دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

مقایسه روش‌های قطعی و زمین‌آمار در تعیین تغییرات مکانی نیتراتِ دشت قائم‌شهر- جویبار

رضا رودگر ایرائی[۱]، محمدعلی غلامی سفیدکوهی[۲] و جمال عباس پلنگی[۳]

۱ و ۳ – دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و دکتری آبیاری و زهکشی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۲- دانشیار گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، (نویسنده مسوول: ma.gholami@sanru.ac.ir)
تاریخ دریافت: ۹۶/۱/۱۹ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۰/۱۰
صفحه: ۱۵۸ تا ۱۶۷

چکیده

نیترات از جمله مهم‌ترین آلاینده‌های منابع آب سطحی و زیرزمینی می‌باشد، که اثرات نامطلوبی بر سلامت مصرف‌کنندگان دارد. بدلیل نبود زمان کافی و بودجه مورد نیاز، در عمل امکان نمونه‌برداری کامل و به موقع از تمام چاه‌های موجود در هر منطقه ممکن نیست. بنابراین تخمین میزان نیترات در نقاط مشخص براساس اطلاعات نقاط هم‌جوار از اهمیت ویژه‌ای در مطالعات آب‌های زیرزمینی برخوردار است. در این پژوهش از داده‌های ۵۵ حلقه چاهک مشاهده‌ای در سطح ۹۰۲ کیلومتر مربع از اراضی دشت قائم‌شهر- جویبار استفاده شد. دقت روش‌های قطعی و زمین‌آمار به‌منظور تعیین مناسب‌ترین روش برای تعیین تغییرات مکانی نیترات مورد ارزیابی قرار گرفت. از میان تمامی روش‌های میان‌یابی، کوکریجینگ ساده با متغیر کمکی کلسیم، مناسب‌ترین روش تشخیص داده شد. مقدار RMSE در این روش، ۷/۴۵ میلی‌گرم در لیتر، MAE معادل ۵/۹۵ میلی‌گرم در لیتر و ضریب تعیین ۰/۴۷ حاصل شد. مدل نیم‌تغییرنما J-Bessel نیز از قوی‌ترین ساختار مکانی برخوردار بود. استفاده از نقشه کاربری اراضی استان مازندران در محدوده مورد پژوهش نیز، نشان از مقادیر بالای نیترات در محدوده شهری دارد. یافته‌ها نشان داد، بیشترین آلودگی نیترات در شهر بهنمیر و از نواحی ساحلی دریای خزر می‌باشد و در تمامی نواحی در حد مجاز قرار دارد.

واژه‌های کلیدی: درون‌یابی، کریجینگ، کاربری اراضی

مقدمه

در اکثر شهرها و روستاهای ایران آب زیرزمینی اصلی‌ترین منبع آب شرب می‌باشد و آلودگی نیترات به عنوان یکی از شایع‌ترین آلودگی‌های آب زیرزمینی در ایران سلامت مردم را تهدید می‌کند. آلودگی آب‌های زیرزمینی یا از طریق منابع نقطه‌ای مثل چاه‌های جذبی فاضلاب یا از طریق منابع غیرنقطه‌ای مانند مصرف کودهای نیتراته در مزارع کشاورزی صورت می‌پذیرد (۱). به‌علت قابلیت انحلال بالا، نیترات به راحتی بوسیله آب از لایه‌های مختلف خاک عبور کرده و به سفره‌های آب زیرزمینی راه می‌یابد. در بیشتر مطالعات علت بالا بودن میزان نیترات، نبود شبکه جمع‌آوری فاضلاب و تخلیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی به منابع آب و فعالیت‌های کشاورزی توام با مصرف بی‌رویه کودهای حیوانی و شیمیایی عنوان شده است. بررسی تحقیقات انجام شده در استان مازندران نیز روند افزایشی مقدار نیترات در آبهای زیرزمینی را در سال‌های اخیر نشان می‌دهد (۲). بنابراین کنترل کیفی آب‌های زیرزمینی از حساسیت‌های بالایی برخوردار است زیرا بر سلامت انسان‌ها و حفظ محیط زیست تاثیر بسزایی دارد. در این بین، کنترل میزان آلاینده‌ها به‌ویژه نیترات، از اهمیت زیادی برخوردار است.

پایش کیفی آب‌های زیرزمینی بدلیل محدودیت‌های مختلفی که وجود دارد از پیچیدگی‌های خاصی برخوردار است. آزمایش منابع آب آشامیدنی از نظر مقدار یون نیترات باید سالی سه بار انجام پذیرد و لازم است تغییرات سالیانه کیفیت آب شرب مورد پایش قرار گیرد (۱). برای تعیین توزیع مکانی و زمانی کیفیت آب‌های زیرزمینی، استفاده از روش‌های درون‌یابی در بسیاری از مسائل علوم آب کاربرد دارد (۲۴).

رواج استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) به استفاده گسترده‌تر از این روش‌ها کمک کرده است، زیرا امکان استفاده از این روش‌ها در بسیاری از نرم‌افزارهای GIS نظیر ArcGIS وجود دارد و می‌توان با استفاده از این روش‌ها و با دقت مناسب نقشه‌ها را ترسیم کرد.

درون‌یابی روش برآورد ارزش پدیده‌ها در مکان‌های نمونه برداری نشده با استفاده از مقادیر معلوم در نقاط همسایه است. میزان صحت نتایج درون‌یابی به دقت مکانی، تعداد و توزیع نقاط معلوم و مدل مورد استفاده بستگی دارد. روش‌های درون‌یابی به دو دسته روش‌های قطعی[۱] و زمین‌آمار[۲] تقسیم می‌شوند. روش‌های قطعی بر نقاط اندازه‌گیری شده متکی است و برای درون‌یابی از توابع ریاضی استفاده می‌کند. این روش فرض می‌کند که تخمین پدیده مورد نظر قطعی انجام می‌شود و با خطا مواجه نیست. وزن‌دهی عکس فاصله[۳]، چند جمله‌ای سراسری[۴]، توابع شعاع محور[۵] و چند جمله‌ای محلی[۶] از مهم‌ترین انواع درون‌یابی قطعی هستند (۸).

در زمین‌آمار می‌توان بین مقادیر یک کمیت در جامعه نمونه‌ها و فاصله و جهت قرار گرفتن نمونه‌ها نسبت به هم ارتباط برقرار کرد. در آمار کلاسیک فرض می‌شود که تغییرپذیری یک متغیر تصادفی است، در صورتی که در زمین‌آمار بخشی از آن تصادفی و بخش دیگر آن دارای ساختار و تابع فاصله و جهت می‌باشد. روش کریجینگ یک روش تخمین زمین‌آماری است که بر منطق میانگین متحرک وزن دار استوار می‌باشد. می‌توان این روش را به عنوان بهترین تخمین‌گر خطی نااریب محسوب کرد (۴).

