



مدل سازی تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب زیرزمینی در مناطق خشک با استفاده از روش های زمین آماری (مطالعه موردی: دشت کوهپایه - سگری اصفهان)

نویسندگان: شهربانو عباسی جندانی^۱، علی طالبی^۲

۱. نویسنده مسئول: دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه یزد

تلفن تماس: ۰۹۱۳۸۰۲۳۰۵۴، Email: sh_abbasi@ut.ac.ir

۲. دانشیار گروه آبخیزداری، دانشگاه یزد

چکیده

مقدمه: منابع آب زیرزمینی به عنوان یکی از مهمترین منابع آبی در مناطق خشک و نیمه خشک، محسوب می شوند، از این رو حفاظت کیفی آنها از اهمیت زیادی برخوردار است. از طرفی پایش و بررسی کیفیت آب زیرزمینی مشکل و هزینه بر می باشد، لذا استفاده از روش های درون یابی، ضروری به نظر می رسد.

روش بررسی: در این تحقیق توصیفی، تغییرات مکانی و زمانی برخی از پارامترهای کیفی آب زیرزمینی دشت کوهپایه-سگری اصفهان شامل TDS، EC و Na در دوره آماری ۱۳۸۹-۱۳۷۴، مورد بررسی قرار گرفته و میزان و جهت تغییرات این پارامترها، مشخص شده است. بدین منظور ابتدا چهارروش زمین آماری و قطعی قابل اجرا در محیط ArcGIS۹/۳ یعنی کریجینگ، کوکریجینگ، تابع شعاع محور و عکس فاصله وزنی، مورد بررسی قرار گرفت. سپس بهترین تابع و توان برای هر یک از چهار روش ذکر شده و بهترین روش برای هر پارامتر در هر سال دوره آماری بر اساس کمترین میزان ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، انتخاب گردید. در نهایت نقشه های پهنه بندی پارامترها در محیط ArcGIS۹/۳، ترسیم گردید.

یافته ها: نتایج به دست آمده نشان می دهد که برای هر سال و هر پارامتر روشی خاصی با تابع یا توانی خاص، بهترین نتیجه را دارد و روند منظمی در آنها وجود ندارد. اما در سال های بعد از سال ۱۳۸۳، روش های کریجینگ و کوکریجینگ، نتایج بهتری نسبت به دیگر روش ها داشته اند.

نتیجه گیری: نتایج این بررسی نشان می دهد که کیفیت منابع آبی دشت کوهپایه - سگری در سال ۱۳۸۹ نسبت به سال ۱۳۷۴، کاهش چشمگیری یافته است. بیشترین میزان تغییرات نیز در مناطق نزدیک به رودخانه زاینده رود رخ داده است به طوریکه در مناطق جنوبی دشت کانون های بحرانی ظاهر شده است، که این خود گواه بر نقش مؤثر این رودخانه بر سفره های مسیر خود می باشد.

