reseach***, 17 (1): 61-73. [In Persian].
- Ziarani Ghasemi, E., Faryadi, Sh., shekh Kazemi, S. H., (2007), "Zoning of Karaj damwatershed's polluting potentials using GIS", 1st Conference of Environmental Engineering, January 21, 2007, Tehran,10 p. [In Persian].

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]