بررسی اولیه توسط هوشنگی (۱۰) بر روی شبکه پایش آب زیرزمینی حاکی از آن است که این شبکه‌ها نمی‌توانند

1- Deterministic 2- Geostatistics 3- Inverse Distance Weighting (IDW) 4- Global Polynomial (GP)
5- Radial Basis Functions (RBF) 6- Local Polynomial (LP)

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-23]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.20.4.9]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.20.158]

پاسخگوی استفاده مستقیم آنها در درون‌یابی باشند، بنابراین در صورت استفاده‌ی مستقیم از داده‌های این شبکه‌ها در روش‌های درون‌یابی، خطای پهنه‌بندی زیاد می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که اجرا و بهره‌گیری صحیح از هر روش، نیازمند بهینه کردن پارامترهای آن می‌باشد که موجب همگرایی ۸ الی ۲۰ درصدی نتایج روش‌های مختلف می‌شود (۱۰).

واروچاکیس و هریستوپولوس (۲۳) نشان دادند در حوضه‌هایی که تعداد نمونه (نقاط اندازه‌گیری) آنها کم است، روش کریجینگ معمولی در مقایسه با روش‌های قطعی نتایج دقیق‌تر و خطوط کنتور هموارتر برای تهیه نقشه تغییرات فضایی سطح آب زیرزمینی فراهم می‌کند.

نجاتی جهرمی و همکاران (۱۷) به بررسی زمین‌آماری توزیع نیترات در آبخوان آبرفتی دشت عقیلی پرداختند. درون‌یابی بین داده های نیترات با استفاده از درون‌یاب‌های مختلف کریجینگ و همچنین با استفاده از روش وزن معکوس فاصله با توان‌های مختلف انجام گرفت. بررسی نتایج تجزیه‌ی شیمیایی توسط روش‌های مختلف زمین‌آمار نشان داد که مدل کروی به عنوان بهترین مدل برازش شده بر مشاهدات بوده و کریجینگ معمولی بهترین درونیاب، جهت بررسی مکانی نیترات محلول در آبخوان دشت عقیلی می‌باشد. اکبرزاده و قهرمان (۱)، به‌منظور تعیین شبکه بهینه پایش نیترات منابع آب زیرزمینی دشت مشهد پژوهشی انجام دادند که در آن از روش‌های کریجینگ برای برآورد نقاط فاقد مشاهده و اعتبار سنجی شبکه بهینه استفاده نمودند. در این پژوهش کریجینگ برونی به عنوان کریجینگ برتر انتخاب شد. فتحی و همکاران (۶) برای پهنه‌بندی نیترات در آب‌های زیرزمینی شهرکرد از روش‌های مختلف درون‌یابی استفاده کردند که روش کریجینگ معمولی به‌عنوان بهترین روش انتخاب شد. نادی و همکاران (۱۴) با هدف بررسی تغییرات مکانی نیترات، پژوهشی را بر روی ۴۰ حلقه چاه در بخش مرکزی شهرستان خدابنده، انجام دادند. بهترین مدل تغییرنما مدل نمایی و بهترین روش میان‌یابی، کریجینگ بود.

دیگوستینو و همکاران (۴) به بررسی تغییرات زمانی و مکانی نیترات به کمک روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ در آب‌های زیرزمینی پرداختند. نتایج ایشان نشان داد که روش کوکریجینگ باعث افزایش دقت در برآورد غلظت نیترات شده است. فیلیپو و همکاران (۷) با نمونه‌گیری از ۲۴۳ حلقه چاه به ارزیابی آلودگی نیتراتی در آبخوان گرندمارین در فرانسه، به وسعت ۲۷۰۰ کیلومتر مربع پرداختند. مدل واریوگرام کروی با دامنه تاثیر ۲۰۰۰ متر بهترین برازش را برای غلظت نیترات آب‌های زیرزمینی داشت.

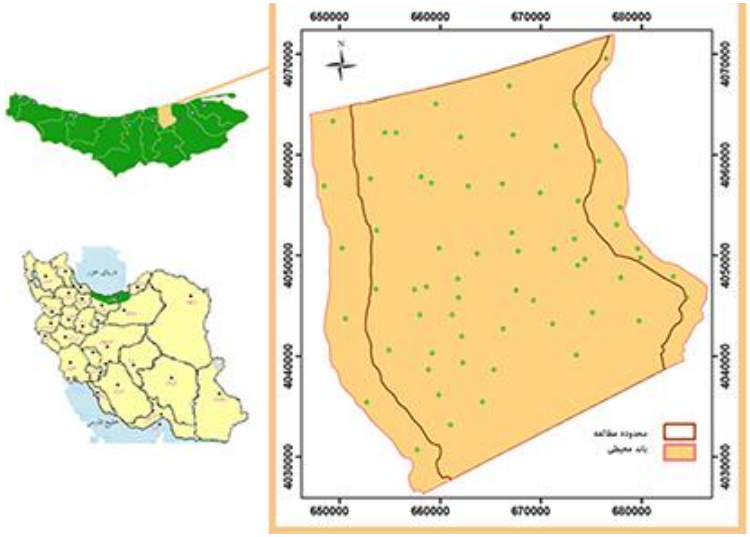
فتانی و همکاران (۶) در مطالعه کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت‌های کشاورزی تریفا در شمال شرق مراکش از نظر غلظت نیترات آمونیوم از روش کریجینگ معمولی برای مطالعه و پهنه‌بندی نقشه کیفی آب‌های زیرزمینی استفاده نمودند. اویان وکی (۲۲) برای پهنه‌بندی غلظت نیترات آب زیرزمینی شهر قونیه واقع در کشور ترکیه از روش کریجینگ استفاده کردند. داده های غلظت نیترات آب زیرزمینی از یک مدل واریوگرام کروی پیروی کرده و دارای وابستگی مکانی متوسطی (۶۰ درصد) بودند. براساس نقشه توزیع مکانی آلودگی نیترات در آب زیرزمینی، بیشترین غلظت نیترات در مرکز شهر احتمالا به دلیل وجود مراکز صنعتی بود.

