

گزارش فنی

تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی دشت مروست

محمد حسن زاده نفوتی*^۱ و احسان امامی میبیدی^۲

^۱ استادیار گروه آبخیزداری، واحد میبید، دانشگاه آزاد اسلامی، میبید، ایران و ^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد، واحد میبید، دانشگاه آزاد اسلامی، میبید، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۶/۲۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۱/۱۵

چکیده

این تحقیق با هدف بررسی تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت مروست به منظور استفاده در برنامه‌ریزی برای مدیریت این منابع صورت گرفت. به همین دلیل، داده‌های کیفیت آب زیرزمینی دشت مروست شامل پارامترهای مجموع آنیون‌ها و کاتیون‌ها، درصد سدیم، Ca، Cl، EC، HCO₃، K، Mg، Na، pH، SAR، SO₄ و TH تهیه و با بررسی و بازسازی داده‌های ناقص، دوره آماری ۱۴ ساله از ۱۳۷۷ تا ۱۳۹۰ برای پژوهش انتخاب شد. برای اجرای روش‌های زمین‌آماری، نیم‌تغییرنما و نیم‌تغییرنمای متقابل ترسیم و باتوجه به میزان R² بیشتر، RSS کمتر و ساختار فضایی قوی‌تر بهترین مدل انتخاب که مدل نمایی برای اغلب پارامترها مناسب تشخیص داده شد. سپس روش‌های IDW، RBF با توان‌های یک و دو، کریجینگ معمولی و کوکریجینگ معمولی برای اجرای درون‌یابی استفاده شد. با روش ارزیابی متقابل و سه شاخص برآورد خطای MAE، MBE و RMSE دقیق‌ترین روش برای هر پارامتر انتخاب شد. نتایج نشان داد، روش کوکریجینگ معمولی برای اغلب پارامترها (کاتیون، آنیون، EC، Ca، Cl، K، Mg، Na و TH) بهترین روش می‌باشد. برای پارامترهای SAR، SO₄ و pH روش کریجینگ معمولی، برای پارامتر درصد سدیم تابع پایه شعاعی و برای پارامتر HCO₃ روش وزن‌دهی عکس فاصله با توان یک مناسب‌ترین روش تشخیص داده شد. نتایج حاصل نشان داد، غلظت اکثر پارامترها دارای روندی صعودی از غرب به شرق منطقه مورد مطالعه و جنوب به شمال آن منطقه می‌باشد. همچنین، با گذشت زمان روند کاهش کیفیت آب زیرزمینی مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: استان یزد، پهنه‌بندی، زمین‌آمار، کریجینگ، نمونه‌برداری، GIS

مقدمه

اجتماعی از جمله مشکلات ناشی از تخریب این مناطق می‌باشند. لذا می‌بایست این منابع به‌طور مداوم مورد پایش قرار گیرند. شناسایی و بررسی وضعیت این منابع با روش‌های سنتی و مشاهده‌ای کاری سخت، زمانبر و پرهزینه است. امروزه با پیشرفت علم و تدوین روش‌های جدید، می‌توان با کمترین هزینه و صرف زمان کمتر نقشه‌های تغییرات کیفیت و کمیت دقیق‌تر و کارآمدتری را تهیه نمود.

آب‌های زیرزمینی در مناطق خشک و بیابانی جهان از اهمیت فراوانی برخوردارند. این منابع که جزء اصلی‌ترین منابع آبی در این مناطق هستند به‌علت برداشت‌های بی‌رویه، بیشتر از دیگر منابع دچار تخریب می‌شوند. پیشروی آب‌های شور به این مناطق و شور شدن خاک‌ها و به‌دنبال آن اثرات اقتصادی و

* مسئول مکاتبات: mhasanzadeh@yahoo.com

Elewa و همکاران (۲۰۱۲) در تحقیقی با هدف تعیین مناطق مناسب برای حفاظت آب‌های زیرزمینی آبخوان کواترنر در شمال شرقی دلتای رود نیل^۱ از سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی استفاده نمودند. نتایج تحلیل نمونه‌های ۴۶ حلقه چاه این منطقه و درون‌یابی کریجینگ نشان داد که مناطق شمالی بیشتر از دیگر مناطق در معرض خطر شوری قرار دارند. Kharroubi و همکاران (۲۰۱۲) پارمتر شوری در آب‌های زیرزمینی جبراً^۲ واقع در جنوب شرقی تونس^۳ را با استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) بررسی کردند. این آبخوان ساحلی که جزء مناطق خشک مدیترانه‌ای است، متأثر از شوری آب دریا می‌باشد. نتایج حاصل نشان داد، مناطق مرکزی این آبخوان دارای شوری کمتر و مناطق ساحلی دارای شوری بیشتر است که یکی از علل آن نرخ پمپاژ بالا در برخی مناطق و برهم‌خوردن تعادل طبیعی بین آب شور و شیرین می‌باشد. در بررسی صورت گرفته در دشت‌های پست دریای بوهای^۴ واقع در شمال چین، از زمین‌آمار (کریجینگ معمولی) استفاده شد. این مطالعات با استفاده از نمونه‌های برداشتی از ۱۳۰ حلقه چاه در مناطق دارای آب زیرزمینی کم‌عمق و بر روی پارامترهای یون‌های محلول در آب، EC، TDS، TH، TS و قلیائیت کل (TA) صورت گرفت. نتایج نشان داد میزان EC، TDS و TS افزایش از غرب به شرق و میزان TH و TA در مناطق مرکزی بیشتر از سایر مناطق می‌باشد (Zhou و همکاران، ۲۰۱۲).

مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش: شهرستان خاتم با وسعت ۷۹۳۱ کیلومتر مربع در مختصات ۳۰' ۳۱° تا ۳۲' ۳۹° عرض شمالی ۵۰' ۵۳° تا ۴۰' ۵۴° طول شرقی واقع شده است. این شهرستان از شمال به شهرستان مه‌ریز از شمال غرب به شهرستان ابرکوه از شرق به شهرستان شهربابک (استان کرمان) از غرب به شهرستان بوانات (استان فارس) و از جنوب به

Rezaei و همکاران (۲۰۱۱) در بررسی تغییرات مکانی برخی شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی استان گیلان از زمین‌آمار استفاده نمودند. در این بررسی‌ها مشخص شد، میزان پارامترهای مورد بررسی در بیشتر مناطق استان پائین است و تنها در مناطق پائین‌دست حوضه سفیدرود مخصوصاً در تلاقی سفیدرود با دریای خزر میزان این پارامترها بیشتر است. Rahmani و همکاران (۲۰۱۱) در ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی دشت ایزه-پیون به منظور مصارف شرب از GIS و کریجینگ استفاده کردند. در این تحقیق، شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GQI) به وسیله نرم‌افزار ArcGIS 9.3 برای دشت مذکور برآورد شد. نتایج برآورد آن، مقدار ۹۲ تا ۹۴ درصد را نشان می‌دهد که بیان‌کننده کیفیت مناسب و عالی آب زیرزمینی دشت است. Zeraatkar و همکاران (۲۰۱۲) تخمین مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی دشت فسا را با استفاده از زمین‌آمار انجام دادند. در این تحقیق، از پارامترهای کلر و نسبت جذب سدیم به‌عنوان پارامترهای اصلی و شوری به‌عنوان پارامتر کمکی استفاده کردند. همچنین، روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ به‌منظور تخمین پارامترها به‌کار برده شد که نتایج نشان داد، روش کوکریجینگ دقیق‌ترین روش می‌باشد.

