بررسی پارامترهای کیفی آب‌های زیرزمینی با استفاده از روش‌های زمین آمار (مطالعه موردی: دشت مشهد)

محمدرضا یزدانی: *دانشیار گروه آموزشی بیابان‌زدایی دانشکدهٔ کویرشناسی، دانشگاه سمنان، سمنان*
معصومه درمانی*: *دانش‌آموختهٔ دکتری گروه بیابان‌زدایی دانشکدهٔ کویرشناسی، دانشگاه سمنان، سمنان*
محمد نهتانی: استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکدهٔ آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل
هایده آرا: *استادیار گروه آمورشی مدیریت مناطق خشک، دانشکدهٔ کویرشناسی، دانشگاه سمنان، سمنان*
صدیقه ابراهیمیان: *دانش‌آموختهٔ دکتری گروه مهندسی آبخیزداری گرایش آب، دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، لرستان.*

مقاله پژوهشی
تاریخچهٔ مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰/۱۱/۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۱۴)

چکیده

مدیریت بهینهٔ منابع آبی و حفظ کیفیت آن، به وجود داده‌هایی در زمینهٔ موقعیت، مقدار و پراکنش عوامل شیمیایی آب در یک منطقهٔ جغرافیایی معین نیاز دارد. انتخاب و دقت روش‌های مناسب پهنه‌بندی و تهیهٔ نقشهٔ تغییرات ویژگی‌های کیفی آب‌های زیرزمینی، به شرایط منطقه و وجود آمار و داده‌های کافی در آن بستگی دارد. هدف از اجرای این پژوهش، تعیین مناسب‌ترین روش میان‌یابی و تحلیل مکانی مؤلفه‌های کیفی کلر، هدایت الکتریکی، سولفات، غلظت املاح محلول، نسبت جذب سدیم و سختی آب‌های زیرزمینی دشت مشهد است. در این مطالعه، ابتدا داده‌های کیفی ۱۷۷ حلقه چاه با توجه به پراکنش و صحت آنها در دو سال متوالی (۱۳۹۲-۱۳۹۳) انتخاب شد، سپس کنترل و بازسازی داده‌ها صورت گرفت. آزمون کلوموگراف — اسمیرنوف نشان داد که داده‌ها نرمال نبود و در نتیجه برای نرمال‌سازی آنها، از داده‌ها لگاریتم گرفته شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار GS+ ، بهترین مدل واریوگرام به ساختار فضایی داده‌ها برازش داده شد. میزان دقت پارامترهای کیفی آب زیرزمینی در سه روش کریجینگ، کوکریجینگ و عکس فاصله ارزیابی شد و نتایج حاصل از محاسبهٔ میزان دقت نشان داد که روش کوکریجینگ، دقت بالاتر و میزان خطای کمتر دارد. ساختار مکانی ویژگی‌های مورد مطالعه از مدل نمایی و کروی، خطی با دامنه تأثیر ۹۶۵۶۱ تا ۱۷۱۱۰۰۰۰ متر و حدود آستانهٔ ۰/۹۶۵ تا ۵/۶۵ تبعیت کرد و کلاس وابستگی مکانی در محدودهٔ ۰ تا ۰/۸۷ قرار گرفت. در نهایت، نقشه‌های پهنه‌بندی پارامترهای کیفی آب به وسیلهٔ نرم‌افزار GIS تهیه شد. تمرکز جمعیت در نواحی جنوبی و بهره‌وری بیش از حد چاه‌ها و خشکسالی‌های اخیر، سبب شد میزان مؤلفه‌های کیفی در جنوب منطقهٔ مورد مطالعه بیشترین مقدار را داشته باشد. با توجه به تشکیلات زمین‌شناسی و نوع سنگ‌ها در شمال غربی و جنوب شرقی، غلظت کلسیم، پتاسیم، سدیم، کلر و درصد تبخیر و تعرق و دما بیشتر مشهود است.

واژگان کلیدی: پارمترهای کیفی آب، دشت مشهد، زمین آمار، عکس فاصله، کریجینگ، کوکریجینگ

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.256]

۱ـ مقدمه

اولین فعالیت برای حفاظت و بهینه‌سازی استفاده از آب، کسب اطلاعات دقیق در مورد منابع بالقوه به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک است. علاوه بر آن، این منابع آب باید به‌طور مستمر بررسی شود تا شناخت کاملی از تغییرات و به خصوص کیفیت آنها برای توسعهٔ پایدار ایجاد شود. یکی از منابع تأمین آب به خصوص در ایران، بهره‌برداری از آب زیرزمینی است. بهره‌برداری زیاد و روزافزون از منابع آب‌زیرزمینی می‌تواند کیفیت آب را در یک منطقه کاملاً تحت‌تأثیر قرار دهد و به شور شدن سفره‌های آب زیرزمینی منجر شود. در مواردی که آب، املاح زیاد داشته و خاک از جنس رس باشد، امکان دارد به علت تراکم زیاد نمک در خاک و فقدان قابلیت نفوذ آب در این زمین‌ها، قدرت حاصلخیزی خاک آن چنان کاهش یابد که دیگر کشت و زرع در آنها ممکن نباشد؛ به خصوص در مناطقی که آب شیرین برای آبیاری و آب‌شویی مداوم زمین وجود ندارد. بر حسب نوع و میزان املاح آب، امکان دارد خاک به شور و قلیایی شدن گرایش یابد (Hedayati Aghmashhadi et al, 2016). تغییر در کیفیت آب‌های زیرزمینی ـــــ که معمولاً بر اثر مدیریت غلط بهره‌برداری از آب زیرزمینی رخ می‌دهد ـــــ مقدمه‌ای بر تخریب منابع آبی چه به صورت مستقیم و چه به صورت نامستقیم است. در مناطق خشک و نیمه‌خشک که وابستگی به این منابع بیشتر است، اثر تخریبی به علت ضعف طبیعی در منابع آب و خاک شدت بیشتری خواهد داشت. بنابراین، ضرورت مطالعه و بررسی کیفیت آن در این مناطق می‌تواند به مدیریت صحیح استفاده از منابع آب کمک کند (Zahtabian et al, 2018). در این میان، استفاده از روش‌های سنتی برای بررسی وضعیت کیفی سفره‌های آب زیرزمینی زمان‌بر و پرهزینه است؛ از این رو، روش‌های زمین آماری با توجه به داشتن توانمندی‌هایی چون کاهش تعداد نمونه‌برداری، کاربرد توأم و ارائه برآوردهای دقیق‌تر از وضعیت مکانی متغیرها به لحاظ استفاده، می‌تواند به کاهش هزینه‌ها و افزایش دقت برآوردها منجر شود. این دانش در سایر علوم چون هواشناسی کشاورزی، اقلیم‌شناسی، خاک‌شناسی و زیست‌شناسی کاربرد فراوان دارد.

در سال‌های اخیر، پژوهشگران بسیاری از روش‌های زمین آمار استفاده کردند و به تهیهٔ نقشه‌های کیفی آب‌های زیرزمینی و بهترین روش مدل‌سازی توزیع مکانی پارامترهای کیفی پرداختند. نتایج این پژوهش، از دقت بالاتر روش‌های زمین آماری در اکثر موارد حکایت دارد؛ به ویژه در شرایط استفاده از متغیرهای کمکی نسبت به روش‌های معین (Habibi Arbatani et al, 2018). Qale Nei و همکاران (2010) با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، به ارزیابی کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی در آبخوان‌های دشت اراک و ساوه پرداختند. نتایج حاصل از پژوهش آنها نشان داد که متوسط افت سطح آب زیرزمینی در طی هفت سال در ۵۷ حلقه چاه محدودهٔ اراک، برابر با ۳/۳۸ متر و در ۶۳ حلقه چاه مورد مطالعه در آبخوان ساوه برابر با ۱۰/۱۹ متر بود. Maria and Luis (2010) در یک بررسی زمین آماری برای تهیهٔ نقشهٔ پهنه‌بندی غلظت نیترات حاصل از شستشوی کود ازته در آب زیرزمینی بیست هزار هکتار از اراضی کشاورزی تحت کشت ذرت در شمال شرقی کشور پرتغال، از روش تخمین زمین آماری کریجینگ متقاطع استفاده کردند. ایشان مدل تغییرنمای کروی را به عنوان کارامدترین مدلی معرفی کردند که همبستگی مکانی غلظت نیترات را برای تخمین‌های زمین آماری نشان می‌دهد. Saraf (2016) نیز با استفاده از روش‌های زمین آماری درون‌یابی مکانی همچون کریجینگ معمولی و روش‌های معین مانند عکس فاصله، تابع شعاعی و تخمین‌گر موضعی، به تهیهٔ نقشهٔ