این پژوهش به منظور بررسی تغییرات مکانی نیترات و ارزیابی تحلیل دقت روش‌های زمین‌آمار و قطعی و تهیه نقشه پهنه‌بندی پارامتر کیفی نیترات در دشت قائم‌شهر-جویبار، انجام شد. همچنین با تدقیق نقشه پهنه‌بندی با لایه کاربری اراضی، تاثیر نوع کاربری اراضی بر روی میزان نیترات مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

محدوده مورد پژوهش دشت قائم‌شهر-جویبار در استان مازندران می‌باشد. این دشت از شمال به دریای خزر، از جنوب به شهرستان قائم‌شهر و رشته کوه البرز، از شرق به شهرستان‌های ساری و جویبار و از غرب به شهرستان‌های بابل و بابلسر متصل می‌گردد. اراضی دشت قائم‌شهر- جویبار از لحاظ اقلیمی جزو مناطق مرطوب به شمار می‌رود. بخش عمده اراضی کشاورزی این محدوده زیر کشت برنج و باغ‌های مرکبات می‌باشد. وسعت این اراضی برابر ۹۰۲ کیلومتر مربع و از ۵۵ حلقه چاه موجود در محدوده پژوهش، نمونه‌گیری شده است. شکل (۱) محدوده پژوهش و موقعیت چاه‌های نمونه‌برداری شده را نشان می‌دهد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-23]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.20.4.9]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.20.158]



شکل ۱- محدوده پژوهش و موقعیت چاه‌های نمونه‌برداری
Figure 1. Research Area and location of sampled wells

اطلاعات مکانی و مشخصات کیفی آب شامل سولفات، نیترات، کلر، کربنات، بیکربنات، سدیم، پتاسیم، منیزیم، کلسیم، مجموع آنیون‌ها، مجموع کاتیون‌ها و قابلیت هدایت الکتریکی(شوری) چاه‌های نمونه‌برداری موجود، از شرکت آب منطقه‌ای مازندران دریافت شد. در این پژوهش از میانگین داده‌های نیترات اندازه‌گیری شده در فصل بهار از سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵ استفاده شد. برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها از نرم‌افزار SPSS 22 و به‌منظور بررسی ویژگی‌های زمین‌آماری و درون‌یابی داده‌ها از محیط نرم افزار ArcGIS10.3 استفاده شد. برای بررسی وجود داده‌های پرت از روش هاینینگ (۹) استفاده شد. بدین ترتیب اگر Z(x,t) مقدار نیترات در یک چاه باشد، در صورتی که در دامنه مقدار روابط ۱ و ۲ قرار گیرد، داده پرت تلقی می‌شود.

$$Z(x,t)<QL-1.5(QU-QL) \quad (۱)$$

و یا

$$Z(x,t)>QU+1.5(QU-QL) \quad (۲)$$

در این فرمول QU چارک بالا و QL چارک پایین می‌باشد.
برای استفاده از روش‌های کوکریجینگ باید همبستگی متغیر اصلی نیترات با متغیر کمکی دیگر بررسی شود. بر این اساس، ضریب همبستگی پیرسون بین پارامتر نیترات با سایر پارامترهای کیفی مشاهده شده، در سطح معنی‌داری ۵ درصد آزمون شد.

روش‌های میان‌یابی

روش چند جمله‌ای فراگیر[1] یک معادله چند جمله‌ای را به یک سطح واحد پیوسته برازش می‌کند. در روش چندجمله‌ای محلی[2] بر یک سطح پیوسته چند معادله چند جمله‌ای برازش می‌شود. به بیانی دیگر تغییرات پدیده مورد نظر با یک معادله ساخته نمی‌شود. توابع شعاع محور[3] یک‌سری از تکنیک‌های دقیق درون‌یابی هستند؛ به این معنا که، سطح باید در خلال هر یک از مقادیر نمونه اندازه‌گیری شده تطبیق یابد.

در روش وزن معکوس فاصله[4] نیازی به تعیین الگوی تغییرات مکانی یعنی تغییرنما نیست. معکوس فاصله یک وزن‌دهی متوسط بوده که در آن داده‌ها از طریق رابطه انحراف معیار یک نقطه از سایر نقاط با استفاده از گره‌های شبکه‌بندی شده، وزن‌دهی می‌شوند (۲۱). در این روش وزن‌ها تنها با توجه به فاصله هر نقطه معلوم نسبت به نقطه مجهول و بدون توجه به نحوه پراکندگی نقاط حول نقطه مورد تخمین، تعیین می‌شوند. به نقاط نزدیک‌تر وزن بیشتر و به نقاط دورتر وزن کمتری داده می‌شود (۵). معادله این روش به شکل زیر است:

$$Z(s_o) = \sum_{i=1}^{N} \lambda i * Z(s_i) \quad (۳)$$

که در آن $Z(s_i)$ مقدار اندازه‌گیری شده در موقعیت i، λi وزن مقدار اندازه گیری شده در موقعیت i، s_o موقعیت پیش‌بینی و N تعداد نقاط اندازه‌گیری شده می‌باشد (۸).
روش کریجینگ و کوکریجینگ بر اساس تعریف واریوگرام استوار است و موفقیت روش، به انتخاب مدل مناسب یا بهینه‌ی واریوگرام بستگی دارد (۲۱). واریانسی را که وابسته به فاصله است را واریوگرام یا تغییرنما می‌نامند. واریوگرام در واقع واریانس مقدار یک کمیت در دو نقطه به فاصله h است. البته در عمل از نیم‌تغییرنما[5] برای بررسی تغییرات مکانی استفاده می‌شود.

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{\alpha=1}^{N(h)} \{z(u\alpha) - z(u\alpha + h)\}^2 \quad (۴)$$

N(h)، تعداد جفت نقاطی است که به فاصله h از یکدیگر قرار دارند و $z(u_\alpha)$ و $z(u_\alpha+h)$ مقادیر متغیر در دو نقطه به فاصله h از هم می‌باشد. از واریوگرام، برای محاسبه وزن در روش کریجینگ استفاده می‌شود. معادله کریجینگ به شکل زیر است.

$$F(x,y) = \sum_{i=1}^{n} Wi * fi) \quad (۵)$$

1- Global Polynomail Interpolation (GPI)
2- Local Polynomail Interpolation (LPI)
3- Radial Basis Functions (RBF)
4- inverse distance weighting (IDW)
5- Semivariogram

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-23]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.20.4.9]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.20.158]

که در آن F(x,y) مقدار تخمین زده شده شاخص در نقطه‌ای با مختصات x,y؛ n: تعداد نقاط اندازه‌گیری شده؛ w_i وزن نسبت داده شده به نقطه i و f_i مقادیر شاخص در نقطه اندازه‌گیری i است. مقدار وزن از طریق مدل واریوگرام تامین می‌شود.

روش کوکریجینگ یک حالت چند متغیره از کریجینگ است که براساس همبستگی موجود بین متغیر اصلی و متغیر کمکی به تخمین متغیر مورد نظر می‌پردازد. این ویژگی می‌تواند باعث دقت بیشتر تخمین و صرفه‌جویی در هزینه شود. تخمین‌گر کوکریجینگ هرگاه یک متغیر کمکی علاوه بر متغیر اصلی موجود باشد، مطابق معادله زیر محاسبه می‌شود (۳).

$$Z^*(u_0) = \sum_{i=1}^{n}\{ai.\, zv(ui) + bi.\, zw(ui)\} \quad (۶)$$

که در آن $Z^*(u_o)$ مقدار تخمین زده شده متغیر اصلی zv در موقعیت u_o، ai، وزن نسبت داده شده به مقدار مشاهده‌ای متغیر اصلی zv در موقعیت ui، bi: وزن نسبت داده شده به مقدار مشاهده‌ای متغیر کمکی zw در موقعیت ui و n تعداد مشاهدات در اطراف نقطه مورد تخمین می‌باشد (۳).

