Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 14:17 IRDT on Tuesday September 8th 2026

دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی

سال هفدهم، شماره‌ی ۵۹
پاییز ۱۳۹۶، صفحات ۳۳۰-۳۱۱

*بهروز محسنی[۱]
بهناز راحلی‌نمین[۲]

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

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰٤/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۸/۲۲

چکیده

آلودگی آب‌های زیرزمینی در ارتباط با فعالیت‌های کشاورزی و توسعه شهری، یکی از مسائل مهم در مدیریت این منابع با ارزش می‌باشد. روش‌های زمین‌آمار و GIS می‌تواند ابزاری قوی در تولید اطلاعات مکانی و تعیین راهکارهای مدیریتی مناسب باشد. در این مطالعه با مقایسه روش‌های زمین‌آمار سری کریجینگ و کوکریجینگ، مناسب‌ترین روش تهیهٔ نقشهٔ تغییرات مکانی میزان نیترات و فسفات آب‌های زیرزمینی با تاکید بر مصارف آشامیدنی تعیین گردید. منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، حوضه آبخیز قره‌سو واقع در غرب استان گلستان می‌باشد. ارزیابی صحت نتایج حاصله و تعیین مناسب‌ترین روش درون‌یابی نیز، با استفاده از معیار اعتبارسنجی متقابل و با استفاده از معیارهای خطاگیری ریشه مربعات میانگین خطا (RMSE)، انحراف استاندارد عمومی (GSD) و شاخص میانگین خطای مطلق (MAE) انجام پذیرفت. مقایسه روش‌ها، بیانگر بالا بودن توان روش کوکریجینگ با استفاده از متغیر کمکی در درون‌یابی میزان نیترات و فسفات می‌باشد. در مرحله بعد با استفاده از رگرسیون چندگانه خطی، عوامل مؤثر بر کاهش کیفیت آب شناسایی گردیدند. 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

*۱- هیات علمی دانشگاه پیام‌نور، دانشکده علوم کشاورزی، گروه منابع‌طبیعی و محیط‌زیست، تهران، ایران (نویسنده مسئول).
E-mail: mohseni_m@pnu.ac.ir
۲- دکترای ارزیابی محیط‌زیست، مدرس مدعو دانشگاه پیام نور.

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 14:17 IRDT on Tuesday September 8th 2026

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 رابطهٔ بین تراکم سطح زیرکشت و میزان مصرف کود فسفاته در سطح ۹۵ درصد، رابطه معنی‌دار با پراکنش فسفات در حوزه آبخیز قره‌سو داشته‌اند. نتایج آنالیز حساسیت مدل با استفاده از ضریب تبیین نیز مؤید همین مطالب است. تهیهٔ نقشه تغییرات مکانی پارامترهای کیفیت آب می‌تواند در برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری‌های آینده مدیران مفید واقع شود.

کلید واژه‌ها: زمین‌آمار، درون‌یابی، مدل‌سازی، کاربری اراضی، آنالیز حساسیت، GIS.

مقدمه

کیفیت آب زیرزمینی، از عوامل متعدد طبیعی و انسانی متأثر است. بررسی چگونگی تغییرات آن در گذر زمان و در بستر مکان می‌تواند دریچه نگاه به این مهم را برای استفاده در سال‌های آتی جهت‌دهی نماید. یکی از شاخص‌های مهم برای نشان دادن کیفیت آب آشامیدنی و کشاورزی، میزان نیترات موجود در آن است که از طریق تجزیه و فساد پس‌ماندهای انسانی و حیوانی، تولیدات صنعتی و پساب‌های حاصل از کشاورزی وارد آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌شود (کرفت و استیتز[3]، ۲۰۰۳: ٧٤-٦٣). از دیگر عناصری که منجر به کاهش کیفیت منابع آبی می‌شود، فسفات می‌باشد. فسفات‌ها به‌صورت وسیعی به‌عنوان مکمل کودهای شیمیایی در زمین‌های زراعی مورد استفاده می‌گیرند و در اثر آب‌شویی وارد آب‌های سطحی شده یا به آب‌های زیرزمینی راه می‌یابند (پارک و همکاران[4]، ٢٠٠٦: ٥٠٦). فاضلاب شهری نیز به‌عنوان یکی از راه‌های ورود فسفات به منابع آبی محسوب می‌شود. با این‌که فسفات‌ها مواد سمی نیستند و هیچ‌گونه تهدید مستقیمی را متوجه انسان نمی‌کنند اما به‌طور غیرمستقیم باعث کاهش اکسیژن محلول آب، ایجاد طعم، بو و مزاحمت در فرآیند تصفیه می‌شوند (زمیس و همکاران[5]، ۲۰۰۸: ۳۰-۲۲). پیشرفت‌هایی که در زمینهٔ آمار فضایی اخیراً صورت گرفته است و همچنین جایگزینی متغیر ناحیه‌ای، به‌جای متغیر تصادفی سبب ترویج انواع روش‌های درون‌یابی در GIS گردیده است. درون‌یابی، تغییرات پیوستهٔ فضایی را به‌صورت یک سطح تعریف شده مجسم می‌سازد. الگوریتم‌های متفاوتی برای درون‌یابی فضایی وجود دارد که برخی از آن‌ها مبتنی بر روش‌های زمین‌آمار و ژئومتری می‌باشند (ایساک-اسریواستاوا[6]، ۱۹۸۹: ٥٦١؛ قهرودی‌تالی، ١٣٨٤: ۲۷۳ و توتمز-هاتیپوقلو[7]، ۲۰۱۰: ۳۱۵-۳۱۱). محققان مختلف، تحقیقات گسترده‌ای را در زمینه کاربرد روش‌های زمین‌آمار در مطالعهٔ آب‌های زیرزمینی انجام داده‌اند و به نتایج متنوعی دست یافته‌اند. در بررسی تغییرات مکانی غلظت نیترات

3- Kraft and Stites
4- Park
5- Zaimes
6- Isaaks and Srivastava
7- Tutmez and Hatipoglu

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 14:17 IRDT on Tuesday September 8th 2026

در مناطق آبرفتی آبخوان شمال رودخانه تاگوس در پرتغال، از روش کریجینگ گسسته استفاده شد (مندس و ریبرو[8]، ۲۰۱۰: ۱۰۳٤-۱۰۲۱). نتایج این مطالعه، نشان‌دهندهٔ بالا بودن غلظت نیترات در غرب منطقه مورد مطالعه بود. توتمز و هاتیپوقلو (۲۰۱۰)، کارایی دو روش کریجینگ و فازی را در پهنه‌بندی غلظت نیترات در منابع آب زیرزمینی حوزه آبخیز مرسین ترکیه مورد مقایسه قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان‌دهنده کارایی بالای روش فازی بود. نقشهٔ پهنه‌بندی نیترات در آبخوان وگاد- گراندا اسپانیا با استفاده از روش کریجینگِ شاخص، ارزیابی و تهیه گردید (چیکا-المو و همکاران[9]، ۲۰۱٤: ۲۳۹-۲۲۹). نتیجه مطالعه آن‌ها نشان داد که غلظت نیترات در ۵۱ درصد از سطح منطقه مورد مطالعه، بالاتر از حد استاندارد بود. همچنین با استفاده از روش کریجینگِ شاخص، می‌توان با دقت بالایی نقشه پهنه‌بندی نیترات را تهیه نمود. روند تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای کیفی آب در دشت مشهد با مقایسهٔ دو روش وزن‌دهی عکس فاصله و کریجینگ انجام شد (مقدم و همکاران، ۱۳۹۲: ۲۲۵-۲۱۱). نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که از نظر تغییرات مکانی، پایین‌دستِ منطقه وضعیت مناسبی نداشته و از لحاظ تغییرات زمانی، غلظت آلاینده‌ها در حال افزایش می‌باشد. به رغم تمام پیشرفت‌هایی که چند دههٔ اخیر به‌ویژه با توسعه در زمینه مدل‌سازی فضایی به‌وجود آمده است، مرور منابع و مطالعات مختلف نشان می‌دهد که استفاده از هر کدام از مدل‌های زمین‌آمار بستگی به ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه و پارامترهای مورد بررسی دارد و نتایج به‌دست آمده از یک مطالعه در مورد انتخاب یک مدل خاص را نمی‌توان به تمامی پارامترهای کیفیت آب و مناطق مختلف تعمیم داد (تقی‌زاده‌مهجردی، ۲۰۱٤: ۵۳۹-۵۳۰). با توجه به تحقیقات و بررسی‌های صورت گرفته تاکنون مطالعه‌ی تخصصی در زمینه مقایسه و ارزیابی مدل‌های سری کریجینگ و کوکریجینک با در نظرگرفتن پارامترهای کمکی در منطقه مورد مطالعه صورت نگرفته است. محدوده مطالعه این تحقیق علی‌رغم بارش‌های نسبتا مناسب، از نظر برخی از متغیرهای کیفی، با مشکلاتی همراه بوده است که رفع آن‌ها، انجام این تحقیق را سبب گردیده است. استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی در مقادیر بالاتر از نرخ مورد نیاز جذب محصول، در مناطق ویژه کشاورزی منطقه مورد مطالعه منجر به تجمع بیش از حد آن‌ها در خاک و آبشویی به بدنه آب‌های زیرزمینی می‌گردد. این مطالعه در تلاش است تا ضمن بررسی تغییرات میزان نیترات و فسفات در حوضه آبخیز قره‌سو، مقایسه روش‌های مختلف زمین‌آمار و تخمین بهترین روش در منطقه، مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار بر کیفیت منابع آبی در حوزه آبخیز قره‌سو در استان گلستان را نیز شناسایی نماید.