Ghaemizadeh و همکاران (۲۰۱۲) نقشه‌های کیفی EC، SAR، TDS و آب‌های زیرزمینی دشت اسدآباد همدان را با استفاده از GIS ترسیم کردند. در انجام این تحقیق روش‌های کریجینگ معمولی، کریجینگ ساده، وزن‌دهی عکس فاصله و توابع پایه شعاعی مورد آزمون قرار گرفت که نتایج نشان داد کریجینگ ساده دقیق‌ترین روش میان‌یابی برای پارامترهای مذکور می‌باشد. نقشه‌های حاصله بیانگر غلظت بیشتر این پارامترها در مناطق جنوبی دشت است. Shabani (۲۰۱۰) برخی خصوصیات کیفی آب‌های زیرزمینی دشت ارسنجان را با استفاده از روش‌های زمین‌آمار بررسی و نقشه پهنه بندی آن‌ها را ترسیم نمود. Ramezani و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از داده‌های ۱۰ ایستگاه نمونه‌برداری در مسیر رودخانه گدارخوش استان ایلام، نقشه‌های پهنه‌بندی کیفیت آب را در محیط GIS ترسیم کردند.

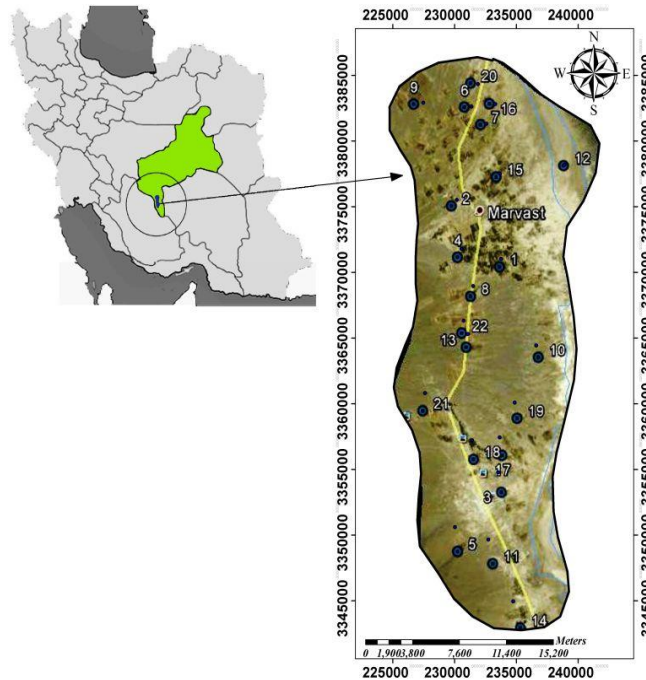
¹ Quaternary aquifer of northeastern Nile Delta

² Jebra

³ Tunisia

⁴ Bohai

شهرستان نیریز (استان فارس) هم‌مرز می‌باشد. این شهرستان در جنوبی‌ترین نقطه استان یزد و با ارتفاع ۱۶۰۰ متر از سطح دریا قرار گرفته است. دشت مروست جزء بخش مروست و جزء شهرستان خاتم محسوب می‌شود. این شهر تا مرکز استان یزد ۱۸۵ کیلومتر فاصله دارد. منطقه مورد مطالعه بخشی از دشت مروست و با وسعت ۵۲۸/۸۳ کیلومتر مربع و در محدوده جغرافیایی ۸' ۵۴° تا ۱۸' ۵۴° طول شرقی و ۱۱' ۳۰° تا درجه و ۳۵' ۳۰° عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱).



شکل ۱- نقشه محدوده مطالعاتی دشت مروست

بررسی توزیع داده‌ها از آزمون کلموگراف-اسمیرنوف^۱ و نرم‌افزار SPSS استفاده شد. در این پژوهش از روش-های IDW, RBF با توان‌های یک و دو، زمین‌آماری کریجینگ معمولی^۲ و کوکریجینگ معمولی^۳ و نرم‌افزار ArcGIS 9.3 استفاده شد. روش‌های میان‌یابی از هر نوع که باشند، می‌تواند به‌صورت معادله‌ای خطی یا غیرخطی باشند. معادله کلی میان‌یابی به‌صورت معادله (۱) است و تفاوت روش‌های مختلف در نحوه برآورد عامل وزنی معادله است.

$$Z^*(x) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(X_i) \quad (1)$$

که در آن، $Z^*(x)$ مقدار برآورد شده متغیر Z در نقطه x ، مقدار مشاهده شده متغیر Z در نقطه x_i

منابع آماری: برای انجام این پژوهش از داده‌های کیفی ۱۴ پارامتر کیفیت آب زیرزمینی دشت مروست شامل پارامترهای مجموع آنیون‌ها و کاتیون‌ها، درصد سدیم، Ca، Cl، EC، HCO₃، K، Mg، Na، pH، SAR، SO₄ و TH در یک دوره ۱۴ ساله از سال ۱۳۷۷ تا ۱۳۹۰ و از ۲۲ حلقه چاه موجود انتخاب و پس از آماده سازی مورد استفاده قرار گرفت. برای بازسازی داده‌ها از روش‌های همبستگی بین چاه‌ها و نرم‌افزار SPSS 17.0 استفاده شد (Mahdavi, ۲۰۰۵).

با توجه به این‌که داده‌های برخی از چاه‌ها در آزمون ضریب همبستگی هیچ‌گونه همبستگی را با چاه‌های دیگر نشان نمی‌دهند، برای بازسازی این داده‌ها از روش تفاضل‌ها استفاده شد (Alizadeh, ۲۰۰۱).

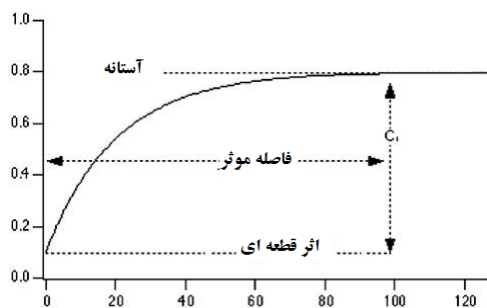
بررسی توزیع داده‌ها: برای اجرای روش‌های زمین-آمار، داده‌ها می‌بایست دارای توزیع نرمال باشند. برای

¹ Kolmogorov-Smirnov

² Ordinary Kriging

³ Ordinary CoKriging

شده بستگی دارد و همیشه جمع آن‌ها برابر با یک است. نیم‌تغییرنما دارای مشخصاتی است که شامل آستانه ($Sill = C_1 + C_0$)، فاصله مؤثر (R) و اثر قطعه‌ای (C_0) است. مقدار آستانه که بیشترین مقدار تغییرنما بوده، در عمل همان واریانس مکانی متغیر مورد نظر می‌باشد. کمترین نقطه نیم‌تغییرنما اثر قطعه‌ای بوده، بیانگر واریانس خطای اندازه‌گیری است. فاصله مؤثر، بیانگر فاصله همبستگی و پیوستگی مکانی یک متغیر بوده، فاصله‌ای است که در آن تغییرنما دارای بیشترین مقدار می‌شود (Izadi و همکاران، ۲۰۱۱). شکل ۲ یک نمونه نیم‌تغییرنما را نشان می‌دهد.



