

بررسی تغییرات برخی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی به روش زمین آمار در حوزه آبخیز شهرستان مرند- آذربایجان شرقی

لیلا کاشی زنونزی^۱ - محمدرضا یزدانی^{۲*} - محمد خسروشاهی^۳ - محمد رحیمی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۲/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۱۵

چکیده

آب‌های زیرزمینی تنها منبع اصلی آب برای مصارف شرب، کشاورزی و صنعتی در شهرستان مرند می‌باشد و اهمیت حیاتی آن موجب می‌شود تضمین کیفیت آن به طور جدی مورد توجه قرار گیرد. در این مطالعه به منظور ارزیابی روند تغییرات پارامترهای کیفی آب زیرزمینی شامل EC, TDS, SAR, Cl⁻ و SO₄²⁻، اطلاعات مربوط به چاه‌های پیژومتری طی سال‌های آماری ۸۴، ۸۸ و ۹۱ استفاده شدند و با روش‌های زمین آمار شامل روش کریجینگ معمولی در حالت‌های کروی، گوسی و نمایی و روش فاصله معکوس وزن‌دار (IDW) با توان‌های ۱ تا ۳ مورد بررسی قرار گرفتند. بر اساس روش ارزیابی مقاطع، روش کریجینگ در مقایسه با روش فاصله معکوس وزن‌دار دارای RMSE و ME کمتری بود. نقشه پهنه‌بندی آنیون SO₄²⁻ در سال ۹۱ با مقادیر آماره G و شاخص موران به ترتیب برابر ۲۱/۴۱ و ۰/۵۹ درصد دارای بیشترین تعامل در ساختار فضایی و نقشه پهنه‌بندی EC در سال ۸۴ با شاخص موران و آماره G به ترتیب ۰/۱۶ و ۳/۴۵ درصد از کمترین تعامل ساختار فضایی برخوردار می‌باشد. با ترسیم نمودارهای روند تغییرات پارامترهای کیفی در طول و عرض جغرافیایی معلوم شد مقادیر آنیون SAR, EC, Cl⁻ و TDS و SO₄²⁻ بین سال‌های ۸۴ تا ۸۸ در جهت غربی-شرقی روند افزایشی نامحسوسی داشتند و در سال ۹۱ با شیب بیشتری افزایش یافتند. این عوامل در جهت شمالی-جنوبی از سال ۸۴ تا ۹۱ در قسمت شمال حوزه افزایش، در میانه حوزه آبخیز روند کاهشی و در جنوب حوزه آبخیز دوباره افزایش یافته‌اند. در نهایت با قطع دادن نقشه کاربری اراضی و زمین‌شناسی حوزه آبخیز با نقشه‌های پهنه‌بندی هر یک از این پارامترها چنین استنباط می‌شود که با توجه به پراکنش روستاها، مناطق مسکونی و اراضی کشاورزی اطراف آن‌ها در مرکز و شرق حوزه آبخیز، روند تغییرات این پارامترهای کیفی در آب زیرزمینی حوزه آبخیز شهرستان مرند تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی هستند. همچنین برخی سازندهای زمین‌شناسی و کانی‌های ژئیس دار و دولومیتی حوزه در کیفیت آب زیرزمینی سبب بالا رفتن مقادیر TDS و سولفات‌ها شدن منابع آب در بخش‌های شرقی حوزه شده است.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، آماره G، شاخص موران، کریجینگ

مقدمه

اهمیت بسزایی است. آمار و اطلاعات موجود در طول نیم قرن اخیر نشان می‌دهد که باتوسعه صنعت و تکنولوژی مرتبط با حفاری و پمپاژ چاه‌ها، بدلیل افزایش جمعیت و نیاز روز افزون به آب، بهره برداری از این منبع آبی گسترش یافته به طوری که تعداد چاه‌های عمیق و نیمه عمیق در کشور از ۴۷۱۳۷ حلقه در سال ۵۱ به ۷۸۹۱۷۴ حلقه در سال ۹۴ فزونی یافته است و نیمی از آنها در مناطق ممنوعه حفر شده است (۲۵). از این رو طی سال‌های متمادی برداشت‌های بی‌رویه و بعضاً کنترل نشده نسبت به تغذیه بیشتر شده و این روند به تدریج سبب افت سطح ایستابی آب زیرزمینی، کاهش حجم مخزن و بهم خوردن تعادل در بیلان منابع آب آبخوان‌های کشور شده است. این مساله پیامدهای تخریبی جبران‌ناپذیری به همراه داشته است بطوری که یکی از چالش‌های اساسی کشور در رابطه با بیابان‌زایی محسوب می‌شود. برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی علاوه بر افت

آب‌های زیرزمینی به عنوان یک منبع مهم و حیاتی برای تأمین مصارف شرب و بهداشت، کشاورزی و صنعت همواره مورد توجه بوده و از دیرباز مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. این منبع در مقابل تغییرات اقلیمی پایدار بوده و باتوجه به حجم ذخیره قابل توجه خود می‌تواند در درازمدت پاسخگوی نیازها باشد و از این نظر نیز دارای

۱، ۲ و ۴- به ترتیب دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، دانشیاران گروه بیابان‌زدایی، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، ایران
* - نویسنده مسئول: (Email: m_yazdani@semnan.ac.ir)
۳- دانشیار پژوهشی، بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
DOI: 10.22067/jsw.v32i6.72066

شاخصی به نام شاخص آسیب‌پذیری را در نقاط مختلف یک منطقه تعیین می‌کند. در روش‌های شاخص-همپوشانی، انتخاب ارزش عددی فراسنج‌ها تا حدودی کارشناسی بوده و این روش‌ها نمی‌توانند به عنوان روشی دقیق در پیش‌بینی مورد استفاده قرار گیرند. با وجود این سادگی و سهولت تهیه اطلاعات مورد نیاز آن در مقیاس ناحیه‌ای از مزایای عمده این روش‌هاست (۱۴). روش‌های آماری از همبستگی بین متغیرهای مکانی و میزان آلاینده‌های موجود در آب زیرزمینی استفاده می‌کنند. در روش‌های زمین‌آماري تخمین براساس ساختار فضایی موجود در محیط مورد نظر صورت می‌گیرد. زمین‌آمار بعنوان شاخه‌ای از آمار کاربردی شامل مجموعه مطالعاتی است که به بررسی تغییرات یک پدیده در زمان و مکان می‌پردازد و قادر به مدل‌سازی آن به صورت قطعی یا غیرقطعی زمانی و مکانی می‌باشد. از ویژگی‌های این علم استفاده از متغیرهای مکانی اعم از تصادفی یا قطعی می‌باشد. متغیرهای منطقه‌ای متغیرهایی هستند که دارای پیوستگی مکانی بوده و نشان‌دهنده پدیده‌هایی دارای توزیع جغرافیایی می‌باشند، لیکن امکان نمونه‌برداری از همه نقاط در محدوده مورد مطالعه وجود ندارد و مقادیر مجهول با استفاده از اطلاعات مناطق نمونه‌برداری شده تخمین زده می‌شوند (۱۰). روش‌های زمین‌آمار کارایی قابل ملاحظه‌ای برای تخمین نقاط نامشخص دارند. استفاده از ابزار تخمین گر می‌تواند به منزله سامانه پشتیبان تصمیم‌گیری و بعنوان حلقه‌ای از چرخه ارزیابی محیط زیستی باشد و کمک مؤثری به مدیران برای تصمیم‌گیری نماید. استفاده از نقشه‌های همتراز آلودگی در مباحث مدیریتی حوضه، مدیران و تصمیم‌گیران در بخش‌های مختلف می‌تواند شناخت بهتری نسبت به وقوع اثرات استفاده گسترده از نهاده‌های کشاورزی داشته باشند (۱۷). در این راستا تحقیقات متعددی در ایران و جهان صورت گرفته است. که از جمله آنها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود. خزاعی و همکاران (۲۳)، پهنه‌بندی آلودگی نیترات در آب‌های زیرزمینی استان فارس با استفاده از روش زمین‌آمار را در منطقه سیاه دارنگون با استفاده از سه روش کریجینگ، معکوس فاصله و کوکریجینگ انجام داده و از کریجینگ شاخص برای تهیه نقشه احتمال آلودگی نیترات استفاده نمودند. ارسلان (۱) در مطالعه‌ای در آبخوان دشت بافرا در کشور ترکیه با استفاده از داده‌های ۹۷ حلقه چاه در طی دوره‌ی آماری هفت ساله از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۰ میزان شوری را بررسی کرد. واریوگرام‌های مناسب برازش داده شده به داده‌ها شامل مدل‌های نمایی و کروی در روش کریجینگ معمولی ۶ و کریجینگ شاخص ۷ بودند میزان روند شوری در ۳۱ درصد از دشت دارای شوری پنج دسی‌زیمنس بر سانتی‌متر در سال ۲۰۰۴ بوده که در مقایسه با سال ۲۰۱۰ این مقدار به اندازه ۹ درصد کاهش پیدا کرده است. در مطالعه‌ای ژایمینگ و همکاران (۳۰) به بررسی مکانی تراز آب زیرزمینی و بعضی پارامترهای شیمیایی مربوط به ۱۳۰ حلقه چاه واقع در دشت بهای ۸ در شمال