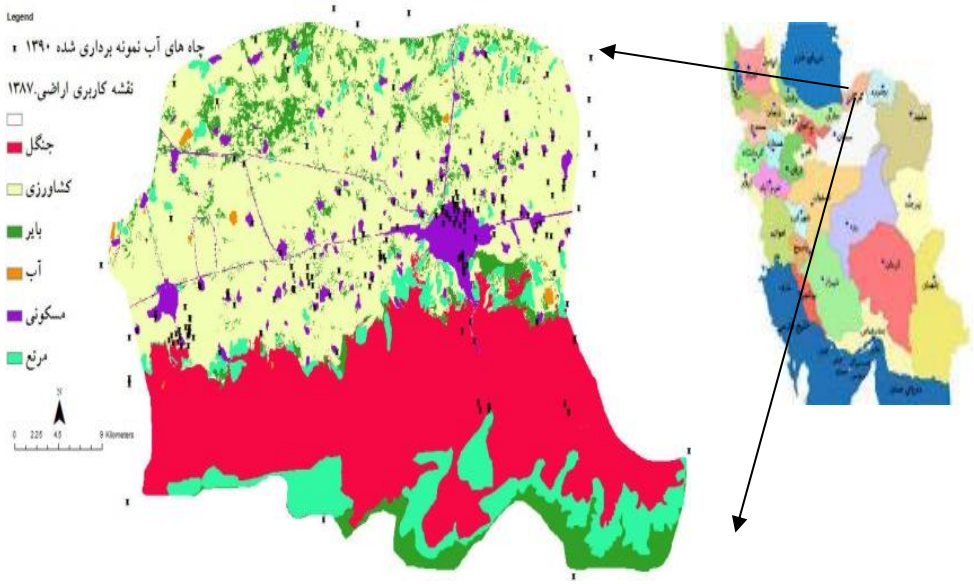
منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز قره‌سو واقع در غرب استان گلستان می‌باشد. این منطقه از لحاظ مورفولوژی شامل سه ناحیه است: ناحیه کوهستانی-رشته‌کوه‌های البرز که به‌صورت نواری در سرتاسر بخش جنوبی منطقه از غرب به شرق امتداد

8- Mendes and Ribeiro
9- Chica- Olmo

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 14:17 IRDT on Tuesday September 8th 2026

دارد، ناحیهٔ کوهپایه‌ای (قسمت میانی منطقه)، از حد شمالی بخش کوهستانی تا رود قره‌سو شامل تپه‌ماهورها و اراضی حاصلخیز منطقه است و شهرهای پرجمعیت منطقه چون گرگان و کردکوی در این بخش قرار دارند. ناحیه جلگه‌ای و اراضی پست که در حاشیهٔ دریای خزر و خلیج گرگان واقع است، ارتفاعی پایین‌تر از سطح دریای آزاد داشته و به‌تدریج به سمت شرق بر ارتفاع آن افزوده می‌شود (مرکز آمار ایران، ۱۳۸٦: ۲۷۸). (شکل ۱) نقشهٔ کاربری اراضی حوضه آبخیز قره‌سو و موقعیت چاه‌های منطقهٔ مورد مطالعه را نشان می‌دهد (راحلی و همکاران، ۱۳۹۱: ۸۲-٦۷).



شکل ۱: نقشهٔ کاربری اراضی و پراکنش چاه‌ها در حوضه آبخیز قره‌سو

مواد و روش‌ها

در این تحقیق، اطلاعات آماری پارامترهای کیفی آب زیرزمینی مربوط به چاه‌های پیزومتری (سال‌های آماری ۱۳۹۲ سازمان آب منطقه‌ای استان گلستان)، برای انجام محاسبات مورد استفاده قرار گرفت. در ابتدا در محیط نرم‌افزار Excel تمامی داده‌ها برای سال‌های مختلف جداگانه طبقه‌بندی شدند و سپس در نرم‌افزار ArcGIS، با استفاده از مختصات جغرافیایی چاه‌ها موقعیت آن‌ها روی نقشه تعیین و در نهایت نقشهٔ موقعیت چاه‌های پیزومتری تهیه شد. برای بررسی ویژگی‌های آماری و پهنه‌بندی داده‌های کیفی آب، از نرم‌افزارهایSpss17، GS+5.3 و Arc GIS 10 استفاده گردید. بر این اساس، به‌منظور تشریح پیوستگی مکانی و تغییرپذیری متغیرها نسبت به فاصلهٔ زمانی و مکانی، نیم‌متغیرنمای[10] داده‌ها ترسیم شد. تشخیص الگوهای موجود در همبستگی مکانی، اساس توصیف بهتر پدیده‌های فیزیکی است و اجازهٔ درون‌یابی مکانی مناسب را می‌دهد. مقادیر دارای ساختار خاصی است که از یک آبخوان به آبخوان دیگر متفاوت است و دارای ویژگی‌های تصادفی می‌باشد. برای ترسیم نیم‌متغیرنما لازم است

10- Semivariograme

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 14:17 IRDT on Tuesday September 8th 2026

مجموع مربع تفاضل زوج نقاطی که به فاصلهٔ معلوم از یکدیگر قرار دارند محاسبه و در مقابل فاصله رسم گردد. برای استفاده از آن، لازم است مدل تئوریکی به داده‌ها را برازش کنیم و سپس از مدل نیم‌متغیرنما، برای تخمین استفاده نماییم. هر متغیرنما دارای چند عامل مهم از جمله شعاع تأثیر، آستانه و اثر قطعه‌ای است. شعاع تأثیر عبارت است از فاصله‌ای که در آن متغیرنما به حد ثابتی می‌رسد و به خط افقی نزدیک می‌شود. در حقیقت شعاع تأثیر، محدوده‌ای را مشخص می‌کند که می‌توان با استفاده از داده‌های موجود در آن میزان متغیر مجهول را تخمین زد. شعاع تأثیر بزرگ‌تر، نشان‌دهنده پیوستگی مکانی گسترده‌تر می‌باشد. آستانه، مقدار ثابتی است که برابر با واریانس تمام نمونه‌های مورد استفاده در محاسبهٔ متغیرنما است و متغیرنما در شعاع تأثیر به این مقدار می‌رسد. مقدار متغیرنما در مبدأ مختصات را اثر قطعه‌ای می‌نامند و در حالت بهینه مقدار آن باید صفر باشد، ولی در اغلب موارد بزرگ‌تر از صفر است که در این حالت جزء تصادفی و یا غیرساختاردار متغیر ظاهر می‌شود. رابطه (۱)، فرم محاسباتی متغیرنما را نشان می‌دهد.

رابطه (۱)
$$\gamma_{(h)}=\frac{1}{2N}\sum_{i=1}^{N}[z_{(x+h)}-Z_{(x)}]^2$$

که در آن $\gamma_{(h)}$– مقدار متغیرنما در فاصلهٔ h، $z_{(x+h)}$– مقدار اندازه‌گیری شده متغیر در مکان $(x + h)$، $Z_{(x)}$ مقدار اندازه‌گیری شده متغیر در مکان x و N– تعداد نقاط اندازه‌گیری می‌باشد (ازتورک و اسیمدی[11]، ۲۰۱٤: ۳۸).

- تشریح مدل‌ها

کریجینگ[12]، روش درون‌یابی پیشرفته‌ای است و برای داده‌هایی که دارای روندهای موضعی تعریف شده‌ای باشند مناسب است. کریجینگ معمولی[13] مقادیر متغیر در نقاط نمونه‌برداری‌نشده را با نسبت‌دادن وزن به هر یک از نمونه‌ها به‌صورت ترکیب خطی از مقادیر همان متغیر در نقاط اطراف آن در نظر می‌گیرد. با فرض غلبه‌ی مؤلفه‌ی همبستگی مکانی و به‌کارگیری مستقیم نیم‌متغیرنمای، ارزش مقداری Z در یک نقطه مثل Z_0 به‌شکل زیر است:

رابطه (۲)
$$Z_0=\sum_{i=1}^{s}W_xZ_x$$

وزن‌ها از حل مجموعه‌ای از معادلات همزمان و با حداقل‌کردن واریانس به شکل زیر به‌دست می‌آیند:

$$\mathrm{var}\left\{\sum W_iZ(x_i,y_i)-Z(x_0,y_0)\right\}$$

برای مثال؛ به‌منظور برآورد ارزش نقطه Z_0 براساس نقاط معلوم (۱،۲،۳) می‌بایست معادلات زیر را حل نمود:

11- Ozturk and Simdi
12- kriging
13- Ordinary Kriging (OK)

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 14:17 IRDT on Tuesday September 8th 2026

$$w_1\gamma(h_{11})+w_2\gamma(h_{12})+w_3\gamma(h_{13})+\lambda=\gamma\ (h_{10})$$
$$w_1\gamma(h_{21})+w_2\gamma(h_{22})+w_3\gamma(h_{23})+\lambda=\gamma\ (h_{20})$$
$$w_1\gamma(h_{31})+w_2\gamma(h_{32})+w_3\gamma(h_{33})+\lambda=\gamma\ (h_{30})$$
$$w_1+w_2+w_3+0=1$$