شکل ۲- نمونه نیم‌تغییرنما

کوکریجینگ معمولی: همان‌طور که در آمار کلاسیک، روش‌های چندمتغیره برای تخمین وجود دارد، در زمین‌آمار نیز می‌توان به روش کوکریجینگ بر اساس همبستگی بین متغیرهای مختلف تخمین زد که این خصوصیت می‌تواند باعث دقت بیشتر تخمین‌ها و صرفه‌جویی در هزینه‌ها (با نمونه‌برداری کمتر) شود. معادله کوکریجینگ با فرض وجود یک متغیر کمکی و یک متغیر اصلی به شرح معادله (۲) است (Feizi و همکاران، ۲۰۱۱).

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_{1i} Z_1(x_i) + \sum_{j=1}^m \lambda_{2j} Z_2(x_j) \quad (2)$$

که در آن، $Z_2(x_j)$ متغیر مکانی کمکی اولیه، $Z_1(x_i)$ متغیر مکانی اصلی، $Z^*(x_0)$ مقدار نامعلوم متغیر در نقطه x_0 و m و n به ترتیب تعداد نقاط نمونه‌برداری متغیرهای کمکی و اصلی و λ_{1i} و λ_{2j} عبارتند از وزن‌های آماری اختصاص داده شده به متغیرهای اصلی و کمکی. در این روش علاوه بر تعیین نیم‌تغییرنماهای متغیرهای اولیه و ثانویه به‌طور جداگانه، نیم‌تغییرنمای

λ_i وزن نسبت داده شده به متغیر Z در نقطه X_i و n تعداد نقاط نمونه است (Taghizadeh-Mehrjardi و همکاران، ۲۰۰۹).

تحلیل روند^۱: اگر روندی غیرتصادفی در داده‌ها وجود داشته باشد، این روند در سطحی که به‌وسیله هر کدام از روش‌های دورن‌یابی ایجاد خواهد شد ظاهر می‌شود که می‌توان آن را از داده‌ها حذف کرد. حذف روند باعث می‌شود تا مسیر پژوهش با دامنه کمتری از داده‌ها برای ایجاد سطح مورد نظر سروکار داشته باشد. وجود یا عدم وجود روند در داده‌ها به‌وسیله نرم‌افزار ArcGIS و افزونه Geostatistical Analyst قابل بررسی است.

روش‌های زمین‌آمار: زمین‌آمار علمی است که به روش آماری بر روی داده‌ها، تحلیل مکانی انجام می‌دهد. در زمین‌آمار علاوه بر مقدار یک کمیت معین در یک نمونه، موقعیت مکانی نمونه نیز مورد توجه قرار می‌گیرد. به‌عبارت دیگر، باید بتوان بین مقادیر مختلف یک کمیت در جامعه نمونه‌ها و فاصله نمونه‌ها در جهت قرارگیری آن‌ها نسبت به هم ارتباطی برقرار کرد که ممکن است در قالب‌های ریاضی قابل بیان باشد. به این قالب‌های ریاضی ساختار مکانی گفته می‌شود. بنابراین در زمین‌آمار ابتدا به بررسی وجود یا عدم وجود ساختار مکانی بین داده‌ها پرداخته می‌شود و سپس در صورت وجود ساختار مکانی، تحلیل داده‌ها انجام می‌گیرد (Hassani Pak، ۲۰۱۰).

کریجینگ معمولی: کریجینگ معمولی تخمین‌زنی است که مقادیر یک متغیر را در نقاط نمونه‌برداری نشده به‌صورت ترکیب خطی از مقادیر همان متغیر در نقاط اطراف آن در نظر می‌گیرد (Zehtabian و همکاران، ۲۰۱۰). مهم‌ترین قسمت کریجینگ معمولی تعیین وزن‌های آماری λ_i می‌باشد (Rostami Khalaj و همکاران، ۲۰۱۱). در این روش، برای بیان تغییرات فضایی از نیم‌تغییرنما^۲ (واریوگرام) استفاده می‌شود و خطای مقادیر پیش‌بینی شده را با توجه به توزیع فضایی داده‌های پیش‌بینی شده کمینه می‌کنند. وزن‌ها به درجه همبستگی بین نقاط نمونه و نقاط برآورد

¹ Trend Analysis

² Semivariogram

دوم میانگین مربع خطا (RMSE)، استفاده شد. هر چه نتیجه برآورد خطای این روش‌ها کمتر و به صفر نزدیک‌تر باشد، روش درون‌یابی دقیق‌تر است. **بررسی تغییرات زمانی:** به‌منظور بررسی تغییرات زمانی پارامترها از نرم‌افزار Excel و نمودار روند تغییرات سالانه استفاده شد. با استفاده از نمودارهای حاصل می‌توان تغییرات غلظت هر پارامتر را در طول دوره آماری مورد نظر بررسی نمود.

نتایج و بحث

با استفاده از آزمون کلموگراف-اسمیرنوف مشخص شد، تمامی داده‌ها به غیر از Na همگی نرمال می‌باشند که پارامتر Na نیز از طریق روش لگاریتمی نرمال شد. به‌منظور بررسی وجود یا عدم وجود روند در داده‌های کیفیت آب زیرزمینی از نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد. با توجه به مشاهده وجود روند در داده‌ها در زمان اجرای روش‌ها، حذف روند صورت گرفت. با استفاده از نرم‌افزار GS^+ نیم‌تغییرنا برای هر پارامتر ترسیم شد. با تحلیل نیم‌تغییرنا، بهترین مدل برای هر پارامتر بر اساس R^2 بیشتر، RSS کمتر و ساختار فضایی قوی‌تر انتخاب شد. نمونه ترسیم و تحلیل نیم‌تغییرنا برای پارامتر آنیون در شکل ۳ و جدول ۱ قابل مشاهده است. سپس نیم‌تغییرنمای متقابل با استفاده از ضریب همبستگی بین پارامترها ترسیم شد که نتایج انتخاب پارامتر کمکی در جدول ۲ قابل مشاهده می‌باشد.

پس از ترسیم نیم‌تغییرنا و نیم‌تغییرنمای متقابل و برازش مناسب‌ترین مدل، روش‌های مختلف درون‌یابی برای هر پارامتر اجرا و پس از بررسی نتایج حاصله، دقیق‌ترین روش برای هر پارامتر انتخاب و نقشه کیفیت آب زیرزمینی منطقه ترسیم شد. نتایج حاصل از انتخاب دقیق‌ترین روش درون‌یابی در جدول ۳ است. همچنین، نقشه‌های کیفیت آب زیرزمینی پارامترهای مختلف برای سال ۱۳۷۷ در شکل‌های ۴ تا ۱۷ قابل مشاهده می‌باشد.

متقابل^۱، که بیانگر ساختار همبستگی مکانی بین دو متغیر اولیه و ثانویه است نیز بایستی محاسبه و ترسیم شود (Izadi و همکاران، ۲۰۱۱). برای اجرای روش کوکریجینگ ابتدا ضریب همبستگی پارامترهای مختلف در نرم‌افزار SPSS محاسبه و برای هر پارامتر، پارامتری که دارای بیشترین ضریب همبستگی بود به‌عنوان پارامتر کمکی انتخاب شد (Zeraatkar و همکاران، ۲۰۱۲). برای برازش مدل‌های مختلف نیم‌تغییرنا از نرم‌افزار تخصصی GS^+ استفاده شد (Rezaei و همکاران، ۲۰۱۱).