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.256]

کیفی آب‌های زیرزمینی و پهنه‌بندی آن در دشت پلور حوضه آبریز رودخانهٔ هراز ـــــ پلور پرداختند. پژوهشی دیگر توسط Arsalan and Hakan (2012) در آبخوان دشت بافرا[1] در کشور ترکیه انجام شد که در آن، میزان شوری با استفاده از داده‌های ۹۷ حلقه چاه در طی دوره آماری هفت ساله (از سال ۲۰۱۰-۲۰۰۴) بررسی شد. واریوگرام‌های مناسب برازش داده شده به داده‌ها نیز شامل مدل‌های نمایی و کروی در روش کریجینگ معمولی و کریجینگ شاخص بود. میزان روند شوری در ۳۱ درصد از دشت، دارای شوری پنج دسی زیمنس بر سانتی‌متر در سال ۲۰۰۴ بود که در مقایسه با سال ۲۰۱۰، این مقدار به اندازهٔ ۹ درصد کاهش یافت. در پژوهش دیگر، Jiang و همکاران (2013) توزیع مکانی کیفیت آب زیرزمینی را در حوضهٔ رودخانهٔ هیوهی[2] بررسی کردند. در این تحقیق، از تکنیک زمین‌آمار برای پیش‌بینی توزیع مکانی تعدادی از متغیرهای آب زیرزمینی شامل اسیدیته، شوری، سختی کل، نیترات و نیتریت استفاده شد. نتایج نشان داد که روش کریجینگ معمولی برای درون‌یابی مکانی کیفیت آب زیرزمینی مناسب است و در نهایت، نقشه‌های پیش‌بینی تغییرات کیفیت آب زیرزمینی در حوضه با استفاده از همین روش ترسیم می‌شود. در پژوهش دیگر، Ala (2014) کیفیت آب زیرزمینی سفره‌های کم‌عمق آب در غرب دلتای نیل را با استفاده از روش‌های زمین‌آمار بررسی کرد. نتایج بیانگر غلظت بیش از حد مجاز نیترات بود؛ ضمن اینکه ۷۵٪ از آب‌های زیرزمینی منطقهٔ مورد مطالعه دچار شوری و ۸۳٪ در خطر شوری بود. مطالعهٔ Rooki (2017) بر روی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی گناباد، از نامناسب بودن آب به دلیل بالا بودن هدایت الکتریکی حکایت داشت. همچنین سختی آب این دشت در سال ۹۰ به میزان ۰/۹۰۶ میلی‌گرم بر لیترو PH نیز به میزان ۸/۲ برآورد شد که حاکی از نامناسب بودن آب در مصارف شرب بود. در پژوهشی دیگر، Yousefi (2016) کیفیت منابع آب آشامیدنی شهرستان ساوه را بررسی و راهکارهایی برای ارتقای آن ارائه داد. این امر با استفاده از GIS انجام شد؛ بدین صورت که اطلاعات مورد مطالعه مربوط به دو فصل کم بارش و پر بارش سال ۱۳۹۳ بود و در مجموع، ۱۴۴ نمونه برای ۲۴ حلقه چاه برداشت و آزمایش شد. پس از نرمال‌سازی، داده‌ها با روش‌های زمین آمار کریجینگ معمولی و منفصل[3] بررسی شد. نتایج حاصل از این سه روش برای برآورد پارامترهای کیفی مورد مطالعه به کمک معیار آماری RMSE ـــــ که میزان دقت را نشان می‌دهد ـــــ ارزیابی شد. نتایج حاصل از محاسبهٔ RMSE نشان داد که برای داده‌هایی با توزیع نرمال، روش IDW دقت بالاتری داشت و برای داده‌هایی با توزیع غیر نرمال، روش کریجینگ منفصل. در نهایت، با استفاده از بهترین روش‌های درون‌یابی پارامترها، نقشهٔ همپوشانی منطقه تهیه شد و با استفاده از نقشهٔ زمین‌شناسی منطقه، مناطق احداث منابع آب و علت بی‌کیفیتی آب شرب این مناطق بررسی و راهکارهایی برای بهبود اوضاع ارائه شد. Bye و همکاران (2017) نیز تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی را با استفاده از زمین آمار در استان آذربایجان غربی بررسی کردند؛ بدین صورت که مقادیر آلاینده‌های کیفی موجود در سطح آب‌های زیرزمینی آبخیز مذکور را از ۱۴۵ چاه آب‌زیرزمینی نمونه‌برداری کردند. پس از بررسی واریوگرام و مشخص شدن مکانی بودن تغییرات پارامترهای مورد بررسی، با روش‌های مختلف درون‌یابی به میان‌یابی پارامترها پرداخته و با استفاده از ریشهٔ دوم میانگین مربع خطا، بهترین مدل ارزیابی با کمترین مقدار این پارامتر انتخاب شد. نتایج نشان داد که پارامترهای سختی کل، منیزیم، کلسیم و اسیدیته با استفاده از روش تخمین‌گر توابع شعاعی، پارامتر سدیم

[1] Bafra
[2] Huaihe
[3] Kriging Disjunctive and Ordinary Kriging

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.256]

با استفاده از روش عکس فاصله، پارامتر کل مواد جامد محلول با استفاده از کریجینگ نمایی و نیترات با استفاده از کریجینگ معمولی، کمترین مقدار ریشه دوم میانگین مربع خطا را داشت. همچنین نتایج به‌دست آمده از زمین‌آمار نشان داد که همهٔ پارامترها به جز دو پارامتر سدیم و سختی در کل منطقه برای شرب بدون محدودیت است. توزیع مکانی نیترات در آب زیرزمینی منطقه نشان داد که غلظت نیترات در مناطق با قابلیت نفوذ بالا و کاربری کشاورزی و اراضی بایر(شرق و جنوب حوضه)، بالاترین مقادیر را داشته‌است. همچنین نتایج نشان داد که کیفیت آب منطقه به سمت کیفیت نامطلوب پیش می‌رود که نتیجهٔ برداشت بیش از حد آب برای مصارف کشاورزی منطقه است. Yazdani و همکاران (2018) با استفاده از تکنیک‌های زمین آمار و GIS، به ارزیابی شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی دشت مشهد پرداختند. در پژوهش حاضر، شاخص‌های کیفیت آب شامل غلظت املاح محلول (TDS)[1]، سختی آب (TH)، سولفات (SO4)، کلر (CL)[2]، خاصیت اسیدی(pH.) و سدیم (NA) در پهنه‌های شامل ۱۵۸۰ چاه آب اندازه‌گیری شد. نتایج به دست آمده نشان داد که شرایط کیفی منابع آب زیرزمینی به خصوص در دو شاخص TDS و TH در بخش‌های جنوبی شهر مشهد نامناسب بود. این مسئله با تراکم بالای امنیت در این منطقه و فقدان زهکشی مناسب ارتباط داشت. Khazaei و همکاران (2019) به پهنه‌بندی آلودگی نیترات در آب‌های زیرزمینی استان فارس پرداختند. این امر با استفاده از روش زمین آمار در منطقهٔ سیاخ دارنگون با استفاده از سه روش کریجینگ، معکوس فاصله و کوکریجینگ انجام شد و از کریجینگ شاخص برای تهیهٔ نقشهٔ احتمال آلودگی نیترات استفاده کردند. Iqbalian and Bahmani (2019) با استفاده از روش‌های زمین آمار همچون کریجینگ، روش عکس فاصله، تابع شعاعی و تخمین‌گر موضعی در محیط نرم‌افزار سامانه اطلاعات جغرافیایی، به پهنه‌بندی متغیر شوری و باقیماندهٔ خشک، بی‌کربنات و سدیم در آبخوان اصلی همدان ـ بهار پرداختند.