شدید سطح سفره‌های زیرزمینی و فرونشست بسیاری از دشت‌های کشور، بحران دیگری را به صورت شورشیدن ذخائر آبی بوجود آورده است. افزایش تدریجی درجه شوری آب زیرزمینی آغازی جدی برای نمک‌زایی و درنهایت تخریب منابع اراضی و تشدید پدیده بیابان می‌باشد. مشکلی که هم اکنون در بسیاری از دشت‌های کشور بروز کرده است و نگرانی از نابودی کشاورزی در برخی مناطق کشور را در پی داشته است. در استان فارس سفره‌های آب زیرزمینی، طی روندی افزایشی در حال شورشیدن است، بر اساس نتایج تحقیقاتی که روی ۵۰۰ حلقه چاه در نقاط مختلف استان فارس در سال‌های ۸۸ - ۷۸ انجام گرفته است، در بیشتر شهرستان‌ها از جمله خرم بید، ارسنجان، استهبان، مهر و لار از سال ۸۶ به بعد، روند افزایش شوری آب‌های زیرزمینی شدت یافته است. این در حالی است که به دلیل تغییر ترکیبات شیمیایی آب، غیر از شوری، مشکلات دیگری نیز سلامت مصرف‌کنندگان را تهدید می‌کند. موضوع شورشیدن آب‌های زیرزمینی به استان فارس محدود نمی‌شود، بلکه شور شدن آب‌های زیرزمینی در بسیاری از استان‌های دیگر از جمله کرمان، خراسان، اصفهان و سمنان نیز اتفاق افتاده است (۲۴). خشکی دریاچه ارومیه نیز تأثیر زیادی بر پیشروی شوره‌زار و شوری آب‌های حوضه این دریاچه در آذربایجان شرقی و غربی داشته است. در استان تهران، چاه‌های غیرمجاز و برداشت بی‌رویه از سفره‌های آب زیرزمینی رتبه نخست را در بیابان‌زایی این استان داشت. مطالعات انجام شده در اطراف دریاچه نمک و حوض سلطان قم نشان می‌دهد که در یک دوره سی ساله (۱۳۸۲-۱۳۵۲) جبهه آب شور حدود ۵ کیلومتر بسمت آبخانه‌های آب شیرین پیشروی داشته که این عامل موجب شوری آب زیرزمینی و در نتیجه تشدید بیابان‌زایی در منطقه مذکور شده است (۲۵). بنابراین به منظور حفظ کیفیت آب‌های زیرزمینی اطلاع از پراکنش زمانی و مکانی فاکتورهای کیفی آنها حائز اهمیت است. در این راستا روش‌های زمین‌آمار یکی از روش‌های پیشرفته برای پهنه‌بندی آب‌های زیرزمینی است (۲۳). با پهنه‌بندی کیفی، روند تغییرات کیفی آب زیرزمینی در هر زمان و مکان و شرایط خاص مشخص می‌گردد. می‌توان با حذف ایستگاه‌های دارای وضعیت کیفی مشابه در وقت و هزینه صرفه‌جویی نمود و در مقاطعی که شرایط متنوع و یا بحرانی است ایستگاه‌های جدید احداث نمود (۲۹). بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی ابزاری مهم برای طرح‌های محیط زیستی و اتخاذ تصمیمات مدیریتی بوده و می‌تواند کاربری اراضی را متناسب با توان و خطر آلوده شده آبخوان‌ها تعریف کند. روش‌های مختلفی برای ارزیابی آسیب‌پذیری ارائه شده‌اند که عبارتند از: روش‌های پردازش داده‌ها، روش‌های شاخص همپوشانی و آماری (۲۸). در روش پردازش اطلاعات از مدل‌های شبیه‌سازی برای تخمین آلاینده در آینده بهره می‌برند. روش‌های شاخص-همپوشانی فراسنج‌های مهارکننده حرکت آلاینده از سطح زمین به منطقه اشباع را تلفیق کرده و

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز شهرستان مرند با مساحت ۷۶۰ کیلومتر مربع، بخشی از زیرحوضه آبریز زیلرچای را تشکیل می‌دهد که این زیرحوضه نیز در حوزه آبخیز ارس واقع شده است. این محدوده در گستره جغرافیایی "۳۸ ۵۶'۴۵" الی "۴۵ ۱۵'۳۰" طول شرقی و "۳۸ ۷'۰۶" الی "۳۸ ۵۶'۴۵" عرض شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). ارتفاع متوسط این زیرحوضه ۱۲۱۷/۶ متر از سطح دریا می‌باشد. مطابق بررسی‌های به عمل آمده میزان متوسط سالانه بارندگی برای کل محدوده مطالعاتی ۳۱۱/۸ میلی‌متر می‌باشد. حداکثر مطلق درجه حرارت ۴۲ و حداقل دما ۱۰- درجه سانتیگراد می‌باشد و بر اساس اقلیم‌بندی آمبرژه منطقه مورد مطالعه در محدوده مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار دارد. دشت مرند آبخوان اصلی منطقه بوده و عمدتاً شامل رسوبات آبرفتی جوان، مخروط افکنه و پادگانه‌های قدیمی است که در بخش جنوبی به ارتفاعات میشوداغ منتهی می‌شود. آبخوان از نوع آبرفتی بوده و بطور عمده شامل گراول و ماسه (دانه درشت و دانه ریز) می‌باشد. جهت جریان کلی آب زیرزمینی از جنوب دشت مرند به شمال و شمال شرقی بوده و به رودخانه زیلرچای تخلیه می‌شوند (۱۴).

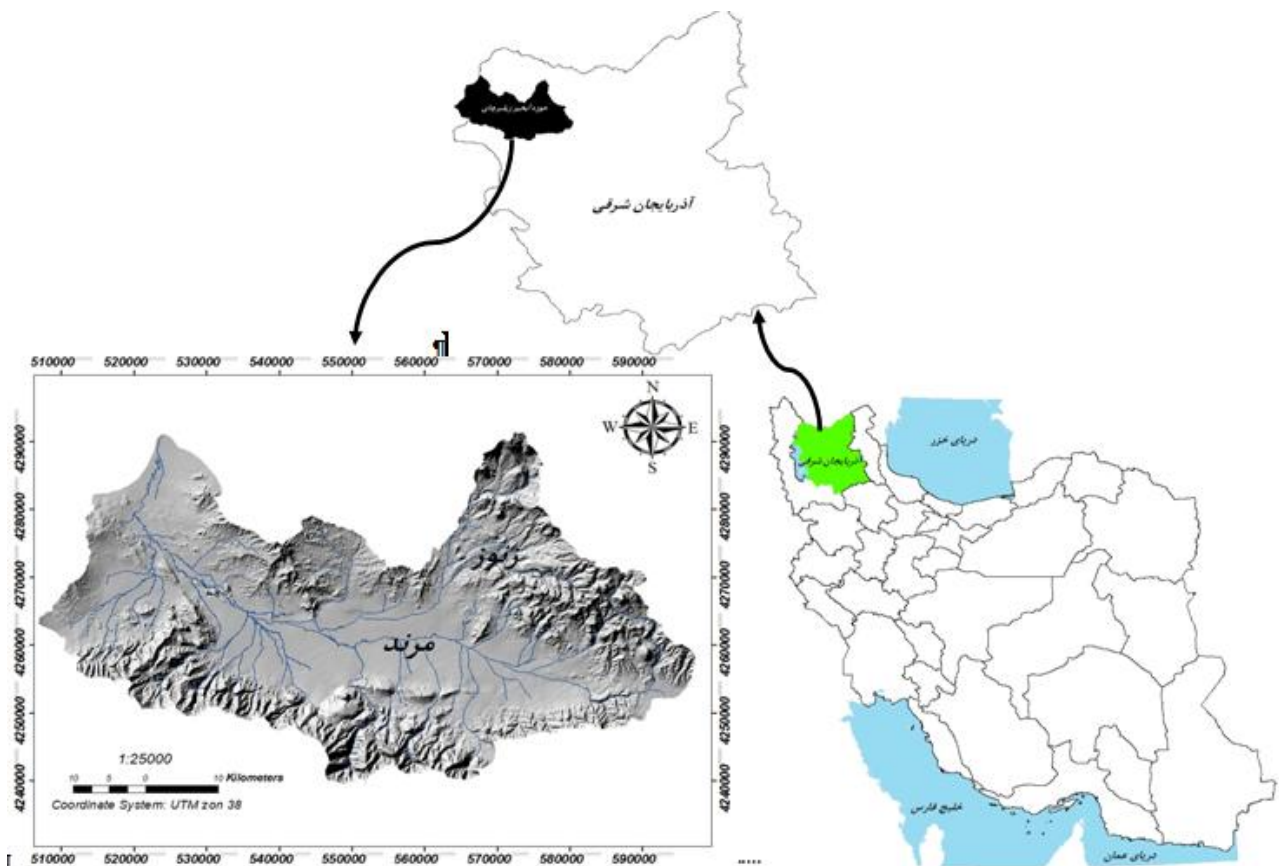
روش تحقیق

در این پژوهش جهت پیش‌بینی پراکنش مکانی کیفیت آب زیرزمینی ابتدا داده‌های مربوط به تعداد ۴۸ حلقه چاه عمیق و نیمه عمیق، چشمه، و قنات از شرکت مادر تخصصی مدیریت منابع آب ایران (وابسته به وزارت نیرو) اخذ شد. سپس روند تغییرات مکانی پنج پارامتر کیفی آب شامل: هدایت الکتریکی (EC: Electrical Conductivity)، آنیون‌های کلر (Cl) و سولفات (SO_4^{2-}) و نسبت جذب سدیم (SAR: Sodium Rate Absorption) و مواد جامد محلول (TDS: Total Dissolved Salts) مورد بررسی قرار گرفتند. بعد از بازبینی تعدادی از آنها به دلیل نقص آماری حذف شدند. پایه زمانی مشترک جهت مطالعه سال آبی ۱۳۸۳-۱۳۸۴ و ۱۳۸۷-۱۳۸۸ و ۱۳۹۱-۱۳۹۱ انتخاب شدند. همگنی داده‌ها برای دوره آماری بین سال‌های ۱۳۸۴-۱۳۹۱ به روش آزمون توالی مورد ارزیابی قرار گرفتند که مطابق روش مذکور هیچ‌گونه ناهمگنی در داده‌ها مشاهده نگردید. نواقص آماری با توجه به ضریب همبستگی یک متغیره تعیین گردید. نرمال‌سازی داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS 18.0 به روش تبدیل لگاریتمی انجام شد و مقادیر مربوط به کشیدگی و چولگی آنها در محدوده ۲ و ۲- بدست آمد.

