مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره هشتم، شماره بیستم، تابستان ۱۳۹۸
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۸/۰۸
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۳/۱۲
صفحات: ۱۳۰ - ۱۱۵

مقایسه عملکرد روش‌های جبری و زمین‌آمار در تعیین تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت بروجن

فریبا اسفندیاری درآباد[1]*، راضیه قربانی فیل‌آبادی[2]، علی نصیری خیاوی[3]، رئوف مصطفی‌زاده[4]

چکیده

رشد جمعیت و افزایش استفاده از منابع آب برای استفاده‌های کشاورزی، صنعتی و شرب از عوامل اصلی کاهش کیفیت و آلودگی آب‌های زیرزمینی است. به‌سبب بهره‌برداری بی‌رویه منابع آب زیرزمینی در دشت حاصلخیز بروجن طی سالیان اخیر، این منطقه به‌عنوان دشت ممنوعه بحرانی شناخته شده است. هدف اصلی پژوهش حاضر، بررسی کیفیت آب زیرزمینی در آبخوان دشت بروجن با استفاده از روش‌های تحلیل مکانی جبری و زمین‌آماری می‌باشد. بدین منظور از داده‌های ۱۹ چاه نمونه‌برداری در دوره زمانی ۱۳۹۲-۱۳۶۸، جهت بررسی کیفیت آب زیرزمینی دشت بروجن استفاده شد. تغییرات مکانی پارامترهای کیفیت آب با روش‌های جبری IDW، RBF و زمین‌آماری کریجینگ مورد ارزیابی قرار گرفت. با استفاده از روش ارزیابی متقابل شامل شاخص‌های میانگین خطا و ریشه دوم مربع میانگین خطا، نتایج روش‌های درون‌یابی مورد آزمون قرار گرفتند و روش مناسب جهت پهنه‌بندی پارامترهای کیفی مختلف انتخاب شد. بر اساس نتایج تخمین مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی دشت بروجن، برای پارامتر سختی کل (TH) روش کریجینگ (RMSE=۳۰/۷۲ و ME=۰/۰۹)، به‌عنوان روش مناسب انتخاب شد. هم‌چنین برای پارامترهای pH و SAR، غلظت یون کلر و غلظت یون سولفات روش RBF با مقادیر ریشه دوم مربع میانگین خطا برابر ۰/۰۵، ۰/۳۳، ۰/۲۷ و ۰/۴ برای تخمین مکانی مناسب می‌باشد. در حالی‌که پارامترهای EC و TDS با روش وزن‌دهی عکس فاصله و مقادیر RMSE به‌ترتیب (۸۴/۶۲ و ۵۶/۳۶) بهتر تخمین شده‌اند. در مجموع، با مقایسه نقشه‌های تهیه شده برای پارامترهای سختی کل، هدایت الکتریکی، غلظت یون کلر، غلظت یون سولفات و نسبت جذبی سدیم مشاهده می‌شود که پهنه‌های مشخص شده برای این پارامترها تقریباً از یک الگوی خاص پیروی کرده و میزان حداقل و حداکثر تمامی پارامترها در نواحی مشترکی از دشت واقع شده است.

واژگان کلیدی: آب زیرزمینی، تغییرات کیفی، روش‌های زمین‌آماری، روش‌های جبری، الگوی تغییرات مکانی

۱- دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی (نویسنده مسئول) esfandyari@uma.ac.ir
۲- کارشناس ارشد هیدروژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی r.ghorbani.69320@gmail.com
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشگاه محقق اردبیلی alikhiavi72@gmail.com
٤- استادیار گروه منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی raoofmostafazadeh@uma.ac.ir

مقدمه

آب زیرزمینی بعد از یخچال‌ها، بزرگ‌ترین ذخیره آب شیرین زمین محسوب می‌شود. قابل توجه است که آب زیرزمینی فقط ۶ درصد آب‌های موجود در کره زمین را تشکیل می‌دهد، حال آن‌که این حجم بسیار ناچیز، ۹۸ درصد آب شیرین قابل استفاده بشر را تأمین می‌کند (محمدی و همکاران، ۱۳۹۱؛ تولد[1]، ۲۰۰۵). امروزه در دنیا تأمین آب آشامیدنی و حفظ بهداشت شهرها از طریق استخراج منابع آب زیرزمینی متداول گردیده و مطالعات و بررسی علمی فراوانی در مورد کیفیت آب زیرزمینی و پیش‌گیری از آلودگی این منابع در اکثر کشورها صورت گرفته است. از آن‌جا که کشور ایران جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک کره زمین محسوب می‌شود لزوم استفاده بهینه از منابع آب‌های زیرزمینی با توجه به رشد صنایع و کشاورزی در کشور و وابستگی این صنایع به منابع آبی لازم است که یک برنامه‌ریزی دقیق و اصولی برای بهره‌برداری صحیح از منابع آب موجود در هر منطقه صورت گیرد (صداقت، ۱۳۸۷). محدودیت منابع آب در دسترس، آب را به‌عنوان یک کالای اقتصادی و با ارزش مطرح نموده است. با رشد روزافزون جمعیت و افزایش فعالیت‌های شهری، صنعتی و کشاورزی، آب‌های زیرزمینی در معرض خطر آلودگی قرار گرفته‌اند. در ایران آب‌های زیرزمینی سهم ۶۰ درصدی در تامین آب آشامیدنی اکثر شهرها دارد (صابری و همکاران، ۱۳۸۹). استفاده از روش‌های سنتی برای بررسی وضعیت کیفیت سفره‌های زیرزمینی، زمان‌بر و پرهزینه است، لذا روش‌های زمین‌آماری با توجه به داشتن توانمندی‌های خوبی چون کاهش نمونه‌برداری‌ها و افزایش دقت تخمین‌ها، به‌لحاظ استفاده می‌تواند هم هزینه‌ها را کاهش داده و هم موجب افزایش دقت برآوردها شود (حبیبی اربطانی و همکاران، ۱۳۸۸؛ اسفندیاری و همکاران، ۱۳۹۳).

یکی از خصوصیات مشترک علوم محیطی ماهیت داده‌های آن‌ها است. اغلب ویژگی‌های محیطی دارای پراکنشی پیوسته در مکان بوده و از سوی دیگر نمونه‌برداری و اندازه‌گیری آن‌ها در تمامی نقاط واقع در محدوده مطالعاتی غیر ممکن است. بدین ترتیب جهت توصیف و نمایش تغییرات مکانی متغیرهای مورد نظر، مقادیر آن‌ها را می‌توان در نقاطی‌که نمونه‌برداری نشده‌اند، با در نظر گرفتن اطلاعات موجود از محل‌های نمونه‌برداری شده برآورد نمود. در زمین‌آمار با به‌کارگیری اطلاعات حاصل از نقاط نمونه‌برداری شده، خصوصیات مورد نظر نقاطی که نمونه‌برداری نشده‌اند با استفاده از تخمین‌گرهای آماری برآورد می‌گردد (محمدی، ۱۳۸۰).

هدف اصلی زمین‌آمار درک این موضوع است که چرا روش‌های مختلف نتایج خاص و متفاوت خود را تولید می‌کند (سلمان ماهینی و کامیاب، ۱۳۸۸). در روش‌های آمار مکانی، هر نمونه تا فاصله معینی با نمونه‌های اطراف خود در ارتباط است و در واقع مطابق فرضیه‌های زمین‌آماری، احتمال میزان تشابه بین مقادیر مربوط به نمونه‌های نزدیک‌تر بیش‌تر است. بنابراین انتظار می‌رود که روش‌های زمین‌آماری، با در نظر گرفتن همبستگی و ساختار مکانی داده‌ها و قابلیت استفاده از روابط بین متغیرها، دارای برآورد بیش‌تری باشند (مهدی‌زاده و همکاران، ۱۳۸۵). در این رابطه پژوهش‌هایی در ایران و جهان انجام شده که تعدادی از آن‌ها به‌شرح زیر ارائه می‌شوند. هوانگ[2] و همکاران (۲۰۱۲)

1- Told
2- Huang

برای ارزیابی و درون‌یابی تغییرات مکانی NO^-_3-N آب زیرزمینی در منطقه شاندونگ چین، از روش کوکریجینگ استفاده کردند. نتایج نشان داد که مناطقی با غلظت بالاتر، اساساً در مناطقی با کشاورزی تشدیدی، دیده می‌شود.