Haddel و همکاران (2022) نیز با استفاده از تکنیک GIS و زمین آمار، به توزیع مکانی پارامترهای کیفی آب‌های زیرزمینی در شهر نجف پرداختند. نمونه‌های آب زیرزمینی بر اساس پارامترهای کیفی مختلف ارزیابی شد. مدل‌های گاوسی خطی، نمایی، پایدار و درجه دوم مدل‌های نیمه‌واریوگرام بررسی شدند و از نرم‌افزار Arc Gis به‌طور گسترده برای نقشه‌برداری داده‌های بررسی‌شده استفاده شد. این مطالعه به این نتیجه رسید که آب‌های زیرزمینی این منطقه برای کاربرد آشامیدن در عراق نامناسب است. از نمودارهای ویلکوکس و شولر[3] نیز برای تجزیه و تحلیل چاه‌های آب قابل دسترس در منطقه استفاده شد. نمودارها نشان داد که ۹۵۸ درصد از آب چاه موجود در منطقهٔ تحقیقاتی، به دلیل شوری بسیار بالا برای آبیاری نامناسب بود و استفادهٔ مداوم از چنین آبی ممکن است به توسعهٔ خاک‌های نمکی منجر شود. بررسی فضایی آب‌های زیرزمینی، مشکلات جدی را تقریباً در تمام پارامترهای آب زیرزمینی از نظر تناسب آب برای شرب، آبیاری و سایر اهداف نشان داد. Mirabdolahi and Amiri (2022) به بررسی روند تغییرات مکانی و زمانی برخی از پارامترهای کیفی آب زیرزمینی در استان گیلان پرداختند. داده‌های اندازه‌گیری برخی کاتیون‌ها و آنیون‌های نمونه‌برداری شده، از ۱۵۰ حلقه چاه در شهریور و اسفند ۱۳۹۰ و داده‌های سطح

[1] Total Dissolved Solids
[2] Chlorine
[3] Wilcox and USSL

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.256]

آب ۲۸۲ حلقه چاه پیزومتریک جمع‌آوری شد. نقشه‌های پهنه‌بندی به دست آمده نیز با روش کریجینگ معمولی بررسی شد.

این نقشه‌ها نشان می‌دهد که از نظر پارامترهای کیفی، منابع آب زیرزمینی بخش مرکزی استان گیلان ارزش بالاتری دارد و در فصل رشد به دلیل فعالیت‌های کشاورزی و کوددهی، کیفیت آب‌های زیرزمینی کاهش می‌یابد. تأثیر عمق آب زیرزمینی بر غلظت پارامترها نیز بررسی شد؛ با توجه به نقشهٔ تغییرات عمقی آب‌های زیرزمینی، بزرگ‌ترین منطقهٔ استان گیلان دارای سطح آب ۰.۲۳ تا ۵.۵ متر بود. نتایج طبقه‌بندی پارامترهای کیفی نشان داد که در اعماق کم آب زیرزمینی، غلظت پارامترهای کیفی افزایش می‌یابد.

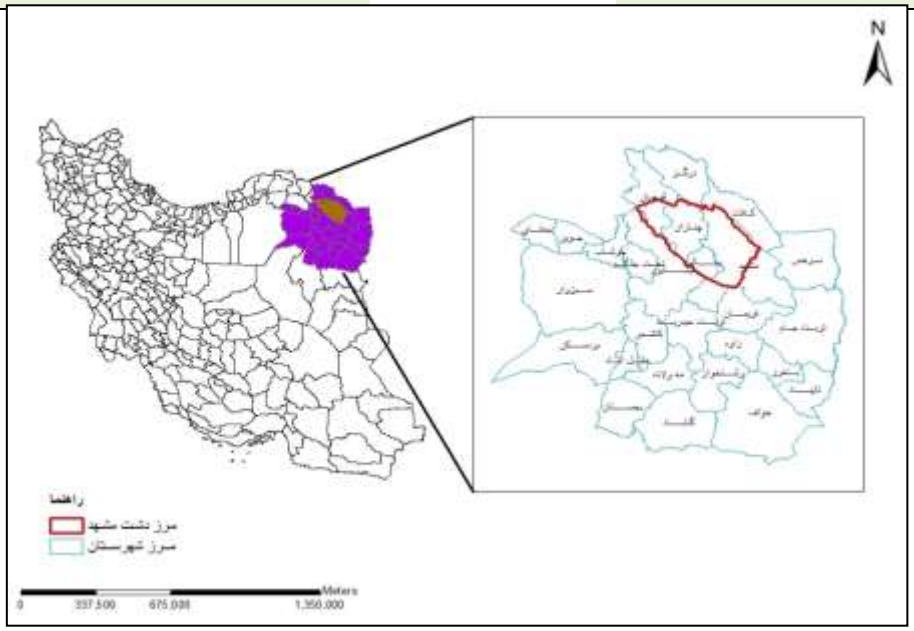
پژوهشی که توسط Kulinkina در کشور غنا انجام شد نشان داد که برخی استانداردهای کیفیت آب آشامیدنی (WHO)[1] در سال ۲۰۱۷ به خصوص کیفیت آب از جمله PH، آهن، منگنز و کلراید در مناطق روستایی این کشور فراتر از حد مجاز بود و ضرورت تصفیهٔ آب قبل از استفاده را خاطر نشان می‌کرد. به طور کلی، Korsic (1997) کریجینگ را قابل اعتمادترین، قوی‌ترین و گسترده‌ترین روش برای درون‌یابی و تهیهٔ منحنی‌های تراز آب زیرزمینی می‌داند. او معتقد است این روش، روش زمین آماری است که در آن واریانس مکانی، موقعیت و توزیع نمونه‌ها قابل توجه قرار می‌گیرد. هدف از پژوهش حاضر، استفاده از سه روش درون‌یابی، عکس فاصلهٔ وزن‌دار، کریجینگ و کوکریجینگ برای پیش‌بینی برخی از شاخص‌های کیفی از قبیل Na, TH, EC, SAR, CL, CA SO4 و Mg سال ۱۳۹۳-۱۳۹۲ در دشت مشهد است.

۲ـ منطقهٔ مورد مطالعه

دشت مشهد به صورت درّه‌ای دارای وسعتی حدود ۲۵۰۰ کیلومتر مربع است (Lashkaripour and Ghafouri, 2015). این دشت در شمال شرقی ایران بین رشته‌کوه‌های بینالود و هزار مسجد قرار دارد و با مختصات طول جغرافیایی ´۲۰ °۵۸ تا ´۸ °۶۰ درجهٔ شرقی و عرض جغرافیایی ´۴۰ °۳۵ تا ´۳ °۳۶ درجهٔ شمالی، در حوضه آبریز رودخانهٔ کشف رود در شمال خراسان واقع است. رودخانهٔ کشف رود از جهت شمال غرب به سمت جنوب شرق در دشت مشهد جریان دارد. شکل ۱، موقعیت منطقهٔ مورد مطالعه را نشان می‌دهد (Lashgaripur, 2015). میزان متوسط بارندگی سالانه در دشت مشهد، ۲۳۷ میلی‌متر است و با توجه به شاخص خشکسالی دومارتن، در محدودهٔ نیمه خشک قرار دارد. از نظر ساختاری نیز در حد فاصل دو زون زمین‌شناسی کپه‌داغ و بینالود واقع شده و به صورت یک ناودیس باز است که از دو طرف توسط گسل‌های طولی بریده شده‌است.

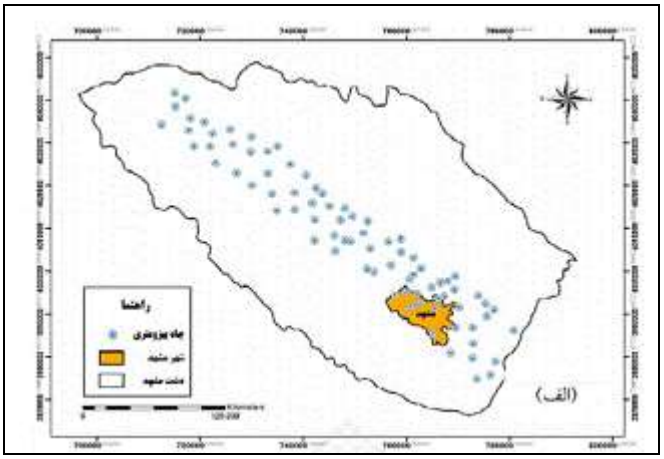
[1] Guidelines for Drinking-Water Quality

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.256]



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقهٔ مورد مطالعه

سفره‌های آب زیرزمینی دشت مشهد با بیش از سه هزار کیلومتر مربع وسعت، در جهت جنوب شرقی بینالود و هزار مسجد ادامه دارد (Gharechelou et al, 2021). جهت عمومی جریان آب زیرزمینی این دشت نیز از سمت شمال غرب به جنوب شرق است. از نظر نفوذپذیری، دامنهٔ جنوبی آن ضخیم‌تر و نفوذپذیرتر است. ضخامت لایه آبدار در محدودهٔ دشت مشهد متغیر است و دامنهٔ تغییرات آن از دو متر در محدودهٔ خروجی دشت تا ۱۵۰ متر در حاشیهٔ ارتفاعات جنوبی تغییر می‌کند. تعداد چاه‌های موجود درآن، ۶۷۱۶ حلقه (شکل ۲، موقعیت چاه‌های پیزومتری دشت مشهد را نشان می‌دهد)، چشمه ۶۵۶ دهنه و قنات‌ها ۱۰۸۴ رشته است (سازمان آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۳۹۴).