کشور چین پرداخت. نتایج آنها نشان داد که بهترین مدل‌های برازش داده شده به مدل TDS لگاریتم داده‌ها شامل تراز آب زیرزمینی و مدل گوسین EC مدل نمایی و برای TH کروی، بودند. با تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی مشخص شد که تراز آب زیرزمینی از غرب به سمت شرق دشت دارای افت بوده و مقادیر EC و TDS افزایش یافته‌اند در حالیکه روند تغییرات TH مربوط به قسمت میانی حوزه می‌باشد. گنگ و همکاران (۸) از روش‌های رایج کریجینگ و کوگریجینگ برای درون‌یابی مقادیر آرسنیک در آبخوان‌های تگزاس استفاده کردند. آنها براساس مقادیر آرسنیک مشاهده شده در بیش از ۸۰۰۰ نمونه از چاه‌های تگزاس بیان کردند که روش IDW در درون‌یابی تغییرات مکانی آرسنیک آب زیرزمینی بهترین نتایج را ارائه داده و دقت روش کریجینگ بیش از کوگریجینگ است. مرآت‌ی و همکاران (۱۵) منابع آب زیرزمینی در حوضه آبخیز سلیمان‌شاه را با استفاده از روش‌های زمین‌آمار و سیستم اطلاعات جغرافیایی پهنه‌بندی کردند. آنها به‌منظور پیش‌بینی پراکنش مکانی پارامترهای شیمیایی شامل: کل مواد جامد محلول (TDS)، نسبت جذب سدیم (SAR)، کلر و نیترات آب‌های زیرزمینی، از ۶۰ حلقه چاه موجود در محدوده نمونه‌برداری کرده و جهت درون‌یابی روش‌های کریجینگ و IDW را به کار گرفتند و در نهایت به منظور انتخاب مدل مناسب از شاخص RSS استفاده نمودند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که برای پهنه‌بندی پارامترهای مذکور روش کریجینگ معمولی-نمایی بر سایر روش‌ها ارجحیت دارد.

برخی محققان روش‌های دیگری برای ارزیابی آلودگی آب زیرزمینی بکار گرفته‌اند. از جمله سامانی و اصغری مقدم (۲۶) توان آلودگی آب زیرزمینی با استفاده از روش اکیوپرو، در آبخوان دشت عجب‌شیر بررسی نمودند نتایج آنها نشان داد که با افزایش امتیاز نسبی اکیوپرو میانگین غلظت نیترات نیز افزایش می‌یابد. بنابراین مقایسه امتیاز آسیب‌پذیری اکیوپرو با توزیع غلظت‌های اندازه‌گیری شده نیترات و مقایسه بین غلظت متوسط نیترات در هر طبقه‌بندی و امتیاز نسبی توان آلودگی اکیوپرو صحت و اعتبار روش اکیوپرو در منطقه مورد تأیید است.

دشت مرند یکی از دشت‌های حاصل‌خیز استان آذربایجان شرقی است که بعنوان یکی از قطب‌های کشاورزی این استان محسوب می‌شود. استفاده از آب زیرزمینی بعنوان مهمترین منبع آبیاری زمین‌های کشاورزی و مزارع منطقه سبب شده است که حفاظت از این آبها در مقابل آلودگی‌ها امری مهم تلقی گردد. بنابراین در مقاله حاضر با استفاده از آمار مشاهداتی چاه‌های حوزه آبخیز شهرستان مرند پراکنش مکانی برخی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های زمین‌آمار مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه
Figure 1- The studied area

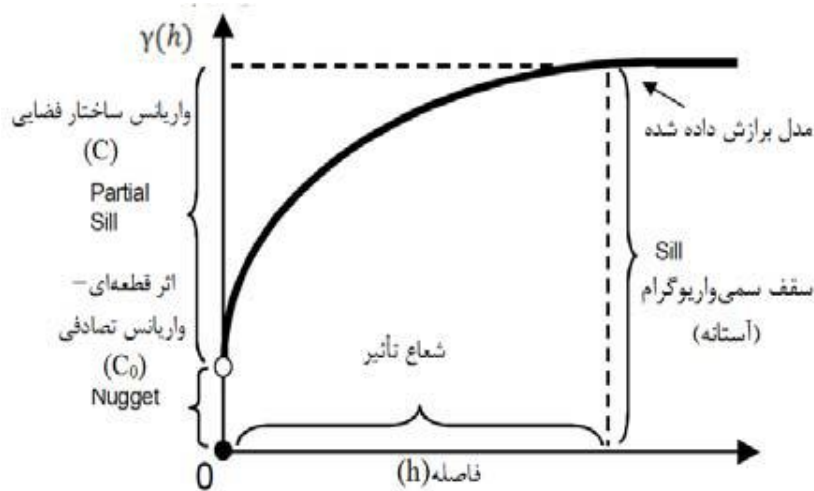
توصیف پیوستگی فضایی داده‌های ورودی و تخمین مقادیر مربوط به مکان‌های نمونه‌برداری نشده استفاده می‌کنند (۲۰). نقاط این نمودار براساس زوج نقاطی صورت می‌گیرد که به فاصله معینی از یکدیگر قراردارند و از طریق معادله ۱ قابل محاسبه می‌باشد:

معادله ۱

$$r(h) = \frac{1}{2n(h)} + \sum_{i=1}^{n(h)} (z(x_i) - z(x_i + h))^2$$

که در آن مقدار واریوگرام در فاصله h یا واریانس جفت نقاطی که در فاصله h از یکدیگر قرار دارند. h فاصله بین نقاط نمونه‌برداری شده، n تعداد جفت نقاطی که در یک راستا به فاصله h از یکدیگر قرار دارند. $Z(x_i)$ مقدار متغیر در نقطه x_i و $Z(x_i+h)$ مقدار متغیر در نقطه x_i+h می‌باشد. نصف واریوگرام سمی واریوگرام یا شبه واریوگرام خوانده می‌شود. سمی واریوگرام رابطه بین فاصله و واریانس داده‌ها را نشان می‌دهد و با سه پارامتر استخراج شده از آن می‌توان تغییرات مکانی متغیر را مورد بررسی قرار داد که عبارتند از: شعاع تاثیر، سقف واریوگرام و اثر قطعه‌ای (شکل ۲).

از آنجا که اندازه‌گیری‌های انجام شده در چاه‌ها، چشمه‌ها و قنات‌ها انجام گرفته است، قابلیت ثبت آنها در تمامی مکان‌ها به شکل پیوسته نیست. بر این اساس جهت تخمین متغیرهای کیفی آب زیرزمینی در مکان‌های نمونه‌برداری نشده و تهیه نقشه‌های پیوسته از روش‌های درون‌یابی فضایی استفاده شد. انجام روش‌های درون‌یابی فضایی به نوع، آرایش فضایی، پراکندگی متغیر و ویژگی منطقه‌ای بستگی دارد و به همین دلیل دقت محاسبات در هر روش به طور گسترده‌ای تغییر می‌کند. روش‌های درون‌یابی به دو شیوه قطعی و زمین آمار انجام می‌شود (۵). بعضی از روش‌های درون‌یابی قطعی شامل: درون‌یابی فاصله معکوس وزن‌دار (IDW: Inverse Distance Weighted Function)، روش تابع شعاعی (RBF: Radial Basis Function)، درون‌یابی چندجمله‌ای محلی (LPI: Local Polynomial Interpolation) و درون‌یابی چندجمله‌ای جهانی (GPI: Global Polynomial Interpolation) می‌باشند که در آنها برای درون‌یابی فقط از توابع ریاضی استفاده می‌شود. درون‌یابی‌های زمین آمار بر مبنای تئوری متغیرهای ناحیه‌ای پایه‌گذاری شده و به توابع ریاضی و زمین آمار متکی است و از مدل واریوگرام برای



شکل ۲- مشخصات و اجزای واریوگرام
Figure 2- Characteristics and components of the variogram

$$\gamma(h) = C_0 + C \left[\frac{3h}{2a} - \frac{h^3}{2a^3} \right] \quad h \geq a$$

$$\gamma(h) = C_0 + C \quad h \leq a$$

معادله ۲

مدل نمایی: مانند مدل کروی از نقطه شروع شبیه خط راست می‌باشد. اما بتدریج تا رسیدن به حد آستانه فاصله تأثیر آن بیشتر از فاصله مرز حقیقی می‌باشد. معادله آن به صورت زیر است:

$$\gamma(h) = C_0 + C \left[1 - \exp\left(-\frac{h}{a}\right) \right]$$

معادله ۳

مدل گوسی: در مدل گوسی واریوگرام‌ها به آرامی و طبق معادله درجه ۲ افزایش می‌یابد. معادله ریاضی آن به شرح ذیل است:

$$\gamma(h) = C_0 + C \left[1 - \exp\left(-\frac{h^2}{a^2}\right) \right]$$

معادله ۴

در این پژوهش برای تشریح پیوستگی مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی، روش‌های درون‌یابی شامل فاصله معکوس وزن‌دار، کریجینگ و کوکریجینگ با یکدیگر مقایسه شدند و سمی‌واریوگرام‌های آنها با نرم‌افزار Arc\GIS 10.3 محاسبه و ترسیم شدند.

معیارهای ارزیابی مدل‌های درون‌یابی

به منظور انتخاب بهترین و مناسب‌ترین روش درون‌یابی از روش اعتبار سنجی متقاطع (Cross Validation)، آماره (Morans Index) استفاده شد. مقادیر هر سه روش ارزیابی با استفاده از نرم‌افزار Arc\GIS 10.3 محاسبه شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

فاصله‌ای که طی آن مقدار سمی‌واریوگرام به حد ثابتی می‌رسد و به حالت خط افقی نزدیک می‌شود، شعاع تأثیر یا دامنه واریوگرامی خوانده می‌شود. این امر به معنی آن است که خارج از شعاع تأثیر، نمونه‌ها دیگر به هم وابسته نیستند و مستقل از همدیگر هستند. مقدار سمی‌واریوگرام پس از آنکه به حد ثابتی رسید به نام آستانه خوانده می‌شود. مقدار آستانه در عین حال برابر واریانس کلی تمامی نمونه‌هایی است که در محاسبه تغییرنا به کار بسته‌اند. مقدار تغییرنا در مبدا مختصات یعنی به ازاء $h=0$ به نام اثر قطعه‌ای نامیده می‌شود در حالت کلی، اگر مشکلات مربوط به نمونه‌گیری و تجزیه نمونه‌ها وجود نداشته باشد، اثر قطعه‌ای باید کوچک باشد. این روش محاسبات در مدل‌سازی مجموعه‌ای از مدل‌ها مانند TPSS3 (Thin Plane Smoothing Splines)، کریجینگ و کو-کریجینگ و غیره را شامل می‌شود و همان‌طور که بیان شد مقادیر پارامترهای مدل (اثر قطعه‌ای، آستانه، نیم‌تغییرنا و ...) به نوع مدل‌های به کار رفته و یا به عبارت دیگر به کوواریانس و توابع سمی‌واریوگرام بستگی دارند و به تناسب همان مدل‌ها، از همبستگی فضایی برخوردارند. در واقع زمین‌آمار با در نظر گرفتن جهت، مکان و فاصله نمونه‌ها، همبستگی و وابستگی فضایی الگوهای فضایی را محاسبه و همچنین توزیع فضایی و قوانین پراکندگی متغیرات سازمان یافته را اندازه‌گیری می‌کند.