نتایج هم‌چنین نشان داد که روش درون‌یابی کوکریجینگ، روش مناسبی برای بررسی تغییرپذیری مکانی در این مناطق است. ثمین[1] و همکاران (۲۰۱۲) نیز از روش کریجینگ و کوکریجینگ معمولی برای تخمین ۹۰ حلقه چاه استان فارس استفاده کردند و بیان نمودند هر دو روش تخمین‌های قابل قبولی ارائه نمودند. چرخ‌کارزاده[2] و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی با هدف بررسی غلظت فلوراید در دشت یزد اردکان، روش‌های میان‌یابی کریجینگ و وزن‌دهی فاصله معکوس را مورد بررسی قرار دادند آنان نتیجه گرفتند که در هر دو ناحیه شهری و روستایی روش کریجینگ مؤثرتر از روش IDW[3] است.

ماچیوال و کی‌جا[4] (۲۰۱۵) طی پژوهشی تحت عنوان شناسایی منابع آلودگی آب‌های زیرزمینی در یک سیستم آبخوان سنگ سخت با استفاده از تجزیه و تحلیل آماری چند متغیره و تکنیک‌های مدل‌سازی زمین‌آماری مبتنی بر GIS تغییرات مکانی و زمانی ۱۵ پارامتر کیفیت آب زیرزمینی در منطقه اودیاپور را توسط پلات‌های جعبه شارب بررسی کردند که نتایج حاکی از افزایش عناصر هیدروشیمیایی، در آب زیرزمینی بود. محمدی و همکاران (۱۳۹۰) در پژوهشی تغییرات مکانی و زمانی کیفیت آب زیرزمینی دشت قزوین را بررسی کرده و نتیجه گرفتند که ۱۰ درصد از کل آب‌های زیرزمینی دشت مذکور برای مصارف شرب و کشاورزی مطلوب و ۶ درصد از آن برای این مصارف نامطلوب است.

ملکیان و همکاران (۱۳۹۱) تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت ورامین را با استفاده از روش‌های فازی، زمین‌آمار و و رویکرد ترکیبی منطق بول مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که روش عکس فاصله در میان‌یابی پارامتر TDS[5] و EC[6] نسبت به روش‌های زمین‌آماری برتری دارند. هم‌چنین در برآورد پارامتر TH روش زمین‌آماری کوکریجینگ با استفاده از پارامتر کمکی Cl بیش‌ترین دقت را داشته است. استواری و همکاران (۱۳۹۱) پس از بررسی تغییرات مکانی- زمانی غلظت نیترات در آب‌های زیرزمینی دشت لردگان و شهرکرد گزارش کردند که روش وزن‌دهی عکس فاصله نسبت به روش کریجینگ معمولی روش مناسب‌تری برای تخمین غلظت نیترات می‌باشد. زارع ابیانه (۱۳۹۲) در مطالعه‌ای به‌منظور مدل‌سازی تغییرات مکانی پارامترهای کیفی آب زیر زمینی دشت همدان- بهار با روش‌های زمین‌آماری، نتیجه گرفت که روش کریجینگ با نیم‌تغییرنمای کروی در مدل‌سازی عوامل کیفی برتری دارد.

1- Samin
2- Charkhkarzadeh
3- Inverse Distance Weighted
4- Machiwal and K.Jha
5- Total Dissolved Solid
6- Electric Conductivity

نصیری و صدقی‌اصل (۱۳۹۵) به پهنه‌بندی مکانی خصوصیات کمی- کیفی جریان آب زیرزمینی در دشت فیروزآباد استان فارس پرداختند و به این نتیجه رسیدند که روش کریجینگ با مدل نمایی با داشتن کم‌ترین مقدار خطا، بهترین روش می‌باشد. در تحقیقی دیگر روستایی و صدقی‌اصل (۱۳۹۵) دقت روش‌های زمین‌آماری را در تخمین خصوصیات کیفی آب زیرزمینی در حوزه آبخیز فامور کازرون مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج حاکی از این بود که روش IDW با توان ۲ و روش کریجینگ با مدل کروی به‌دلیل داشتن پایین‌ترین مقدار RMSE[1] و MAE[2] و داشتن بالاترین مقدار R نسبت به سایر روش‌ها، بهترین روش برای ترسیم نقشه انتخاب شدند. به‌طور کلی قسمت اعظم کشور ایران، خشک و کم‌آب است و آب مورد نیاز روستاها، صنایع و شهرها از منابع آب‌های زیرزمینی تأمین می‌شود. حتی در مناطقی که بارندگی زیاد است و منابع آب سطحی وجود دارد برای جبران کمبود آب، از آب‌های زیرزمینی استفاده می‌شود. در حال حاضر در کشور به‌دلیل برداشت بیش از حد مجاز آب از سفره‌های زیرزمینی، بسیاری از قنات‌ها خشک و یا در حال نابودی است. منابع آب زیرزمینی به‌دلیل برداشت‌های بی‌رویه به‌شدت رو به‌کاهش است. کاهش حجم آب‌های زیرزمینی از یک‌سو و فعالیت‌های انسانی از سوی دیگر، موجب کاهش کیفیت منابع آب‌های زیرزمینی و تخریب اراضی با گذشت زمان می‌گردد (هاشمی و نیک‌نژاد، ۱۳۸۵). منابع آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه، حیاتی‌ترین منبع آب برای توسعه پایدار است و بنابراین حفاظت از این منابع با ارزش ضروری است. میانگین افت سالانه حدود ۰/۴۴ متر سطح ایستابی سفره آب زیرزمینی دشت بروجن در سال‌های اخیر نشان از برداشت بی‌رویه آب در این دشت دارد. از طرفی به سبب بهره‌برداری بی‌رویه منابع آب زیرزمینی در دشت حاصلخیز بروجن طی سالیان اخیر، این منطقه به عنوان دشت ممنوعه بحرانی شناخته شده است (رادفر و معاونی، ۱۳۹۵). از آن‌جا که آمار کلاسیک قادر به در نظر گرفتن توزیع مکانی عامل‌های کیفیت و کمیت آب‌های زیرزمینی نبوده، بنابراین از زمین‌آمار به‌عنوان تکنیکی برای این هدف استفاده می‌شود. بنابراین هدف تحقیق حاضر، بررسی کیفیت آب زیرزمینی با توجه به ویژگی‌های شیمیایی آبخوان و بررسی عوامل موثر بر تغییرات کیفی آبخوان دشت بروجن می‌باشد.