شکل ۲: موقعیت چاه‌های پیزومتری منطقهٔ مورد مطالعه

۳ـ مواد و روش

در این تحقیق از سه روش درون‌یابی، عکس فاصلهٔ وزن‌دار، کریجینگ و کوکریجینگ برای پیش‌بینی برخی از شاخص‌های کیفی از قبیل Na, TH, EC, SAR, CL, CA, Mg, SO4 در سال ۱۳۹۳-۱۳۹۲ استفاده شد. داده‌ها از ۱۷۷ چاه

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.256]

پیزومتری در دشت مشهد جمع‌آوری شد. در این مطالعه پس از نرمال‌سازی داده‌ها، درون‌یابی پارامترها به سه روش زمین آماری کریجینگ معمولی، کوکریجینگ و IDW انجام شد. برای ارزیابی روش‌های درونیابی نیز از آزمون ارزیابی متقابل استفاده شد. سپس براساس بهترین روش میان‌یابی و به کارگیری سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی، نقشهٔ بعضی پارامترها و نقشه‌های پهنه‌بندی دشت تهیه شد.

۳ـ۱ـ بررسی ساختار مکانی داده‌ها

تخمین‌گرهای زمین آماری، مقادیر مجهول را با استفاده از مقادیر معلوم و واریوگرام برآورد می‌کند. واریوگرام مدل ریاضی است که برای تشریح پیوستگی مکانی یک متغیر به‌کار می‌رود. به این منظور، مجموع مربع تفاضل زوج نقاطی ــ که به فاصلهٔ معلوم h از یکدیگر قرار دارد ــ محاسبه و در مقابل h رسم شد.

معادلهٔ ۱، فرم محاسباتی از یک واریوگرام را نشان می‌دهد (Sheikh Gudarzi et al, 2011 & Maarofi et al, 2018).

$$\gamma(h)=\frac{1}{2n_{(h)}}+\sum_{i=1}^{n(h)}\left(Z(xi)-Z(x_{i+h})^2\right) \qquad \text{رابطهٔ ۱}$$

که در آن، $\gamma(h)$ مقدار نیم تغییر نما برای جفت نقاطی است که به فاصلهٔ h از هم قرار دارند، n تعداد نقاط اندازه‌گیری و $Z(x_{i+h})$ مقدار اندازه‌گیری شدهٔ متغیری است که به فاصله h از x قرار دارد و $Z(x_i)$ اندازه‌گیری شدهٔ متغیر در مکان X_i اگر نقاط در شبکه‌های منظم با فواصل مساوی قرار داشته باشند، نیم تغییر نما براساس میانگین حسابی فواصل محاسبه و برآورد می‌شود. در حالت دیگر که وضعیت معمول است و در ایستگاه‌های هواشناسی صدق می‌کند، پراکندگی نقاط فاقد نظم مانند چاه‌ها، چشمه‌ها و قنات‌ها است؛ بنابراین، معادلات تعدیل‌یافته و میانگین موزون نقاط برآورد می‌شود (Asakareh, 2017). مقدار h برابر با میانگین فواصل جفت نقاط در هر گام مکانی است. واریوگرام‌ها از سه پارامتر اثر قطعه‌ای، شعاع تأثیر و حد آستانه تشکیل شده‌است. مقدار نیم تغییر نما به ازای h=0 (در مبدأ مختصات) را اثر قطعه‌ای می‌گویند که معمولاً ناشی از خطای نمونه‌برداری یا تحلیل داده‌ها است. با افزایش h، مقدار نیم تغییرنما تا فاصلهٔ معینی اضافه می‌شود، سپس به حد ثابتی می‌رسد که این فاصله را شعاع تأثیر و مقدار نیم تغییرنما ــ که ثابت شده را آستانه می‌گویند ــ همان واریانس مکانی متغیر مورد بررسی است (Hosni Pak, 2017).

۳ـ۲ـ روش‌های زمین آماری

۳ـ۲ـ۱ـ کریجینگ

کریجینگ، برآوردی است که بر منطق میانگین متحرک وزن‌دار استوار است، مقادیر یک متغیر را در نقاط نمونه‌برداری نشده به صورت ترکیب خطی از مقادیر همان متغیر در نقاط اطراف آن در نظر می‌گیرد و برای برآورد نقاط ناشناخته، به هر یک از نمونه‌ها وزنی نسبت داده می‌شود و بهترین برآورد کنندهٔ خطی ناریب است. رابطهٔ ۲ که در آن $Z(x_i)$ مقدار اندازه‌گیری‌شدهٔ متغیر در مکان (x_i)، Z_0 مقدار برآورد شدهٔ متغیر در نقطهٔ (x_i)، λ_i وزن یا اهمیت کمیت وابسته به نمونهٔ i ام که براساس مقدار کمیت وابسته به نمونه در نقاط معلوم، به پارامتر مورد نظر داده می‌شود و n تعداد نقاطی است که متغیر در آنها اندازه‌گیری شده‌است (تعداد چاه‌ها، چشمه و قنات). شرط استفاده از این برآوردگر این است که متغیر توزیع نرمال دارد (Zahtabian et al, 2019).

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.256]

رابطهٔ ۲

$$Z_0=\sum_{i=1}^{n}\lambda_i Z(x_i)$$

۳ـ۲ـ۲ـ کوکریجینگ (COK)

این روش، نوعی کریجینگ چند متغیره است که در آن از اطلاعات کمکی (براساس همبستگی بین متغیر اصلی و کمکی)، برای تخمین بهتر استفاده می‌شود. تخمین‌گر کوکریجینگ به صورت رابطهٔ ۳ تعریف می‌شود.

در رابطهٔ ۳، λ_i و wj به ترتیب وزن‌های نسبت داده شده به مقادیر مشاهده‌ای متغیرهای اصلی و کمکی در نقاط u_i و u_j است (Zahtabian et al, 2019).

رابطهٔ ۳

$$\hat{Z}_{COK}(u)=\sum_{i=1}^{n(u)}\lambda_i^{COK}.Z(u_i)+\sum_{j=1}^{m(u)}w_j^{COK}.e(u_j)$$

۳ـ۲ـ۳ـ وزن‌دهی عکس فاصله

در روش وزن‌دهی فاصله که روشی معین است، رابطهٔ اصلی تخمین همان رابطهٔ کریجینگ معمولی (رابطهٔ ۲) یعنی تخمین‌گر کریجینگ است؛ با این تفاوت که در این روش وزن‌ها تنها با توجه به فاصلهٔ هر نقطهٔ معلوم نسبت به نقطهٔ مجهول و بدون توجه به فاصلهٔ هر نقطهٔ معلوم نسبت به نقطهٔ مجهول و بدون توجه به نحوهٔ پراکندگی نقاط حول نقطهٔ مورد تخمین تعیین می‌شود. به نقاط نزدیک‌تر، وزن بیشتر و به نقاط دورتر وزن کمتری اختصاص داده می‌شود (Marufpour et al, 2017). مقدار وزن λ_i در این روش، از رابطهٔ ۴ به دست می‌آید:

رابطهٔ ۴

$$\lambda_i=\frac{D_i^{-\alpha}}{\sum_{i=1}^{n}D_i^{-\alpha}}$$

۴ـ یافته‌ها (نتایج)

۴ـ۱ـ تعیین مناسب‌ترین روش درون‌یابی و معیار ارزیابی

پس از رسم واریوگرام و برازش مدل مناسب، عملیات درون‌یابی به وسیلهٔ روش‌های مذکور بررسی شد. برای ارزیابی روش‌های میان‌یابی، از روش ارزیابی متقابل و شامل مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده می‌شود (رابطهٔ ۵). در این روش، یک نقطه به طور موقتی حذف و با اجرای روش مورد نظر برای آن نقطه مقداری برآورد می‌شود. سپس مقدار حذف شده به جای خود برگردانده و برای سایر نقاط به صورت مجزا برآورد می‌شود. این کار برای هر یک از نقاط مشاهده‌ای تکرار می‌شود؛ به گونه‌ای که در آخر به تعداد نقاط مشاهده‌ای برآورد وجود خواهد داشت (Hosni Pak, 2018).