تعیین مدل تغییرنما پیش نیاز استفاده از برخی روش‌های درون‌یابی و پهنه‌بندی از جمله انواع کریجینگ و انواع کوکریجینگ است. مشخصه‌های واریوگرام مشتمل بر دامنه‌تاثیر[۱]، سقف[۲] و اثر قطعه‌ای[۳] می‌باشد (۱۸). مقدار نیم‌تغییرنما در فاصله صفر را اثر قطعه‌ای می‌گویند. در مقادیر بزرگی از فاصله، نیم‌تغییرنما به حد ثابتی می‌رسد که به آن سقف یا آستانه می‌گویند. فاصله‌ای که در آن نیم‌تغییرنما به آستانه می‌رسد و پس از آن ساختار مکانی وجود نخواهد داشت، دامنه تاثیر می‌نامند (۱۹).

استفاده از زمین‌آمار مستلزم بررسی وجود ساختار فضایی میان داده‌ها است. این امر توسط تجزیه و تحلیل نیم‌تغییرنما بررسی می‌شود. همچنین با استفاده از نیم‌تغییرنما می‌توان شعاع همبستگی متغیرها و وجود یا عدم وجود روند در داده‌ها را بررسی کرد. سپس مدل‌های مختلف نظری به نیم‌تغییرنماهای محاسبه شده برازش داده و مدل مناسب انتخاب و پارامترهای آن شامل اثر قطعه‌ای، دامنه تاثیر و سقف تعیین شد. اثر قطعه‌ای نشان دهنده مولفه تصادفی و بدون ساختار فضایی تغییرات یک متغیر می‌باشد در حالی که سقف کل تغییرات (تصادفی و غیرتصادفی) یک متغیر را نشان می‌دهد. دامنه تاثیر نیز نشان‌دهنده فاصله‌ای است که مقادیر متغیر مورد مطالعه در آن فاصله همبستگی فضایی دارند و به یک مقدار ثابت میل می‌کنند. مدل‌های برازش داده به نیم تغییرنمای تجربی، از طریق اعتبارسنجی متقاطع[۴]، مورد ارزیابی قرار گرفتند (۱۳). به این صورت که مدل‌های مختلف با پارامترهای متفاوت انتخاب و هر یک از مدل‌ها که پس از اجرا دارای کمترین خطای برآورد بود به عنوان مدل نیم‌تغییرنما انتخاب شد. برای ارزیابی کارایی روش‌های درون‌یابی با روش ارزیابی متقاطع از ضریب تعیین[۵] (R^2)، جذر میانگین مربعات خطا[۶] (RMSE) و میانگین خطای مطلق[۷] (MAE) استفاده شد.

$$AE = \frac{\sum_i^n |z(pi) - z(mi)|}{N} \quad (۷)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=}^n [z(pi) - z(mi)]^2}{n}} \quad (۸)$$

MAE: میانگین مطلق خطا، RMSE: ریشه میانگین مربعات خطا، Z(pi): مقادیر برآورد شده هر مولفه کیفی آب، Z(mi): مقادیر اندازه‌گیری شده هر مولفه کیفی آب، n تعداد نمونه‌ها می‌باشد.

نتایج و بحث

مقادیر نیترات اندازه گیری شده در محدوده، بین ۳/۰۳ تا ۴۵/۴ میلی‌گرم در لیتر با ضریب تغییرات ۰/۶۳ است (جدول ۱). در این پژوهش ۱۰ روش درون‌یابی بکار گرفته شد. برای تعیین بهترین تخمین در روش قطعی وزن معکوس فاصله، تعداد نقاط و شعاع همسایگی از روش اعتبارسنجی تقاطعی انجام شد. توان فاصله توسط نرم‌افزار بهینه شد. در روش چندجمله‌ای[۸] بین ۱ تا ۱۰ و در روش توابع شعاع محور، از عملکرد هسته[۹] مختلف و پارامتر هسته[۱۰] برابر ۰/۰۰۳۵ (بهینه) و در روش چند جمله‌ای‌محلی، چندجمله‌ای بین ۱ تا ۵ و پارامتر هسته مختلف، مورد ارزیابی قرار گرفت. در روش چندجمله‌ای فراگیر، از ترتیب چند جمله‌ای[۱۱] بین ۱ تا ۱۰ و در روش توابع شعاع‌محور، از عملکرد هسته[۱۲] مختلف و پارامتر هسته[۱۳] برابر ۰/۰۰۳۵ (بهینه) و در روش چند جمله‌ای‌محلی، چند جمله‌ای بین ۱ تا ۵ و پارامتر هسته مختلف، موردارزیابی قرار گرفت. جدول ۲ مقادیر شاخص‌های آماری بهترین مدل‌های روش درون‌یابی قطعی را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد از میان روش‌های قطعی، روش وزن معکوس فاصله با توان ۲/۰۸ و شعاع همسایگی ۱۶۲۰۰ متر و تعداد نقاط ۲۳ عدد و با جذر میانگین مربعات خطا معادل ۸/۸۹ از دقت بهتری نسبت به سایر روش‌های قطعی برخوردار است. مقادیر میانگین خطای مطلق ۷/۳۲ و ضریب تعیین پایین به میزان ۰/۲۴، نشان‌دهنده دقت نامناسب این روش و در مجموع روش‌های قطعی می‌باشد. روش توابع شعاع محور نیز از دقت مشابه و اندکی کمتر از روش وزن‌دهی معکوس فاصله برخوردار است. روش قطعی چندجمله‌ای فراگیر نیز با جذر میانگین مربعات خطا به مقدار ۱۰/۲۵ میلی گرم در لیتر و ضریب تعیین بسیار پایین به میزان ۰/۰۴ از کمترین دقت در بین روش‌های درون‌یابی قطعی برخوردار است.