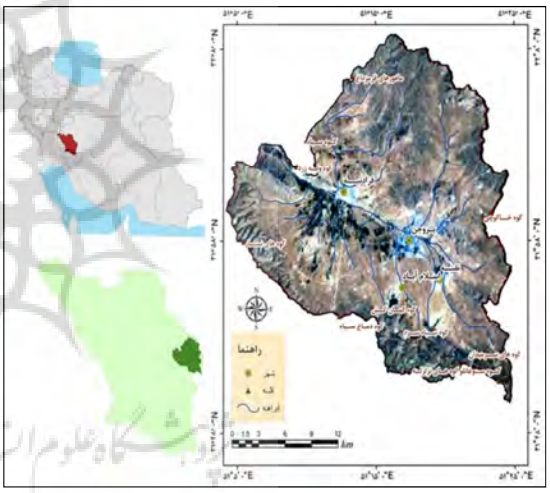
داده‌ها و روش‌ها

خصوصیات منطقه مورد مطالعه

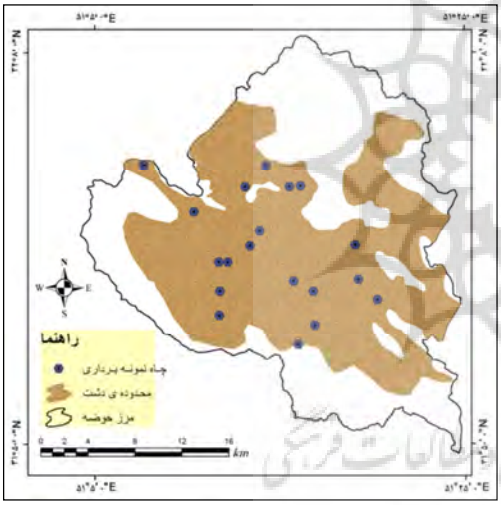
حوضه آبخیز بروجن بخشی از کارون بزرگ است که در شرق استان چهارمحال و بختیاری و در مختصات جغرافیایی ۵۱ درجه و ۴ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۴ دقیقه طول شرقی و ۳۱ درجه و ۴۹ دقیقه و ۳۰ ثانیه تا ۳۲ درجه و ۸ دقیقه و ۴۵ ثانیه عرض شمالی واقع شده است. دشت بروجن از نظر زمین‌شناسی در زون‌های سنندج- سیرجان و در مجاورت تراست اصلی زاگرس واقع شده است. منطقه زمین شناسی سنندج- سیرجان که در منطقه فعال بین قلمرو زاگرس و ایران مرکزی می‌باشد، به‌شدت تحت تأثیر حرکات صفحه‌ای و فشاری قرار دارد. به‌همین دلیل فاقد چینه‌بندی منظم بوده، ولی از نظر گستره‌ای در امتداد تراست اصلی زاگرس قرار دارد از نظر زمین‌شناسی نیز سازندهای آن به‌شدت

1- Root Mean Square Error
2- Mean Absolute Error

دستخوش تغییر و دگرگونی شده است که از مهم‌ترین سنگ‌های آن می‌توان به آندزیت‌ها و شیل‌های دگرگون شده شمال استان اشاره کرد در این ناحیه رسوبات پالئوزوئیک گسترش نیافته‌اند و تنها رسوبات مربوط به دوران دوم و سوم در آن رخنمون دارند (دره‌رودی و همکاران، ۱۳۹۳). هم‌چنین شبکه هیدرولوژی سطحی حوضه بروجن متشکل از آبراهه‌هایی با آرایش درختی است که محل تخلیه این آبراهه‌ها رود کارون می‌باشد. در آماربرداری‌هایی که توسط شرکت عمران فرآب انجام شده است تعداد کل چاه‌های بهره‌برداری دشت بروجن ۲۰۶ حلقه عنوان شده است. همچنین در این منطقه ۵۷ رشته قنات موجود است. همچنین آبخوان دشت بروجن، از نوع آبخوان آزاد تشخیص داده شده است (دره‌رودی و همکاران، ۱۳۹۳). شکل (۱) مربوط به موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه می‌باشد. هم‌چنین نقشه موقعیت چاه‌های نمونه‌برداری کیفی دشت بروجن در شکل (۲) ارائه شده است.



شکل۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه



شکل۲: موقعیت چاه‌های نمونه‌برداری کیفیت در دشت بروجن

داده‌های مورد استفاده مربوط به ۱۹ چاه مطالعاتی در سطح حوضه و در دوره آماری ۲۵ ساله (۱۳۶۸ تا ۱۳۹۲) است که این داده‌ها به‌صورت سالیانه استخراج و ثبت شده‌اند. در داده‌های حاضر، چاه‌های نمونه‌برداری شده از مناطق کم‌شیب حوضه انتخاب شده‌اند و سعی شده است کیفیت آب زیرزمینی در محدوده دشت بروجن مورد بررسی قرار گیرد که در جدول (۱) ارائه شده است. با توجه به مقادیر جدول (۱) می‌توان بیان کرد که بیش‌ترین و کم‌ترین میانگین در بین پارامترها به‌ترتیب مربوط به پارامترهای EC و K می‌باشد. در مورد مقادیر دامنه تغییرات مربوط به پارامترهای مورد استفاده شده، پارامتر EC با ۳۷۵/۶ بیش‌ترین و پارامتر K با مقدار ۰/۰۲ کم‌ترین ضریب تغییرات را به خود اختصاص داده‌اند. هم‌چنین چولگی و کشیدگی داده‌ها نشان می‌دهد که به‌جز مقادیر pH، توزیع سایر داده‌ها از توزیع نرمال تبعیت می‌کند.

جدول۱: مقادیر مربوط به پارامترهای آماری کیفیت آب زیرزمینی دشت بروجن

پارامتر	واحد	حداکثر	حداقل	میانگین	انحراف معیار	واریانس	دامنه تغییرات	چولگی	کشیدگی
SAR	$\mu mhos/cm$	۰/۲۱	۱/۴۸	۰/۸۵	۰/۳۶	۰/۱۳	۱/۲۵	-۰/۱۹	۲/۵۳
K	Me/liter	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۰۶	۰/۰۰	۰/۰۲	۱/۴۴	۱/۳۸
Na	Me/liter	۰/۲۸	۲/۴۷	۱/۲۶	۰/۵۵	۰/۲۹	۱/۹۱	-۰/۲۷	-۰/۴۷
Mg	Me/liter	۰/۴	۷/۸۸	۱/۶۳	۰/۳۹	۰/۱۵	۱/۴۰	۰/۲۹	-۰/۳۵
SO4	Me/liter	۰/۳۶	۱/۶۱	۱/۰۲	۰/۳۷	۰/۱۳	۱/۲۴	-۰/۲۸	-۰/۹۲
Cl	Me/liter	۰/۳۸	۴/۰۵	۱/۲۵	۰/۷۱	۰/۵۰	۲/۵۷	۰/۷۱	۲/۹۴
Ca	Me/liter	۲/۳۴	۳/۵۴	۲/۷۹	۰/۳۸	۰/۱۴	۱/۲۹	۰/۹۳	۰/۴۱
HCO3	Me/liter	۲/۵۸	۴/۵۸	۳/۳۴	۰/۴۷	۰/۲۲	۱/۵۴	۰/۴۳	-۰/۸۵
pH	Me/liter	۷/۷۸	۸/۱۳	۸/۰۳	۰/۰۶	۰/۰۰۳	۰/۲۷	-۲/۴۷	۹/۷۸
TDS	Mg/liter	۲۵۴/۷۸	۵۰۹/۲۸	۳۷۲/۸۴	۷۲/۲۶	۵۲۲۱/۹۶	۲۳۰/۱۹	-۰/۱۸	۲/۰۴
EC	$\mu mhos/cm$	۳۹۱/۹۸	۷۸۳/۵۱	۵۷۵/۴۹	۱۱۴/۰۶	۱۳۰۰۹/۱۳	۳۷۵/۶۰	-۰/۱۰	۲/۱۳
TH	Mg/liter	۹۵	۸۱۳/۵	۲۲۰/۶۶	۳۱/۳۹	۹۸۵/۶۹	۱۰۴/۵۷	۰/۱۰	-۰/۹۴

در روش جبری یک یا چند رویه به مجموعه نقاط مشاهده‌ای (Z) در مختصات معلوم برازش داده می‌شود. درون‌یاب‌های جبری می‌توانند دقیق یا تقریبی باشند به طوری‌که اگر مقادیر مشاهده‌ای به‌عنوان مقادیر دقیق در محل‌های نمونه‌گیری تلقی شود، استفاده از یک روش دقیق برای درون‌یابی توصیه می‌شود (خسروی و عباسی، ۱۳۹۵). در پژوهش حاضر، از روش‌های وزن‌دهی فاصله معکوس (IDW) و توابع پایه شعاعی (RBF) از روش‌های قطعی میان‌یابی مورد بررسی قرار گرفتند. در روش IDW فرض اساسی بر این استوار است که میزان همبستگی و تشابه بین همسایه‌ها با فاصله بین آن‌ها متناسب است که می‌توان آن‌را به‌صورت تابعی با توان معکوس از فاصله هرنقطه از نقاط همسایه تعریف کرد. در این روش مقدار فاکتور وزنی (λi) با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$\lambda_i = \frac{D_i^{-\alpha}}{\sum_{i=1}^{n} D_i^{-\alpha}} \quad (۱)$$

که در آن D_i فاصله بین نقطه برآورد شده و مقدار مشاهده شده در نقطه α، i توان معادله و n تعداد نقاط مشاهده شده می‌باشد. از طرفی روش RBF از جمله روش‌های درون‌یابی است که در آن‌ها سطح تخمین از مقادیر مشاهده‌ای عبور می‌کند. این روش حالتی از شبکه عصبی مصنوعی است. تابع شعاعی، تابعی به صورت $\Phi_j(x) = \Phi(\|x - x_j\|)$ می‌باشد که وابسته به فاصله بین $X \in R^d$ و نقطه ثابت $X_j \in R^d$ است. در این تابع Φ تابعی پیوسته و وابسته به هر زیرمجموعه $\Omega \in R^d$ می‌باشد. R نشان‌دهنده فاصله اقلیدسی بین هرجفت نقطه در مجموعه Ω است (خسروی و عباسی،۱۳۹۵).