در این‌جا $\sum_{i=1}^{n} w_i=1$ و $\gamma\ (h_i)=$ نیم‌متغیرنما بین نقاط i، j و $\gamma\ (h_{i,0})=$ نیمه متغیرنما بین i اُمین نقطهٔ معلوم و نقطه‌ای که باید برآورد نمود می‌باشد (کرسی[14]، ۱۹۹۳: ٤٢٠). برآورد نقاط نمونه‌برداری نشده در کرجینگ ساده[15] به‌شکل ترکیب خطی وزن‌دار است و در فرآیند برآورد آن باید دقت شود که دارای ویژگی‌های ایستایی مرتبه دوم باشد. در روش درون‌یابی به‌روش کریجینگ جامع[16]، در ساختار مکانی متغیر ناحیه‌ای باید هر دو مؤلفه تغییرپذیری جبری و تصادفی به‌صورت همزمان وجود داشته باشند. در این روش فرض بر این است که علاوه بر مؤلفه همبستگی مکانی بین نقاط، انحراف یا روند نیز در مقادیر z وجود دارد. در این‌صورت کریجینگ با یک چندجمله‌ای مرتبهٔ اول یا دوم ترکیب می‌شود. به‌عنوان مثال؛ چندجمله‌ای مرتبه اول به‌صورت $M= b_1x_i+b_2y_i$ و یک چندجمله‌ای مرتبهٔ دوم به‌صورت $M= b_1x_i+b_2y_i+b_3x_i^2+b_4x_iy_i+b_5y_i^2$ به مدل اضافه می‌شود. در اینجا M- روند X_i و $-y_i$- مختصات نقاط نمونه i و b_i ها روند ضرایب می‌باشند. از آنجا که کریجینگ بعد از محاسبه و حذف روند، بر پایه‌ی باقی‌مانده‌ها میانیابی را انجام می‌دهد، معمولاً چندجمله‌ای مراتب بالاتر پیشنهاد نمی‌شود (استین و کورستن[17]، ۱۹۹۱: ۵۸۰).

در شرایطی‌که توزیع داده‌ها پیچیده باشد و برازش آن‌ها از راه‌های معمول دشوار باشد از مدل کریجینگ گسسته[18] استفاده می‌شود. همان‌گونه که در آمار کلاسیک، روش‌های چندمتغیره وجود دارد در زمین‌آمار نیز براساس همبستگی بین داده‌ها می‌توان از روش کوکریجینگ[19] مطابق رابطه (۳) استفاده نمود (تقی‌زاده‌مهجردی، ۲۰۱٤: ٥٣٤). روش کوکریجینگ نیز همانند روش کریجینگ از چهار نوع معمولی، ساده، جامع و گسسته تشکیل شده است.

$$Z(X_i)=\sum_{e=1}^{n}\lambda_{ei}X_i\sum_{k=1}^{n}\lambda_k y(xk)$$ رابطه (۳)

در این روش یک یا چند متغیر ثانوی که با متغیر مورد نظر در ارتباط است، برای درون‌یابی به‌کار می‌رود. این روش ضمن این‌که برای پهنه‌های فاقد ایستگاه مناسب است، بر این فرض استوار است که همبستگی بین متغیرها می‌تواند دقت برآورد را افزایش دهد (وترینگز[20]، ۱۹۸۹: ۳۹۲).

14- Cressie
15- Simple Kriging (SK)
16- Universal Kriging (SK)
17- Stein and Corsten
18- Disjunctive Kriging (DK)
19- Co– Kriging
20- Weterings

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 14:17 IRDT on Tuesday September 8th 2026

– ارزیابی صحت

به‌منظور ارزیابی و مقایسه روش‌های درون‌یابی از معیارهای خطاگیری ریشه مربعات میانگین خطا[۲۱]، انحراف استاندارد عمومی[۲۲] و شاخص میانگین خطای مطلق[۲۳] (روابط ٤، ٥ و ٦) که میزان خطا و انحراف مقادیر تخمینی روش‌ها را نسبت به مقدار واقعی نشان می‌دهد استفاده شد، در نهایت براساس بهترین روش درون‌یابی اقدام به تهیه نقشه‌های مورد نظر گردید (احمدیان و چاوشیان، ۲۰۱۲: ۵۳۰۷).

رابطه (٤)
$$RMSE=\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(Z_i-Z_i^*)^2}$$

رابطه (٥)
$$GSD=\frac{RMSE}{\bar{Z}_i}$$

رابطه (٦)
$$MAE=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}|Z_i-Z_i^*|$$

که در آن‌ها Z_i^*= مقدار برآوردی در نقطهٔ i اُم، Z_i= مقدار مشاهده‌ای در نقطهٔ i اُم، $\bar{Z}_i$= میانگین نقاط مشاهده‌ای و N تعداد نقاط مشاهده‌ای می‌باشد.

– رگرسیون چندگانهٔ خطی

در رگرسیون چندگانه خطی، فرض بر وجود ارتباط خطی بین متغیر وابسته و متغیرهای مستقل است. با داشتن تعداد n متغیر مستقل، معادله رگرسیون چندگانه خطی به‌صورت زیر خواهد بود (مانلی[۲٤]، ۱۹۹٤: ۲۳۲).

رابطه (۷)
$$y= b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + \ldots + b_n x_n$$

که در آن y متغیر وابسته، x_1 متغیر مستقل یا توصیف‌کننده و n تعداد توصیف‌کننده می‌باشد. ضریب ثابت b نشان‌دهندهٔ ارزش Y در زمان صفر بودن تمام متغیرهای مستقل است و ضرایب پارامترها نیز تغییر در Y را برای یک واحد افزایش در متغیر مستقل مرتبط با آن بیان می‌کند. در حقیقت زمانی‌که تعداد متغیرهای مستقل بیش از یک مورد گردد، از مدل رگرسیون خطی چندگانه استفاده می‌گردد. امکان ورود متغیرهای مستقل و کنترل‌کردن اثر آن‌ها یا به عبارتی تعدیل اثر آن‌ها، از ویژگی‌ها و دلایل استفاده از مدل رگرسیون چندگانه در این مطالعه می‌باشد که

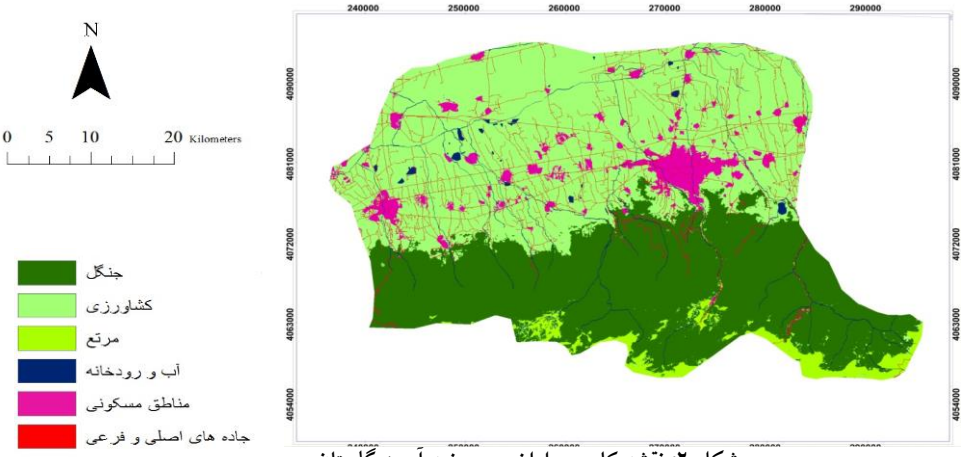
21-Root Mean Square Error (RMSE)
22- General Standard Deviation (GSD)
23- Mean Absolute Error (MAE)
24- Manly

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 14:17 IRDT on Tuesday September 8th 2026

علاوه بر توصیف رابطه و پیش‌بینی، کنترل متغیرهای مخدوش گر نیز قابل دسترسی است و می‌توان اهمیت هریک از متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته را سنجید. در این مطالعه، نقشهٔ کیفیت منابع آب زیرزمینی به‌عنوان متغیر وابسته و داده‌های رقومی کاربری اراضی، فاصله تا جاده و مناطق مسکونی، ارتفاع، فاصله از جنگل، فاصله از زمین‌های کشاورزی، رابطه بین تراکم سطح زیرکشت و میزان مصرف کود، تراکم جمعیت، سطح آب زیرزمینی، زمین‌شناسی و خاک‌شناسی نیز به‌عنوان پارامترهای مؤثر در روند کیفیت آب، یعنی متغیرهای مستقل در برقراری رابطه رگرسیون به‌کار گرفته شدند. در مدل‌ها از بهترین معادله براساس تعداد توصیف‌کننده‌ها در مدل (n)، یعنی مجذور ضریب همبستگی تصحیح‌شده (R^2 adjusted) و مقدار آمارهٔ F استفاده گردید. هرچه در یک معادله مقدار ضریب همبستگی تصحیح شده به یک نزدیک‌تر باشد معادله از کیفیت مطلوب‌تری برخوردار است. جهت ارزیابی آماری مدل حاصله، با توجه به محدود بودن تعداد داده‌ها، از روش ارزیابی تقاطعی داخلی استفاده شد. در این روش، یک داده از کل سری داده‌ها حذف شده و رگرسیون خطی چندگانه مجددا بدون دخالت آن داده انجام می‌شود.

یافته‌ها و بحث

با دقت قابل‌قبول (ضریب کاپا محاسبه‌ای ۸۸٪) طبقه‌بندی تصویر، تصویر ماهواره‌ای سال ۲۰۱۰ و همچنین روش حداکثر احتمال در محیط نرم‌افزارهای سنجش از دور در تهیه نقشه کاربری اراضی به‌کار گرفته شد که در (شکل ۲) ارائه شده است.