1- Range of Influence
2- Sill)
3- Nugget Effect
4- cross validation
5- The coefficient of determination (R^2)
6- Root Mean Squared Error (RMSE)
7- Mean Absolute Error (MAE)
8- Order of polynomial
9- Kernel Function
10- Kernel Parameter
11- Order of polynomial
12- Kernel Function
13- Kernel Parameter

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-23]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.20.4.9]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.20.158]

جدول ۱- نتایج تجزیه آماری نیترات در دوره اندازه‌گیری

Table 1. Statistical analysis of measured nitrate

پارامتر	حداکثر میلی‌گرم در لیتر	حداقل میلی‌گرم در لیتر	میانگین میلی‌گرم در لیتر	میانه میلی‌گرم در لیتر	انحراف معیار میلی‌گرم در لیتر	چولگی	کشیدگی	ضریب تغییرات (درصد)
نیترات	۴۵/۴۰	۳/۰۳	۱۶/۳۸	۱۵/۵	۱۰/۲۶	۱/۰۳	۰/۸۳۱	۰/۶۳

جدول ۲- شاخص‌های آماری روش‌های درون‌یابی قطعی

Table 2. Interpolation methods definitive statistics

روش میان‌یابی	RMSE (mg/L)	MAE (mg/L)	R^2
وزن معکوس فاصله	۸/۸۹	۷/۳۲	۰/۲۴
چند جمله‌ای فراگیر	۱۰/۲۵	۷/۸۱	۰/۰۴
چند جمله‌ای محلی	۹/۵۷	۷/۴۵	۰/۱۲
توابع شعاع محور	۸/۹۴	۷/۱۸	۰/۲۳

از آنجا که آمار کلاسیک قادر به در نظر گرفتن توزیع مکانی مولفه‌های کیفیت آب‌های زیرزمینی نیست، زمین‌آمار به‌عنوان تکنیکی برای این هدف استفاده می‌شود(۱۶). شرط استفاده از زمین‌آمار، نرمال بودن داده‌ها است. بدین منظور از آزمون کولموگروف- اسمیرنوف استفاده شد. در سطح معنی‌داری ۰/۰۵، مقدار p-value برای نیترات برابر ۰/۲ بدست آمد. در نتیجه داده های نیترات دارای توزیع نرمال بوده است. همانطور که گفته شد برای استفاده از روش‌های کوکریجینگ باید از متغیر دیگری کمک گرفت. برای این منظور میزان همبستگی پارامتر نیترات با سایر پارامترهای اندازه‌گیری شده در نرم‌افزار SPSS محاسبه شد. نتایج نشان داد همبستگی پارامتر نیترات در سطح معنی‌داری ۵ درصد فقط با کلسیم معنی‌دار می‌باشد. بنابراین در روش کوکریجینگ از کلسیم به‌عنوان متغیر کمکی استفاده شد (جدول۳). بنابراین، آزمون کولموگروف-اسمیرنوف جهت بررسی نرمال بودن داده‌های کلسیم نیز انجام شد. در سطح معنی‌داری ۰/۰۵، مقدار p-value برای کلسیم برابر ۰/۰۰۱ بدست آمد. در نتیجه داده‌های کلسیم فاقد توزیع نرمال بوده است. برای نرمال کردن داده های کلسیم از روش لوگ نرمال استفاده شد و دوباره آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بعمل آمد. این‌بار مقدار p-value برابر ۰/۲ بدست آمد که در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ نرمال بودن داده‌ها تایید شد.

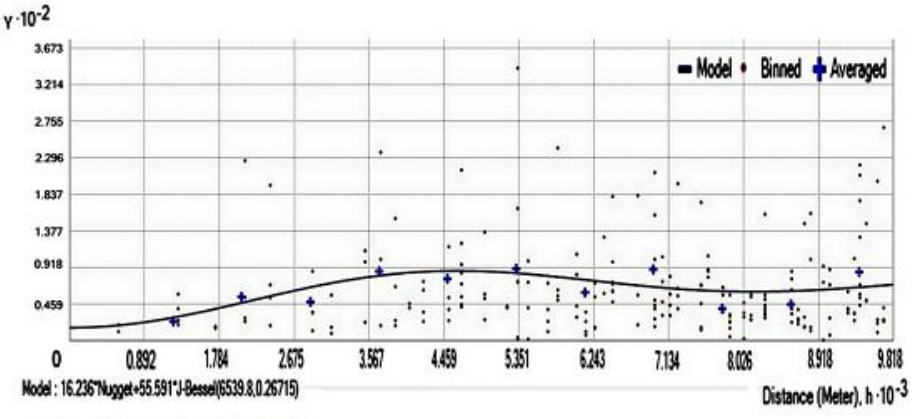
به‌منظور تعیین بهترین روش زمین‌آمار، عملیات واریوگرافی انجام شد. برای این منظور روش‌های کریجینگ معمولی، ساده و جهانی و روش کوکریجینگ انتخاب شدند. برای بررسی همسان‌گردی داده‌ها، در نرم‌افزار ArcGIS، نیم‌تغییرنمای تجربی ترسیم شد. نمودار نیم‌تغییرنما در جهات مختلف با زوایای صفر، ۴۵، ۹۰، و ۱۳۵ درجه ترسیم شد و همسان‌گردی داده‌ها تایید شد. وضعیت روند بر روی سه محور بررسی شد. برای داده‌های نیترات وجود روند تایید گردید، اما داده‌های کلسیم فاقد روند بود. بنابراین نیم‌تغییرنمای تجربی همسان‌گرد ترسیم و بهترین مدل تئوری به نقاط تجربی برازش داده شد. نتایج نهایی بهترین مدل نیم‌تغییرنمای تجربی روش زمین‌آمار در جدول۴ و مدل نیم‌تغییرنما مربوط به داده‌ها در شکل۲ نشان داده شد.

جدول ۳- نتایج آماری ضریب همبستگی نیترات با سایر پارامترها در دوره اندازه‌گیری

Table 3. Correlation coefficient nitrate with other parameter measured in period

		Ca	Mg	K	Na	EC	SAR	pH	Co3	Hco3	Cl	So4	No3
No3	Pearson Correlation	۱	۰/۱۸۶	۰/۲۶۳	۰/۱۳۲	۰/۶۵۰	۰/۲۰۴-	۰/۰۲۱	۰/۲۵۱	۰/۰۳۳	۰/۱۰۸	-	۰/۲۷۶*
	Sig. (2-tailed)		۰/۱۷۴	۰/۰۵۳	۰/۳۳۶	۰/۶۳۹	۰/۱۳۶	۰/۸۷۹	۰/۰۶۴	۰/۸۱۴	۰/۴۳۲	۰/۸۷۴	۰/۰۴۱
	N	۵۵	۵۵	۵۵	۵۵	۵۵	۵۵	۵۵	۵۵	۵۵	۵۵	۵۵	۵۵

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-23]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.20.4.9]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.20.158]



شکل۲- مدل نیم‌تغییرنما J-Bessel برای داده‌های نیترات
Figure 2. variogram J-Bessel models for data nitrate

جدول ۴- ویژگی‌های مناسب‌ترین مدل نیم‌تغییرنما

Table 4. The best semivariogram model characteristics

روش میان‌یابی	مدل	اثر قطعه‌ای (میلی‌گرم در لیتر)^2	آستانه (میلی‌گرم در لیتر)^2	دامنه تاثیر (متر)	نسبت اثر قطعه‌ای %
کریجینگ معمولی	J-Bessel	۱۷/۰۱	۵۴/۰۹	۶۹۷۵	۳۱
کریجینگ ساده	J-Bessel	۱۶/۱۶	۵۴/۹۸	۶۵۴۰	۲۹
کریجینگ عمومی	Hole Effect	۱۶/۸۲	۵۲/۸۳	۶۳۰۳	۳۲
کوکریجینگ معمولی	J-Bessel	۱۱/۸۵	۶۰/۶۸	۶۹۷۵	۲۰
کوکریجینگ ساده	J-Bessel	۱۶/۲۴	۵۵/۵۹	۶۵۴۰	۲۹
کوکریجینگ عمومی	Hole Effect	۲۱/۹۹	۵۸/۸۳	۶۳۰۳	۳۷