روش‌های زمین‌آماری یکی از دقیق‌ترین روش‌های تخمین مقادیر متغیرها در نقاط نمونه‌برداری نشده می‌باشند. اساس این روش محاسبه‌ی میانگین وزن‌دار مقادیر واقع در همسایگی بلوک مورد تخمین است. روش‌ها زمین‌آماری شامل دو دسته درون‌یابی کریجینگ و روش TPSS می‌باشد. روش درون‌یابی کریجینگ یک روش برای درون‌یابی

خطی بهینه با حداقل میانگین خطا درونی است. کریجینگ به‌عنوان یک تخمین‌گر دقیق شناخته شده است. این روش لزوما نیازی به شبکه‌های مشاهده‌ای ندارد، هنگامی‌که داده ها دارای توزیع نرمال باشند، برای برآورد ساختار متغیرهای منطقه‌ای، تنها نقاط همسایگی داده‌های برآورد شده مورد توجه قرار می‌گیرد. تغییرپذیری فضایی یک متغیر منطقه‌ای با یک نیم- واریوگرام توصیف می‌شود. نیم- واریوگرام تجربی یک نمایش گرافیکی میانگین متغیر مربع بین دو نقطه همسایگی به فاصله h است که در معادله زیر نشان داده شده است (دمارسیلی[1]، ۱۹۸۶؛ ژورنل[2]، ۱۹۸۹):

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} \left[\left(z(x+h) - z(x) \right)^2 \right] \quad (۲)$$

که در آن $z(x)$ و $z(x+h)$ ارزش متغیر در نقاط x و نقطه ای به فاصله h از نقطه x اند.

لازم به‌ذکر است که روش RBF شامل مدل‌های Completely regularized spline، Spline with tension، Multiquadric function، Inverse multiquadric function و Thin-plate spline می‌باشد. هم‌چنین روش کریجینگ مدل‌های Circular، Spherical، TetraSpherical، PentaSpherical، Exponential، Gaussian، Rational Quadratic، Hole Effect، K-Bessel، J-Bessel و Stable را شامل می‌شود.

روش‌های ارزیابی دقت مدل

به‌منظور انتخاب روش مناسب درون‌یابی، از روش ارزیابی متقابل استفاده شده است. در این روش، در هر مرحله یک نقطه مشاهده‌ای حذف شده و با استفاده از سایر نقاط مشاهده‌ای، آن نقطه برآورد می‌گردد. این کار برای تمامی نقاط مشاهده‌ای تکرار می‌شود، به‌گونه‌ای‌که در آخر به تعداد نقاط مشاهده‌ای، برآورد وجود خواهد داشت و در پایان با داشتن مقادیر واقعی و برآورد شده می‌توان خطا و انحراف روش استفاده شده را برآورد کرد (مومنی دمنه و همکاران، ۱۳۹۴). به‌منظور ارزیابی و صحت‌سنجی داده‌های پیش‌بینی شده از دو معیار شاخص ریشه دوم میانگین مربع خطا (RMSE) و میانگین خطا (ME) استفاده گردید. معیارهای مذکور با استفاده از روابط (۳) و (۴) مورد محاسبه قرار گرفت.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} (X_{oi} - X_{ci})^2} \quad (۳)$$

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{N} (f_i - o_i) \quad (۴)$$

1- De Marsily
2- Journel

که در آن‌ها، X_{oi} مقدار داده مشاهده شده، X_{ci} مقدار داده، N مجموع مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده، f_i مقدار پیش‌بینی شده و o_i مقدار مشاهده شده می‌باشد.

روش تحقیق

در پژوهش حاضر، با استفاده از روش‌های جبری و زمین‌آمار تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی در دشت بروجن مورد بررسی قرار گرفت. منابع آماری مورد نیاز از سازمان آب منطقه‌ای استان چهارمحال و بختیاری به‌صورت آمار خام جمع‌آوری شد. داده‌های مربوط به کیفیت آب زیرزمینی شامل؛ اسیدیته خاک (pH)، نسبت جذب سدیم (SAR[1])، غلظت املاح محلول (TDS)، هدایت الکتریکی (EC) و غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌ها از طریق چاه‌های نمونه‌برداری توسط شرکت آب منطقه‌ای استان چهارمحال و بختیاری برداشت و ثبت شده است. بدین ترتیب پس از جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز، از نرم‌افزارهای ArcGIS 10.1 و GS^+ برای انجام کارهای زمین‌آماری استفاده شد. هم‌چنین آنالیزهای آماری مورد نیاز با استفاده از نرم‌افزار SPSS 16 صورت پذیرفته است. در ارتباط با پارامترهای مورد بررسی قرار گرفته بایستی ذکر گردد که اسیدی شدن خاک می‌تواند اثر منفی بر روی کیفیت آب زیرزمینی داشته باشد. دامنه مجاز pH برای آب آشامیدنی ۶/۵ تا ۹/۲ و دامنه مطلوب آن ۷ تا ۸/۵ است (علیزاده، ۱۳۸۹). شاخص‌های هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم در تعیین تناسب آب بـرای آبیاری اهمیت دارند. هدایت الکتریکی خطر شوری را برای خاک و محصول زراعی بیان می‌کند. (استواری و عسگری، ۱۳۹۲؛ آقازاده و اصغری‌مقدم، ۲۰۱۰). مقدار SAR کم‌تر از ۱۰ نشان‌دهنده میزان سدیم کم، ۱۰ تا ۱۸ سدیم متوسط، ۱۸ تا ۲۶ سدیم زیاد و بیش‌تر از ۲۶ سدیم خیلی زیاد در آب است (مهدوی، ۱۳۸۴: ۳۲۹). با توجه به تأثیری که سدیم روی خاک دارد یکی از عوامل اصلی تعیین کیفیت آب محسوب می‌شود. میزان TDS نشان‌دهنده کل مواد جامد محلول در آب است که اصطلاحاً شوری نیز نامیده می‌شود و افزایش میزان TDS می‌تواند اثرات منفی زیادی بر روی آب‌های سطحی و زیرزمینی داشته باشد. (استواری و عسگری، ۱۳۹۲). جهت بررسی آنالیزهای از نرم‌افزار SPSS 16 استفاده شده است.

نتایج و بحث

تحقیق حاضر با ارزیابی روش‌های جبری و زمین‌آمار تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی در دشت بروجن صورت پذیرفته است. نتایج حاصل از بررسی روش IDW برای پارامترهای سختی، هدایت الکتریکی، غلظت املاح محلول، نسبت جذبی سدیم، کلر، سولفات و pH در جدول (۲) ارائه شده است. با توجه به نتایج به‌دست آمده از جدول (۲) می‌توان گفت که بهترین روش‌های زمین‌آماری برای هر یک از پارامترهای TH، pH، EC، TDS، Cl، SO_4 و SAR به‌ترتیب روش‌های کریجینگ، K-Bessel، RBF (Multiquadric Function)، RBF، IDW، IDW (Inverse Multiquadric Function)، RBF (Thin plate-spline) و RBF (Completely regularized spline) می‌باشند.