رابطهٔ ۵

$$RMSE=\frac{1}{n}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(Z(x_i)-Z(x_i))^2}$$

که در آن، $Z(x_i)$ مقدار برآورد شدهٔ متغیر در x_i ، $Z(x_i)$ مقدار مشاهده‌ای متغیر در x_i و n تعداد داده‌ها است. بهترین راهکار، روشی است که کمترین مقدار RMSE دارد. مدل درون‌یابی، متغیر مورد نظر را به طور دقیق‌تری برآورد می‌کند (Zabihi et al, 2019). برای بررسی بهترین مدل بر روی واریوگرام تجربی، از میزان RSS (مجموع مربعات باقی‌مانده) کمتر و استحکام ساختار فضایی (پیوستگی مکانی) قوی‌تر استفاده شد؛ بدین صورت که هر چه

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.256]

نسبت $C/(C_0+C)$ کوچک‌تر باشد، ساختار فضایی متغیر بهتر ترسیم خواهد شد (Sheikh Gudarzi et al, 2013). نتایج تجزیه و تحلیل واریوگرام متغیرها در جدول ۱ ارائه شده‌است.

جدول ۱: مشخصات بهترین مدل‌های برازش شده به نیم تغییر نماهای تجربی لگاریتم پارامترها

مؤلفه کیفی آب	مدل	اثر قطعه‌ای	آستانه (m^2)	شعاع (m) تأثیر	$C_0/(C_0+C)(m^2)$	R^2	RSS
Mg^{+2} (mg/l)	خطی	۰/۴۱۱	۱/۴۵۸	۷۱۱۰۰۰۰	۰/۷۱۸	۰/۷۰۹	۰/۰۳۴۲
Ca^{+2} (mg/l)	خطی	۰/۱۸۴	۰/۱۸۷	۲۶۲۶۶۳	.	۰/۸۶۶	۰/۰۲۰۶
Na(mg/l)	کروی	۰/۸۲	۵/۶۵	۵۶۴۳۰۰۰	۰/۸۵۵	۰/۹۸۹	۰/۰۵۴
EC	نمایی	۰/۶۶۳	۳/۴۳۶	۳۴۹۹۰۰۰	۰/۸۰۷	۰/۹۸	۰/۰۲۲۵
SAR(meq/l)	خطی	۱/۸۲	۱/۸۲	۹۶۵۶۱	۰/۵	۰/۵۵۶	۰/۱۴۷
TH(mg/l)	خطی	۰/۶۵۴	۰/۶۵۴۲	۲۶۲۶۶۳	۰	۰/۹۸	۰/۶۶۰
PH	خطی	۰/۰۹۶۵۴	۰/۰۹۶۵۴	۲۶۲۶۶۳	۰	۰/۹۸۷	۰/۰۱۷۶

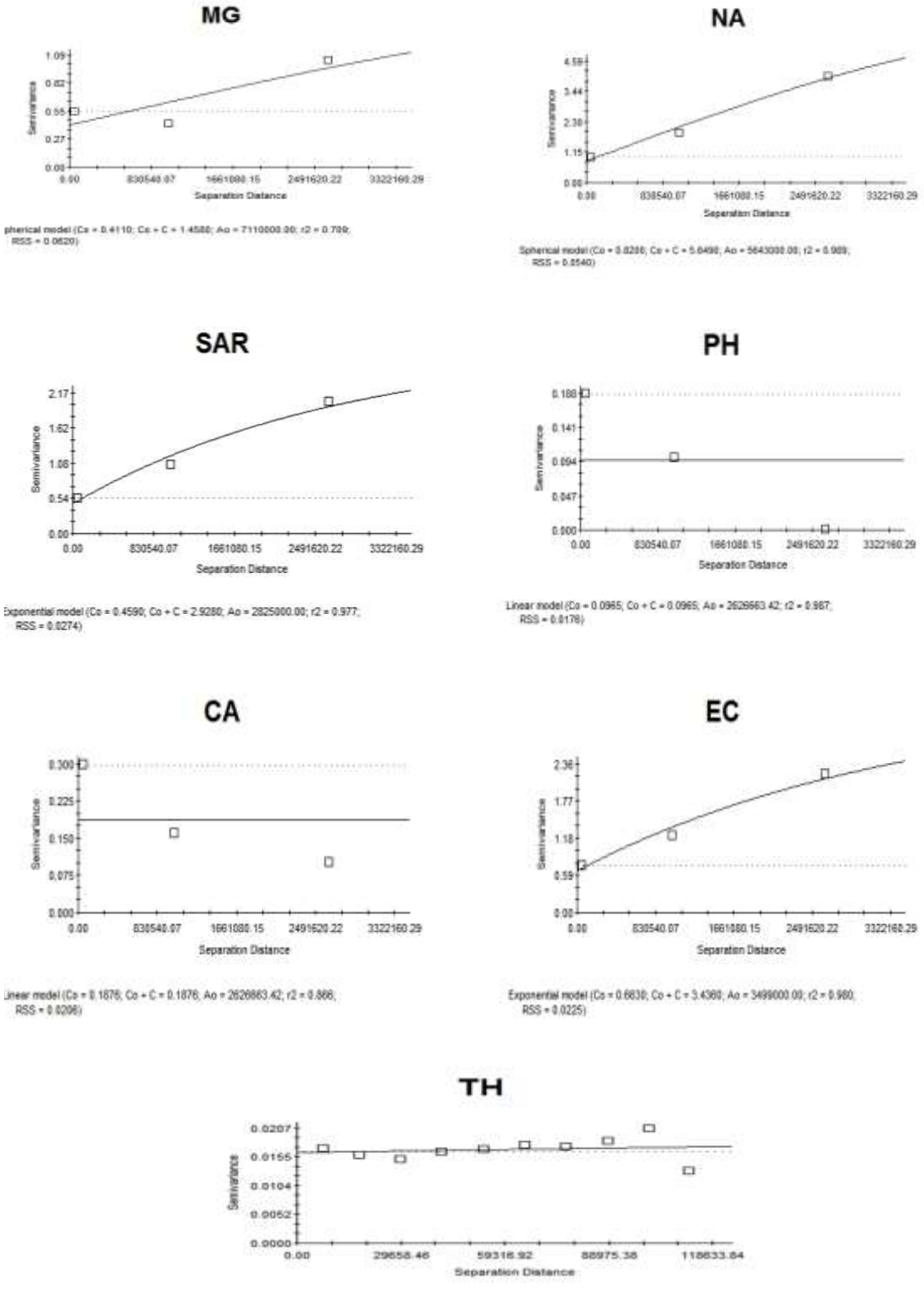
طبق نتایج به دست آمده بهترین مدل برازش شده برای پارامترهای CA و MG مدل خطی، پارمترهای EC مدل نمایی و پارامترهای NA مدل کروی است. دربارهٔ ساختار فضایی، پارامترهای MG و TH دارای پیوستگی مکان قوی (کوچک‌تر از ۰/۲۵) و پارامترهای EC، NA و MG دارای پیوستگی ضعیف (بیش از ۰/۷۵) است. جدول ۲ برای برآورد TH از آنیون، برآورد CL از TDS، برآورد آنیون از کاتیون، برآورد CL از آنیون وبالعکس و برآورد CL از SAR استفاده شد.

جدول ۲: نتایج تجزیه و تحلیل واریوگرام متقابل در روش کوکریجینگ

متغیر اصلی	متغیر کمکی	مدل	اثر قطعه‌ای (m^2)	آستانه (m^2)	دامنهٔ تأثیر (m)	$C/(C_0+C)$	ضریب همبستگی مکانی(r)	مجموعه مربعات باقی‌مانده(RSS)
TH(mg/l)	Anion(mg/l)	نمایی	۰/۸۲۳	۱/۹۰۳	۸۲۲۶۰	۰/۵۸۶	۰/۱۵۱	۰/۵۷۸
CL(mg/l)	TDS(mg/l)	نمایی	۰/۰۰۳۹۸	۰/۲۵۷	۸۴۸۵۰	۰/۸۴۵	۰/۴۶	۰/۴۹۳
Anion(mg/l)	Kation(mg/l)	نمایی	۰/۵۹۲	۲/۸۱	۸۳۶۳۰	۰/۷۸۹	۰/۴۳۸	۰/۵۷۱
CL(mg/l)	Anion(mg/l)	نمایی	۰/۴۳۷	۲/۸۳	۸۴۹۱۰	۰/۸۴۶	۰/۴۶۲	۰/۵۹۳
Anion(mg/l)	CL(mg/l)	نمایی	۰/۳۳۳	۲/۱۵	۸۴۷۳۰	۰/۷۴۲	۰/۴۶۱	۰/۳۴۱
CL(mg/l)	SAR(meq/l)	گوسن	۰/۲۶۵	۱/۲۲	۳۰۴۱۴	۰/۷۸۳	۰/۶۶۶	۰/۴۸

نمونه‌ای از واریوگرام‌های مربوطه، به پارامترهای مورد بررسی ترسیم شده در شکل ۳ نشان داده شده‌است که در آن محور قائم، مقدار نیم تغییر نما (معادلهٔ ۱) و محور افقی، دامنهٔ تأثیر (h) است (jahanshah et al, 2014).