واژه های کلیدی: مدل سازی، آب زیر زمینی، روش زمین آماری، دشت کوهپایه سگری، اصفهان

طلوع بهداشت

دو ماهنامه علمی پژوهشی

دانشکده بهداشت یزد

سال چهاردهم

شماره: اول

فروردین و اردیبهشت

۱۳۹۴

شماره مسلسل: ۴۹

تاریخ وصول: ۱۳۹۲/۲/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۷/۲۰



مقدمه

امروزه به طور وسیعی از روش‌های مختلف زمین آماری برای پیش بینی تغییرات مکانی کیفیت آب استفاده می‌شود. Kresic (۱۹۹۷) روش کریجینگ را به عنوان بهترین و قوی ترین ابزار برای درون‌یابی داده‌ها و تهیه نقشه‌های اندازه آب زیرزمینی معرفی کرد. Chandraskharan و همکاران (۲۰۰۸)، در تحقیقی تحت عنوان بررسی تغییرات ایجاد شده در کیفیت آب و خاک، نقشه‌های پهنه‌بندی تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای EC و pH را با استفاده از روش‌های زمین آماری، تهیه کردند. نتایج به دست آمده نشان داد که مناسب‌ترین واریوگرام برای پارامترهای فوق، مدل کروی و مناسب‌ترین روش برای تهیه نقشه‌های پهنه بندی، روش کریجینگ می‌باشد. Jin و Yang (۲۰۱۰)، برای پیش بینی کیفیت آب در رودخانه لوا از روش‌های OLS و کریجینگ استفاده کردند. نتایج حاصله نشان داد که روش رگرسیون مکانی با کریجینگ نه تنها پیش بینی‌های بهتری از غلظت $\text{NO}_3\text{NO}_2\text{-N}$ نسبت به روش OLS دارد، بلکه تخمین عدم قطعیت پیش‌بینی‌ها را هم انجام می‌دهد. Baalousha (۲۰۱۲) برای تعیین نقاطی با پتانسیل بالای آلودگی از نقشه آسیب پذیری و برای تفسیر داده بدست آمده و نیز برای امتحان توزیع مکانی پارامترهای پایش شده در سایت‌های مختلف در دشت هراتاونگا در نیوزلند، از روش کریجینگ استفاده کرد. Huang و همکاران (۲۰۱۲)، برای ارزیابی و درون‌یابی تغییرات مکانی $\text{NO}_3\text{-N}$ آب زیرزمینی در منطقه شاندونگ چین، از روش کوکریجینگ استفاده کردند. نتایج حاصله نشان داد که مناطقی با غلظت بالاتر $\text{NO}_3\text{-N}$ ، اساساً در مناطقی با کشاورزی تشدید، دیده می‌شود. نتایج همچنین نشان داد که روش درون‌یابی کوکریجینگ، روش

آب‌های زیرزمینی بزرگترین ذخیره قابل دسترسی آب شیرین را در مناطق خشک و نیمه‌خشک تشکیل می‌دهند و از مهمترین منابع آب مورد استفاده در کشاورزی و شرب به شمار می‌روند. افزایش جمعیت و آلوده کردن سفره‌ها از یک سو و خشکسالی‌های متعدد از طرف دیگر، فشار را روی کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی افزایش داده است. اهمیت کیفیت آب زیرزمینی دارای نقش برابری در مقابل کمیت آن می‌باشد و یک فاکتور اصلی جهت تعیین اهداف مناسب برای آب آشامیدنی، دامداری، کشاورزی و صنعتی است (۱). از طرفی مطالعه سطح وسیعی از یک منطقه معمولاً مشکل است. معمولاً برای چنین سطوحی، نمونه‌هایی به صورت نقطه انتخاب و سپس با استفاده از توابع مخصوص، داده‌های آن را به کل منطقه مطالعاتی تعمیم می‌دهند. به منظور گسترش و تعمیم اطلاعات نقطه‌ای از روی نقاط نمونه‌برداری شده و نیز در نظر گرفتن تغییرات مکانی هر متغیر، نیاز به مدل‌هایی است که بتواند متغیر مورد بررسی را در نقاط مجهول شبیه‌سازی نماید (۲). روش‌های مختلفی برای تخمین وجود دارد که در یک تقسیم‌بندی کلی می‌توان آنها را به روش‌های زمین آماری و روش‌های کلاسیک تقسیم‌بندی نمود. روش‌های کلاسیک روش‌هایی هستند که از آمار کلاسیک برای تخمین استفاده می‌کنند. در صورتی که در روش‌های زمین آمار، تخمین بر اساس ساختار فضایی موجود در محیط مورد نظر صورت می‌گیرد (۳). از آنجا که آمار کلاسیک قادر به در نظر گرفتن توزیع مکانی پارامترهای کیفیت و کمیت آب‌های زیرزمینی نبوده لذا زمین آمار به عنوان تکنیکی برای این هدف استفاده می‌شود.