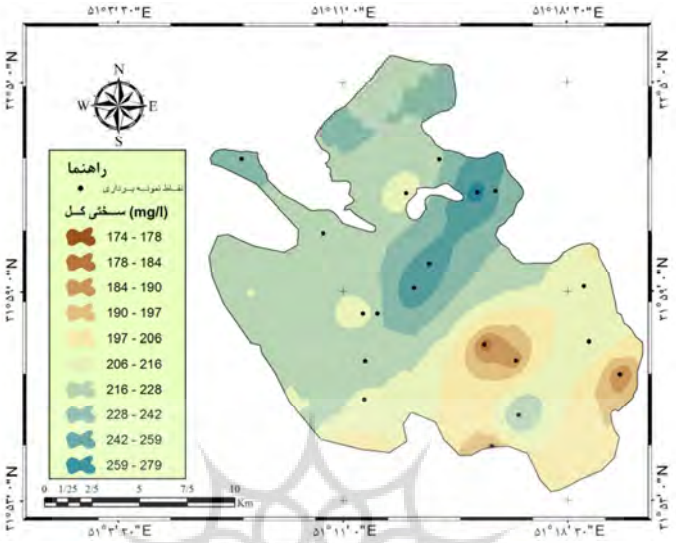
1- Sodium absorption ratio

جدول۲: خطاهای تخمین زده شده برای هر یک از روش‌های درون‌یابی پارامتر کیفیت آب در دشت بروجن

پارامتر کیفیت آب	روش‌های ارزیابی خطا	مدل بهینه انتخاب شده	معیار	
			RMSE	ME
TH	IDW	-	۳۲/۳۹	۱/۴۲
	RBF	Completely regularized spline	۳۲/۳۵	۰/۰۹
	Kriging	K-Bessel	۳۰/۷۲	۰/۰۹
pH	IDW	-	۰/۱	-۰/۰۱۲
	RBF	Multiquadric Function	۰/۰۵	۰/۰۰۱
	Kriging	J-Bessel	۰/۰۶	۰/۰۰۵
EC	IDW	-	۸۴/۶۲	-۰/۲۷
	RBF	Multiquadric Function	۸۷/۸۶	۰/۰۴
	Kriging	Stable	۸۴/۰۵	-۰/۵۲
TDS	IDW	-	۵۶/۳۶	۰/۴۸
	RBF	Multiquadric Function	۶۱/۹۹	۰/۰۳
	Kriging	Stable	۵۸/۴۵	۰/۰۷
Cl	IDW	-	۰/۴۱	۰/۰۰۱۹
	RBF	Inverse Multiquadric Function	۰/۲۷	۰/۰۰۲
	Kriging	Circular	۰/۳۶	-۰/۰۰۷۹
SO_4	IDW	-	۰/۳	۰/۰۰۰۰۵
	RBF	Thin plate-spline	۰/۴	۰/۰۰۰۰۶
	Kriging	K-Bessel	۰/۲۹	۰/۰۱
SAR	IDW	-	۰/۲۸	۰/۰۰۰۵
	RBF	Completely regularized spline	۰/۳۳	-۰/۰۱۸
	Kriging	Stable	۰/۲۷	-۰/۰۱۹

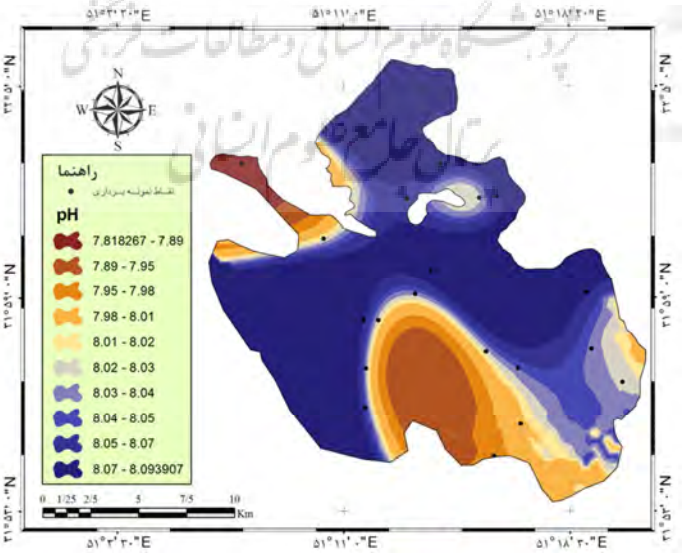
هم‌چنین نقشه‌های تغییرات پارامترهای کیفی آب زیرزمینی در دشت بروجن براساس مدل‌های بهینه انتخاب شده مطابق شکل‌های (۳) تا (۹) می‌باشد.

براساس شکل (۳) می‌توان گفت که مقادیر بالای سختی کل در بخش‌های شمال و شمال غرب دشت بروجن مشاهده می‌شود. آب‌های زیرزمینی بخش‌های شمال و شمال غرب دشت بروجن از نظر سختی در حد مطلوب نیست. اما در بخش‌های جنوب و جنوب شرقی دشت میزان سختی کل کم‌تر از ۲۰۰ بوده و جهت شرب قابل استفاده است. علاوه بر این با توجه به تقسیم‌بندی سختی مهدوی (۱۳۸۴) آب زیرزمینی در سطح دشت بروجن دارای سختی بیش از ۱۸۰ بوده و جزو آب‌های خیلی سخت دسته‌بندی می‌شود و قسمت‌هایی از نواحی مرکزی دشت که دارای سختی کم‌تر از ۱۸۰ هستند جزو آب‌های سخت محسوب می‌شوند. با این تقسیم‌بندی آب‌های زیرزمینی دشت بروجن از لحاظ سختی نامطلوب بوده، خصوصاً برای استفاده در صنعت مناسب نمی‌باشد.



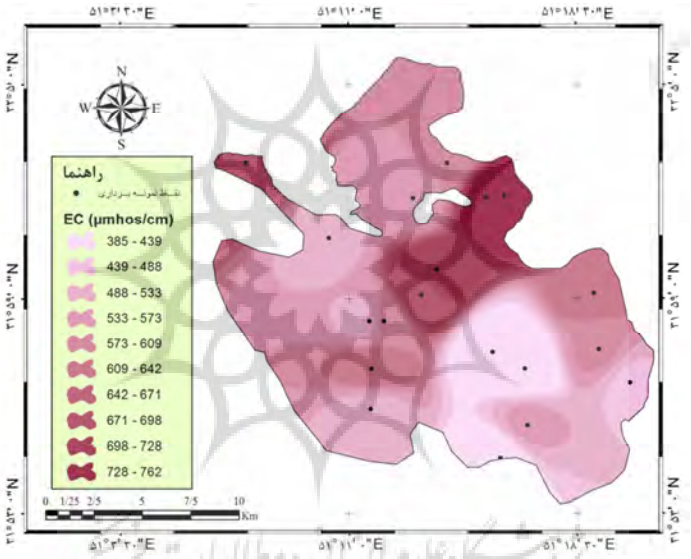
شکل۳: نقشه تغییرات TH آب زیرزمینی دشت بروجن

براساس شکل (۴)، آب‌های زیرزمینی در دشت بروجن به‌طور متوسط دارای pH بین ۷/۸ و ۸/۱ می‌باشد. با توجه به محدوده استاندارد معرفی شده و حدود pH آب زیرزمینی دشت بروجن، مشاهده می‌شود که آب زیرزمینی در این دشت از نظر اسیدیته دارای حد مطلوب خود می‌باشد. pH در این آب‌ها در کل محدوده دشت بالاتر از ۷ می‌باشد که نشانگر قلیایی بودن آب‌های زیرزمینی در این ناحیه است. درجه قلیاییت در بخش جنوبی و قسمت‌هایی از شمال - غرب محدوده ضعیف‌تر از سایر مناطق دشت می‌باشد.