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.256]



شکل ۳: واریوگرام‌های مربوط به کیفیت آب زیرزمینی

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.256]

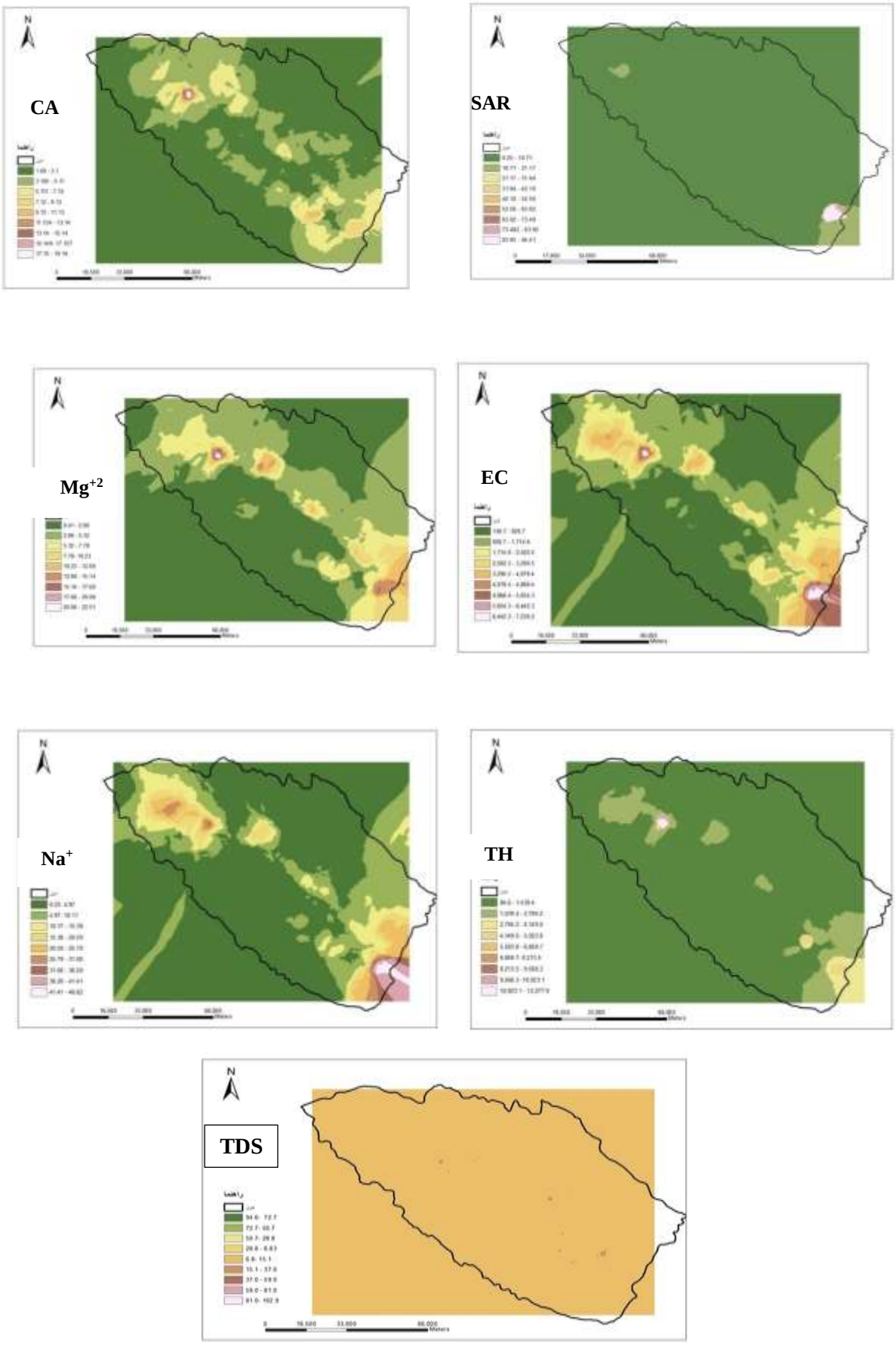
برای تعیین مناسب‌ترین روش درون‌یابی از میان روش‌های مورد استفاده، از معیار مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده شد. جدول ۳، مقادیر این معیار را برای هر یک از روش‌های معین و زمین آماری نشان می‌دهد. بر اساس این معیار، روش کوکریجینک مناسب‌ترین روش درون‌یابی برای تمام پارامترهای مورد استفاده است. نقشه‌های مقادیر تخمین‌زده و پهنه‌بندی شده با بهترین روش تخمین (کریجینگ معمولی) نشان می‌دهد که الگوی تغییرات غلظت پارامترهای کیفی آب دشت مشهد، از شمال به جنوب کمتر می‌شود و در نتیجه، کیفیت آب برای مصارف مختلف از جمله آشامیدن و کشاورزی بهتر از سایر بخش‌های منطقه است.

جدول ۳: نتایج حاصل از ارزیابی متقابل پارامترهای مورد بررسی در روش‌های مورد استفاده

پارامتر	مدل	کریجینگ ساده	کوکریجینک	IDW
TDS(mg/l)	کروی	۰/۳۳۷	۰/۲۲۴	۰/۴۷۴
SAR(meq/l)	نمایی	۰/۱۶۹	۰/۱۶۲	۰/۴۹۸
EC(ds/m)	کروی	۰/۳۷۸	۰/۲۲۲	۰/۴۷
CL(mg/l)	کروی	۰/۳۳۲	۰/۲۱۷	۰/۴۸۶
TH(mg/l)	کروی	۱/۲۱۵	۰/۲۷۱	۰/۸۱۱
SO4(mg/l)	کروی	۰/۳۶۵	۰/۲۱۷	۰/۴۱۲
Mg+2(mg/l)	خطی	۰/۹۵۶	۰/۲۴۹	۰/۷۷۹
Anion(mg/l)	نمایی	۰/۳۷۲	۰/۲۲۸	۰/۴۵۷
Kattion(mg/l)	خطی	۰/۳۷۲	۰/۲۲۸	۰/۴۵۷

در شکل ۴، نتایج نشان می‌دهد که در شمال غربی و جنوب شرقی غلظت کلسیم، پتاسیم، سدیم، کلر، TH، SAR و PH بیشتر و در نتیجه، کیفیت آب برای مصارف مختلف پایین‌تر است که یکی از دلایل احتمالی آن علاوه بر متفاوت بودن تشکیلات زمین‌شناسی و نوع سنگ‌ها (وجود مواد و سنگ‌های گچی در بخش شمال غربی و جنوب شرقی یا مقادیر کمتر این مواد در بخش شمالی، مرکزی و جنوبی (Owaisi,2000)، می‌تواند زیادتر بودن دما، خشک‌تر بودن و در نتیجه بیشتر بودن میزان تبخیر و تعرق، نوع و تراکم کاربری اراضی باشد(Laleh Zari&.Tabatabai, 2011). Keith و همکاران (1983) بیان کردند که در داده‌های کیفیت آب زیرزمینی مربوط‌به منطقهٔ کورتا و لیللت آریزونا در آمریکا، تغییرات مکانی به درجات و به دلایل مختلف (حاصل از منابع مختلف) وجود دارد. ایشان معتقدند برخی از این تغییرات، دلیل هیدرولوژیک خاصی ندارد، ولی برخی دیگر کیفیت آب زیرزمینی را در سه گروه کلی تقسیم‌بندی می‌کند؛ الف: تغییرات ناشی از کاربری اراضی که به تغییرات مکانی و زمانی در منابع و مقدار آلاینده‌ها منجر می‌شود. ب: تغییرات ناشی از ارتباط ناحیهٔ اشباع و غیر اشباع که می‌تواند اثر کاربری اراضی بر کیفیت آب را تشدید یا تضعیف کند (منابعی که سبب ایجاد تغییر در این گروه می‌شود عبارتند از: ساختمان چاه، مقدار و تغییرات زمانی پمپاژ، زمین‌شناسی، شرایط هیدرولیکی، شرایط فیزیکی و شیمیایی درون چاه و ناحیهٔ اشباع و غیر اشباع). ج: تغییرات ناشی از تغییر در نحوهٔ نمونه‌برداری و تجزیهٔ شیمیایی نمونه‌ها.