شکل ۲: نقشه کاربری اراضی حوضه آبریز گلستان

میانگین و انحراف معیار نمونه‌ها در این مطالعه به‌ترتیب برابر ۱۳/۲۷ و ۹/۰۶ برای نیترات و ۰/۲۷ و ۰/۲۱ برای فسفات می‌باشد. قبل از انجام هر گونه محاسبه‌ای، ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کلموگروف-اسمیرونوف بررسی شد. با استفاده از لگاریتم، داده‌ها نرمال گردیدند. (جدول ۱)، اطلاعات آماری داده‌های چاه‌های پیزومتری را قبل و بعد از نرمال‌سازی ارائه می‌دهد.

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 14:17 IRDT on Tuesday September 8th 2026

جدول ۱- داده‌های چاه‌های پیزومتری قبل و بعد از نرمال‌سازی

GWQI	Min	Max	Mean	Std	Kurtosis	Skewness
NO3	۱	۸۰	۱۲/۰۸۱	۱۵/۵۰۷	۳/۲۲	۱/۸۳
NO3*	۰	٤/۳۸	۱/٦۹۸	۱/۲۹	-۱/۲۰	۰/۲۹
PO4	۰/۰۱	۱/۳۰	۰/۲۷۵۱	۰/۲۲۵٦	۳/۵۳	۱/٦۲
*PO4	-٤/٦۰۵	۰/۲٦۲	-۱/۷۰۷۵	۱/۰۹۵۲	۱/۲۳	-۱/۱۹

پس از نرمال‌سازی داده‌ها، به‌منظور تشریح پیوستگی مکانی متغیرها، نیم‌متغیرنمای داده‌ها نیز ترسیم گردید. همان‌طور که در روش تحقیق ذکر شد، جهت برازش بهترین مدل و ارزیابی ساختار فضایی داده‌ها، از نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه استفاده گردید. وقتی این نسبت کم‌تر از ۰/۲۵ باشد متغیر مورد نظر دارای ساختار مکانی قوی می‌باشد. چنانچه نسبت بین ۰/۲۵–۰/۷۵ قرار گیرد، ساختار مکانی متوسط و اگر بزرگ‌تر از ۰/۷۵ باشد، دارای ساختار مکانی ضعیف‌تری می‌باشد (حسنی‌پاک، ۱۳۹۲: ۳۲۸؛ شی و همکاران[۲۵]، ۲۰۰۷: ۱۰-۱ و ارسلان[۲٦]، ۲۰۱۲: ٦۳-۵۷). در روش کوکریجینگ لازم است از عاملی به‌عنوان متغیر کمکی برای پیش‌بینی پراکنش نیترات و فسفات استفاده شود. بدین منظور، همبستگی این دو پارامتر با سایر پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی بررسی گردید که نتایج آن در (جدول ۲) ارائه گردیده است.

جدول ۲- همبستگی نیترات با سایر پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی

K	Mg	Ca	SO_4	F	NH_3	EC	TDS	PH	Fe	PO_4	NO_3	
۰/۱۵۱*	-۰/۲۰۱**	-۰/۱۸۷**	-۰/۰۹۹	-۰/۰٤۹	۰/۲۷۵*	-۰/۰۳۳	۰/۰۸۳	۰/۰۲۲	۰/٤۹۹**	۱		PO_4
۰/۰٦۳	۰/۵۱۸**	۰/٦٦۸*	۰/٤٦۲**	۰/۲۷٤**	-۰/۱۲	۰/۵۷**	۰/٤۲۵**	۰/۱٤۹**	-۰/۱۷۷*	-۰/۱۹۵**	۱	NO_3

**معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد و * معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد

25- Shi
26- Arsalan

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 14:17 IRDT on Tuesday September 8th 2026

از آنجا که نیترات با کلسیم و فسفات با آهن دارای بالاترین همبستگی در سطح ۹۹ درصد بود، لذا از این پارامترها به‌عنوان پارامتر کمکی در روش کوکریجینگ استفاده گردید. (جدول ۳)، نتایج تجزیه‌وتحلیل واریوگرام برای مدل کریجینگ و (جدول ٤)، نتایج تجزیه‌وتحلیل واریوگرام متقابل برای مدل کوکریجینگ را نشان می‌دهد.

جدول ۳- نتایج تجزیه‌وتحلیل واریوگرام نیترات در مدل کریجینگ

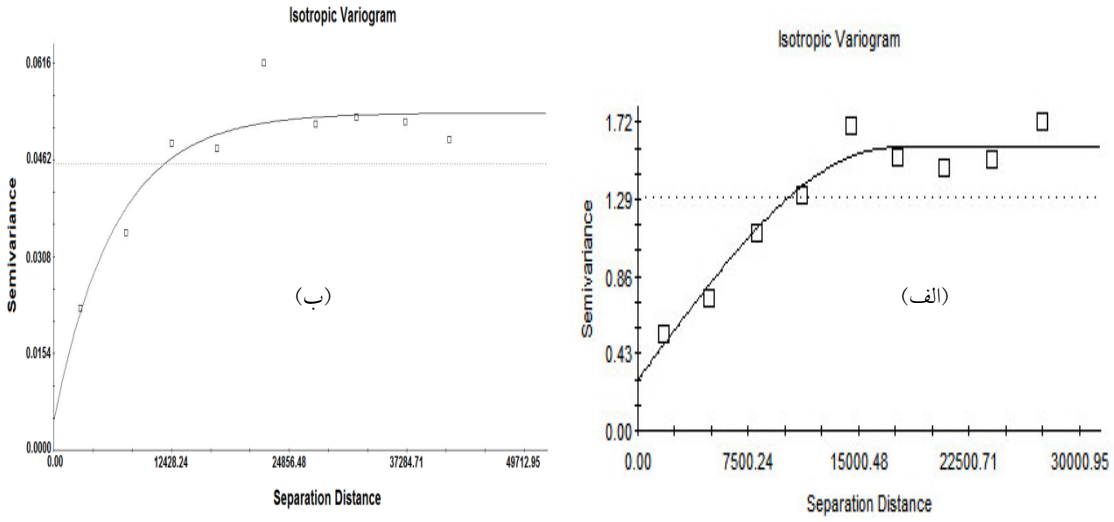
متغیر	مدل	اثر قطعه‌ای	آستانه	شعاع تأثیر (متر)	$C/C_0 + C$	R^2	RSS
NO_3	کروی	۰/۲۸۲	۱/۵۷۹	۱۷۲۸۰	۰/٦۲۱	۰/۹٤۳	۰/۹۰۲
PO_4	کروی	۰/۰۱۵	۰/۰۵۳٤	۲۰٦۵۰	۰/٦۱	۰/۸۹۳	۰/۱۱٦

جدول ٤- نتایج تجزیه‌وتحلیل واریوگرام متقابل نیترات در مدل کوکریجینگ

متغیر	متغیر کمکی/ ضریب همبستگی	مدل	اثر قطعه‌ای	آستانه	شعاع تأثیر (متر)	$C/C_0 + C$	R^2
NO_3	Ca / 0.668**	کروی	۰/۰۰۱	۰/۳۲۳	۲۹۵۷۰	۰/۷۲	۰/۹۰۲
PO_4	Fe / 0.499**	نمایی	۰/۰۰۱	۰/۱۳۲	۱٤۰۷۰	۰/۷۰۱	۰/۷۸٦

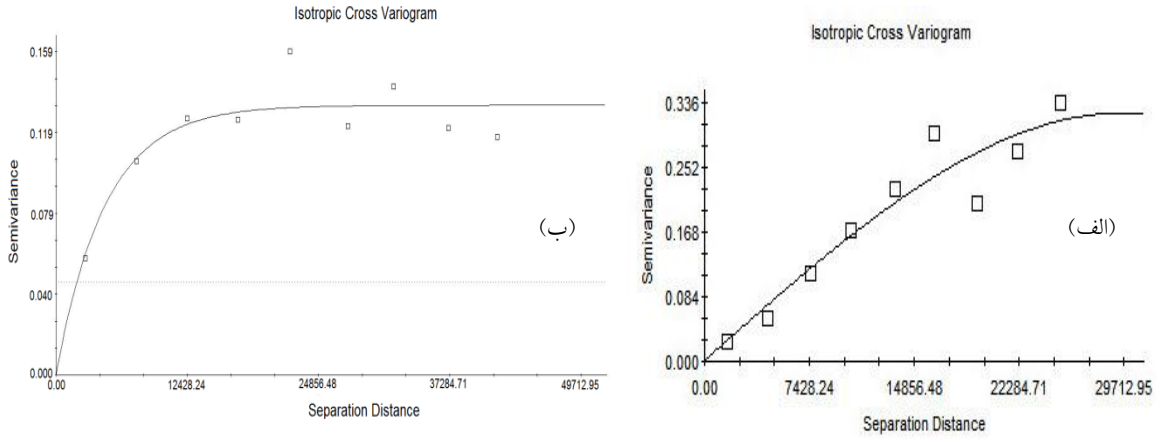
**معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد

نتایج نشان می‌دهد که مدل کروی در هر دو روش کریجینگ و کوکریجینگ برای نیترات و مدل کروی در روش کریجینگ و مدل نمایی در کوکریجینگ برای فسفات، بهترین مدل برازش شده می‌باشد که در (شکل‌های ۳ و ٤) نشان داده شده‌اند.