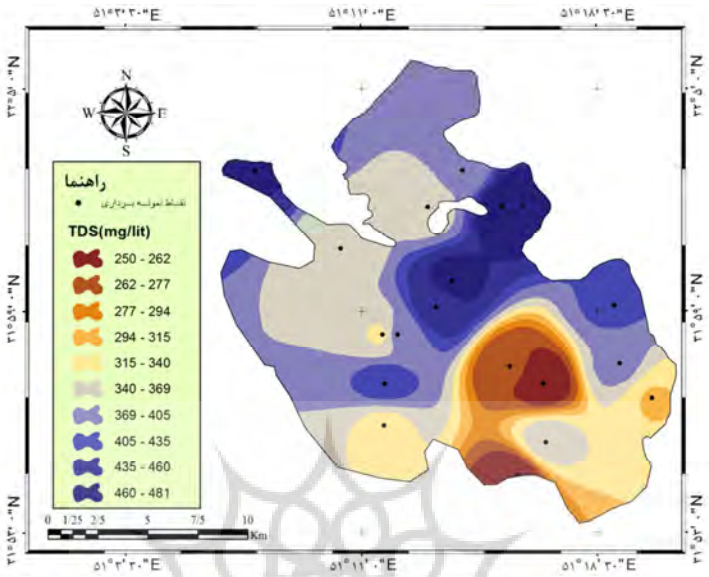
شکل۴: نقشه تغییرات pH آب زیرزمینی دشت بروجن

همان‌طور که در شکل (۵) مشاهده می‌شود هدایت الکتریکی در سطح دشت بروجن به‌طور متوسط بین ۳۸۵ تا ۷۶۲ میکروموس بر سانتی‌متر نوسان دارد که از نظر استفاده برای شرب در محدوده مجاز قرار می‌گیرد. جهت استفاده کشاورزی محدوده دشت به دو قسمت تقسیم می‌شود؛ بخشی که هدایت الکتریکی آن کم‌تر از ۷۵۰ میکروموس بر سانتی‌متر است که میزان EC آن برای کشاورزی متوسط ارزیابی می‌شود. این محدوده در نوار شرقی، نوار غربی و نواحی جنوبی و مرکز دشت گسترش یافته است. بخش دوم محدوده‌ای است که هدایت الکتریکی آن بیش‌تر از ۷۵۰ میکروموس بر سانتی‌متر بوده و میزان EC آن برای کشاورزی زیاد ارزیابی می‌شود. این محدوده سطح کمی از شمال دشت را شامل می‌شود.



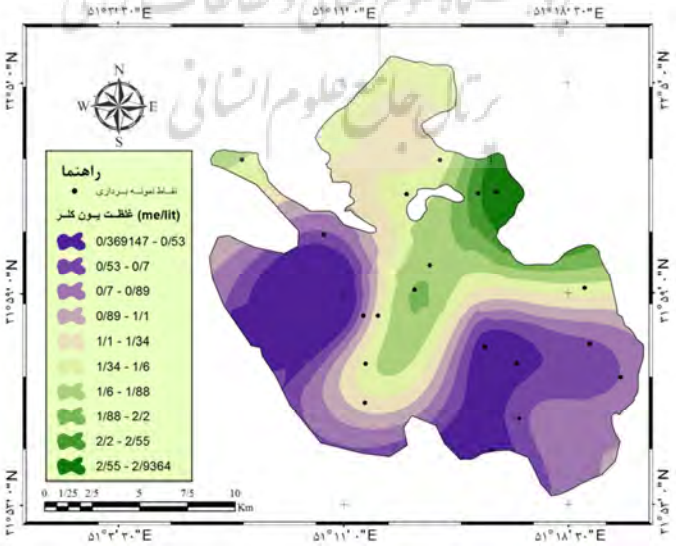
شکل۵: نقشه تغییرات EC آب زیرزمینی دشت بروجن

طبق شکل (۶)، میزان غلظت املاح محلول در دشت بروجن به‌طور متوسط بین ۲۵۰ تا ۴۸۱ میلی‌گرم بر لیتر نوسان دارد. این مقدار کم‌تر از ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر بوده و نشان می‌دهد که میزان TDS در دشت بروجن از نظر شرب، کشاورزی و صنعت در سطح مطلوبی است. این مقدار در نواحی جنوب و جنوب‌شرقی کم‌ترین حد خود و در قسمت‌های شمال و شمال شرق بیش‌ترین مقدار خود را داراست.



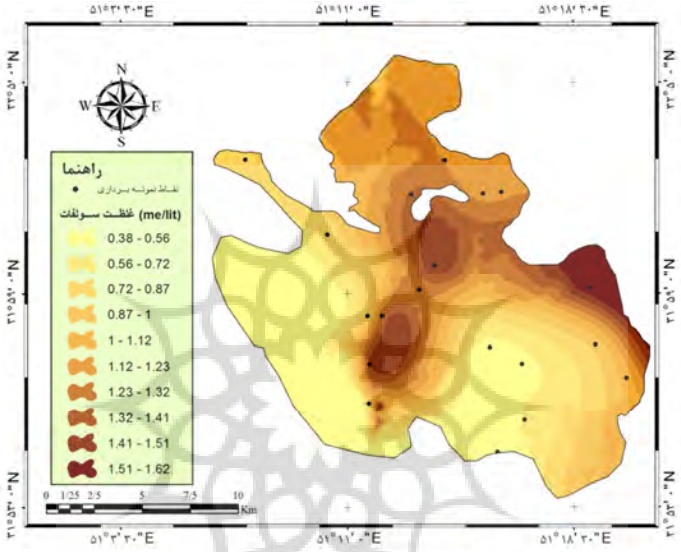
شکل۶: نقشه تغییرات TDS آب زیرزمینی دشت بروجن

با توجه به شکل (۷)، نقشه پهنه‌بندی غلظت یون کلر در دشت بروجن، دامنه نوسان این یون در آب‌های زیرزمینی دشت بروجن در سطح دشت ۱۲/۷۷ تا ۱۰۶/۳۸ میلی‌گرم در لیتر است. این مقدار نشان می‌دهد که غلظت یون کلر در سطح دشت در سطح مطلوب قرار دارد. غلظت این یون در بخش‌های جنوب و جنوب‌غربی دشت کم‌ترین حد و در بخش‌های شمال و شمال‌شرقی دشت بیش‌ترین حد خود را داراست.



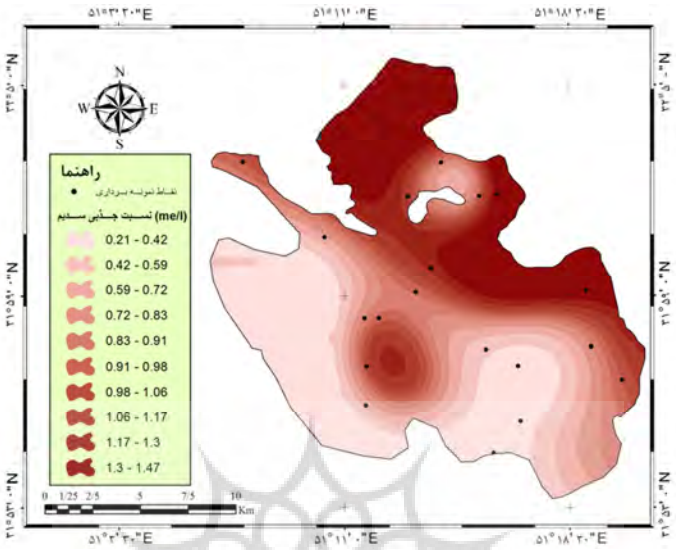
شکل۷: نقشه تغییرات Cl آب زیرزمینی دشت بروجن (میلی‌اکی‌والان در لیتر)

با توجه به دامنه غلظت یون سولفات در دشت بروجن (۱۸/۲۵ تا ۷۷/۸۱ میلی‌گرم بر لیتر) این مقدار در حد مطلوب خود قرار دارد زیرا حداکثر مطلوب غلظت یون سولفات در آب آشامیدنی ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. کم‌ترین مقدار این یون در بخش‌های جنوب و جنوب‌غربی و بیش‌ترین مقدار آن در شرق دشت گسترش یافته است (شکل۸).