برای انتخاب بهترین مدل نیم‌تغییرنما از کمترین RMSE استفاده شد. مطابق جدول ۴، نتایج تجزیه و تحلیل نیم‌تغییرنما نشان می‌دهد که در روش‌های میان‌یابی، روش کوکریجینگ ساده و مدل J-Bessel، با اثر قطعه‌ای ۱۶/۲۴، آستانه ۵۵/۵۹ میلی‌گرم در لیتر و دامنه تاثیر ۶۵۴۰ متر از بهترین ساختار فضایی برخوردار می‌باشد. ضمنا نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه نیز مورد بررسی قرار گرفت. وقتی این نسبت کمتر از ۲۵ درصد باشد ساختار مکانی قوی، بین ۲۵ تا ۷۵ درصد ساختار مکانی متوسط و بزرگتر از ۷۵ درصد ساختار فضایی ضعیف می‌باشد (۲۰). مطابق جدول ۴ مدل JBessel، با نسبت اثر قطعه‌ای ۲۰ درصد از همبستگی مکانی قوی برخوردار است. با این وجود در روش کوکریجینگ و با استفاده از متغیر کمکی کلسیم مدل نیم‌تغیرنمای JBessel، با نسبت اثر قطعه‌ای برابر ۲۹ درصد، از ساختار مکانی نسبتا قوی برای هر دو متغیر برخوردار می‌باشد. شعاع تاثیر۶۵۴۰ متر تعیین شد. نتیجه ارزیابی دقت روش‌های زمین‌آمار در جدول ۵ آمده است. نتایج نشان داد مانند تحقیقاتی که دیگوستینو و همکاران (۴) برای بررسی تغییرات زمانی و مکانی نیترات انجام دادند، روش کوکریجینگ به‌عنوان بهترین روش میان‌یابی انتخاب شد. در بین روش‌های زمین‌آمار، روش کوکریجینگ ساده با کمترین میزان خطا (۷/۴۵) بهترین روش و روش توابع شعاع محور با میزان خطای ۸/۹۵ و ضریب تعیین ۰/۲۳ ضعیف‌ترین روش میان‌یابی بوده است.

جدول ۵- شاخص‌های آماری روش‌های مختلف درون‌یابی

Table 5. Statistical indicators different interpolation methods

روش	RMSE (mg/L)	MAE (mg/L)	R^2
کوکریجینگ ساده	۷/۴۵	۵/۹۵	۰/۴۷
کریجینگ ساده	۷/۴۹	۶/۰۶	۰/۴۶
کوکریجینگ معمولی	۷/۵۳	۶/۲۴	۰/۴۵
کریجینگ معمولی	۷/۵۶	۶/۲۴	۰/۴۵
کوکریجینگ عمومی	۸/۴۹	۶/۹۸	۰/۳۰
کریجینگ عمومی	۸/۵۰	۷/۰۳	۰/۳۰
وزن معکوس فاصله	۸/۸۹	۷/۳۲	۰/۲۴

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-23]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.20.4.9]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.20.158]

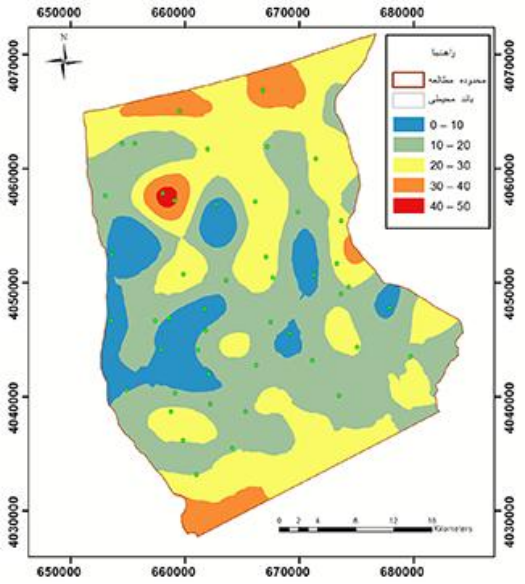
بررسی جذر میانگین مربعات خطا نشان می‌دهد اگرچه استفاده از کوکریجینگ باعث کاهش خطا و افزایش دقت شده است اما این تفاوت قابل توجه نبوده است. فتحی و همکاران (۶) برای پهنه‌بندی نیترات در آب‌های زیرزمینی دشت شهرکرد پژوهشی انجام دادند، آنها نیز به این نتیجه رسیدند که استفاده از کوکریجینگ، ارزش صرف وقت و انجام هزینه‌های اضافی را ندارد. مطابق نتایج قهروردی تالی و بابایی فینی (۸) چنانچه تغییرات مکانی یک متغیر خیلی زیاد باشد، مدل‌های زمین‌آماری نتایج بهتری می‌دهند. این پژوهش نیز نشان داد که نتایج روش‌های زمین‌آمار بهتر از روش‌های قطعی بوده و در نهایت روش کوکریجینگ ساده، به عنوان بهترین روش میان‌یابی انتخاب شد. نقشه پهنه‌بندی نیترات که با این روش بدست آمد در شکل۳ ارائه شده است. مطابق استاندارد شماره ۱۰۵۳ موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، حداکثر غلظت مجاز نیترات در آب شرب برابر ۵۰ میلی گرم در لیتر می‌باشد. نقشه پهنه‌بندی نیز نشان داد که میزان نیترات در محدوده پژوهشی در بخش‌های جنوب غربی و شمالی محدوده بیشتر از سایر مناطق بوده اما در حد مجاز می‌باشد. برای انجام بررسی‌های دقیق‌تر، لایه‌های کاربری اراضی در محدوده پژوهش، در نرم افزار GIS تحلیل شد که نتایج بدست آمده (جدول ۶) نشان می‌دهد اراضی شالیزاری، باغی و مسکونی بیش از ۸۲ درصد اراضی محدوده پژوهش را تشکیل می‌دهد. تطابق و تدقیق نقشه پهنه‌بندی نیترات (شکل ۳) و نقشه کاربری اراضی (شکل ۴)، نشان می‌دهد که بالاترین مقادیر نیترات در محدوده شهر بهنمیر قرار دارد. شهری شدن نواحی در مقایسه با مناطق روستایی، عامل آلودگی را سریعتر به ذخایر آبی انتقال می‌دهد (۱۴). همچنین محدوده دوم مقادیر بالای نیترات، در مجاورت دریا واقع شده است. بررسی نقشه زهکشی محدوده نشان می‌دهد که زهکش‌های نزدیک به ۴۰ هزار هکتار از اراضی بالادست اعم از روستاها و اراضی باغی و شالیزاری به این بخش سرازیر می‌شود.