معمولی برای تهیه نقشه تغییرات EC و TDS و روش کریجینگ ساده برای تهیه نقشه تغییرات pH، کمترین خطا را دارند. فیضی و همکاران (۲۰۱۱) در تحقیقی بهترین مدل درونیابی برای فاکتورهای کیفیت آب زیرزمینی شامل EC، TDS و SAR دشت بیرجند خراسان جنوبی را کریجینگ جهانی معرفی کردند. قمیشون و ملکیان (۱۳۹۰) کیفیت آب زیرزمینی دشت سمنان را با استفاده از روش‌های کریجینگ، کوکریجینگ و IDW، بررسی کردند. نتایج نشان داد که روش‌های زمین آماری دقت قابل ملاحظه‌ای نسبت به روش IDW دارند. عبداللهی منصورخانی و همکاران (۱۳۹۱) تغییرات مکانی نترات در آبخوان دشت شهرکرد را با مقایسه چهار روش کریجینگ، کوکریجینگ، عکس فاصله وزنی و تابع شعاع محور، بررسی کردند. نتایج حاصله نشان داد که روش کریجینگ معمولی بر دیگر روش‌ها ارجحیت دارد. شیخ گودرزی و همکاران (۱۳۹۱) نیز تغییرات مکانی ویژگی‌های کیفی آب زیرزمینی (سختی کل، یون کلر، سولفات و نترات) را با روش‌های زمین آماری شبیه‌سازی کردند. نتایج به دست آمده نشان داد که روش کوکریجینگ دارای دقت بیشتری نسبت به سایر روش‌های زمین آماری است.

همانگونه که مشاهده می‌شود تا کنون تحقیقات زیادی در این زمینه در ایران و سراسر جهان انجام شده است، اما در دشت کوهپایه - سگزی که خشکسالی‌های اخیر تاثیر زیادی بر کیفیت آب داشته است، تا کنون این مهم انجام نشده است و با توجه به اهمیت سفره‌های آب زیرزمینی در این مناطق و وابستگی شدید مردم به این منابع آبی، بررسی وضعیت آنها لازم و ضروری به نظر می‌رسد. در این تحقیق سعی بر آن است تا تغییرات مکانی و زمانی برخی از پارامترهای کیفی آب زیرزمینی دشت کوهپایه -

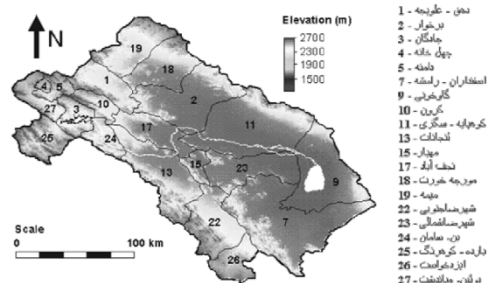
مناسی برای بررسی تغییرپذیری مکانی $\text{NO}_3^- \text{-N}$ در این مناطق است. در ایران نیز محققین مختلفی از روش‌های زمین آماری استفاده کرده‌اند. برای مثال حبیبی اربطانی و همکاران (۱۳۸۸) تغییرات مکانی ویژگی‌های شیمیایی آب‌های زیرزمینی را با استفاده از روش‌های زمین آماری و معین بررسی کردند. نتایج حاصله نشان داد که روش کوکریجینگ برای مدل‌سازی پارامترهای کلر، مجموع کاتیون‌ها، EC و pH، روش کریجینگ گسسته برای پارامترهای بی‌کربنات و سدیم، روش کریجینگ جامع برای پارامتر TDS و کریجینگ معمولی برای پهنه بندی پارامتر SAR، بهترین روش است. معروفی و همکاران (۱۳۸۸) روش‌های زمین آماری را جهت تخمین هدایت الکتریکی و pH زهاب‌های آبراهه‌ای دشت بهار - همدان، ارزیابی کردند. نتایج به دست آمده نشان داد که روش‌های چند جمله‌ای موضعی و فاصله معکوس به ترتیب بهترین الگو و روش توابع شعاع محور نامناسب ترین الگو برای تخمین هدایت الکتریکی و pH زهاب‌های منطقه بودند. رضایی و همکاران (۱۳۸۹) تغییرات مکانی شاخص‌های کیفی آب مثل EC، Na و SAR از ۱۳۵ حلقه چاه استان گیلان را با استفاده از روش‌های زمین آمار بررسی کردند. نتایج نشان داد که مدل کروی بهترین مدل برای برآزش واریوگرام می‌باشد و در مجموع روش‌های کریجینگ و معکوس فاصله با توان یک، دقت بیشتری در درونیابی این خواص داشته‌اند. طایفه (۱۳۸۹) جهت تعیین مناسب‌ترین روش تهیه نقشه تغییرات TDS، pH و EC آب‌های زیرزمینی دشت مازندران، روش‌های درونیابی مانند کریجینگ ساده، کریجینگ معمولی، کریجینگ عمومی، عکس فاصله وزنی، تابع شعاع محور، تخمین گر موضعی و تخمین گر عام را با هم مقایسه کرد. نتایج حاصله نشان داد که روش کریجینگ