مدل‌های متداول مورد استفاده در برازش واریوگرام

مدل کروی: در نقطه شروع به شکل خط راست ظاهر می‌شود و معرف یک پیوستگی مناسب می‌باشد و در محل رسیدن به حد آستانه به شکل منحنی ظاهر می‌گردد. رابطه ریاضی مدل کروی به صورت زیر است:

روش اعتبارسنجی مقاطع

در این روش مقایسه‌ها، میان نقاط اندازه‌گیری شده و مقادیر تخمینی براساس روش‌های به کار گرفته شده صورت می‌گیرد. به این ترتیب که یک نقطه حذف شده و با استفاده از سایر نقاط و اعمال روش درون‌یابی مورد نظر، برای این نقطه تخمین صورت می‌گیرد. سپس این نقطه به محل خود برگردانده می‌شود و نقطه‌ی بعدی حذف می‌گردد و به همین ترتیب برای تمام نقاط برآورد صورت می‌گیرد، به طوری که در پایان دو ستون شامل مقادیر مشاهده‌ای و مقادیر برآورد شده وجود دارد که می‌توان خطا و انحراف معیار روش را برآورد کرد. معادلات این روش‌ها به شرح ذیل می‌باشد:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (|Z(x_i) - \bar{Z}(x_i)|) \quad \text{معادله ۵}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z(x_i) - \bar{Z}(x_i))^2} \quad \text{معادله ۶}$$

شاخص موران (Moran's I)

شاخص موران از طریق معادله ۷ محاسبه می‌شود:

$$I = \frac{n \sum \sum w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{w \sum (x_i - \bar{x})^2} \quad \text{معادله ۷}$$

X_i ضریب متغیر فاصله‌ای یا نسبی در واحد ناحیه‌ای i ، n تعداد واحدهای ناحیه‌ای، وزن w_{ij} که در اینجا شامل ارزش نقاط اندازه‌گیری شده می‌باشد. ضریب موران بین -1 تا 1 متغیر است. -1 برابر تعامل فضایی منفی و 1 برابر تعامل فضایی مثبت می‌باشد. اگر تعامل فضایی وجود نداشته باشد، ضریب مورد انتظار موران برابر صفر است. ضرایب مورد انتظار موران برابر است با: (معادله ۸).

$$E_I = -\frac{1}{(n-1)} \quad \text{معادله ۸}$$

n تعداد واحدهای ناحیه‌ای، E_I ضریب مورد انتظار. وقتی که شاخص موران مورد محاسبه بزرگ‌تر از مقدار ضریب مورد انتظار باشد الگوی پراکنش فضایی تأیید می‌شود و برعکس (۱۵).

آماره عمومی G

شاخص موران برای خواص آماری ساخته شده است و برای توصیف همبستگی فضایی جهانی می‌باشد و در شناسایی انواع گوناگونی از طبقه‌بندی الگوهای فضایی کارآمد نیست. اگر ارزش‌های بالا نزدیک یکدیگر باشند، شاخص موران دلالت بر خود همبستگی فضایی مثبت نسبتاً بالا دارند، این طبقه (خوشه) از ارزش‌های بالا ممکن است به عنوان نقطه تمرکز (داغ) نامیده شود. اما خود همبستگی فضایی مثبت بالا نشان داده شده به وسیله شاخص موران ممکن است به وسیله ارزش‌های پایین مجاور با یکدیگر به وجود آمده

باشند. این نوع از خوشه می‌تواند به عنوان نقطه سرد نامیده شود. شاخص موران نمی‌تواند این دو نوع از خود همبستگی فضایی را متمایز کند. آماره عمومی G (۵) بهتر از شاخص موران، نقاط تمرکز (داغ) و نقاط سرد در سطح ناحیه مورد مطالعه را مشخص و متمایز می‌کند. این نقاط داغ و سرد می‌توانند به عنوان تمرکزهای فضایی در نظر گرفته شوند. همانند شاخص موران، آماره عمومی G همچنین متکی بر آماره‌های حاصل ضرب ضربدری است و به عنوان یک معیار پیوستگی فضایی معرفی و به شکل معادله ۹ تعریف شده است:

$$G(d) = \frac{\sum \sum w_{ij}(d) x_i x_j}{\sum \sum x_i x_j} \quad \text{معادله ۹}$$

در این رابطه $i \neq j$ آماره عمومی G به وسیله معیار فاصله (D) تعریف شده است. در درون آن فاصله واحدهای ناحیه‌ای می‌توانند به عنوان همسایه‌ای i مد نظر قرار گیرند. وزن $w_{ij}(d)$ برابر 1 است اگر در داخل فاصله d است و در صورت عکس برابر صفر است. بنابراین، وزن‌های ماتریس اساساً یک ماتریس متقارن دوتایی است، اما ارتباطات همسایگی به وسیله فاصله d تعریف شده است. مجموع وزن‌های ماتریس برابر است با (معادله ۱۰):

$$W = \sum_i \sum_j w_{ij}(d) \quad \text{معادله ۱۰}$$

نتایج و بحث

مقایسه روش‌های درون‌یابی کریجینگ و معکوس فاصله

وزن‌دار

نتایج حاصل از اجرای هر دو مدل درون‌یابی در جدول ۱ آمده است. ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) نسبت به داده‌های پرت حساس است. کوچک‌تر بودن این شاخص دلیلی بر دقت بالاتر تخمین‌ها و یا اختلاف کم بین مقادیر واقعی و مقادیر تخمین زده شده است. در صورتی که RMSE مدل به کار رفته بالاتر از 71% درصد باشد به معنی عدم دقت مورد قبول برای آن مدل می‌باشد. اطلاعات مندرج در جدول ۱ نشان می‌دهد که با توجه به مقادیر ME و RMSE روش فاصله معکوس وزن‌دار در مقایسه با روش کریجینگ از دقت کمتری برخوردار است و از بین حالت‌های مختلف مدل کریجینگ نیز بسته به مقادیر این دو شاخص بهترین حالت آن انتخاب شد. برای تهیه نقشه‌های TDS، SAR، EC سال ۸۴، SO_4 سال ۸۴، SO_4 سال ۹۱ و CI از حالت گوسی و برای سایر پارامترها از مدل کریجینگ به حالت نمایی و با توان ۱ تا ۳ استفاده شد. با افزایش توان کاهش جزئی در مقادیر RMSE مشاهده گردید. شایان ذکر است که انتخاب روش مناسب درون‌یابی و داشتن نمونه کافی و با پراکنش مناسب در آبخوان مورد بررسی در میزان دقت نقشه پهنه‌بندی تأثیر بسزائی دارد (۸). دیگوستینو و همکاران (۳) نیز

کریجینگ را بهترین روش در برآورد غلظت نیترات معرفی کردند. یافته‌های ایشان روش کریجینگ در درون‌یابی مقادیر پارامترهای اوسطی و نحوی نیا (۱۹) تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت بیرجند را بر اساس روش‌های زمین آمار بررسی کردند. طبق کیفی آب زیرزمینی برآورد بهتری نسبت به روش فاصله معکوس وزن‌دار (IDW) دارد که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد.

جدول ۱- آماره‌های RMSE و ME در روش درون‌یابی کریجینگ و فاصله معکوس وزن‌دار (IDW) با توان‌های ۱ تا ۳

		TDS ¹		EC ²		SO ₄ ²⁻		Cl ⁻		SAR ³		
روش زمین آمار Geostatistical Method	سال Year	مدل وار یوگرام ^۴	RMSE	ME ⁵	RMSE ⁶	ME	RMSE	ME	RMSE	ME	RMSE	ME
میانگین محرک وزن‌دار (IDW) Inverse Distance Weigthed	84		0.72	0.3	0.85	0.3	0.99	0.0	1.4	0.8	0.87	-0.03
	88		0.79	0.05	0.69	0.05	0.66	0.0	1.2	0.0	0.69	0.01
	91		0.73	-0.02	0.5	-0.04	1.02	-0.03	0.87	-0.01	0.81	-0.03
کریجینگ معمولی	84	گوسی Gaussian	0.64	0.02	0.8	-0.01	0.47	0.03	0.87	0.02	0.74	0.0
		دایره‌ای circular	0.63	0.01	0.69	-0.01	0.97	0.03	0.81	0.03	0.63	0.0
		نمایی Exponential	0.65	0.01	0.81	-0.01	0.98	0.01	0.68	0.01	0.84	0.01
	88	گوسی Gaussian	0.65	0.0	0.65	0.0	0.64	0.0	0.88	0.0	0.68	0.0
		دایره‌ای Circular	0.65	0.0	0.65	0.01	0.64	0.0	0.82	0.0	0.68	-0.01
		نمایی Exponential	0.65	0.0	0.65	0.0	0.64	0.0	0.67	0.0	0.67	0.0
	91	گوسی Gaussian	0.6	0.03	0.46	0.0	0.73	0.02	0.71	-0.01	0.66	0.03
		دایره‌ای Circular	0.6	0.03	0.46	0.0	0.73	0.02	0.71	-0.02	0.66	0.03
		نمایی Exponential	0.59	0.02	0.46	0.0	0.66	0.04	0.62	-0.02	0.64	0.02

- 1- Total Dissolved Solis (کل مواد جامد نامحلول)
- 2- Electrical Conductivity (قابلیت هدایت الکتریکی)
- 3- Sodium Absorption Rate (نسبت جذب سدیم)
- 4- Variogram model
- 5- Mean error (میانگین خطا)
- 6- Root mean square error (جذر میانگین مربعات خطا)