شکل ۳: سمی‌واریوگرام تجربی برازش داده‌شده (الف: نیترات (مدل کروی)، ب: فسفات (مدل کروی))

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 14:17 IRDT on Tuesday September 8th 2026



شکل ٤: سمی‌واریوگرام متقابل تجربی برازش داده‌شده (الف: نیترات (مدل کروی)، ب: فسفات (مدل نمایی))

ارزیابی ساختار فضایی داده‌ها و نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه، حاکی از ساختار مکانی متوسط (بین ۰/۲۵–۰/۷۵) برای یون نیترات و فسفات می‌باشد. براساس تعیین مناسب‌ترین روش درون‌یابی با استفاده از معیارهای خطاگیری ریشه مربعات میانگین خطا، انحراف استاندارد عمومی و شاخص میانگین خطای مطلق، نتایج حاصل در (جدول‌های ۵ و ٦) ارائه گردیده است.

جدول ۵- میزان (RMSE)، (GSD) و (MAE) برآوردی نیترات براساس روش‌های مختلف زمین‌آمار

روش تخمین	کریجینگ معمولی	کریجینگ ساده	کریجینگ جامع	کریجینگ گسسته	کوکریجینگ معمولی	کوکریجینگ ساده	کوکریجینگ جامع	کوکریجینگ گسسته
RMSE	۸/۲۷٦۵	۸/۳۸۵۷	۸/۱٤٦۸	۸/۳۸۹۵	۷/۸۳٦۹	۷/۸۳٦۱	۷/۸۱۲٦	۷/۸۵۲٤
GSD	۰/٦۳۸۷	۰/٦٤۷۱	۰/٦۲۸۷	۰/٦٤۷٤	۰/٦۰٤۸	۰/٦۰٤۷	۰/٦۰۲۹	۰/٦۰٦۰
MAE	۵/۷۳۲۵	۵/۸۵۸٦	۵/٦۲۲۳	۵/۸٦۱٦	۵/۰۸۷۷	۵/۰۸٤٤	۵/۰۱۱۱	۵/۰۹۲٤

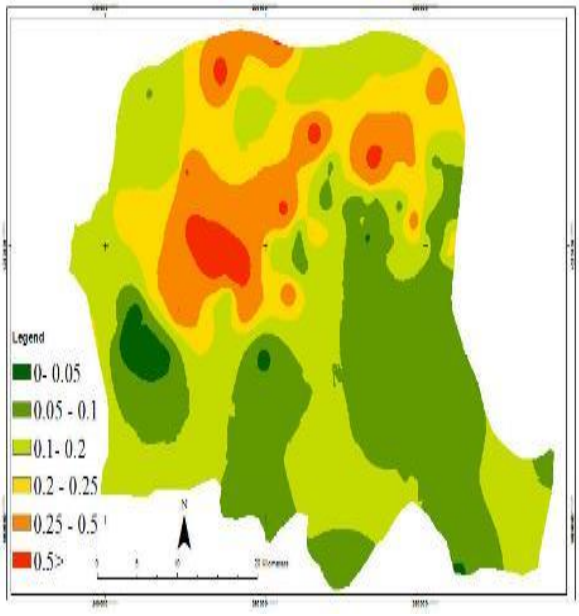
نتایج اعتبارسنجی با استفاده از هر سه معیار در مورد نیترات نشان‌دهنده این است که روش‌های کوکریجینگ در مقایسه با روش‌های کریجینگ دارای خطای کم‌تری است. روش‌های کوکریجینگ جامع، ساده، معمولی، گسسته و کریجنگ جامع، معمولی، ساده و گسسته به‌ترتیب کم‌ترین میزان نوسان و خطا را دارند. از آن‌جایی‌که روش کوکریجینگ جامع پایین‌ترین مقدار را نشان می‌دهد، به‌عنوان روش مناسب میان‌یابی در محاسبات تهیه نقشه پراکنش نیترات حوضه آبخیز قره‌سو مورد استفاده قرار گرفت.

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 14:17 IRDT on Tuesday September 8th 2026

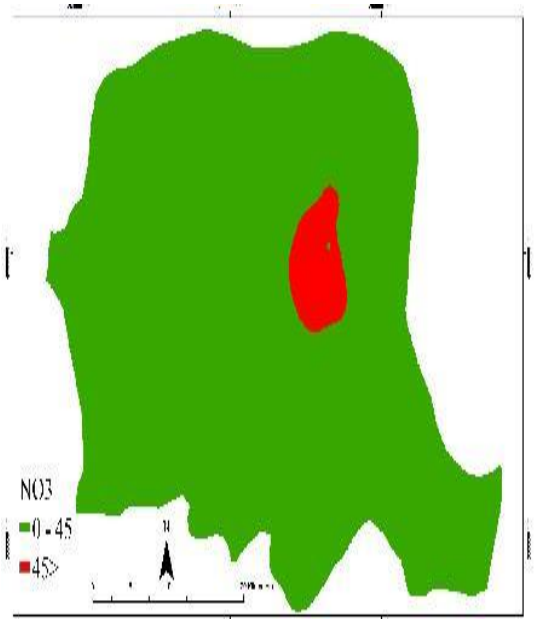
جدول ٦- (RMSE)، (GSD) و (MAE) برآوردی فسفات براساس روش‌های مختلف زمین‌آمار

روش تخمین	کریجینگ معمولی	کریجینگ ساده	کریجینگ جامع	کریجینگ گسسته	کوکریجینگ معمولی	کوکریجینگ ساده	کوکریجینگ جامع	کوکریجینگ گسسته
RMSE	۰/۱۹۳۷	۰/۱۹۵۹	۰/۲۰٤۲	۰/۱۸۷۸	۰/۲۱۳۳	۰/۱۸۹۳	۰/۲۱۳۳	۰/۱۷۹٦
GSD	۰/۷۰۷۵	۰/۷۱۵۷	۰/۷٤٦۰	۰/٦۸۵۹	۰/۷۷۹۰	۰/٦۹۱٦	۰/۷۷۹۳	۰/٦٦۵٦
MAE	۰/۱۲۳۳	۰/۱۲٤٤	۰/۱۲۹	۰/۱۲۱۷	۰/۱۳۵۰	۰/۱۲۳۲	۰/۱۳۵۱	۰/۱۱۲٦

نتایج اعتبارسنجی با استفاده از هر سه معیار در مورد فسفات، نشان‌دهنده این است که روش‌های کوکریجینگ و کریجینگ گسسته، کوکریجینگ ساده، کریجینگ معمولی، ساده و جامع، کوکریجینگ معمولی و ساده به‌ترتیب کم‌ترین میزان نوسان و خطا را دارند و با توجه به این‌که روش کوکریجینگ گسسته پایین‌ترین مقدار را نشان می‌دهد، به‌عنوان روش مناسب میان‌یابی در محاسبات تهیهٔ نقشه پراکنش فسفات حوزه آبخیز قره‌سو مورد استفاده قرار گرفت. (شکل‌های ۵، ٦ و ۷) به‌ترتیب نقشهٔ تغییرات نیترات، برآورد ریسک آلودگی آن در منطقه نسبت به آلودگی نیترات بالاتر از ٤۵ mg/l (براساس استاندارد آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا) و آلودگی بالاتر از ۵۰ mg/l (براساس استاندارد تحقیقات صنعتی ایران و سازمان بهداشت جهانی) را نشان می‌دهند. بررسی روند تغییرات مکانی نیترات در حوضه آبخیز قره‌سو نیز در (شکل ۸) ارائه گردیده است.

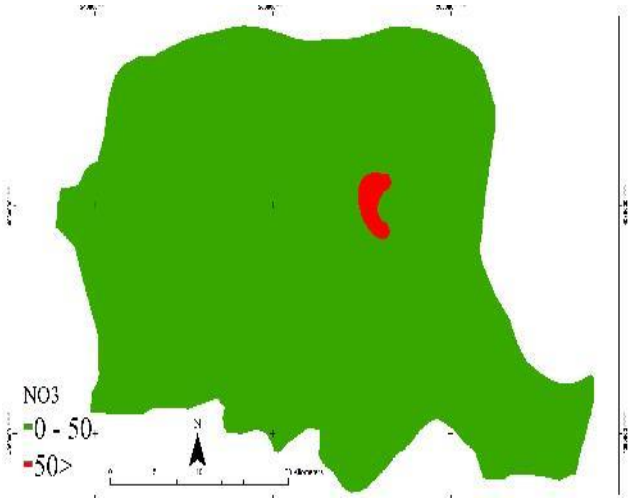


شکل ۵: تغییرات نیترات حوضه آبخیز قره‌سو
براساس روش کوکریجینگ جامع

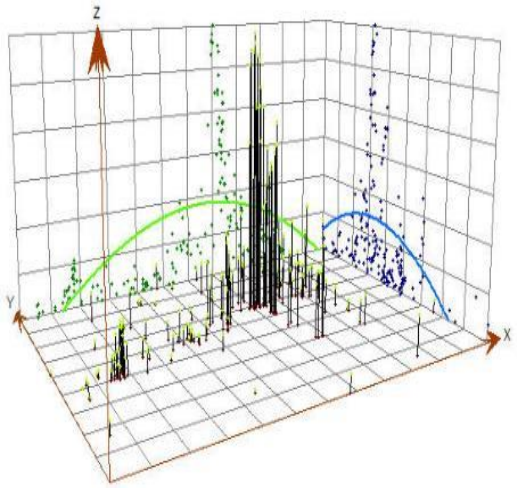


شکل ٦: احتمال نیترات بالاتر از ٤۵ mg/l
براساس روش کوکریجینگ جامع

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 14:17 IRDT on Tuesday September 8th 2026