وزن‌دهی عکس فاصله^۲: فرض اساسی این روش بر آن است که با افزایش فاصله میزان تأثیر پارامترها در برآورد واحد سطح کاهش می‌یابد. پایه روش وزن‌دادن عکس فاصله، وزن‌دهی بر اساس عکس فاصله تا نقطه تخمین است. به‌عبارت دیگر وزن‌دهی بیشتر به نزدیک‌ترین نمونه‌ها و اختصاص وزن کمتر به نمونه‌هایی است که در فاصله بیشتر قرار گرفته‌اند (Rezaei و همکاران، ۲۰۱۱). برای میان‌یابی، مقادیر وزن‌ها با استفاده از معادله (۳) تعریف می‌شوند.

$$\lambda_i = \frac{D_i^{-\alpha}}{\sum_{i=1}^n D_i^{-\alpha}} \quad (3)$$

که در آن، λ_i مقدار عوامل وزنی، D_i فاصله بین نقطه برآورد شده و مقدار مشاهده شده در نقطه i ، α توان معادله، n تعداد نقاط مشاهده شده است.

توابع پایه شعاعی^۳: تابع شعاعی تابعی به‌صورت معادله (۴) است که وابسته به فاصله بین $X \in Rd$ و نقطه ثابت $X_j \in Rd$ است. در این تابع، Φ تابعی پیوسته و وابسته به هر زیرمجموعه $\Omega \in Rd$ است. r نشان‌دهنده فاصله اقلیدسی بین هر جفت نقطه در مجموعه Ω می‌باشد (Rostami Khalaj و همکاران، ۲۰۱۱).

$$\Phi_j(x) = \Phi(\|x - x_j\|) \quad (4)$$

ارزیابی دقت روش‌ها: برای انتخاب روش مناسب میان‌یابی از روش ارزیابی متقابل^۴ (اعتبارسنجی متقابل) و روش‌های میانگین خطای مطلق (MAE)، میانگین خطای اربیب یا انحراف معیار (MBE) و ریشه

¹ Cross Variogram

² Invers Distance Weighted

³ Radial Basis Functions (RBF)

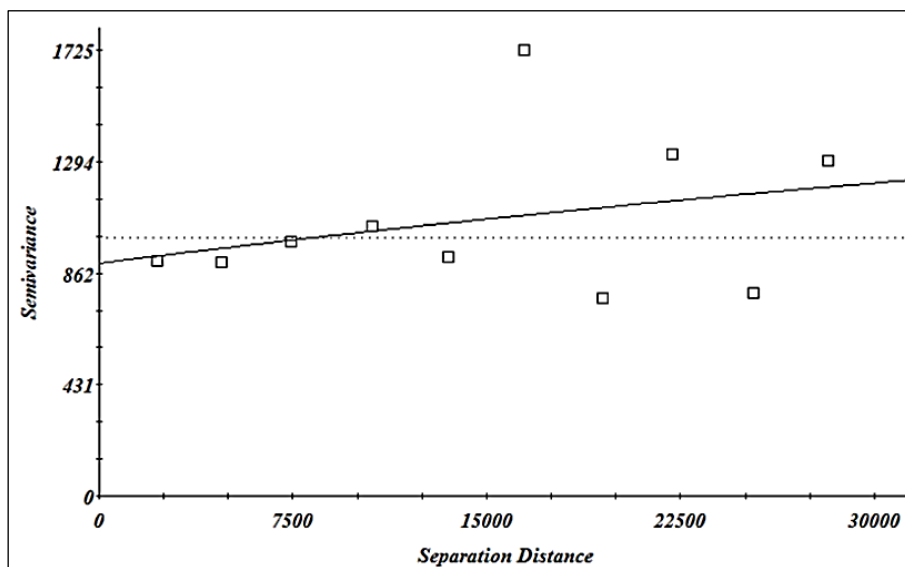
⁴ Cross-Validation

جدول ۱- نتایج آنالیز نیم‌تغییرنمای پارامتر آنیون

مدل	R ²	RSS	ساختار فضایی
کروی	۰/۰۷	۷۸۱۰۹۹	۰/۵
نمایی	۰/۰۷۳	۷۴۱۷۴۶	۰/۵
گوسی	۰/۰۴۸	۷۶۱۱۷۰	۰/۵

جدول ۲- نتایج انتخاب پارامتر کمکی برای ترسیم نیم‌تغییرنما متقابل

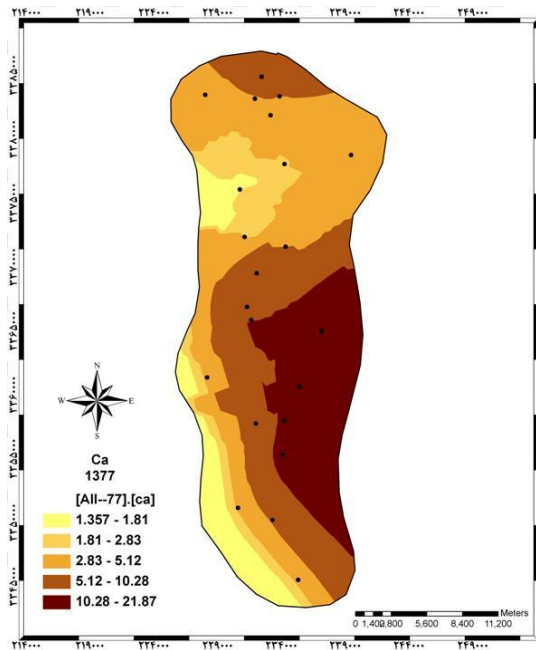
ردیف	پارامتر اصلی	پارامتر کمکی	ضریب همبستگی
۱	EC	کاتیون	۰/۹۹۷
۲	pH	--	--
۳	HCO ₃	--	--
۴	Cl	کاتیون	۰/۹۶۹
۵	SO ₄	TH	۰/۹۴۶
۶	آنیون	EC	۰/۹۹۵
۷	Ca	TH	۰/۹۸۵
۸	Mg	TH	۰/۹۸۵
۹	Na	کاتیون	۰/۹۸۸
۱۰	K	SO ₄	۰/۸۲۱
۱۱	کاتیون	EC	۰/۹۹۷
۱۲	درصد سدیم	SAR	۰/۷۱۰
۱۳	SAR	Cl	۰/۸۸۶
۱۴	TH	Ca	۰/۹۸۵



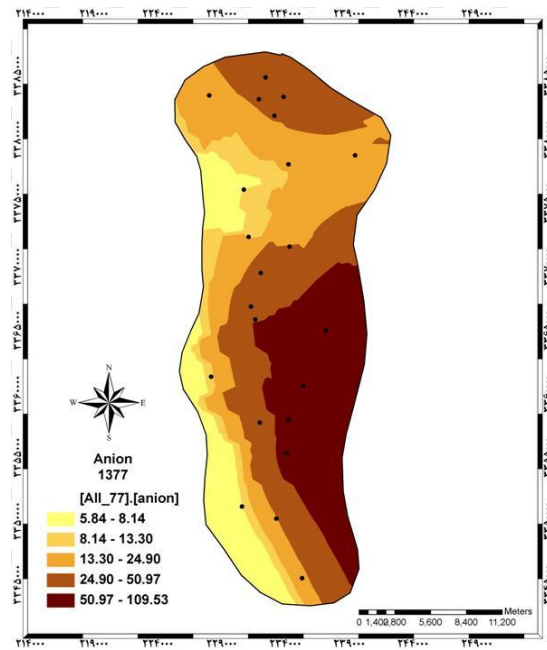
شکل ۳- نمودار نیم‌تغییرنمای پارامتر آنیون