روند تغییرات مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی

درون‌یابی در مدل کریجینگ پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها و ترسیم سمی‌واریوگرام، نیاز به روندیابی دارد. ترسیم نمودار روند مکانی تغییرات شدت پارامترهای کیفی در طول و عرض جغرافیایی اطلاعات مناسبی در رابطه با نقشه به دست آمده فراهم می‌کند. با توجه به شکل ۳ در حوضه آبخیز شهرستان مرند در سال‌های ۸۴، مقادیر TDS از شمال به جنوب (خط عمودی و آبی رنگ) با شیب نسبتاً کمی ابتدا روند کاهشی و سپس روند افزایشی نشان داده است و در سال ۸۸ همچنان افزایش داشته و سپس اندکی کاهش یافته است در حالیکه به مرور زمان و در سال ۹۱ کامل‌روند افزایشی را در پیش گرفته است. همچنین از غرب به شرق (خط افقی و سبز رنگ) بین سال‌های ۸۴ تا ۹۱ شاهد روند افزایشی در پارامتر TDS هستیم. پارامتر SO₄ در سال‌های ۸۴ و ۸۸ از شمال به جنوب (خط عمودی و آبی رنگ) روند افزایشی داشته است لیکن در سال ۹۱ کاهش محسوسی در مقادیر آن مشاهده گردید. در حالیکه در جهت غربی-شرقی (خط افقی و سبز رنگ) طی سال‌های ۸۴ تا ۹۱ همچنان روند افزایشی داشته است. مقادیر آنیون Cl⁻ و میزان هدایت الکتریکی (EC) و SAR (نسبت جذب سدیم) بین سال‌های ۸۴ تا ۸۸ در جهت غربی-شرقی روند افزایشی نامحسوسی داشته‌اند و در سال ۹۱ با شیب تندی بالا رفته‌اند. لیکن در جهت شمالی-جنوبی از سال ۸۴ تا ۹۱ ابتدا روند افزایشی و سپس روند کاهش نشان داده‌اند.

به منظور شناسایی عوامل تأثیرگذار در کیفیت آب زیرزمینی و تحلیل تغییرات مکانی پارامترهای مورد بررسی نقشه‌های هریک از پارامترها، با نقشه کاربری اراضی و زمین‌شناسی منطقه قطع داده شد. با توجه به اینکه حوزه آبخیز مورد مطالعه یک حوزه آبخیز شهری بوده و پراکنش مناطق مسکونی و روستایی و حتی اراضی کشاورزی و سایر فعالیت‌های صنعتی اطراف آنها در جهت غربی-شرقی می‌باشد نتایج حاصله دور از انتظار هم نیستند. تراکم مناطق مسکونی و روستاها بیشتر از جهت جنوب به شمال، در وسط حوضه بیشتر است. مهمترین دلایل افزایش EC، کلر، سولفات و SAR در جهت شمالی-جنوبی و در وسط حوزه آبخیز مربوط به نوع کاربری اراضی و تراکم مناطق مسکونی می‌باشد. با افزایش روند شهرنشینی و توسعه شهرستان مرند بین سال‌های ۸۴-۹۱ و همچنین گسترش اراضی کشاورزی در اطراف آن که بالطبع منجر به افزایش کاربرد مواد گندزدا برای تصفیه آب آشامیدنی و افزایش حجم فاضلاب‌های شهری و روستایی و همچنین فاضلاب‌های کشاورزی و جند واحد صنعتی شده است، نهایتاً باعث افزایش مقادیر EC، یون‌های کلر، سولفات و SAR شده است. واضح است که یون کلر یونی است که به خاطر تأثیرپذیری کم از عوامل شیمیایی و بیولوژیکی در یک محیط طبیعی عامل قابل اعتمادی برای بررسی واکنش بین سنگ و آب می‌باشد. به

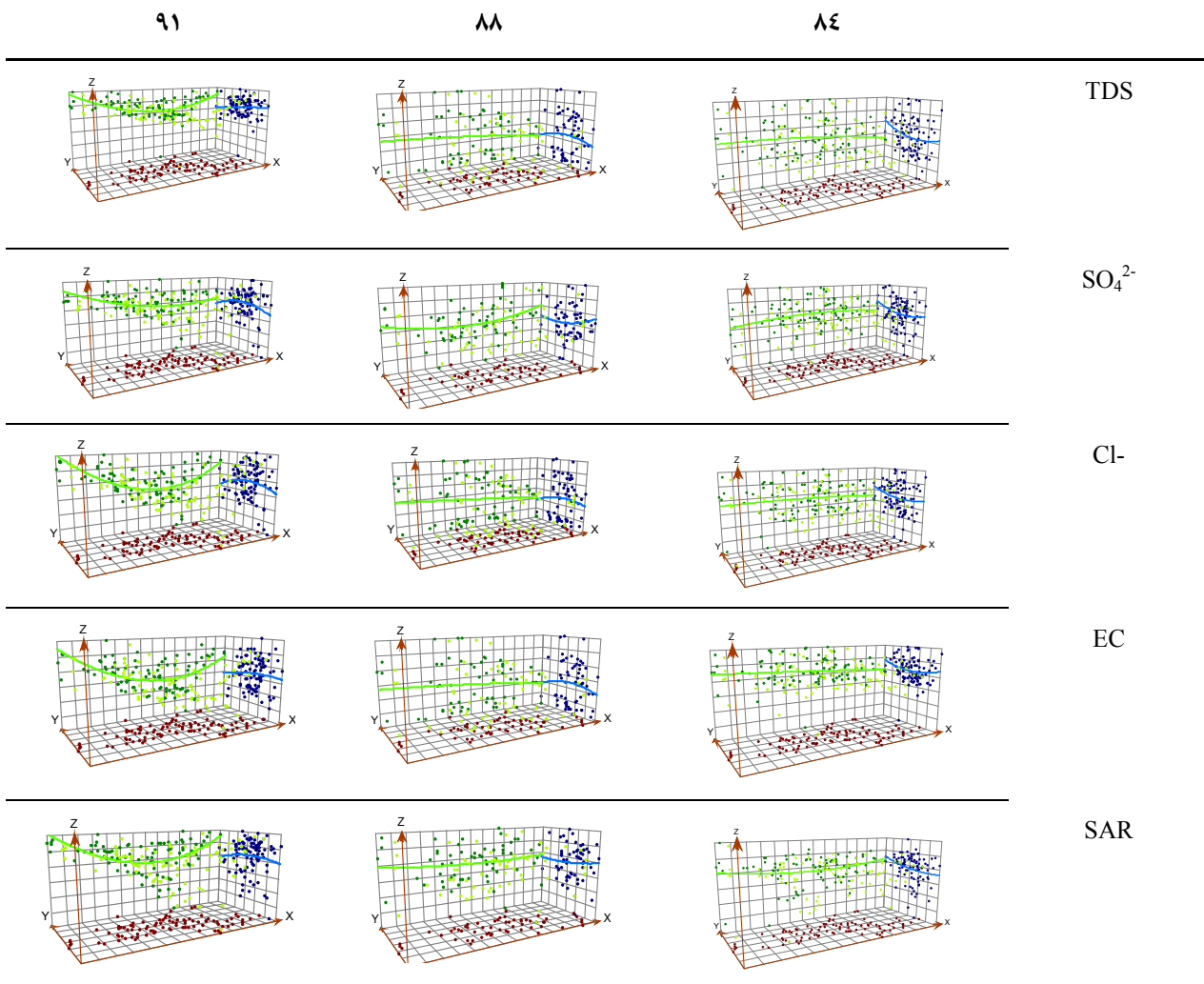
طور معمول یون کلراید از نهشته‌ها و واحدهای تبخیری منشأ می‌گیرد. همسو بودن روند تغییرات کلر و SAR با TDS نشان می‌دهد که منشأ این یون‌ها از انحلال کانی‌ها است در حالی که نتایج تحقیق کاملاً برعکس بود. بنابراین روند تغییرات یون‌های مزبور صرفاً کاملاً تابع عوامل انسانی و تغییر کاربری اراضی بوده است. از طرفی نکته قابل توجه دیگر اینکه روند تغییرات پارامترهای مورد بررسی تقریباً دارای شیب کمی است و بطور ناگهانی و باشیب تند افزایش نمی‌یابد. در عین حال روند افزایشی آنها یا به عبارتی دیگر شیب خط گسترش آنها در سال ۹۱ نسبت به سال‌های ۸۴ و ۸۸ کمی تندتر به نظر می‌رسد. افزایش پارامترهای کیفی آب زیرزمینی در فاصله کم با شیب آهسته نشان دهنده آن است که کیفیت آب زیرزمینی تحت تأثیر سازندهای منطقه نیز می‌باشد. افزایش غلظت TDS از منشأ‌های غیر از انحلال کلسیت و دولومیت مانند انحلال سریع ژپس و انیدریت، باعث اشباع نمونه‌های آب زیرزمینی نسبت به کلسیت و دولومیت شده است. بالا بودن اندیس اشباع دولومیت نسبت به کلسیت نشان از انحلال بیشتر کانی‌های دولومیتی نسبت به کلسیتی در طول مسیر حرکت آب زیرزمینی دارد. در نتیجه، فرآیند مذکور را می‌توان به عنوان یکی از عوامل مؤثر بر ترکیب آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه ذکر نمود. از آنجایی که آبرفت موجود در منطقه حاصل آوردهای رودخانه‌های زیلبرچای و زونچای است و این نهشته‌ها از سازندهای مختلف از جمله سازندهای آهکی منشأ می‌گیرند می‌توان استنباط نمود که بالا بودن نمایه‌های اشباع دولومیت نسبت به نمایه‌های اشباع کلسیت به علت کانی‌های دولومیت و کلسیت منیزیم‌دار، رخداد فرآیند دولومیتی‌زاسیون (Dedolomitization) و رسوبگذاری کلسیت باشد. البته ما و همکاران (۱۶) تغییرات پایداری کلسیت به واسطه مشارکت یون سولفات در ساختمان کانی و یا احتمالاً عدم صحت سنجش‌های آزمایشگاهی pH در آزمایشگاه را به واسطه خروج گاز CO₂ در طی مراحل نمونه‌برداری و انتقال نمونه‌های آب به آزمایشگاه نسبت دادند. مقادیر نمایه اشباع دولومیت نمونه‌ها با افزایش سولفات، افزایش می‌یابد. این امر احتمالاً به واسطه آزاد شدن کلسیم ناشی از انحلال ژپس، رسوب کلسیت، انحلال بیشتر دولومیت و افزایش غلظت منیزیم آب‌های زیرزمینی بود. وقتی که آب‌های زیرزمینی نسبت به ژپس به حالت اشباع برسند، در آن صورت حاوی مقادیر منیزیم بیش از کلسیم می‌گردند. این می‌تواند باعث حالت اشباع بیشتر دولومیت نسبت به کلسیت در آبخوان دشت مرند شده باشد. بهرحال وجود کانی‌های دولومیتی در آبرفت نیز در برتری مقادیر نمایه اشباع دولومیت نسبت به مقادیر اشباع کلسیت نیز نقش داشته است. تنها نمونه‌ای که مقدار نمایه اشباع دولومیت آن نسبت به نمایه اشباع کلسیت کمتر است مربوط به روستای یامچی می‌باشد. دلیل این