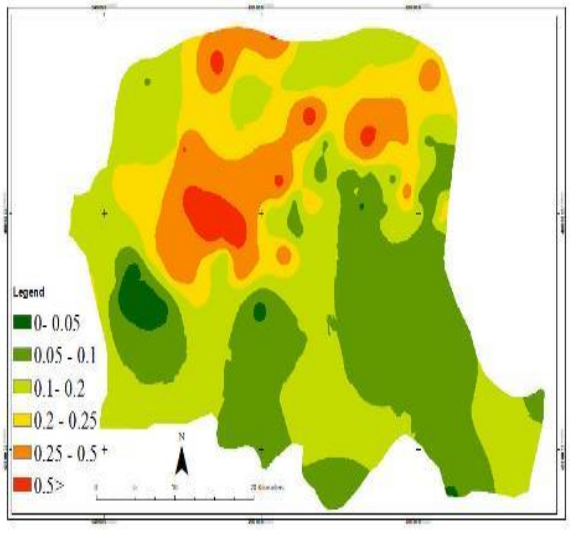


شکل ۷: احتمال نیترات بالاتر از **Mg/l** ۵۰ براساس روش کوکریجینگ جامع

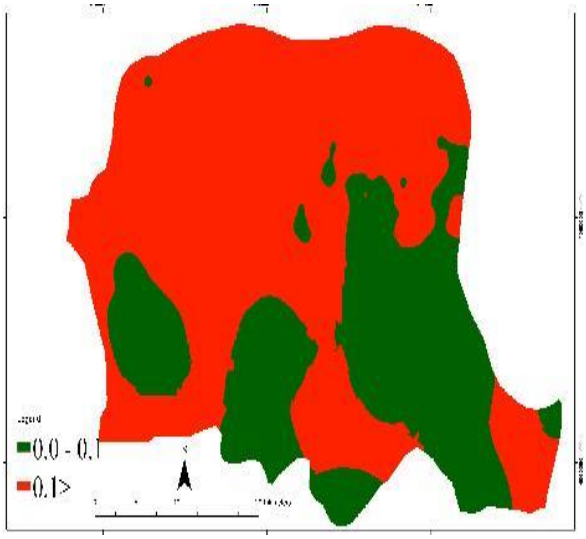


شکل ۸: روند تغییرات مکانی نیترات از شرق به غرب و شمال به جنوب حوضه (منحنی **u** شکل روند)

(شکل‌های ۹، ۱۰ و ۱۱) به‌ترتیب نقشهٔ تغییرات فسفات، برآورد ریسک آلودگی آن در منطقه نسبت به آلودگی فسفات بالاتر از mg/l ۰/۱ (حداکثر مقدار مطلوب) و آلودگی بالاتر از mg/l ۰/۲ (حداکثر مقدار مجاز) براساس استاندارد تحقیقات صنعتی ایران را نشان می‌دهند. همچنین بررسی روند تغییرات مکانی فسفات در منطقهٔ مورد مطالعه در (شکل ۱۲) ارائه گردیده است و همان‌طور که مشاهده می‌گردد از شرق به غرب دارای منحنی u شکل و از شمال به جنوب، حوضه دارای شیب کاهشی است.

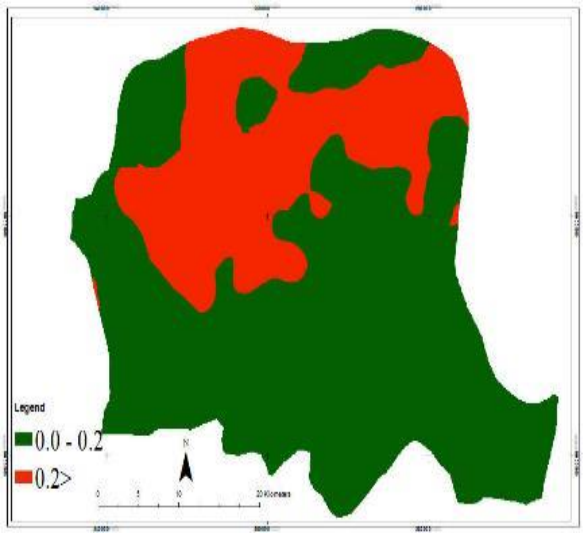


شکل ۹: تغییرات فسفات حوضه آبخیز قره‌سو براساس روش کوکریجینگ گسسته

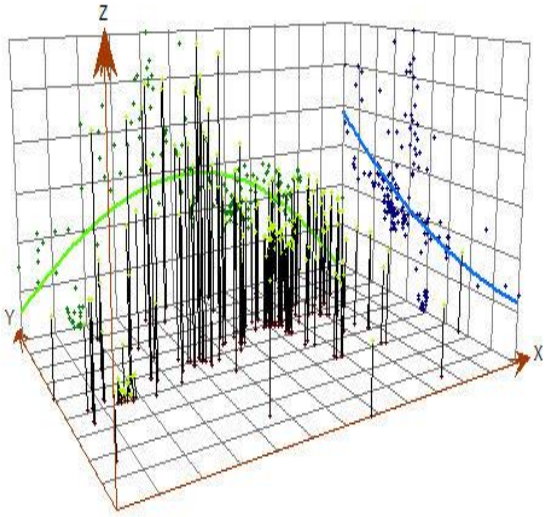


شکل ۱۰: احتمال فسفات بالاتر از **mg/l** ۰/۱ براساس روش کوکریجینگ گسسته

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 14:17 IRDT on Tuesday September 8th 2026



شکل ۱۱: نقشهٔ احتمال فسفات بالاتر از ۰/۲ mg/l براساس روش کوکریجینگ گسسته



شکل ۱۲: روند تغییرات مکانی فسفات از شرق به غرب (منحنی u شکل روند) و شمال به جنوب حوضه (خط با شیب کاهشی)

در مرحله بعد با استفاده از رگرسیون چندگانه خطی، عوامل مؤثر بر کاهش کیفیت آب شناسایی گردیدند. متغیرهای مستقل که در زیر به تفضیل ارائه شده‌اند، در محیط GIS ساخته شدند. سپس رابطه رگرسیون چندگانه خطی بین کاهش کیفیت آب به‌عنوان متغیر وابسته با پارامترهای ذکر شده برقرار گردید که در (جداول ۷ و ۸) نشان داده شده است.

جدول ۷- مدل اول رابطهٔ رگرسیون چندگانهٔ خطی (آلودگی نیترات)

متغیرهای مستقل	Beta	Std. error	Std. beta	t-ratio
مدل اول (**آلودگی نیترات**) **پارامترهای مدل**	R^2= ۰/۵۲۵ (ضریب تبیین) ، F= ۱۵/۱۸۸ ، pvalue= ۰/۰۰۰			
ارتفاع	۰/۰۴۴**	۰/۰۱۷	۰/۲۵۳	۲/۶۰۸
خاک	۰/۵۱۰**	۰/۱۵۱	-۰/۲۲۹	-۳/۱۷۴
فاصله از زمین‌های کشاورزی	۰/۰۱۳**	۰/۰۰۵	۰/۲۰۱	۲/۴۹۸
فاصله از جنگل	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۱۶۶	۱/۵۳۰
فاصله از مناطق مسکونی	۰/۰۰۵*	۰/۰۰۲	۰/۲۵۲	۲/۴۶۷
زمین‌شناسی	-۰/۱۸۷**	۰/۰۷۱	-۰/۲۴۵	-۲/۶۴۰
کاربری اراضی	۲/۰۱۸**	۰/۶۶۷	۰/۲۲۴	۳/۰۲۶
سطح آب زیرزمینی	۰/۲۳۰*	۰/۱۳۶	-۰/۱۷۰	-۱/۶۹۷
تراکم جمعیت	۰/۰۰۴**	۰/۰۰۱	۰/۲۵۴	۲/۸۶۱
فاصله از جاده	-۰/۰۰۲*	۰/۰۰۱	-۰/۱۹۲	-۱/۹۷۲
رابطهٔ بین تراکم سطح زیرکشت و میزان مصرف کود ازته	-۴/۳۶۴**	۰/۰۰۰	-۰/۲۹۹	-۳/۵۹۷

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 14:17 IRDT on Tuesday September 8th 2026

جدول ۸- مدل دوم رابطهٔ رگرسیون چندگانهٔ خطی (آلودگی فسفات)

متغیرهای مستقل	Beta	Std. error	Std. beta	t-ratio
مدل دوم (**آلودگی فسفات**) **پارامترهای مدل**	R^2= ۰/۵۲۵ (ضریب تبیین)، F = ۱۵/۱۸۸، pvalue= ۰/۰۰۰			
ارتفاع	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	-۰/۲۰۵	-۱/۷۹۰
خاک	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۶۷	۰/۷۸۸
فاصله از زمین‌های کشاورزی	-۲/۳۰۶	۰/۰۰۰	-۰/۰۲۸	-۰/۲۹۵
فاصله از جنگل	۲/۵۲۳**	۰/۰۰۰	۰/۴۸۸	۳/۸۲۳
فاصله از مناطق مسکونی	-۱/۴۴۹	۰/۰۰۰	-۰/۰۵۸	-۰/۴۷۹
زمین‌شناسی	-۰/۰۰۳**	۰/۰۰۱	-۰/۳۲۹	-۳/۰۱۶
کاربری اراضی	۰/۰۱۳	۰/۰۱۰	۰/۱۱۸	۱/۳۵۷
سطح آب زیرزمینی	۵/۶۵۸	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۲۸
تراکم جمعیت	-۵/۷۱۰**	۰/۰۰۰	-۰/۲۹۵	-۲/۸۲۷
فاصله از جاده	۲/۰۴۹	۰/۰۰۰	۰/۱۴۴	۱/۲۵۶
رابطهٔ بین تراکم سطح زیرکشت و میزان مصرف کود ازته	۳/۳۹۰*	۰/۰۰۰	۰/۱۸۵	۱/۸۹۲