شکل۸: نقشه تغییرات SO_4 آب زیرزمینی دشت بروجن (میلی‌اکی‌والان در لیتر)

نقشه تغییرات نسبت جذبی سدیم (شکل ۹) آب‌های زیرزمین دشت بروجن نشان می‌دهد که بیش‌ترین مقدار SAR در سطح دشت ۱/۴۷ و کم‌ترین مقدار آن ۰/۲۱ می‌باشد. مقدار سدیم آب‌های زیرزمینی دشت بروجن در بخش‌های جنوب و غرب دشت نسبت به سایر مناطق کم‌تر بوده ولی در کل میزان نسبت جذبی سدیم در سطح دشت کم‌تر از ۱۰ بوده و برای کشاورزی مطلوب است. بیشترین مقدار SAR دشت بروجن در بخش‌های شمال و شمال شرقی دشت دیده می‌شود (شکل ۹).



شکل۹: نقشه تغییرات SAR آب زیرزمینی دشت بروجن (میلی‌اکی‌والان در لیتر)

نتیجه‌گیری

به‌سبب بهره‌برداری بی‌رویه منابع آب زیرزمینی در دشت حاصلخیز بروجن طی سالیان اخیر، این منطقه به‌عنوان دشت ممنوعه بحرانی شناخته شده است. طبق نقشه‌های تهیه شده جهت پهنه‌بندی پارامترهای هیدروشیمیایی آب‌های زیرزمینی دشت بروجن، وضعیت پارامترهای مختلف، شامل سختی کل، pH، هدایت الکتریکی، غلظت املاح محلول، غلظت یون کلر، غلظت یون سولفات و نسبت جذبی سدیم، در سطح دشت مشخص شد. بدین ترتیب، با حرکت از شمال، شمال شرق و شرق به‌طرف مرکز، جنوب و جنوب غربی غلظت و تراکم پارامترهای سختی کل، هدایت الکتریکی، یون Cl، یون سولفات و نسبت جذب سدیم کاهش می‌یابد که این امر خود حاکی از کاهش کیفیت آب در منطقه شمال، شمال شرق و شرق دشت بروجن نسبت به مناطق دیگر دشت می‌باشد که با نتایج مومنی دمنه و همکاران (۱۳۹۴) در یک راستاست. بیش‌ترین سطح دشت بروجن دارای آب‌هایی با pH خارج از حد مطلوب می‌باشد اما با این وجود میزان متوسط pH در سطح دشت از مقدار مجاز آن تجاوز نکرده و جهت شرب قابل استفاده می‌باشد. به‌طور کلی می‌توان گفت که برای پارامتر TH روش کریجینگ، پارامتر pH روش RBF، SAR روش RBF، EC روش IDW (با مطالعه ملکیان و همکاران، ۱۳۹۵ مطابقت دارد)، غلظت یون کلر روش RBF، TDS روش IDW (با مطالعه ملکیان و همکاران، ۱۳۹۵ مطابقت دارد) و غلظت یون سولفات روش RBF بهینه می‌باشند. هم‌چنین با مقایسه نقشه‌های تهیه شده برای پارامترهای سختی کل، هدایت الکتریکی، غلظت یون کلر، غلظت یون سولفات و نسبت جذبی سدیم مشاهده می‌شود که پهنه‌های مشخص شده برای این پارامترها تقریباً از یک الگوی خاص پیروی کرده و میزان حداقل و حداکثر تمامی پارامترها در نواحی مشترکی از دشت واقع شده است. از آن‌جا که موضوع پژوهش حاضر بر بررسی روش‌های زمین‌آماری تأکید داشته است، این روش‌ها در کنار روش‌های جبری مورد بررسی قرار گرفت و مشاهده شد که پارامترهای متفاوت و داده‌های آماری مختلف نیازمند روش‌های مختلف جبری و

زمین‌آماری می‌باشند و نمی‌توان جهت پهنه‌بندی پارامترهای متفاوت تنها از یک روش استفاده کرد. ضمن این‌که روش‌های جبری و روش‌های زمین‌آماری هردو کارایی سودمندی در پهنه‌بندی عناصر مختلف داشته‌اند. با توجه به آن‌چه بیان شد، روش‌های آماری به‌منظور تحلیل نتایج حاصل از تجزیه نمونه‌های آب زیرزمینی مناسب هستند و می‌توانند به‌عنوان یک ابزار کمکی در تغییرات مکانی متغیرهای کیفیت آب در تصمیم‌گیری به‌کار گرفته شوند. بررسی مطالعات انجام شده نیز نشان می‌دهد که روش‌های درون‌یابی، بسته به نوع متغیر و هم‌چنین ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه، تراکم نقاط اندازه‌گیری و نحوه آرایش آن‌ها دقت متفاوتی را ارائه می‌کنند و نمی‌توان نتایج یک منطقه را به‌راحتی به منطقه‌های دیگر تعمیم داد. با توجه به آن‌چه بیان شد، روش‌های آماری به‌منظور تحلیل نتایج حاصل از تجزیه نمونه‌های آب زیرزمینی مناسب هستند و می‌توانند به‌عنوان یک ابزار کمکی در تغییرات مکانی متغیرهای کیفیت آب در تصمیم‌گیری به‌کار گرفته شوند.

منابع

استواری، یاسر؛ بیگی هرچگانی، حبیب‌اله و داودیان، علی‌رضا (۱۳۹۱). بررسی تغییرات مکانی نیترات در آب زیرزمینی دشت لردگان، مدیریت آب و آبیاری، صص ۶۷-۵۵.

اسفندیاری، فریبا؛ عالی‌جهان، مهدی؛ و رحیمی، مسعود (۱۳۹۳). ارزیابی مدل‌های جبری و زمین‌آماری در تخمین توزیع مکانی سطح ایستابی دشت اردبیل، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، صص ۶۲-۴۶.

حبیبی اربطانی، وحید؛ احمدی، عباس؛ و فتاحی، محمد مهدی (۱۳۸۸). مدل‌سازی تغییرات مکانی برخی از ویژگی‌های شیمیایی آب‌های زیرزمینی به کمک روش‌های زمین‌آماری، علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال ۳، شماره ۷، صص ۳۴-۲۳.

خسروی، یونس و عباسی، اسماعیل (۱۳۹۵). تحلیل فضایی داده‌های محیطی با زمین‌آمار، چاپ اول، نشر آذرکلک. ص ۲۸۲.

دره‌رودی، محمود؛ مرادی گوزلکی، مسلم؛ سیفی، یونس و قوام، منصوره (۱۳۹۳). تحلیل زمین‌شناسی و سازندهای زمین شناسی استان چهارمحال و بختیاری، اولین کنفرانس بین‌المللی محیط زیست، تهران، مرکز راهکارهای دستیابی به توسعه پایدار، صص ۶-۱.

رادفر، مهدی و معاونی، بهنام (۱۳۹۵). ارزیابی سناریوهای مختلف مدیریت سفره آب زیرزمینی دشت بروجن - فرادنبه با استفاده از مدل WEAP، پژوهش آب ایران، دوره ۱۰، شماره ۲، صص ۱۷۴-۱۶۷.

روستایی، فاطمه و صدقی‌اصل، محمد (۱۳۹۵). ارزیابی دقت روش‌های زمین‌آماری در تخمین خصوصیات کیفی آب زیرزمینی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز فامور کازرون)، یازدهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، دانشگاه یاسوج، صص ۹-۱.

زارع ابیانه، حمید (۱۳۹۲). تحلیل مکانی پارامترهای کیفی منابع آب زیرزمینی دشت همدان- بهار، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۸، صص ۸۶-۶۵.

سلمان ماهینی، عبدالرسول و کامیاب، حمیدرضا (۱۳۸۸). سنجش از دور و سامانه های اطلاعات جغرافیایی کاربردی با نرم افزار ایدریسی، انشارات مهر مهدیس تهران، چاپ اول، ص ۶۱۰.