جدول ۳- نتایج انتخاب دقیق‌ترین روش برای اجرای درون‌یابی پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی

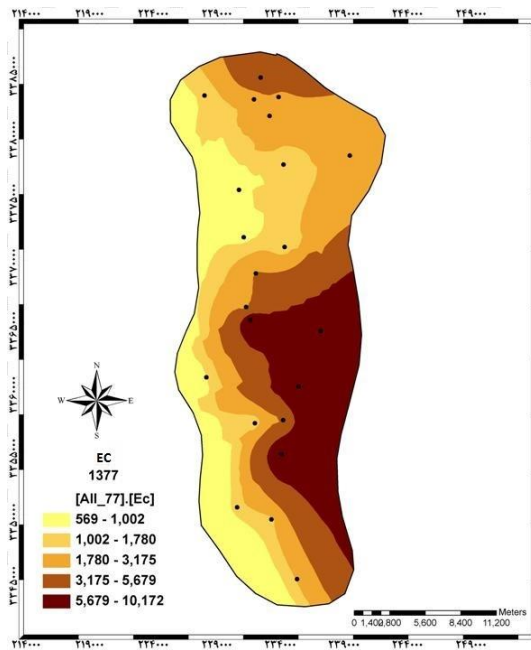
ردیف	پارامتر	روش درون‌یابی	توان ارزیابی/ مدل نیم‌تغییرنما	MAE	RMSE	MBE
۱	آنیون	کوکرینگ معمولی	مدل نمایی	۲۱/۷۲	۲۸/۱۲	-۰/۲۳۰
۲	EC	کوکرینگ معمولی	مدل نمایی	۱۸۹۷	۲۳۰۰	۴۱/۲۹
۳	کاتیون	کوکرینگ معمولی	مدل نمایی	۲۳/۷۵	۲۹/۳۲	-۰/۳۲۹
۴	pH	کریجینگ معمولی	مدل کروی	۰/۲۴	۰/۲۷۵	-۰/۰۱۸
۵	HCO ₃	وزن‌دهی عکس فاصله	توان ۱	۰/۸۶۸	۱/۰۷۳	-۰/۰۱۳۲
۶	Cl	کوکرینگ معمولی	مدل گوسی	۱۶/۷۳۲	۲۰/۹۸	-۰/۴۱۱
۷	K	کوکرینگ معمولی	مدل نمایی	۰/۰۶۱۶	۰/۰۹۴	-۰/۰۰۴۳
۸	Ca	کوکرینگ معمولی	مدل نمایی	۴/۱۲۵	۵/۶۴۵	-۰/۰۷۸
۹	SO ₄	کریجینگ معمولی	مدل کروی	۵/۲۱۸	۶/۷۵۷	-۰/۲۷۱
۱۰	Mg	کوکرینگ معمولی	مدل گوسی	۳/۲۰۵	۴/۲۵۸	-۰/۱۸۷
۱۱	Na	کوکرینگ معمولی	مدل گوسی	۱۴/۴۹	۲۱/۸۹	-۴/۱۳۲
۱۲	درصد سدیم	تابع پایه شعاعی	---	۸/۶۹	۱۰/۲۹	-۰/۰۹۱
۱۳	SAR	کریجینگ معمولی	مدل گوسی	۵/۳۹۸	۶/۶۶	-۰/۲۵۹
۱۴	TH	کوکرینگ معمولی	مدل کروی	۳۴۵/۷۱	۴۳۸/۹	-۴/۶۵



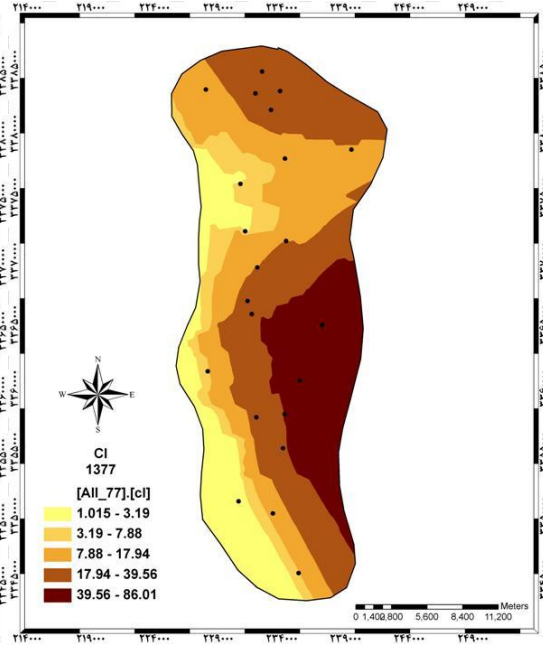
شکل ۵- نقشه تغییرات مکانی پارامتر Ca سال ۱۳۷۷



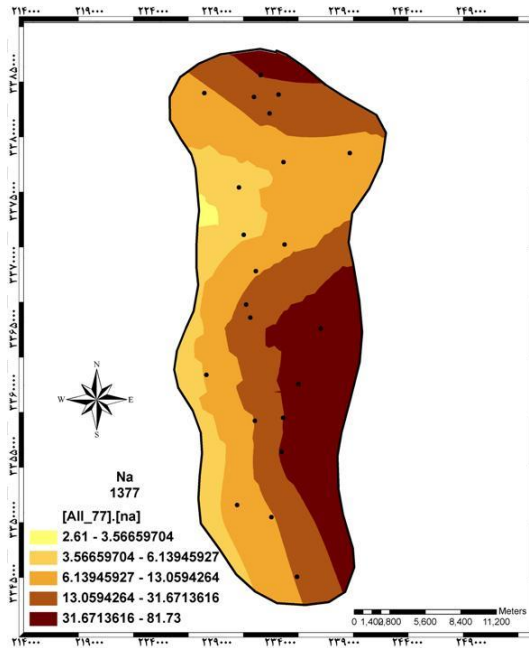
شکل ۴- نقشه تغییرات مکانی پارامتر آنیون سال ۱۳۷۷



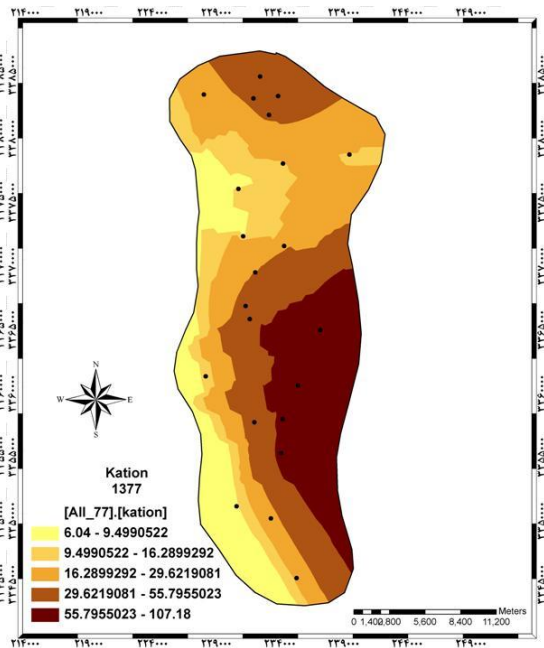
شکل ۷- نقشه تغییرات مکانی پارامتر EC سال ۱۳۷۷