این اراضی در مجاورت نهر چپکرود که به‌عنوان زهکش جمع‌کننده منطقه می‌باشد واقع شده‌اند. این زهکش جمع‌کننده در اغلب سال دارای آب است.

جدول ۶- درصد مساحت به تفکیک کاربری اراضی در محدوده پژوهش

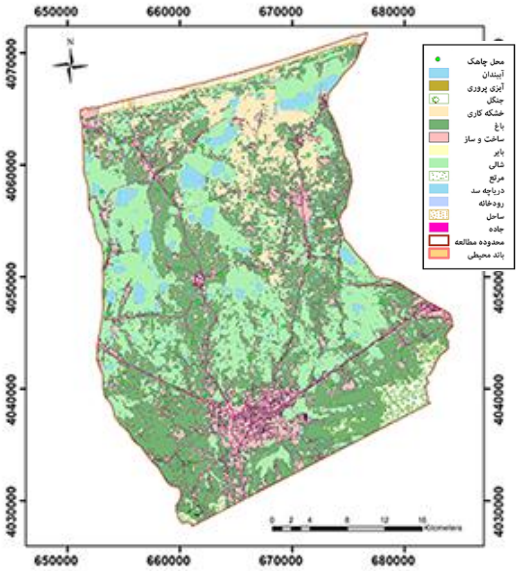
Table 6. Percentage Breakdown of land use within the study area

نوع کاربری	آبندان	آبزی پروری	جنگل	خشکه کاری	باغ	ساخت وساز	بایر	شالی	بستر رودخانه	ساحل	جاده
مساحت (هکتار)	۳۱۶۷	۵۶	۱۸۹۶	۷۹۸۴	۳۴۴۸۵	۱۲۸۶۲	۱۴	۲۷۳۵۷	۳۲۲	۱۵۱۸	۵۳۹
درصد	۳/۵۱	۰/۰۶	۲/۱۰	۸/۸۵	۳۸/۲۳	۱۴/۲۶	۰/۰۲	۳۰/۳۳	۰/۳۶	۱/۶۸	۰/۶۰



شکل ۳- نقشه پهنه‌بندی نیترات با روش کوکریجینگ ساده

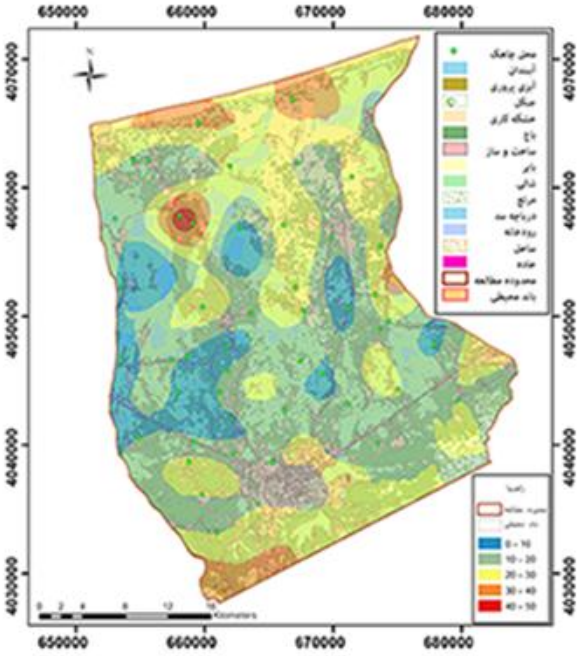
Figure 3. Zoning map nitrate with simple Cokriging



شکل ۴- نقشه کاربری اراضی محدوده پژوهش

Figure 4. Land use map of the study area

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-23]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.20.4.9]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.20.158]



شکل ۵- تدقیق نقشه پهنه‌بندی نیترات با نقشه کاربری اراضی
Figure 5. Scrutiny zoning map nitrate with land use map

در فصول بهار و تابستان به‌منظور تامین آب مورد نیاز شالیزارها، با بستن دهانه خروجی انهار سنتی توسط کشاورزان و در فصول پاییز و زمستان بدلیل بارندگی‌های فصلی و خیز سطح آب، آب‌ماندگی در اراضی و انهار به‌خصوص نهر چپکرود اتفاق خواهد افتاد. همچنین در نتیجه آب‌شویی، رواناب کشاورزی و یا آلودگی ناشی از فاضلاب انسانی و یا حیوانی غلظت نیترات افزایش می‌یابد (۱۵). با توجه به دلایل ذکر شده و عمق کم سطح ایستابی در این مناطق، هرزآب‌های بالادست هم نیترات کافی به همراه خواهند داشت و هم فرصت نفوذ کافی به سفره‌های زیرزمینی که در نقشه‌های تهیه شده تایید می‌گردد.

اگرچه نقشه‌های تهیه شده موید این مطلب است که هم اکنون، تمام مقادیر نیترات کمتر از حد مجاز است اما با توجه به روند رو به رشد مصارف سموم و کودهای شیمیایی، می‌تواند زنگ هشداری برای پیش‌بینی‌هایی برای آینده‌ای نزدیک باشد.

در این پژوهش روش‌های قطعی و زمین‌آمار برای تعیین تغییرات مکانی نیترات در دشت قائم‌شهر- جویبار مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که در بین روش‌های قطعی، روش وزن معکوس فاصله با RMSE برابر ۸/۸۹ میلی‌گرم در لیتر نسبت به روش‌های توابع شعاع محور، چند جمله‌ای محلی و فراگیر از دقت بالاتری برخوردار بود. از میان روش‌های زمین‌آمار، روش کوکریجینگ ساده با متغیر کمکی کلسیم، بهترین روش برای تعیین تغییرات نیترات شناخته شد. استفاده از متغیر کمکی در روش کوکریجینگ نسبت به روش کریجینگ منجر به کاهش کمی در مقدار جذر میانگین مربعات شد. JBessel بهترین مدل نیم‌تغییرنما و روش کوکریجینگ ساده با RMSE برابر ۷/۴۵ میلی‌گرم در لیتر بهترین روش میان‌یابی بوده است. بیشترین آلودگی نیترات در شهر بهنمیر و در مجاورت نوار ساحلی خزر دیده شد اما بررسی‌ها نشان داد مقادیر نیترات در حد مجاز بوده است.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-23]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.20.4.9]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.20.158]