با استفاده از روش حساسیت‌سنجی مدل، اهمیت هر یک از متغیرهای مستقل سنجیده شد. حساسیت‌سنجی مدل به این صورت انجام گردید که پس از اجرای مدل با سری داده‌های کامل، مدل به تعداد متغیرهای مستقل دوباره اجرا می‌شود با این تفاوت که این‌بار در هر مرحله اجرای مدل یکی از متغیرهای مستقل حذف می‌گردد و مدل با متغیرهای مستقل باقی‌مانده اجرا می‌گردد. پس از هر بار اجرا، میزان R^2 (ضریب تبیین) مدل استخراج گردید و براساس میزان تفاوت حاصل‌شده با سری داده‌های کامل اثر، متغیر مستقل محاسبه می‌گردد که نتایج آن در (شکل ۱۳) ارائه گردیده است.

شکل ۱۳: حساسیت‌سنجی مدل رگرسیون چندگانهٔ خطی (آلودگی نیترات) با حذف متغیرهای مستقل با استفاده از شاخص ضریب تعیین

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 14:17 IRDT on Tuesday September 8th 2026

شکل ١٤: حساسیت‌سنجی مدل رگرسیون چندگانهٔ خطی (آلودگی فسفات) با حذف متغیرهای مستقل با استفاده از شاخص ضریب تعیین

در این تحقیق برای تهیه نقشه‌های کیفیت آب، پس از ترسیم نیم‌متغیرنما و نیم‌متغیرنمای متقابل، مدل کروی در هر دو روش کریجینگ و کوکریجینگ برای نیترات و مدل کروی در روش کریجینگ و نمایی در روش کوکریجینگ برای فسفات، مناسب تشخیص داده شد که نشان‌دهنده پیوستگی مکانی مناسب آن جهت برازش بر ساختار فضایی داده‌های نیترات و فسفات می‌باشد و نقش به‌سزایی در بالا بردن دقت مطالعه دارد (تقی‌زاده‌مهجردی، ۲۰۰۹: ۷۰-٦٣). در مقایسه روش‌ها و تعیین مناسب‌ترین روش درون‌یابی، از معیار اعتبارسنجی متقابل استفاده گردید. در ارزیابی متقابل در هر مرحله با حذف یک نقطه مشاهده‌ای با استفاده از سایر نقاط، مقدار آن نقطه برآورد می‌شود. این کار برای تمامی نقاط مشاهده‌ای تکرار می‌شود، به‌طوری‌که در پایان، به تعداد نقاط مشاهده‌ای برآورد وجود خواهد داشت و با داشتن مقادیر واقعی و برآورد شده می‌توان خطا و انحراف روش استفاده شده را برآورد کرد (احمدیان و چاوشیان، ۲۰۱۲: ۵۳۱۲-٥٣٠٤).

نتایج، نشان‌دهنده بالا بودن توان روش کوکریجینگ با استفاده از متغیر کمکی در مقایسه با روش‌های کریجینگ در برآورد میزان نیترات و فسفات و تهیه نقشه پهنه‌بندی آن در منطقه می‌باشد. استفاده از متغیر کمکی در تهیهٔ نقشهٔ پهنه‌بندی می‌تواند باعث کاهش میزان نمونه‌برداری و در نتیجه صرفه‌جویی در زمان و هزینه گردد. نقشه تغییرات نیترات و فسفات به‌ترتیب براساس روش کوکریجینگ جامع و گسسته که کم‌ترین میزان خطا را داشتند، تهیه گردید (آقوبی و همکاران[۲۷]، ۲۰۱۰: ٣١٦-٣٠٥؛ قادرمازی و همکاران[۲۸]، ۲۰۱۱: ۱۳۵-۱۳۰؛ آذری و همکاران، ۲۰۱۳: ٥٩٦-۵۹۰ و تقی‌زاده مهجردی، ٢٠١٤: ٥٣٩-٥٣٠). همچنین نقشه پهنه‌بندی این دو پارامتر با توجه به استانداردهای ملی و بین‌المللی با هدف بهره‌برداری جهت مصرف آب شرب نیز آماده و تهیه گردید. حد مجاز مصرف نیترات براساس استاندارد تحقیقات صنعتی ایران و سازمان بهداشت جهانی، (WHO, 2004) ۵۰ mg/l می‌باشد در صورتی‌که براساس

27- Agoubi
28- Ghadermazi

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 14:17 IRDT on Tuesday September 8th 2026

استاندارد آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا حد مجاز نیتروژن-نیتراتی، ۱۰ mg/l و بیش‌ترین غلظت مجاز mg/l ٤٥ است. بررسی مطالعات مختلف نشان می‌دهد که در غلظت بالاتر از ۱۵ mg/l، احتمال آلودگی منابع آبی بر اثر فعالیت‌های انسانی وجود دارد (ناس و برکتای[۲۹]، ۲۰۰٦؛ ۲۲۷-۲۱۵ و ناس، ۲۰۰۹؛ ۱۰۸۲-۱۰۷۳).

بررسی نقشهٔ تغییرات نیترات در منطقه و مقایسه آن با استانداردهای ملی و بین‌المللی حاکی از بالابودن غلظت نیترات در شهر گرگان می‌باشد. براساس نتایج مدل‌سازی با رگرسیون چندگانه خطی اکثر پارامترهای مورد مطالعه تأثیر معنی‌داری بر آلودگی نیترات در منطقه مورد مطالعه داشته‌اند. متغیرهای مستقل ارتفاع، خاک، فاصله از زمین‌های کشاورزی، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، تراکم جمعیت و میزان مصرف کود ازته در سطح ۹۹ درصد تأثیر معنی‌دار داشته‌اند و فاصله از مناطق مسکونی، سطح آب زیرزمینی و فاصله از جاده در سطح ۹۵ درصد رابطه معنی‌دار با پراکنش نیترات داشته‌اند. با بررسی نتایج آنالیز حساسیت مدل با استفاده از ضریب تبیین که پس از هر بار اجرا میزان R^2 (ضریب تبیین) استخراج گردیده و براساس میزان تفاوت حاصل‌شده با سری داده‌های کامل اثر متغیر مستقل محاسبه می‌گردد، متغیر مستقل (رابطهٔ بین تراکم سطح زیرکشت و میزان مصرف کود ازته) بیش‌ترین تأثیر را بر آلودگی نیترات و خاک، کاربری اراضی و تراکم جمعیت به‌ترتیب، تأثیر به‌سزایی بر پراکنش نیترات آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه داشته‌اند. بررسی روند تغییرات مکانی نیترات از شرق به غرب و شمال به جنوب حوضه براساس (شکل ۸) نیز، مؤید بالابودن غلظت نیترات در گرگان و مناطق شمالی شهر می‌باشد که نشان‌دهنده نقش عوامل انسانی، توسعهٔ شهری و صنعتی، بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی و استفادهٔ بی‌رویه از کودهای شیمیایی می‌باشد.

نتایج مدل‌سازی رگرسیون چندگانه نیز مؤید همین مسئله است. این نتیجه، مشابهٔ نتایج دیگر محققان (کلینتون و ووس[۳۰]، ۲۰۰٦: ۳۵۳-۳۳۱) مبنی بر نقش منابع غیرنقطه‌ای مسکونی و صنعتی در افزایش میزان نیترات منابع آبی می‌باشد. افزایش آن به‌خصوص در مناطق شمالی گرگان می‌تواند مربوط به نفوذ فاضلاب‌های شهری گرگان و همچنین آلودگی رودخانه‌های درون شهری که در دو طرف شهر از جنوب به شمال در حرکتند، می‌باشد. نیترات به‌دلیل محلول‌بودن در آب به‌سرعت آب‌شویی شده و همراه با رواناب‌های سطحی وارد منابع آب می‌گردد.

این نتایج با یافته‌های چیکا-اُلمو و همکاران (۲۰۱٤: ۲۳۹-۲۲۹) هم‌خوانی دارد. وجود فسفات در آب مشکل بهداشتی شناخته شده‌ای به‌وجود نمی‌آورد ولی باعث تغییر در ظاهر، طعم و تولید بو در آب می‌گردد. براساس استاندارد تحقیقات صنعتی ایران، حداکثر مقدار مطلوب فسفات ۰/۱ mg/l و حداکثر مقدار مجاز آن ۰/۲ mg/l می‌باشد. آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا نیز حداکثر مقدار مجاز فسفات را ۰/۲ mg/l اعلام کرده است.