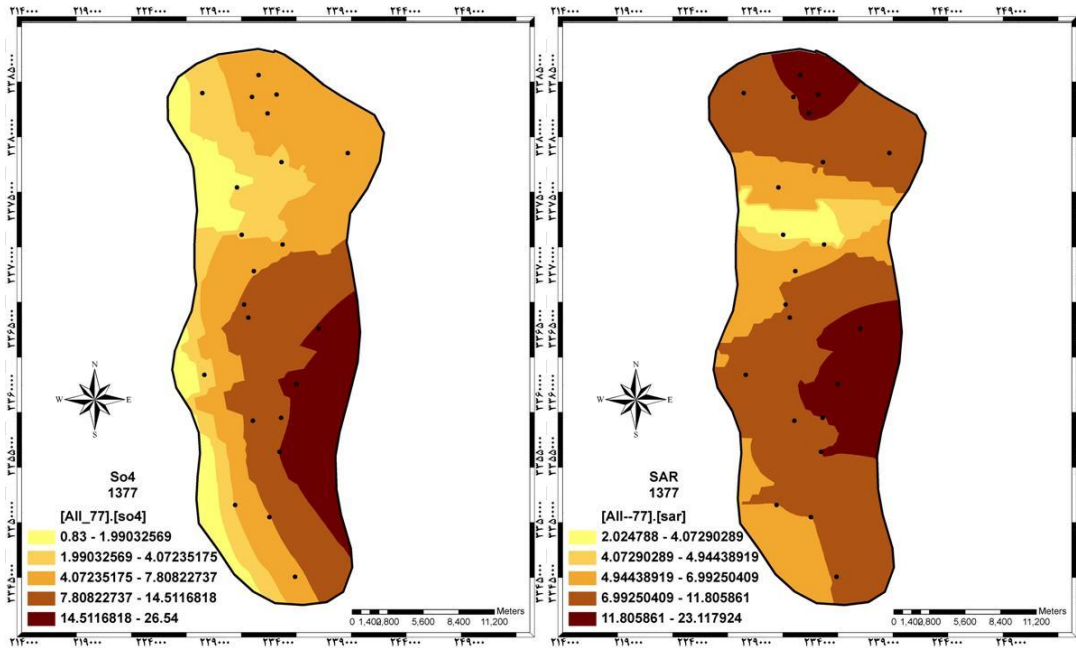
شکل ۶- نقشه تغییرات مکانی پارامتر Cl سال ۱۳۷۷



شکل ۹- نقشه تغییرات مکانی پارامتر Na سال ۱۳۷۷

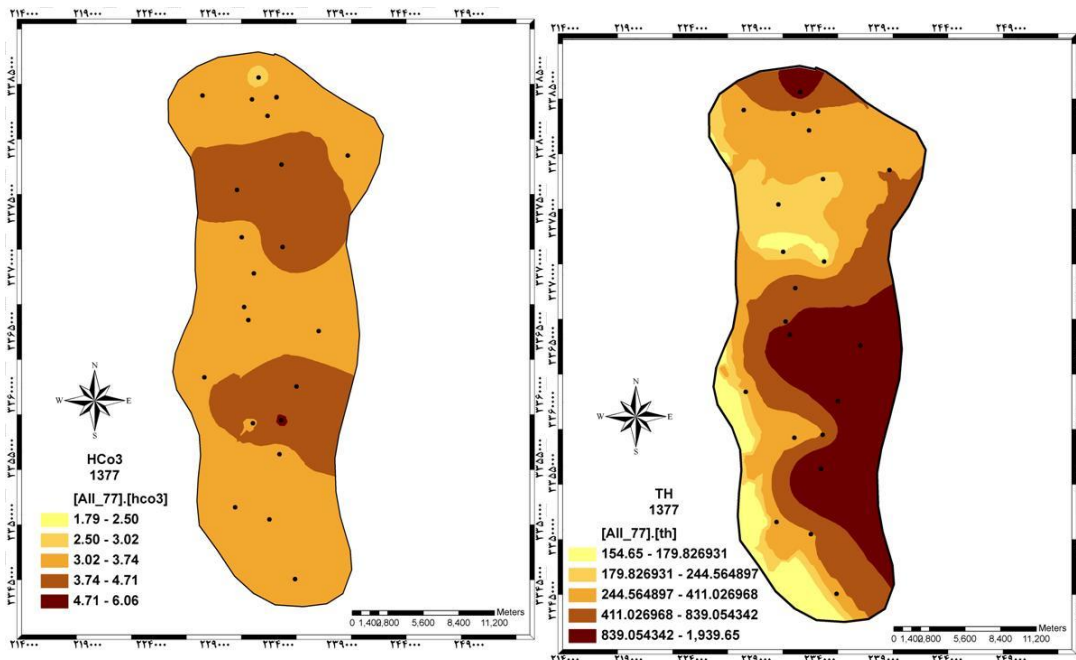


شکل ۸- نقشه تغییرات مکانی پارامتر کاتیون سال ۱۳۷۷



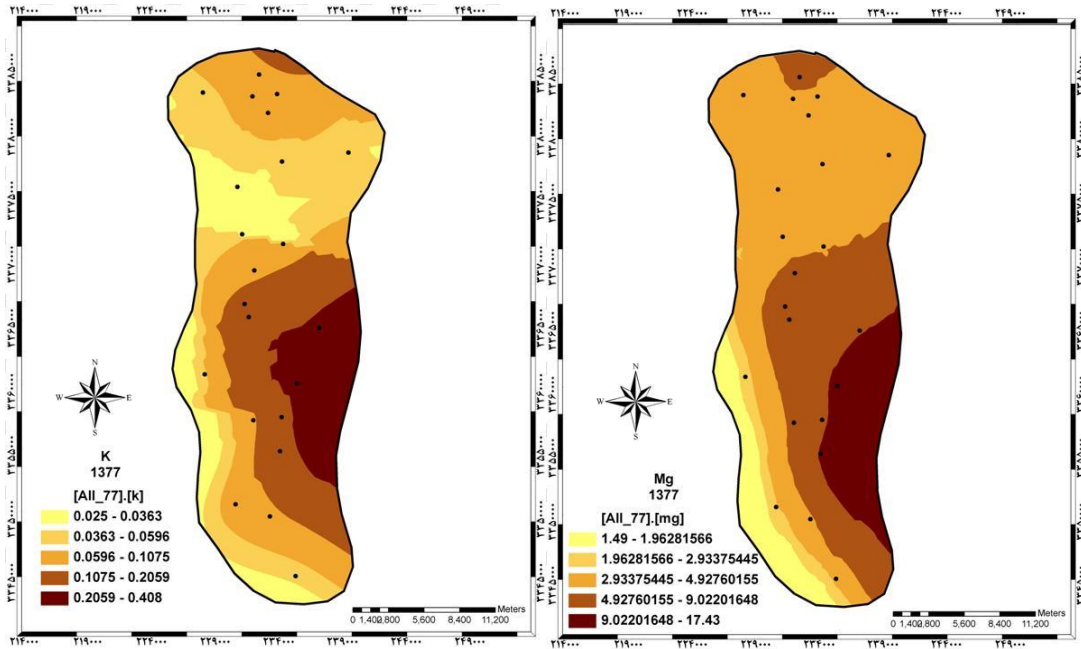
شکل ۱۱- نقشه تغییرات مکانی پارامتر SO₄ سال ۱۳۷۷