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.256]



شکل ۴: نقشهٔ پهنه‌بندی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی (PH, TDS, Na^{+}, EC, Mg^{+2}, SAR, Ca^{+2})

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.256]

۵ـ بحث و نتیجه‌گیری

هدف از اجرای این پژوهش، تعیین مناسب‌ترین روش میان‌یابی به منظور بررسی و تحلیل مکانی اندازهٔ تغییرات برخی ویژگی‌های کیفی آب‌های زیرزمینی دشت مشهد بود. پس از اینکه مدل مناسب برازش داده شد، طبق $C_O/(C_O+C)$ مشاهدات، استحکام ساختار فضایی در مؤلفه‌های کیفی آب مورد مطالعه چندان قوی نیست که نتایج آن در جدول ۱ نشان داده شده‌است. این موضوع، دقت و پیوستگی نامناسب مکانی مدل‌های برازش داده شده را نشان می‌دهد. برای انتخاب RMSE از میانگین مجذور مربعات خطا استفاده شد که هر چه کمتر باشد، نشان‌دهندهٔ بهترین روش درون‌یابی است که این روش در برآورد مکانی مؤلفه‌های کیفی آب ارجحیت دارد. نتایج این پژوهش با نتایج پژوهشگرانی چون Mohammadi و همکاران (2016) و Hashemi Jezai (2017) مشابه است. آنها نیز روش‌های زمین آماری مانند کریجینگ و کوکریجینگ را به عنوان ابزاری مناسب برای مطالعهٔ کیفیت آب‌های زیرزمینی و نقشهٔ پهنه‌بندی آنها در مناطق گوناگون جهان پیشنهاد کرده بودند. برای پهنه‌بندی مؤلفه‌های کیفیت، روش کوکریجینگ را به عنوان روش مناسب معرفی کردند و با توجه به اینکه در این روش از همبستگی بین متغیرهای مختلف استفاده می‌شود، می‌توان گفت بین مؤلفه‌های آب زیرزمینی رابطهٔ معنی‌داری وجود دارد (Zahtabian et al, 2019). نتایج حاصل از پهنه‌بندی کیفیت پارامترها، دو محدودهٔ نامناسب را در شمال غرب و شرق منطقه نشان می‌دهد که در حدود هفتاد درصد حلقه چاه‌های بهره‌برداری در این نواحی قرار دارد (شکل ۳). همچنین از علل کاهش کیفیت آب زیرزمینی می‌توان به تجمع روستاها و زمین‌های کشاورزی در این قسمت از دشت اشاره کرد. بهره‌برداری بیش از حد مجاز از منابع آب زیرزمینی نیز در این بخش از دشت نسبت‌به سایر نواحی آن صورت می‌گیرد. همچنین‌با توجه‌به خشکسالی‌های اخیر، روند بیابان‌زایی در این منطقه تسریع خواهد شد؛ در نتیجه، بایستی به مدیریت صحیح آب‌های زیرزمینی در این منطقه بیشتر توجه شود. در جنوب دشت نیز می‌توان پیشنهادهای عملی را به مدیران منطقه‌ای ارائه کرد و آن جلوگیری از پمپاژ غیر قانونی آبخوان در مناطق روستایی است. در پایان، پیشنهاد می‌شود نخست مناطقی که کیفیت آب آبخوان در آن به شدت کاهش یافته‌است، مشخص شود. سپس محدوده‌هایی که به اقدامات حفاظتی نیازمند است، اولویت‌بندی شود و درنهایت، از طریق استفاده از سامانهٔ نوین آبیاری در بخش کشاورزی، بهینه‌سازی در مصرف آب صورت گیرد (Jahanshahi, 2014).

۶ـ سپاس‌گزاری

بدین وسیله از مسئولان محترم اداره مطالعات پایه منابع آب مشهد به دلیل در اختیار گذاشتن داده‌های مورد نیاز این پژوهش، تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

1. Akhavan, R.; Khoramabadi Karami, M.; & J, Soosani, 2012. Application of Kriging and IDW methods in mapping of crown cover and density of coppice oak forests Hay (Case Study: the amount suspended Khorramabad), Journal of the forest, the third year. ShfhHay 305 to 316.
2. Alaa, Ahmed, Masoud, 2014. Groundwater quality assessment of the shallow aquifers west of the Nile Delta (Egypt) using multivariate statistical and geostatistical techniques, *Journal of African Earth Sciences*, 95, 123-137.

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.256]

3. Al Saleh, H. A.; Saify, S.; & N. Y. Othman, 2022. Spatial Distribution of Groundwater Quality Parameters in Al-Najaf City Using GIS and Geostatistics Techniques, In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 952, 1, p. 012003), IOP Publishing.
4. 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.
5. Asakereh, H., 2008. Kriging Application in Climatic Element Interpolation a Case Study: Iran Precipitation in 1996.12.16, *GeograpHy and Development*, 6(12), 25-42. doi: 10. 22111/g d ij.2008.1241. (in Persian)
6. Barcae, E., & G. Passarella., (2008). Spatial evaluation of the risk of groundwater quality degradation: A comparison between disjunctive kriging and geostatistical simulation. *Environmental Monitoring and Assessment*. 133, 261-273.
7. Bay, Mahbube.; Haghizadeh, A.; & N. Tahmasebipour, 2018. Spatial Variations of quality Groundwater use Geostatistical Method, *Journal Geographic Spase*, 18(63), 147-164. (in Persian).
8. Geological map of Fasa with a scale of 100,000 along, 2000. (in Persian)
9. Gharechelou, S.; Akbari Ghoochani, H.; Golian, S.; & K. Ganji, 2021. Evaluation of land subsidence relationship with groundwater depletion using Sentinel-1 and ALOS-1 radar data (Case study: Mashhad plain), *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 12(3), 40-61. doi: 10.30495/girs.2021.680336. (in Persian).
10. Habibi, V.; Ahmadi, A.; & M. M. Fattahi, 2008. Modeling Spatial Variability of Ground Water Chemical Properties Using Geostatistical Methods , 3(7), 23-34. (in Persian)
11. Haji Hashemi Jezi, M. R.; Ateshgahi, M.; & A. H. Hamidian, 2012. Spatial estimation of groundwater quality components using geostatistical methods (case study: Golpayegan plain), *Journal of Natural Environment*, 63(4), 347-35. (in Persian)
12. Hedayati Aghmashhadi, A.; Jafari, H.; Mehrdadi, N.; Fahmi, H.; & P. Farshchi, 2016. Environmental policy and management of freshwater resources in the Haraz-Ghareh Su Basin in comparison to other Caspian sub basins, 1(4), 387-402.
13. Hosni Pak, A. A., 2019. geostatistics University of Tehran Printing and Publishing Institute Language: Farsi Dewey ranking: 551.072Year of publication: Printing turn: 3Circulation: 1000 copies Number of pages: 330 Cutting and type of cover: Waziri (paper)ISBN: 978964 0340219 Book code in Gisum: 1686692. (in Persian)
14. Jahanshahi, A.; RouhiMoghadam, E.; & A. H. Dehvari, 2014. Assessment of groundwater quality parameters using GIS and Geostatistical (Case Study: Shahr Babak Plain), *Journal of Soil and Water Science*, 24(2), 183-197.
15. Jiang, Y.; Ma Wei, L.; & W. Huihuang, Huang, 2013. Analysis of spatial distribution of goundwater quality in Huaihe river basin. 21st International Conference on Geoinformatics.
16. Khazaei, S. H.; Abbasi Tabar, H.; & R. Taghizadeh Mehrjardi, 2012. Nitrate pollution zoning in the groundwater of Fars province using geostatistical method (case study: Siakh Darangun region), *Journal of Natural Environment*, 64 (3), 267-279. (in Persian)
17. Keith S. J.; Wilson, L. G.; Fitch, H. R.; & D. M. Esposito, 1983. Sources of spatial-temporal variability in groundwater quality data and methods of control. Groundwater Monitoring Program Report, Spring, Arizona, USA.
18. Kresic, N., 1997. Quantitative Solutions in Hydrogeology and Groundwater Modeling. Lewis Publishers, Boca Raton, FL, 464pp, Chicago. 464p.
19. Kulinkina, A. V.; Plummer, J. D.; Chui, K. K. H.; Kosinski, K. C.; Adomako-Adjei, T.; & A. I. Egorov, 2017. PHysicochemical Parameters Affecting the Perception of Boreholewater Quality in Ghana, Int J Hyg Environ Health, 220(6), 990-7.
20. Laleh Zari, R., & SH. Tabatabai., (2011). Chemical Characteristics of Shahrekord Plain Underground Water, https://civilica.com/doc/157807. (in Persian)