نقشه نیترات با نقشه کاربری اراضی نیز مؤید پتانسیل آلودگی بیشتر در این قسمت از دشت بود. همچنین کاشی‌زنوزی و همکاران (۲۲) با بررسی پوشش گیاهی و مقادیر هدایت الکتریکی در حوزه آبخیز شهرستان مرند دریافتند که در اطراف مناطق مسکونی با افزایش EC خاک درصد تراکم پوشش گیاهی کاهش یافته است. همچنین در تحقیق دیگری، فخری و همکاران (۱۱) منشأ برخی فلزات سنگین در آب زیرزمینی آبخوان مرند با روش تحلیل عاملی بررسی نمودند. نتایج نشان داد تغییرات کیفی آب زیرزمینی دشت مرند تحت تأثیر سه عامل اصلی به ترتیب شامل: ۱- تأثیر سازندهای تبخیری و نمکی، هوازگی طبیعی کانی‌ها و فرایندهای تعویض یونی ۲- نشت از پساب‌های شهری و چاه‌های جذب خانگی و آبشویی کودهای کشاورزی و ۳- هوازگی سیلیکات‌های پتاسیم‌دار و کاربرد کودهای شیمیایی کشاورزی می‌باشد.

تحلیل ساختار فضایی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی

نتایج حاصل از ترسیم سمی‌واریوگرام تجربی، یک ساختار فضایی مشخصی را نمایش می‌دهد. مدل‌های نظری متفاوتی (نمایی، دایره‌ای و گوسی) برای ترسیم سمی‌واریوگرام تجربی منطقه انتخاب شدند و در پایان بهترین مدل‌ها بر اساس روش ارزیابی متقاطع (Cross Validation) انتخاب شدند (جدول ۱). مشخصات سمی‌واریوگرام‌ها در جدول ۲ به تفصیل آمده است. واضح است که اگر پیوستگی مکانی در همه جهات یکسان باشد همسانگردی وجود خواهد داشت اما چنانچه خود همبستگی فضایی در بعضی جهات نسبت به جهت‌های دیگر گسترده‌تر باشد ناهمسان‌گردی وجود دارد. با توجه به جدول ۱ مشخص می‌شود که برای پارامترهای CI، TDS و EC که مربوط به سال ۸۸ هستند، مدل سمی‌واریوگرام ناهمسان‌گردی دارد و واریانس تصادفی (بدون ساختار) در آنها به ترتیب ۱/۰۹، ۰/۳۲، ۰/۳۶ و واریانس ساختار فضایی به ترتیب ۰/۲، ۰/۱ و ۰/۱ می‌باشد. برای سنجش وضعیت ساختار مکانی پارامترهای مورد بررسی از معیار نسبت واریانس ساختار فضایی (C) بر سقف سمی‌واریوگرام (C0+C) بهره‌گیری شد. در واقع بالا بودن نسبت C/C0+C نشان‌دهنده بالا بودن ساختار مکانی به ساختار تصادفی است. در سمی‌واریوگرامی که مقدار واریانس تصادفی صفر باشد مقدار این نسبت یک خواهد بود. بنابراین هرگاه که این نسبت صفر باشد مؤید این مطلب است که هیچ وابستگی فضایی بین پارامترهای کیفی آب زیرزمینی وجود ندارد و اگر این نسبت کمتر از ۰/۵ باشد نقش مؤلفه ساختاردار کمتر از مؤلفه بدون ساختار است و ساختار مکانی ضعیف بوده و کاربرد زمین‌آمار مفید واقع نمی‌شود.

کاهش می‌تواند ناشی از عدم دسترسی و کم بودن کانی‌های دولومیتی در این منطقه از دشت باشد. بنابراین می‌توان گفت افزایش این پارامترهای کیفی در آب زیرزمینی حوزه آبخیز شهرستان مرند تحت تأثیر عوامل زمین‌شناسی و فعالیت‌های انسانی هستند. این نتایج با یافته سایر محققان در منطقه مورد مطالعه نیز مطابقت داشت و نشان از صحت و کیفیت بالای مدل کریجینگ در پراکنش مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی بود. از جمله خالقی و شهین‌فر (۲۱) عوامل مؤثر در هیدروژئوشیمی منابع آبی شهر مرند را با هدف حساسیت سنجی و ارزیابی کیفی آب زیرزمینی مورد بررسی قرار دادند. آنها با مقایسه نقشه‌های هم‌قابلیت هدایت الکتریکی، هم TDS، هم CI و هیدروشیمی دریافتند که عوامل یاد شده در بخش شمال شرقی منطقه افزایش یافت. تحلیل مکانی پارامترهای آب زیرزمینی حاکی از آن است که کیفیت و ویژگی‌های ژئوشیمیایی نمونه‌ها عمدتاً با توپوگرافی، زمین‌شناسی و هیدروگرافی دشت مرند همخوانی دارد. می‌توان گفت از آنجا که توپوگرافی حوضه مطالعاتی مرتبط با پراکنش مناطق مسکونی بوده است و نقاط کم شیب در وسط حوضه که محل تراکم اراضی مسکونی و کشاورزی هستند دارای غلظت بالاتر از آنیون‌ها و کاتیون‌ها می‌باشند بنابراین یافته‌های ایشان با نتایج تحقیق مطابقت دارد. نمونه‌های متعلق به بخش جنوبی منطقه (یعنی نزدیک به محل تغذیه آبخوان) از کیفیت مناسبی برخوردارند ولی در بخش شمال شرقی به دلیل افزایش غلظت املاح و وجود رسوبات ریزدانه، کیفیت آب زیرزمینی متفاوت می‌باشد. به طور کلی عواملی همچون جهت جریان، بالابودن سطح آب زیرزمینی و فعالیت‌های انسانی سبب آسیب‌پذیر شدن این بخش در مقابل منابع آلاینده غیرطبیعی شده است. فخری و همکاران نیز (۱۳) طی تحقیقی کیفیت آب زیرزمینی دشت مرند را با خوشه‌بندی اندیس‌های اشباع به روش تحلیل عاملی مورد بررسی قرار دادند. طبق نتایج تحقیق ایشان ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی تحت تأثیر تغذیه از رودخانه، رسوبات تشکیل‌دهنده آبخوان و تبخیر از سطح آب زیرزمینی می‌باشد. در تحقیق دیگری از فخری و همکاران (۱۲) غلظت نیترات در منابع آب زیرزمینی دشت مرند و آسیب‌پذیری آب زیرزمینی با روش‌های AVI و GODS مورد بررسی قرار گرفت. با مقایسه نتایج آنالیز هیدروشیمیایی نمونه‌ها با استانداردهای آب شرب مشخص شد که غلظت نیترات در بخشی از دشت مورد مطالعه بالاتر از حد استاندارد است. درصد بالایی از این آلودگی ناشی از فعالیت‌های کشاورزی به ویژه استفاده بیش از حد از کودهای شیمیایی و آبشویی آنها در زمین‌های کشاورزی و باغات منطقه بود. از نظر توزیع مکانی در بخش‌های شرقی و جنوب شرقی به علت وفور زمین‌های زراعی و فاضلاب‌های روستایی بیشترین غلظت نیترات مشاهده شد. انطباق



شکل ۳- روند تغییرات شدت پارامترهای مورد بررسی در حوضه آبخیز شهرستان مرند

Figure 3- The trend of changes in the intensity of the parameters studied in the Marand watershed 3

غرب به شرق می‌باشد. بنابراین نشان می‌دهد که آنیون سولفات از جهت غرب به شرق حوضه رو به افزایش است. بنا به مشخصات واریوگرام مدل، به‌طور کلی قویترین ساختار فضایی پراکنش پارامترهای کیفی مورد بررسی، مربوط به آنیون سولفات و ضعیف‌ترین ساختار فضایی مربوط به آنیون کلر و هدایت الکتریکی (EC) می‌باشد.