شکل ۱۰- نقشه تغییرات مکانی پارامتر SAR سال ۱۳۷۷



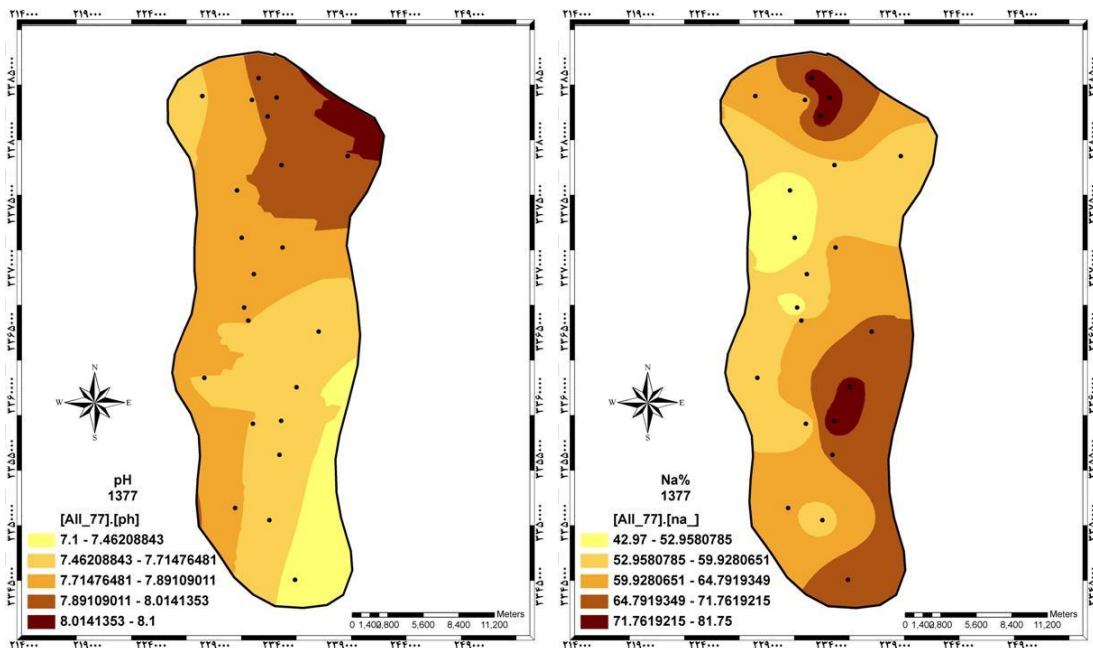
شکل ۱۳- نقشه تغییرات مکانی پارامتر HCO₃ سال ۱۳۷۷

شکل ۱۲- نقشه تغییرات مکانی پارامتر TH سال ۱۳۷۷



شکل ۱۴- نقشه تغییرات مکانی پارامتر K سال ۱۳۷۷

شکل ۱۵- نقشه تغییرات مکانی پارامتر Mg سال ۱۳۷۷

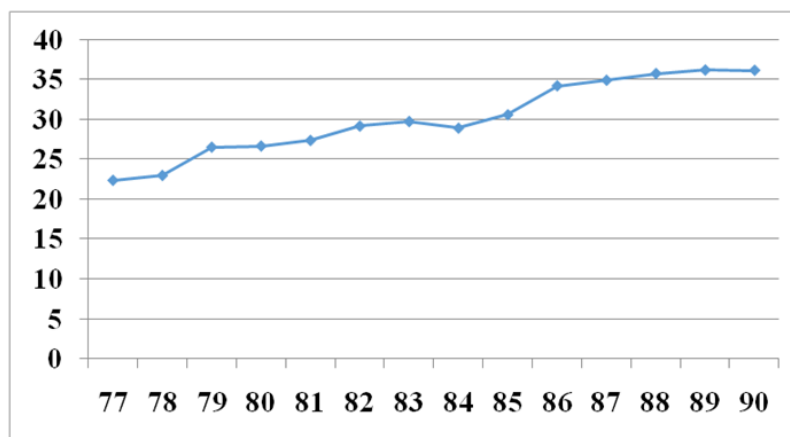


شکل ۱۷- نقشه تغییرات مکانی پارامتر درصد pH سال ۱۳۷۷

شکل ۱۶- نقشه تغییرات مکانی پارامتر درصد سدیم سال

نمونه نمودار تغییرات سالانه پارامتر Cl در شکل ۱۸ آورده شده است.

با ترسیم نمودار تغییرات سالانه هر پارامتر روند تغییرات در طول دوره آماری بررسی شد. به عنوان



شکل ۱۸- نمودار تغییرات سالانه پارامتر Cl

نتیجه‌گیری

نتایج بررسی توزیع داده‌ها نشان داد، فقط پارامتر Na نرمال نبوده که با روش لگاریتم‌گیری نرمال شد. تحلیل روند داده‌ها مشخص نمود، تمامی داده‌ها دارای روند هستند که در زمان اجرای روش‌ها حذف شد. پس از ترسیم نیم‌تغییرنما و نیم‌تغییرنمای متقابل و برازش مدل‌های مختلف، روش‌های وزن‌دهی عکس فاصله با توان‌های ۱ و ۲، توابع پایه شعاعی، کریجینگ معمولی و کوکریجینگ معمولی برای هر پارامتر اجرا و پس از برآورد خطای هر روش، دقیق‌ترین روش انتخاب و نقشه‌های کیفیت آب زیرزمینی برای دشت مروست ترسیم شد. نتایج انتخاب دقیق‌ترین روش نشان داد که روش کریجینگ معمولی برای پارامترهای SAR، pH و SO_4 ، روش کوکریجینگ معمولی برای پارامترهای کاتیون، آنیون، EC، Cl، Ca، K، Mg، Na و TH، روش تابع پایه شعاعی برای

پارامتر درصد سدیم و روش وزن‌دهی عکس فاصله با توان ۱ برای پارامتر HCO_3 مناسب‌ترین روش درون‌یابی است. نقشه‌های ترسیمی نشان داد غلظت پارامترها از غرب به شرق و از جنوب به شمال روند افزایشی دارد و مناطق شرقی و جنوبی از لحاظ کیفیت بهتر از مناطق شمالی و شرقی هستند که یکی از علل این نتیجه می‌تواند قرار گرفتن دشت مروست در حاشیه کویر مروست و تاثیر کویر و آب‌های شور بر کیفیت این مناطق باشد. با بررسی نمودارهای تغییرات سالانه غلظت پارامترها مشخص شد تمامی پارامترها از سال ۱۳۷۷ تا سال ۱۳۹۰ دارای روند افزایشی غلظت می‌باشند. علل افزایش غلظت پارامترها نیازمند بررسی و پژوهش می‌باشد ولی می‌توان آن را در افزایش برداشت از منابع آب شیرین در سال‌های اخیر، پیش‌روی آب‌های شور به منابع آبی شیرین و روند گرم‌شدن زمین و بروز خشکسالی‌های اخیر نیز یافت.