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.256]

21. Lashkaripour, G. R.; Ghafouri, M.; Swayzi, Z.; & Z. Takhni, 2004. Symposium of Geological Society of Iran، Tehran،https://civilica.com/doc/31903. (in Persian).
22. Maria PaulaMendesLuísRibeiro, 2010. Nitrate probability mapping in the northern aquifer alluvial system of the river Tagus (Portugal) using Disjunctive Kriging, *Science of The Total Environment*, 408(5), 1021-1034.
23. Maroufi, S.; Taranjian, A.; & H. Abyaneh, 2012. Evaluation of geostatistical methods for estimating electrical conductivity and pH of stream drained water in Hamedan-Bahar Plain, *Journal of Water and Soil Conservation*, 16(2), 169-187. (in Persian)
24. Maroufpoor, S.; fakheri fard, A.; & J. Shiri, 2017. Study of the spatial distribution of groundwater quality using soft computing and geostatistical models, ISH Journal of Hydraulic Engineering, 1-7.
25. Mirabdolahi, S. E., 2022. Investigating Spatio-Temporal Variations of Groundwater Quality Using Geostatistical Method (Case Study of Guilan Province), *Environment and Water Engineering*.
26. Mohammadi Ghaleni, M.; Ebrahimi, K.; & S. H. Araghinejad, 2011. Groundwater Quantity and Quality Evaluation, *Journal of water and soil protection research*, 19(4), 81-93. (in persion)
27. Regional Water Authority of Khorasan Razavi, 2015. Kashfarud Rescue Plan with the Participation of the People, the Deputy for Planning and Management Improvement, 2, 72 p. (In Persian).
28. Rooki, R.; Aryafar, A.; & J. Adelinasab, 2017. Investigating the groundwater quality in aquifer of Gonabad basin, Khorasan Razavi, using multivariate statistical methods and artificial intelligence, *Journal of Mineral Resources Engineering*, (2)1, 49-61.
29. Seyedmohammadi, J.; Esmaeelnejad, L.; & M. Shabanpour, 2016. Spatial variation modeling of groundwater electrical conductivity using geostatistics and GIS Model. Earth Syst, *Environ*, 2, 169.
30. Sheikh Gudarzi, M.; Mousavi, H; & N. Khorasani, 2011. Simulation of spatial changes in the qualitative characteristics of groundwater with geostatistical methods (case study: Tehran-Karaj Plain), *Journal of Natural Environment*, 65 (1), 83-93. doi: 10.22059/ jne. 2012. 29465. (in Persian)
31. Yazdani, M. R.; Koh Banani, H. R.; Dashti Amirabad, J.; & M. Aziminejad, 2016. Evaluation of Mashhad plain underground water quality indicators using geostatistics and GIS techniques, https://civilica.com/doc/115761. (in Persian)
32. Yousefi, H.; Al Sheikh, A. A.; & M. Minaei, 2016. Zoning the quality of underground water resources in Saveh using geostatistical analysis, *Promotional Scientific Journal of Mapping and Spatial Information Engineering*, 9(1), 42-33. (in Persian)
33. Zabihi, A.; Solaimani, K.; Shabani, M.; & S. Abravsh, 2012. An Investigation of Annual Rainfall Spatial Distribution Using Geostatistical Methods (A Case Study: Qom Province), *PHysical GeograpHy Research Quarterly*, 43(78), 102-112. (in Persian)
34. Zehtabian, G. R.; Janfaza, A.; Mohammad asgari, H.; & M. J. Nematollahi, 2010. Modeling of ground water spatial distribution for some chemical properties (Case study in Garmsar watershed), 17(1), 61-73. (in Persian)

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.256]

Investigating the Qualitative Parameters of Using Geostatistical Methods (Case Study: Mashhad Plain)

Mohammad Reza Yazdani: *Associate Professor of Desertification Education Department, Faculty Desert Studies, University of Semnan*

Masoume Darmani[1]**:** *PhD student of Desertification*, Faculty of Desert Studies, *Semnan University*

Mohammad Nohtani: *Assistant Professor, Department of Range and Watershed Management, University of Zabol*

Haydeh Ara**:** *Assistant Professor of Arid region management department*, Faculty of Desert Studies, *Semnan University*

Sedigheh Ebrahimiy **:** *Ph.D. student, Watershed Engineering Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Lorestan*

Article History (Received: 2023/01/28 Accepted: 2023/07/10)

Extended abstract

1- Introduction

Selection and accuracy of appropriate zoning methods and preparation of maps corresponding to variation of groundwater qualitative characteristics depend upon the region's condition and the available statistics and data. The goal of this research is to determine the most appropriate method of interpolation and spatial analysis of qualitative components such as Cl, EC, SO_4, SAR, TDS and TH of groundwater in Mashhad Plain. In this research, at first, the data of 177 wells were selected with respect to their dispersion and accuracy for two consecutive years (1392-1393); then controlling and reconstruction of data were performed. Kolmogorov-Smirnov test showed that the data were not normal and to normalize them their logarithm was obtained. Then using GS+software, the best variogram model was fitted to the spatial structure of data. The results show that for qualitative parameters, the exponential, Semi-variogram and linear models are the best semi variogram models. The precision of groundwater qualitative parameters in the three methods of Kriging, Cokriging and Inverse Distance Weighting (IDW) was assessed and the precision rate results showed that Cokriging method has a higher precision and lower error. The spatial structure of studied characteristics follows the exponential, spHerical and linear model with an influence range of 9656 to 71100001m and the threshold range of 0.965 to 5.65, and the spatial dependency class was in the range of 0-0.87. Finally, the zoning maps of water qualitative parameters were prepared using GIS software. Due to population concentration in the southern parts and overuse of wells and recent droughts, the highest values of qualitative components belong to the south of the study area. According to the geological formations and the type of rocks in the northwest and southeast, the concentration of calcium, potassium, sodium, chlorine, as well as the percentage of evaporation and transpiration and temperature are more evident.

2- Methodology

In this research, three methods of interpolation, namely, Weighted distance image, Kriging and Co-kriging are used to predict some quality indicators such as Na, TH, EC, SAR, CL, CA, Mg, and SO4 in 2013-2014. Data have been collected from 177 piezometric wells in the Mashhad Plain. In this study, after data normalization, parameters were interpolated using three geostatistical methods (ordinary kriging, co-kriging, and IDW). In order to evaluate the methods of interpolation, the mutual evaluation test was used. Then, based on the best method of mediation and the use of geographic information system, a map of some parameters and plain zoning maps were prepared.

[1] M_darmani@yahoo.com

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.256]

3- Results

The purpose of this research was to determine the most appropriate interpolation method in order to investigate and spatially analyze the changes in some quality characteristics of underground water in Mashhad plain. After the appropriate model was fitted, according to CO/(CO+C) observations, the strength of the spatial structure in the quality components of the studied water is not very strong. For the zoning of the quality components, the Co-kriging method was introduced as a suitable method, and considering that correlation between different variables is used in this method. It can be said that there is a significant relationship between the components of groundwater (Zahtabian et al., 2019). The results of zoning the quality of the parameters showed two inappropriate ranges in the northwest and east of the region, which about 70% of the exploitation wells are located in these areas. Also, due to the recent droughts, the process of desertification will be accelerated in this region; therefore, more attention should be paid to the proper management of underground water in this region.

4- Discussion & Conclusions

According to the obtained results, the best fitted model for CA and MG parameters is linear model; EC parameters are exponential model and NA parameters are Semi-variogram model. Regarding the spatial structure, parameters MG and TH have strong location continuity (less than 0.25) and parameters MG, NA, EC have weak continuity (more than 0.75). According to the obtained results, was used to estimate TH from anion, CL from TDS, anion from cation, CL from anion and vice versa and estimate CL from SAR.
The results show that the concentration of calcium, potassium, sodium, chlorine, SAR, TH, PH is higher in the northwest and southeast, and as a result, the quality of water for various uses is lower, which is one of the possible reasons, in addition to the different formations of the earth. The geology and type of rocks (that is, the presence of gypsum materials and stones in the northwest and southeast parts or smaller amounts of these materials in the north, central and south parts (Owaisi, 2000)) can lead to higher temperature and drier environment which is the result of the higher rate of evaporation and transpiration as well as the type and density of land use (Laleh-Zari, 2019)

Key Words: Water quality parameters; Mashhad Plain; Geostatistics; Distance photo; Kriging , Cokriging

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.256]