منابع

1. Akbarzadeh, M. and B. Ghahraman. 2013. A Combined Strategy of Entropy and Spatio-Temporal Kriging in Determining Optimal Network for Groundwater Quality Monitoring of Mashhad Basin. Journal of Water and Soil, 27(3): 613-629
2. Akhavan, S., H. Zare Abyaneh and M. Bayat Varkeshi. 2014. A Systematic Review on Nitrate Concentration in Water Resources of Iran. Iran. J. Health & Environ, 7(2): 205-228.
3. Arbatani, V., A. Ahmadi and M.M. Fattahi. 2009. Modeling the spatial distribution of some of the chemical characteristics of groundwater Using geostatistical methods. Journal of Watershed Management Science and Engineering, 3(7): 23-45.
4. Dagostino, V., E.A. Greene, B. Passarella and G. Vurro. 1998. Spatial and temporal study of nitrate concentration in groundwater by means of coregionalization. Environmental Geology, 36: 285-295.
5. Delbary, M., P. Afrasiab and S.R. Miremady. 2010. The analysis of spatiotemporal changes in salinity and groundwater. Journal of Irrigation and Drainage, 4(3): 359-374.
6. Fathi, E., H. Beygi, A. Davodian and S.H. Tabatabaee. 2014. Comparison of spatial interpolation methods and selecting the appropriate method for mapping of nitrate and phosphate in the Shahrekord Aquifer, 4(15): 51-63.
7. Flipo N., N. Jeanneeb, M. Poulin, S. Evena and E. Ledoux. 2007. Assessment of nitrate pollution in the Grand Morin aquifers (France), combined use of geostatistics and physically based modeling. Environmental Pollution, 146: 241-256.
8. Ghahrodi, T. and O. Babaee finy, 2010. Geography Information System. Tehran. Iran. P.N.U. 194.
9. Haining,R. 1991. Spatial Data Analysis in the Social and Environmental Sciences. Cambridge University Press.
10. Hoshangy, N. 2014. Evaluating common methods of interpolation to estimate the groundwater level. M.Sc. K. N. Toosi University of Technology. Tehran. Iran.
11. Hsu J., J. Acrot and N.A. Lee. 2009. Nitrate and nitrite quantification from cured meat and vegetables and their estimated dietary intake in Australians. Food Chem, (115): 334-339.
12. Kraft, G.J. and W. Stites. 2003. Nitrate impacts on ground water from irrigated-vegetable systems in a humid north-central US sand plain. Agricultural Ecosystems and Environ. 100: 63-74.
13. Mahdian, M.H. 2006. The use of geostatistics in soil. Conference on Soils, Sustainable Development and Environment. Tehran University. Iran.
14. Nadi, A., A. Zamani, A.A. Pari Zangene and Y. Khosravi. 2015. Study the Spatial Variability of Nitrate Whit GIS and Geostatistical International Conference on Science, Engineering and Environmental Technologies, Tehran, Iran.
15. Nas, B. and A. Berktay. 2008. Groundwater quality mapping in urban groundwater using GIS. Environ monit Assess. 160 (1–4): 215-227.
16. Nazary Zadeh, F., B. Ershadian and K. Zand vakili. 2006. Spatial variability analysis of the quality of groundwater upstream in Khozestan. Karun operation of the Regional Conference on Water Resources. Shahrekord University. Iran, 1236-1240.
17. Nejaty Jahromy, Z., M. Chitsazan and Y. Mirzaee. 2009. The geostatistical evaluation of nitrate distribution in alluvial aquifer Aghili Plain. Tehran Geomatics Conferences. 20-23. Tehran Iran.
18. Rezaee, M., N. Davatgar, Kh. Tjdary and B. Abolpor. 2010. Spatial distribution of some water quality indicators of Gilan. Water and Soil, 24(5): 932-941.
19. Sheikh, Z., A. Dehvari and M. Ebrahimi. 2016. Regional Flood Frequency Analysis Application of Canonical Kriging Method in Mazandaran Province Watersheds. Journal of Watershed Management Research, 7(14): 38-47.
20. Shi, J., H. Wang, J. Xu, J. Wu, X. Liu, H. Zhu and Ch. Yu. 2007. Spatial distribution of heavy metals in soils: a case study of Changxing, China. Environmental Geology, 52: 1-10.
21. Taghizadeh Mehrjardi, R., M. Zareian Jahromi, Sh. Mahmodi and A. Heidari. 2008. Spatial distribution of groundwater quality with geostatistics, case study: Yazd-Ardakan plain. World Applied Sciences Journal, 4(1): 9-17.
22. Uyan, M. and T. Cay. 2010. Geostatistical methods for mapping groundwater nitrate concentrations. 3rd International conference on cartography and GIS. 12-20 June, 2010. Nessebar. Bulgaria.
23. Varouchakis, E.A. and D.T. Hristopulos. 2013. Comparison of stochastic and deterministic methods for mapping groundwater level spatial variability in sparsely monitored basins. Environmental Monitoring and Assessment, 185(1):1-19.
24. Zahedifar, M., S.A.A. Moosavi and M. Rajabi. 2013. Zoning the Groundwater Chemical Quality Attributes of Fasa Plain Using Geostatistical Approaches Journal of Water and Soil, 27(4): 812-822.
25. Zehtabian, Gh., E. Janfaza, H. Mohammad Asgari and M.J. Nematollahi. 2010. Modeling of ground water spatial distribution for some chemical properties (Case study in Garmsar watershed). Iranian Journal of Range and Desert Research, 17(1): 61-73.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-23]

[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.20.4.9]

[DOI: 10.29252/jwmr.10.20.158]

Comparison of Deterministic and Geomorphic Methods for Determining Spatial Variations of Nitrate in Ghaemshahr-Juybar Plan

Reza Roodgar Iraee[1], Mohammad Ali Gholami Sefidkouhi[2] and Jamal Abbas Palangi[3]

1 and 3- Graduated M.Sc. Student and Ph.D. of Irrigation and Drainage, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
2- Associate Professor, Department of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
Received: April 7, 2017 Accepted: December 31, 2017

Abstract

Nitrate is one of the most important pollutants of surface water and underground water resources which has adverse effects on the health of consumers. Due to lack of sufficient opportunity and budget, in practice, full and timely sampling of all wells in each area is not possible. So the amount of nitrate in certain parts according to the adjacent groundwater is of particular importance in studies. In this study, data from 55 observation wells at 902 Km2 of Ghaemshahr-Jouyar plain were used. The accuracy of deterministic methods and geomorphology were evaluated to determine the most suitable method for determining spatial variations of nitrate. Among all the methods of interpolation, simple co-krigination with auxiliary calcium was identified as the most appropriate method. RMSE value was obtained 7.45 mg/l, MAE equal 5.95 mg/l and The coefficient of determination 0.47 J-Bessel variogram model has the most powerful spatial structure. Using the land use map of Mazandaran province in the Research area also showed that the highest nitrate values were observed in the urban area. The results showed that the highest nitrate pollution was in Behnamir and from the coastal areas of the Caspian Sea and in all areas it is within the permitted limits.

Keywords: Interpolation, Kriging, Land Use

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-23]

[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.20.4.9]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.20.158]