29- Nas and Berktay
30- Clinton and Vose

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 14:17 IRDT on Tuesday September 8th 2026

نتیجه‌گیری

بررسی و مطالعه نقشه تغییرات فسفات در حوضه آبخیز قره‌سو حاکی از بالابودن غلظت آن در قسمت اعظم منطقه می‌باشد. نتایج مدل‌سازی رگرسیون چندگانهٔ خطی نشان می‌دهد که متغیرهای مستقل فاصله از جنگل، زمین‌شناسی و تراکم جمعیت در سطح ۹۹ درصد و متغیر مستقل رابطهٔ بین تراکم سطح زیرکشت و میزان مصرف کود فسفاته در سطح ۹۵ درصد، رابطه معنی‌دار با پراکنش فسفات در حوضه آبخیز قره‌سو داشته‌اند که نتایج آنالیز حساسیت مدل با استفاده از ضریب تبیین نیز مؤید همین مطالب است. بالا بودن غلظت فسفات در قسمت اعظم منطقه، نقش ساختار زمین‌شناسی منطقه و تأثیر آن بر پراکنش فسفات را برجسته‌تر می‌نماید. آب‌شویی فسفات از مناطق جنگلی نیز می‌تواند از دیگر عوامل بالابودن غلظت آن در منطقه باشد. تأثیر معنی‌دار تراکم جمعیت بر پراکنش فسفات تایید می‌کند که فاضلاب‌های شهری منبع دیگری برای ورود فسفات به منابع آبی می‌باشند. نقش متغیر مستقل تراکم سطح زیرکشت و میزان مصرف کود فسفاته بر پراکنش فسفات منابع آب زیرزمینی، می‌تواند ناشی از بالابودن تراکم سطح زیرکشت در منطقه و استفاده روزافزون از کودهای شیمیایی باشد. در واقع فسفات‌ها جزیی از انواع خاک‌ها هستند و به‌طور وسیعی در کودهای شیمیایی برای جایگزینی یا به‌عنوان مکمل در زمین‌های زراعتی مصرف می‌شوند. همچنین فسفات به‌عنوان جزئی از فضولات حیوانی نیز می‌تواند به خاک راه یافته و در اثر شستشوی نواحی زراعی فسفات وارد آب‌های سطحی و زیرزمینی گردد. در سال‌های اخیر با ترویج روش‌های نوین کشاورزی صنعتی و استفاده از کودهای شیمیایی جهت تولید بیش‌تر، تعادل طبیعی عناصر محیط زیستی دستخوش تغییراتی می‌گردد که این موضوع در آب برخی از چاه‌ها مشاهده می‌گردد. منطقه مورد مطالعه، علی‌رغم بارش‌های نسبتا مناسب جوی، از نظر کیفیت آب با مشکلاتی همراه است؛ بنابراین مدیریت کیفی این مهم، در سایهٔ مراحل شناخت و امکان‌سنجی، می‌تواند از اولویت‌های برنامه‌ریزی و مدیریت بهره‌برداری به‌شمار آید. بررسی روند تغییرات شرایط کیفی آب و علت‌یابی آن می‌تواند تا حد زیادی به منسجم‌کردن دید مدیران در برنامه‌ریزی‌ها، کمک شایانی نماید. از این جهت پیشنهاد می‌گردد پژوهش‌های مشابه در منطقه با استفاده از سایر داده‌های کیفیت آب و روش‌های متفاوت زمین‌آمار برای جهت‌دهی دریچهٔ نگاه برنامه‌ریزان به این مهم، برای استفاده در سال‌های آتی انجام گیرد.

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 14:17 IRDT on Tuesday September 8th 2026

منابع

- قهرودی‌تالی، م (۱۳۸٤)، «***سیستم اطلاعات جغرافیایی در محیط سه‌بُعدی***»، تهران، انتشارات جهاد دانشگاهی تربیت معلم.

- حسنی‌پاک، ع. ا (۱۳۹۲)، «***زمین‌آمار***»، تهران، انتشارات دانشگاه تهران.

- راحلی‌نمین، ب؛ سلمان‌ماهینی، ع. ر؛ مرادی، ح. ر (۱۳۹۱)، «کمی‌سازی پارامترهای کیفی منابع آب زیرزمینی و پدیده‌های سطح زمین (گلستان، حوضهٔ قره‌سو)»، ***نشریهٔ محیط‌زیست طبیعی، مجلهٔ منابع‌طبیعی ایران***، شماره ٦٥، صص ۸۲-٦۷.

- مرکز آمار ایران (۱۳۸٦)، سالنامه آماری استان گلستان.

- مقدم، ع؛ قلعه‌بان تکمه‌داش، م؛ اسماعیلی، ک (۱۳۹۲)، «بررسی روند تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای کیفی آب دشت مشهد با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی»، ***مجله پژوهش‌های حفاظت آب‌وخاک***، شماره ۳، صص ۲۱۱-۲۲۵.

- Agoubi, b., Kharroubi, B., Bouri, S., Abida, H., (2010), "Contribution geostatistical modelling to mapping groundwater level and aquifer geometry, case study of sfaxs deep aquifer, tunisia. middle east", ***Journal of Scientific research***, 6 (3): 305-316

- Ahmadian, M., Chavoshian, M., (2012), "Spatial variability zonation of groundwater table by use geostatistical methods in central region of hamadan province", ***Annals of Biological Research***, 3 (11): 5304-5312

- Arsalan, H., (2012), "Spatial and temporal mapping of groundwater salinity using ordinary kriging and indicator kriging: The case of Bafra Plain, Turkey", ***Agricultural Water Management***, 113: 57-63.

- Azari, A., Mohseni- Saravi, M., Keshavarzi, A., Tiraro-corbala, R., (2013), "Developing groundwater quality maps ssing geostatistical", ***International Journal of Agriculture***, 3 (3): 590-596

- Chica-Olmo, M., Luque-Espinar, J. A., Rodriguez-Galiano, V., Pardo-Igúzquiza, E., Chica-Rivas, L., (2014), "Categorical indicator kriging for assessing the risk of groundwater nitrate pollution: The case of Vega de Granada aquifer (SE Spain), ***Science of the Total Environment*** , 470–471 : 229–239

- Clinton, B. D., Vose, J. M., (2006), "Variation in stream water quality in an urban headwater stream in the Southern Appalachians, ***J. of Water, Air, Soil Pollution***, 169 (1): 331-353.

- Cressie, N. O. A,. (1993), "Statistics for spatial data. Second revised edition", New York: John Wiley and Sons.

- Ghadermazi, J., Sayyad, Gh., Mohammadi, J., Moezzi, A., Ahmadi, F., Schulin, R., (2011), "Spatial prediction of nitrate concentration in drinking water using ph as auxiliary co-kriging variable", ***Procedia Environmental Sciences***, 3: 130–135

- Isaaks, E. H., Srivastava, R. M., (1989), "***An Introduction To Applied Geostatistics***, Oxford: Oxford University Press".

- Kraft, G. J., Stites, W., (2003), "Nitrate impacts on groundwater from irrigated-vegetable systems in a humid north-central US Sand Plain", ***Agriculture, Ecosystems and Environment***, 100 (1): 63-74

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 14:17 IRDT on Tuesday September 8th 2026

- Manly, B. F. J., (1994), "***Multivariate statistical methods***", Published by Chapman and Hall, Department of mathematics and statistics, University of Otago, New Zealand.
- Mendes, M. P., Ribeiro, L., (2010), "Nitrate probability mapping in the northern aquifer alluvial system of the river Tagus (Portugal) using disjunctive kriging", ***Science of the Total Environment***, 408: 1021–1034
- Nas, B., Berktay., D., (2010), "A ground-water quality mapping in urban groundwater using GIS", ***Environmental Monitoring and Assessment***, 160: 215-227
- Nas, B., (2009), "Geostatistical approach to assessment of spatial distribution of groundwater quality", ***Polish J. of Environ. Stud***, 18 (6): 1073-1082
- Ozturk, C. A., Simdi, E., (2014), "Geostatistical investigation of geotechnical and constructional properties in Kadikoy–Kartal subway, Turkey", ***Tunnelling and Underground Space Technology***, 41: 35–45
- Park, H., Stenstrom, M., Michael, K., (2006), "Using satellite imagery for stormwater pollution management with Bayesian networks", ***Enviromental International***, 30: 506-52.
- Shi, J., Wang, H., Xu, J., Wu, J., Liu, X., Zhu, H., Yu, C., (2007), "Spatial distribution of heavy metals in soils: a case study of Changing", China, ***Environmental Geology***, 52: 1-10.
- Stein, A. Corsten, L. C. A., (1991), "Universal kriging and cokriging as regression procedures", ***Biometrics***, 47: 575 -587.
- Taghizadeh-Mehrjardi, R., (2014), "Mapping the spatial variability of groundwater quality in Urmia", ***Iran. J. Mater. Environ. Sci***, 5 (2): 530-539
- Taghizadeh-Mehrjardi, R., Zareian Jahromi, M., Mahmodi, Sh., Heidari, A., Sarmadian, F., (2009), "Reviewing methods of spatial interpolation to investigate the underground water quality parameters, Rafsanjan plain", ***J. of Iranian Watersheds Science and Engineering***, 2: 63-70.
- Tutmez, B., Hatipoglu, Z., (2010), "Comparing two data driven interpolation methods for modeling nitrate distribution in aquifer", ***Ecological Informatics***, 5: 311–315
- Weterings, G., (1989), "Using cokriging in variability studies to predict physical land qualities of a level river terrace", ***Soil Technology***, 2: 385-402.
- Zaimes, G. N., Schultz, R. C., Isenhart, T. M., (2008), "Total phosphores concentrations and ccompaction in riparian areas unde different riparian land use of iowa, agriculture", ***Ecosystems and Environment***, 127 (1-2): 22-30.