صابری، نفیسه؛ سلمان ماهینی، عبدالرسول و عبدی، امید (۱۳۸۹). بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی شهر گرگان جهت مصرف آب شرب با استفاده از زمین‌آمار، سیزدهمین همایش ملی بهداشت محیط ایران، کرمان، صص ۱۰-۱.

صداقت، محمود (۱۳۸۷). زمین و منابع آب (آب‌های زیرزمینی)، انتشارات دانشگاه پیام نور، ص ۳۷۶.

علیزاده، امین (۱۳۸۹)، اصول هیدرولوژی کاربردی، چاپ بیست و نهم، ویرایش پنجم، انتشارات آستان قدس رضوی، ص ۹۴۶.

محمدی، صدیقه؛ سلاجقه، علی؛ مهدوی، محمد و باقری، رضا (۱۳۹۱). تغییرات مکانی و زمانی سطح آب زیرزمینی دشت کرمان با استفاده از روش زمین آماری مناسب (طی یک دوره آماری ده ساله، ۱۳۸۵-۱۳۷۵)، تحقیقات مرتع و بیابان ایران، دوره ۱۹، شماره ۱، صص ۷۱-۶۰.

محمدی، جهانگرد (۱۳۸۰). مروری بر مبانی ژئواستاتیستیک و کاربرد آن در خاکشناسی، خاک و آب، دوره ۱۵، شماره ۱، صص ۱-۲۳.

محمدی، مسعود؛ محمدی قلعه نی، مهدی و ابراهیمی، کیومرث (۱۳۹۱). تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت قزوین، پژوهش آب ایران، دوره ۵، شماره ۸، صص ۵۲-۴۱.

ملکیان، آرش؛ رزندی، یوسف؛ خیلیقی سیگارودی، شهرام و فرخزاده، بهنوش (۱۳۹۱). بررسی تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از رویکرد ترکیبی منطق بول، فازی و زمین آمار (مطالعه موردی: دشت ورامین)، نشریه زراعت (پژوهش و سازندگی)، شماره ۱۱۰، صص ۱۰-۱.

مومنی دمنه، جواد؛ جولایی، فاطمه؛ علیدادی، حسین و پیروی، رویا (۱۳۹۴). ارزیابی روش های درون یابی جهت تعیین تغییرات مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی (مطالعه موردی دشت گناباد)، پژوهش در بهداشت محیط، دوره ۱، شماره ۳، صص ۱۲-۱.

مهدوی، محمد (۱۳۸۴). هیدرولوژی کاربردی، جلد دوم، چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه تهران، ص ۳۶۰.

مهدی‌زاده، مهیار؛ مهدیان، محمد حسین و حجام، سهراب (۱۳۸۵). کارایی روش‌های زمین‌آماری در پهنه‌بندی اقلیمی حوضه آبریز دریاچه ارومیه، فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۲، شماره ۱، صص ۱۱۶-۱۰۳.

نصیری، الهام و صدقی‌اصل، محمد (۱۳۹۵). پهنه بندی مکانی خصوصیات کمی- کیفی جریان آب زیرزمینی در دشت فیروزآباد استان فارس، هشتمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، تهران، انجمن مهندسی محیط زیست ایران، صص ۱۱-۱.

هاشمی نژاد، هستی و کریمی، ایوب (۱۳۸۵). بررسی افت کیفیت آب‌های زیرزمینی در واحدهای هیدرولوژیکی نجف‌آباد و اصفهان-برخوار در طی سال‌های ۸۳-۷۶، اولین همایش منطقه‌ای بهره‌برداری بهینه از منابع آب حوزه‌های کارون و زاینده‌رود، دانشگاه شهرکرد، صص ۱۸۳۹-۱۸۲۹.

Aghazadeh, N., Asghari Mogaddam, A., (2010), Assessment of groundwater quality and its suitability for drinking and agricultural uses in the Oshnavieh area, northwest of Iran. Journal of Environmental Protection, 1, 30-40.

Charkhkarzadeh, R., Derakhshan, Z., Miri, M., Ehrampoush, M.H., Lotfi, M.H., Jafari Nodoshan, V., (2015), Examining Changes Trend of Fluoride Concentration in Groundwater Using Geo-Statistical Technique Case Study: Drinking Water wells in Yazd-Ardakan Plain. Journal of Community Health Research, 4(3), 220-233

Marsily, G.d., (1986), Quantitative Hydrogeology. Academic Press, 440p.

Huang, J., Xu, J., Liu, X., (2012), Geospatial Based Assessment of Spatial Variation of Groundwater Nitrate Nitrogen in Shandong Intensive Farming Regions of China. Journal of Sensor Letters, 10 (1-2), 491-500.

Journel, A.G., (1989), Fundamentals of Geostatistics in Five Lessons, Short Course in Geology, American Geophysical Union, 8, 1-10.

Machiwal, D., Madan, K.J., (2015), Identifying sources of groundwater contamination in a hard-rock aquifer system using multivariate statistical analyses and GIS-based geostatistical modeling techniques, Journal of Hydrology, Regional Studies, 1-31.

Samin, M., Soltani, J., Zeraatcar, Z., Moasheri, S.A., Sarani, N., (2012), Spatial estimation of groundwater quality parameters based on water salinity data using kriging and cokriging methods, International Conference on Transport, Environment and Civil Engineering. 25-26 August, Kuala Lumpur, Malaysia, 1-5.

Todd, D.K., (2005), Groundwater Hydrology. Third Edition, John Wiley & Sons, 652p.

Yamamoto, J.K., (2000), An alternative measure of the reliability of ordinary kriging estimates. Mathematical Geology, 32, 489-497.

Assessing the accuracy of algebraic and geostatistical techniques to determine the spatial variations of groundwater quality in Boroojen Plain

Fariba Esfandyari*[1], Razieh GhorbaniFilabadi[2], Ali NasiriKhiavi[3], Raoof Mostafazadeh[4]

Received: 30-10-2017 Accepted: 02-06-2018

Abstract

Population growth and increasing use of water resources for agriculture, industry, and sanitary sectors are the main causes of water degradation and groundwater pollution. Due to over-extraction of groundwater resources in the fertile plain of Borujen in recent years, this region has been recognized as a prohibitive plain. The main objective of this study is an investigation of groundwater quality in Borujen plain aquifer using Algebraic analysis and Geostatistical methods. In this regard, the data from 19 sampling wells were used to study the groundwater quality of Borujen Plain during the period of 1989-2013. Spatial variations of water quality parameters were evaluated using algebraic methods (IDW and RBF) and Kriging. The ME and RMSE statistical measures were used to evaluate the spatial interpolation results using cross-validation method, and the appropriate method was selected for zoning the different groundwater quality parameters. The results of spatial interpolation of groundwater quality parameters showed that the Kriging method was the appropriate approach (RMSE = 30.72 and ME = 0.09) to estimate the Total Hardness parameter (TH) in the Borujen Plain. Also, the pH, SAR, Cl and SO4 parameters are well estimated using the RBF method with RMSE, ME of 0.05, 0.33, 0.27 and 0.4. While the IDW recognized as the best interpolation method for EC and TDS parameter with 84.62 and 56.36 RMSE values. In conclusion, the comparison of prepared maps of TH, EC, Chlorine ion concentration, Sulfate ion concentration and SAR, parameters showed a similar pattern and the minimum and maximum values of all parameters are located in in the common areas of the area under study.

Keywords: Groundwater, Quality changes, Geostatistical methods, Algebraic methods, Spatial changes pattern

[1]*- Associate Professor, Department of Natural Geography, Faculty of Humanities, University of Mohaghegh Ardabili, Iran.
Email: esfandyari@uma.ac.ir
[2]- Master of Hydrogeomorphology, University of Mohaghegh Ardabili, Iran.
[3]-MSc. Student of Watershed Management Engineering, Faculty of Agriculture & Natural Resources,University of Mohaghegh Ardabili,Iran.
[4]- Assist. Prof., Natural Resources Dept., Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Iran.