منابع مورد استفاده

1. Alizadeh, A. 2001. Principles of applied hydrology. Ferdowsi University of Mashhad, 735 pages (in Persian).
2. Elewa, H., H. Shohaib, E. Ragaa, A. Qaddah and M. Ahmad. 2012. Determining groundwater protection zones for the quaternary aquifer of north-eastern Nile Delta using GIS-based vulnerability mapping. Environmental Earth Sciences, 1: 13-27.
3. Feizi, M.J., S. Feiznia, M. Zare and M.H. Behmadi. 2011. Investigation of spatial variability groundwater quality using GIS, case study: Birjand Plain in southern Khorasan, northern-east Iran. 7th National Conference on Science and Watershed Engineering, Iran (in Persian).
4. Ghaemzadeh, F., H. Banejad, B. Khatar and H. Mohebzadeh. 2012. Determination the best method of geostatistics in mapping groundwater quality (TDS, SAR and EC) of Asadabad Plain, National Conference on Water Flow and Pollution. University of Tehran (in Persian).
5. Hassanipak, A.A. 2010. Geostatistics. University of Tehran Press, 314 Pages (in Persian).

6. Izadi, A., M. Delghandi and M. Farasati. 2011. Application of kriging and cokriging in spatial estimation of groundwater quality parameters. 3rd National Conference on Irrigation and Drainage Networks, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran (in Persian).
7. Kharroubi, A., F. Tlahigue, B. Agoubi, Ch. Azri and S. Bouri. 2012. Hydro chemical and statistical studies of the groundwater salinization in Mediterranean arid zones: case of the Jerba coastal aquifer in Southeast Tunisia. *Environmental Earth Sciences*, DOI 10.1007/s12665-012-1648-5.
8. Mahdavi, M. 2005. Applied hydrology. Tehran University Press, 342 pages (in Persian).
9. Rahmani, Gh.R., M. Chit Sazan, N. Kalantary and M. Zare Sefat. 2011. Groundwater quality assessment of Ize-Pion Plain of drinking using GIS. National Conference on Geomatics 2012, Tehran, National mapping agency (in Persian).
10. Ramezani, A., M. Ahmadimoghadam, A.H. Hassani and M.R. Jafari. 2012. Application of geographical information in water quality zonation of Ghodarkhosh River. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 4(1): 41-50 (in Persian).
11. Rezaei, M., N. Davatgar, Kh. Tadari and B. Aboulpour. 2011. Investigation the spatial variability of some important groundwater quality factors in Guilan, Iran. *Journal of Water and Soil (Agricultural Sciences and Technology)*, 24(5): 932-941 (in Persian).
12. Rostami Khalaj, M., M. Mohseni Saravi and H. Afsharnia. 2011. Monitoring the spatial distribution of groundwater quality using geostatistical methods, case study: Mashhad urban areas. 7th National Conference on Watershed Management and Engineering Sciences (in Persian).
13. Shabani, M. 2010. Determining the most suitable interpolation method for groundwater chemical characteristics mapping. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 2(2): 116-122 (in Persian).
14. Taghizadeh-Mehrjardi, R., M. Zareian-Jahromi, S. Mahmoodi, A. Heidari and F. Sarmadian. تاریخ؟ Investigation of interpolation methods to determine spatial distribution of groundwater quality in Rafsanshan. *Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 2(5): 63-70 (in Persian).
15. Zehtabian, Gh., E. Janfaza, H. Mohammad Asgari and M.J. Nematollahi. 2010. Modeling of groundwater spatial distribution for some chemical properties, case study: Garmsar watershed. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 17(1): 13-27 (in Persian).
16. Zeraatkar, Z., S.M. Tabatabayi and M. Samin. 2012. Spatial groundwater quality parameters estimated using geostatistical methods, case study: Plain FASA. Conference Planning and Environmental Management, Iran, Tehran University (in Persian).
17. Zhou, Z., G. Zhang, M. Yan and J. Wang. 2012. Spatial variability of the shallow groundwater level and its chemistry characteristics in the low plain around the Bohai Sea, North China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184(6): 3697-3710.

Temporal and spatial variations of groundwater quality of Marvast Plain

Mohammad Hassanzadeh Nafooti^{*1} and Ehsan Emami Maybodi²

¹ Assistant Professor, Maybod Branch, Islamic Azad University, Maybod, Iran and ² MSc Student, Maybod Branch, Islamic Azad University, Maybod, Iran

Received: 04 April 2015

Accepted: 12 September 2015

Abstract

This research aims to study temporal and spatial variations of groundwater quality of Marvast Plain to manage these recourses. For this purpose, total anion and cation, a percentage of sodium, Ca, Cl, EC, HCO₃, K, Mg, Na, pH, SRA, So₄, TH parameters were prepared and a statistical period of 14 years (1377_1390) was selected using the evaluation of incomplete data. Semivariograms and cross semivariograms were plotted to perform geostatistical methods and the best model was selected with regard to more R², less RSS and a strong spatial structure, and an exponential model was fitted for most parameters. Then, interpolation methods, such as Radial Basis Function (RBF), Inverse Distance Weighting with powers of 1 and 2 (IDW), Kriging and coKriging were used. The most accurate method was selected for parameters using cross validation method and error estimation indexes such as Mean Absolute Error (MAE), Mean Bias Error (MBE) and Root Mean Square Error (RMSE). The results showed that coKriging is the best method for estimating most parameters (total anion and cation, EC, Cl, Ca, K, Mg, Na, TH). Kriging is defined as the most suitable method for estimating SRA, So₄ and pH, and RBF and IDW with power 1 are the most fitted methods for a percentage of Sodium and HCO₃, respectively. The results showed that the density of most parameters increases from west to east and south to north of the study area. Also, decreasing underground water quality is observed over the time.

Keywords: Geostatistic, GIS, Kriging, Sampling, Yazd province, Zoning

* Correspondent author: mhasanzadeh@yahoo.com

Temporal and spatial variations of groundwater quality of Marvast Plain

Mohammad Hassanzadeh Nafoti^{*1} and Ehsan Emami Maybodi²

¹ Assistant Professor, Maybod Branch, Islamic Azad University, Maybod, Iran and ² MSc Student, Maybod Branch, Islamic Azad University, Maybod, Iran

Received: 04 April 2015

Accepted: 12 September 2015

Abstract

This research aims to study temporal and spatial variations of groundwater quality of Marvast Plain to manage these recourses. For this purpose, total anion and cation, a percentage of sodium, Ca, Cl, EC, HCO₃, K, Mg, Na, pH, SRA, So₄, TH parameters were prepared and a statistical period of 14 years (1377_1390) was selected using the evaluation of incomplete data. Semivariograms and cross semivariograms were plotted to perform geostatistical methods and the best model was selected with regard to more R², less RSS and a strong spatial structure, and an exponential model was fitted for most parameters. Then, interpolation methods, such as Radial Basis Function (RBF), Inverse Distance Weighting with powers of 1 and 2 (IDW), Kriging and coKriging were used. The most accurate method was selected for parameters using cross validation method and error estimation indexes such as Mean Absolute Error (MAE), Mean Bias Error (MBE) and Root Mean Square Error (RMSE). The results showed that coKriging is the best method for estimating most parameters (total anion and cation, EC, Cl, Ca, K, Mg, Na, TH). Kriging is defined as the most suitable method for estimating SRA, So₄ and pH, and RBF and IDW with power 1 are the most fitted methods for a percentage of Sodium and HCO₃, respectively. The results showed that the density of most parameters increases from west to east and south to north of the study area. Also, decreasing underground water quality is observed over the time.

Key words: Geostatistic, GIS, Kriging, Sampling, Yazd province, Zoning

* Correspondent author: mhasanzadeh@yahoo.com