ارزیابی دقت مدل کریجینگ در پیش‌بینی پراکنش پارامترهای کیفی آب زیرزمینی

با توجه به روش ارزیابی متقاطع و مقادیر RMSE و ME مدل کریجینگ از دقت بالاتری نسبت به روش IDW برخوردار بود. همچنین هر کدام از حالت‌های کریجینگ که مقادیر خطای کمتری داشتند برای مدل پهنه‌بندی انتخاب شدند. سپس دقت پهنه‌بندی پارامترهای مورد بررسی با استفاده از آماره G و شاخص موران مورد

طبق داده‌های جدول ۲ در مقایسه با سایر پارامترها به‌طور متوسط پراکنش آنیون سولفات (SO₄²⁻) در سالهای ۸۴، ۸۸ و ۹۱ دارای تغییرات مکانی خوبی بوده است. مشخصات سمی واریوگرام آنیون سولفات (SO₄²⁻) نشان می‌دهد که در سال ۸۴ پیوستگی فضایی در جهت ۱۲۵/۳ درجه قوی‌تر از دیگر جهت‌هاست. دامنه تأثیر واریوگرام برای جهت شمال غربی به جنوب شرق در حدود ۳۴ کیلومتر و برای جهت عمود بر آن ۱۹ کیلومتر است. تفاوت زیاد بین دامنه تأثیر بزرگ و دامنه تأثیر کوچک سبب تشکیل شعاع همسان‌گردی بیضوی شکل شده است. در حالیکه در سال ۸۸ پیوستگی فضایی در جهت شرقی ۱۸/۱ درجه بوده و دامنه تأثیر بزرگ ۳۲ کیلومتر و دامنه تأثیر کوچک ۲۴ کیلومتر است. به عبارتی شعاع همسان‌گردی دارای شکل بیضوی و در جهت غربی-شرقی است و در سال ۹۱ پیوستگی فضایی در جهت غربی ۱۷۲/۸ بوده و با شعاع همسان‌گردی بیضوی در جهت

استفاده از شاخص موران (۲۷) و آماره G (۹) برای سنجش همبستگی فضایی در نقشه‌های پهنه‌بندی تحلیل محققان را برای ارزیابی دقت نقشه‌های مورد نظر آسان‌تر نموده است. همان‌طور که از یافته‌های تحقیق بر می‌آید هر چند که بر اساس روش ارزیابی متقاطع مدل کریجینگ و بهترین حالت آن برای پهنه‌بندی پارامترهای کیفی انتخاب شدند، لیکن بر اساس شاخص موران و آماره G پراکنش یون سولفات از بیشترین تعامل فضایی برخوردار است.

نتیجه‌گیری

ارزیابی کیفیت آب یکی از مهمترین موضوعات محیط زیستی در سطح جهان به شمار می‌رود. به سبب عدم قطعیت ذاتی، همیشه مشکلاتی در ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی وجود دارد و عدم قطعیت قابل توجهی در فرآیند تعیین کیفیت آب برای مصارف مختلف وجود دارد. نتایج تحقیق حاکی از آن است که روش‌های زمین‌آمار از دقت مناسبی برای پیش‌بینی پراکنش مکانی داده‌های کمی هستند و در مقایسه با سایر روش‌ها از قبیل روش استنتاج فازی، GOI و آکیوپرو و روش‌های میدانی و غیره آسان‌تر بوده و نیاز به هزینه و زمان کمتری دارد. از طرفی کیفیت آب زیرزمینی همواره تحت تأثیر عوامل مختلف از قبیل جهت جریان، سطح آب زیرزمینی، عوامل اقلیمی (بارش، تبخیر و تعرق و...)، نوع و ترکیب سازندهای زمین‌شناسی منطقه و عوامل انسانی (کاربری اراضی، برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی، ورود پساب‌های خانگی و کشاورزی به منابع آب زیرزمینی و...) قرار دارد. بنابراین به لحاظ اهمیت انواع کاربری منابع آب زیرزمینی و محدودیت موجود در استفاده از آن، پیشنهاد می‌شود پایش تغییرات کیفی آب زیرزمینی با استفاده از روش زمین‌آمار به طور مستمر انجام گیرد و به منظور ارزیابی عوامل تأثیرگذار نقشه‌های آن-ها تهیه و با نقشه‌های پراکنش مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمین قطع داده و تجزیه و تحلیل شود. در تحقیق حاضر براساس مطالعات پیشین دو عامل زمین‌شناسی و کاربری اراضی انتخاب شده و با نقشه پارامترهای کیفی قطع داده شدند و معلوم شد که هر دو عامل یاد شده از مهمترین عوامل تأثیرگذار در کیفیت آب زیرزمینی حوزه آبخیز شهرستان مرند هستند.

تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مقدار آماره G برای پهنه‌بندی همه پارامترها مثبت بوده و نشانگر انحراف کمتر ساختار فضایی مدل کریجینگ می‌باشد. از این میان بیشترین مقدار مربوط به یون سولفات در سال ۹۱ است که مقدار متوسط آماره G برابر ۲۱/۴۱ درصد محاسبه شد و کمترین مقدار متوسط محاسباتی آماره G برای پارامتر EC سال ۸۴ به مقدار ۳/۴۵ می‌باشد. همچنین بیشترین مقادیر محاسباتی شاخص موران نخست مربوط به پهنه‌بندی یون سولفات در سال ۸۴ با مقدار ۰/۶۴۵ و سپس یون سولفات در سال ۹۱ با مقدار ۰/۵۹ است. از طرفی کمترین مقادیر محاسباتی شاخص موران بترتیب مربوط به پراکنش EC سال ۸۸ و یون کلر سال ۹۱، TDS سال ۸۸ و EC سال ۸۴ بود که مقادیر آنها به ترتیب عبارتند از: ۰/۰۸۴، ۰/۰۸، ۰/۱۶. بنابراین نقشه پهنه‌بندی پراکنش یون سولفات به روش کریجینگ دارای بیشترین تعامل و نقشه پهنه‌بندی EC دارای کمترین تعامل در ساختار فضایی می‌باشند. به‌طور کلی در مدل کریجینگ برای همه پارامترها هم آماره G و هم شاخص موران دارای مقادیر مثبت بودند. بنابراین مدل کریجینگ بکار گرفته شده دارای دقت مکانی مناسب برای پیش‌بینی پراکنش مکانی پارامترهای مورد بررسی می‌باشد. سایر محققان نیز در تحقیقات خود دقت روش کریجینگ را در پهنه‌بندی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی بر اساس روش ارزیابی متقاطع مورد تأیید قرار داده‌اند که در ذیل به برخی موارد از آن اشاره شده است.

مؤمنی دمنه و همکاران (۱۸) پس از ارزیابی روش‌های درون‌یابی جهت تعیین تغییرات مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی در دشت گناباد اعلام کردند بر اساس روش ارزیابی متقاطع، روش کریجینگ بر سایر روش‌های زمین‌آمار ارجحیت دارد. قاسمی و همکاران (۵) تغییرات کمی و کیفی آب زیرزمینی را در دشت خورموج - استان بوشهر با استفاده از روش‌های زمین‌آمار بررسی کردند و پس از ارزیابی مدل به روش ارزیابی متقاطع مدل کریجینگ را در مقایسه با سایر روش‌ها مناسب‌تر تشخیص دادند. بهرامی جوین و حسینی (۲) برای برآورد میزان شوری مناطق کویری در دشت فیض‌آباد - مهاباد شش روش زمین‌آمار شامل کریجینگ معمولی و عمومی با حذف روند توسط تابع خطی و تابع درجه دوم و روش کریجینگ بی‌زی تجربی موسوم به EBK مورد مقایسه قرار دادند نتایج آن‌ها نشان‌دهنده کارایی و دقت روش EBK نسبت به سایر روش‌ها بود.

جدول ۲- مشخصات سمی واریوگرام شدت روند تغییرات پارامترهای کیفی آب زیرزمینی در حوزه آبخیز شهرستان مرند به روش کریجینگ
 Table 2- Semiarigram characteristics the intensity of changes in ground water quality parameters in the Marand watershed by Kriging method

L	مدل Model	اثر قطعاتی Nugget(C0)	حد آستانه Sill(C0+C)	پویستگی فضایی جزئی Partialism	C/C0+C	دامنه Range		مرتبه Order	درجه Degree	اندازه گام تاخیر Lag Size	تعداد گام‌های تاخیر N. lag	شاخص موران Morans Index	آماره عمومی G Ord General G%
						جزئی Minor	اصلی Major						
84	TDS دایره ای Circular	0.18	0.44	0.26	0.59	2407.1	4774.7	1	137.1	397.9	12	0.46	13.45
	SAR دایره ای Circular	0.37	0.83	0.46	0.55	1911.2	2581.1	1	118.1	215.1	12	0.35	12.21
	C ⁻ نمایی Exponential	0.0	1.6	1.6	1	1911.2	2648.8	3	123.6	220.7	12	0.46	7.03
	SO ₄ ²⁻ گوسی Gaussian	0.59	0.86	0.27	0.31	1911.2	3499.2	3	125.3	291.6	12	0.645	9.4
	EC دایره ای Circular	0.19	0.63	0.44	0.7	1911.2	3733	3	2.4	311.1	12	0.16	3.45
88	TDS نمایی Exponential	0.32	0.33	0.1	0.3	52291.6	52291.6	3	-	4357.7	12	0.08	4.21
	SAR نمایی Exponential	0.1	0.34	0.33	0.97	2425.4	3258.3	3	72.2	271.7	12	0.47	5.58
	C ⁻ نمایی Exponential	1.09	2.1	0.2	0.1	52291.6	52291.6	1	-	4357.6	12	0.32	3.75 4.7
	SO ₄ ²⁻ نمایی Exponential	0.0	0.54	0.54	1	2425.4	3272.8	1	18.1	272.3	12	0.54	
	EC نمایی Exponential	0.36	0.47	0.1	0.2	-	52291.6	1	-	4357.6	12	0.08	4.7
91	TDS نمایی Exponential	0.0	0.43	0.43	1	2347.6	2634.7	1	101.4	219.6	12	0.32	17.1
	SAR نمایی Exponential	0.18	0.57	0.39	0.68	1911.2	3462.6	1	4.92	288.5	12	0.57	16.8
	C ⁻ گوسی Gaussian	0.4	0.6	0.2	0.33	2004.7	3373.6	3	171.56	281.3	12	-0.084	4.31
	SO ₄ ²⁻ گوسی Gaussian	0.5	0.43	0.38	0.88	1911.2	3507.9	3	172.8	292.3	12	0.59	21.41
	EC نمایی Exponential	0.14	0.32	0.18	0.56	2696.3	42656.7	1	41.13	3554.7	12	0.31	6.92

منابع

- 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.
- Bahrami Jovein E., and Hosseini S. M. 2015. A systematic comparison of geostatistical methods for estimation of groundwater salinity in desert areas. *Iran-Water Resources*, 11(2): 1-15. (In Persian).
- Dagostino V. Greene E. A. Passarella B., and Vurro G. 1998. Spatial and Temporal study of nitrate concentration in ground water by means of co regionalization. *Environmental Geology*, 36: 285-295.
- Foster S. D. 1987. Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk. H. G. W.V. Van (Eds), Waeningen, The Hague. *Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollution*, 38: 69-86.
- Ghasemi R. Ziatabar Ahmadi M. Kh. Karimi V., and Abbasi E. 2016. Estimation of quantitative and qualitative changes of groundwater using ground statistics (Case study: Khormoj plain-Booshehr Province). 2nd National Conference of Water Crisis in Iran and the Middle East, Shiraz, 7p. (In Persian).
- Getis A., and Ord J. K. 1992. Local spatial autocorrelation statistics: distributional issues and an application. *Geographical Analysis*, 27: 286 – 306.

7. Gohroudi Tali M. 2005. Geographic Information System in 3D. Jihad-e- Daneshghahi Tarbiat Moallem Press, No 49.
8. Gong G., Mattevada S., and O'Bryant S. E. 2014. Comparison of the accuracy of kriging and IDW interpolations in estimating groundwater arsenic concentrations in Texas. *Environmental Researches*, 130: 59– 69.
9. Hamidian M., Salighe M., and Fallh Ghalhari Gh. 2013. Application of various interpolation methods for drought spatial monitoring and analysis (Case study: Khorasan Razavi province). *Geography and Development Iranian Journal*, 30(1): 57-70.
10. Hasani Pak A. 2007. *Geostatistics*. Tehran University Press, Iran, 268p. (In Persian).
11. Fakhri M. S., Asghari Moghaddam A., and Najib M. 2016. Application of statistical methods and saturation indices in groundwater quality assessment of the Marand plain. *Journal of Water and Soil Conservation*, 22(6): 117-133. (In Persian).
12. Fakhri M. S., Asghari Moghaddam A., Najib M., and Barzgar R. 2016. Investigation of Nitrate Concentration in Groundwater Resources of Marand Plain and Evaluation of Groundwater Vulnerability by Methods of AVI and GODS. *Ecology*, 41(1): 49-66. (In Persian).
13. Fakhri M. S., Asghari Moghaddam A. Barzgar R. Kazemian N., and Najib M. 2017. Investigating the Origin of Some Heavy Metals in Groundwater of Marand Plain Using Multivariate Statistical Methods. *Soil & Water Science*, 26(2/2): 237-253.
14. Forests, Rangeland and Watershed Management Organization of Iran. 2010. Detailed planning of the Zilberchay watershed, 8:146p. (In Persian).
15. Lee Jay W., and David W. S. 2001. *Statistical analysis with ArcView GIS*, John Wiley and sons, New York, 135-137.
16. Ma R., Wang Y., Sun Z., Zheng C., Ma T., and Prommer H. 2011. Geochemical evolution of groundwater in carbonate aquifers in Taiyuan, northern China. *Applied Geochemistry*, 26: 884-897.
17. Merati A., Tizro A., and Parsafar N. 2017. Qualitative zoning of groundwater resources using land statistics and GIS methods (case study: Solymanshah watershed). *Soil and Water Science*, 27(2): 237-248. (In Persian).
18. Momeni Damaneh J., Joulaie F., Alidadi H., and Peirovi R. 2015. Evaluation of interpolation methods to determine spatial variations of groundwater qualitative parameters (Case study: Gonabad plain). *Journal of Research in Environmental Health*, 165-176. (In Persian).
19. Osati Kh., and Nahvinia M. J. 2016. Spatial Variations of Ground Water Quality in Birjand Plain for Agriculture. *Journal of Environment and Water Engineering*, 2(1): 25-36. (In Persian).
20. Ozelkan E., Bagis S., Ozelkan O. C., Ustandag B., Yucler M., and Ormeci C. 2015. Spatial interpolation of climatic variables using land surface temperature and modified inverse distance weighting. *International Journal of Remote Sensing*, 36(4): 697-113.
21. Khaleghi F., and Shahinfar H. 2008. Investigating the effective factors in water hydrogeology of Marand city with the aim of sensitization and groundwater quality assessment. *Journal of Environmental Geology*, 2(1): 82-94.
22. Kashi Zenouzi L., Saadat H., and Namdar M. 2011. Investigation of the relationship between vegetation density and soil ecosystems in arid and semiarid regions (case study: Marand watershed). 7th Conference on Watershed Management Sciences and Engineering, 27-28 April, 10p.
23. Khazaei S., Abbasi Tabar H., and Taghizadeh Mehrjardi R. 2011. Spatial Distribution of Nitrate Contamination in Groundwater Using Geostatistic in Fars Province (Case study: Siakh Darengoun area). *Journal of Natural Environment, Iranian Journal of Natural Resources*, 64(3): 267-279.
24. Khosroshahi M. 2017. Threat and escalation of desertification risk in Iran from the perspective of water. *Iranian Journal of Nature, Research Institute of Forests and Rangelands of Iran*, 2(2): 6-13 (In Persian).
25. Khosroshahi M. 2014. The lack of water crisis and desertification. *Forest and Rangeland Journal*, 100:38-43 (In Persian).
26. Samani S., and Asghari Moghaddam A. 2017. Evaluation of the groundwater pollution potential using the Akipro method, and validation and validation of the method by examining the distribution of nitrate concentration. *Journal of Water Engineering System*, 10: 13-23. (In Persian).
27. Shen Ch., Li Ch., and Si Y. 2016. Spatio-temporal autocorrelation measures for nonstationary series: A new temporally detrended spatio-temporal Moran's index. *Physics Letters A*, 380(1-2): 106-116.
28. Tesoriero A. J. E., Inkpen L., and Voss F. D. 1998. Assessing ground-water vulnerability using logistic regression. *Proceeding Source, Water Assessment and Protect*, 98 Conference, Dallas, TX; 157–65.
29. Torabi Potkale S. 2009. Drought management: Drought analysis and forecasting and its impact on water resources management. Ph.D. Thesis, Faculty of Civil and Environment, Amir Kabir University, 148p. (In Persian).
30. Zaiming Z., Guanghui Z., Mingjiang Y., and Jinzhe W. 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.

Assessment of Some Parameters of Groundwater Quality Changes in the Marand Country Watershed- East Azarbayejan

L. Kashi Zenouzi¹- M. R. Yazdani^{2*}- M. Khosroshahi³- M. Rahimi⁴

Received: 23-04-2018

Accepted: 07-10-2018

Introduction: Groundwater is the only major source of water for drinking, agricultural and industrial purposes in the Marand city, and its vital importance makes sure that its quality is seriously considered. With qualitative zoning, the process of underground water quality changes is determined at any time, place, and condition. It is possible to save time and cost by removing the stations with similar quality status and install new stations at times that are different or critical. In this paper, using the observational data of wells in Marand watershed, the spatial distribution of some groundwater quality parameters has been studied and analyzed using land-based methods. Geostatistical methods for estimating the unknown are remarkably effective.

Materials and Methods: In order to predict the spatial distribution of groundwater quality, data was collected from 48 water wells, semi-deep wells, springs, and others from the Water Resources Management Company. In this research, the spatial variation process of five qualitative parameters of water include EC, electrical conductivity, chlorine and sulfate (SO₄²⁻) anions, and Sodium Rate Absorption (SAR) and soluble solids (TDS): Total Dissolved Salts) were studied. After reviewing, some of them were omitted due to statistical deficiencies. Common time base was selected for studying the Blue Years 2003-2005, and the years 1388-88 and 1391-1391. Data homogeneity was evaluated for the statistical period between 1384-1384 by the sequencing test method. According to the mentioned method, there was no heterogeneity in the data. Statistical deficits were determined according to the correlation coefficient of a variable. Data were normalized using SPSS 18.0 software using logarithmic transformation method and their elongation and bending values were obtained in the range -2 and 2. In this study, for estimation of groundwater quality parameters including EC, TDS, Cl⁻, SAR and SO₄²⁻, piezometric wells data were used during the years 84, 88 and 91. Statistical analysis methods consisted of conventional Kriging method in Spherical, Gaussian and exponential modes and Weighted Inverse Distance (IDW) methods with power from 1 to 3 were studied. Cross-validation, G statistics (GetisOrd General G) and Morans Index were used to select the best and most suitable interpolation method. The values of all three evaluation methods were calculated and analyzed using Arc / GIS 10.3 software.

Results and Discussion: Based on the cross-evaluation method, the Kriging method is less effective than RMSE and ME in comparison with the Inverse Distance Weighting method. The zonation map of anion SO₄²⁻ in year 2012 with G statistics and Moran index was 21.41 and 0.99 %, had the highest interaction in spatial structure and EC zonation map in year 2005 with Moran index and G statistic was 0.16 and 45 respectively has the least interaction of spatial structure. Charts of Changes in Quality Parameters showed that, water quality in latitude and longitude, values which were Cl⁻, EC, SAR, and TDS and SO₄²⁻ anions between the years 2005-2009 in the western-eastern part have been intangible and have been steeply sloping in the year 91. But in the North-South direction of 84 to 91 increased and then decreased in the middle of basin. Finally, by disconnecting the map of land use and geology of the watershed with the zoning maps of each of the parameters, it is concluded that due to the distribution of villages, residential areas and agricultural lands around them in the center and east of the watershed, the trend of groundwater quality parameters had been changed. The underground waters of Marand country watershed were influenced by human activities. Also, some geological formations and gypsum and dolomite minerals in the area in groundwater quality have led to an increase in TDS values and sulfidation of water resources in the eastern parts of the basin.

Conclusion: Groundwater quality is always influenced by various factors such as flow direction, groundwater level, climatic factors (precipitation, evapotranspiration, etc.), type and composition of geological formations of the region and human factors (land use, extraction of groundwater resources, Entry of household wastewater and agriculture into

1, 2 and 4-Ph.D. Student of Combat Desertification and Associate Professors, Faculty of Desert Studies, University of Semnan, Iran
(*-Corresponding Author Email: m_yazdani@semnan.ac.ir)

3- Associate Professor, Desert Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

groundwater resources, etc.). Therefore, due to the importance of the use of groundwater resources and the limitations of its use, it is suggested that continuous monitoring of groundwater quality changes should be carried out using ground-based methods and in order to evaluate the effective factors of water quality parameters spatial distribution maps was prepared and analyzed. In the present study, based on the previous studies, two geology formation and land use types were selected to prepare map of water quality parameters and it turned out that both of these factors are the most important factors affecting the groundwater quality in the Marand country watershed.

Keywords: General G-Statistic, Ground water, Kriging, Moran's Index