۱۳۷۴ استفاده شده است. شرط استفاده از این روش‌های زمین آمار، نرمال بودن داده‌ها است که نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگراف-اسمیرنوف از بسته نرم افزاری SPSS.۱۶ بررسی شده است. همچنین داده‌ها از لحاظ وجود روند و ایستایی مورد بررسی قرار گرفته است.

به منظور تشریح پیوستگی مکانی متغیرها، واریوگرام داده‌ها رسم شده و پس از انجام این مراحل برای تبدیل داده‌های نقطه-ای به داده‌های ناحیه‌ای در محیط ArcGIS ۹/۳ از روش‌های زمین آماری و قطعی استفاده شده است.

درون‌یابی را به چند روش می‌توان انجام داد. در ابتدا می‌توان این روش‌ها را به دو گروه جهانی و محلی، دقیق و غیر دقیق یا قطعی و احتمالی، طبقه‌بندی کرد (۱۸). روش‌های بکار برده شده در این تحقیق به شرح زیر می‌باشند:



شکل ۱: بالا- حوضه آبریز زاینده رود و زیر حوضه‌های آن. پایین- دشت کوهپایه - سگری اصفهان و موقعیت چاه‌های نمونه برداری شده

سگری اصفهان شامل EC، TDS و Na در دوره آماری ۱۳۷۴-۱۳۸۹ با استفاده از روش‌های زمین آماری و قطعی مورد بررسی قرار گیرد و میزان تغییرات این پارامترها و جهت تغییرات آنها، مشخص شود.

روش بررسی

زیرحوضه کوهپایه- سگری بزرگترین زیرحوضه در محدوده حوضه آبریز زاینده‌رود می‌باشد (۱۶). مساحت کل محدوده ۶۸۱۹ کیلومتر مربع است که ۵۳۰۷ کیلومتر مربع آن دشت و بقیه را ارتفاعات تشکیل می‌دهد. متوسط ارتفاع محدوده مورد نظر ۱۵۲۶ متر از سطح دریا برآورد گردیده است. مطابق آمار موجود در منطقه مطالعاتی، تیرماه گرم‌ترین و دی ماه سردترین ماه سال محسوب می‌شود. میانگین بارش ۳۴ ساله منطقه، ۱۱۶/۲ میلی متر تعیین شده است. رودخانه زاینده رود، کانال‌های چپ و راست آبشار و کانال‌های شمالی و جنوبی رودستین، منابع آب سطحی منطقه را تشکیل می‌دهند. در محدوده دشت کوهپایه- سگری دو سفره آب زیرزمینی سطحی و عمقی وجود دارد که لایه مارنی غیرقابل نفوذی آن‌ها را از یکدیگر مجزا می‌سازد. این دو سفره به همراه چاه‌ها، چشمه‌ها و قنوات موجود، منابع آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی را تشکیل می‌دهند. منابع تغذیه سفره سطحی، نفوذ از کف رودخانه زاینده‌رود، بارندگی بر سطح آبخوان، باران باریده بر سطح ارتفاعات، انتقال جریان آب زیرزمینی از آبخوان‌های مجاور و آب برگشتی حاصل از آبیاری سطوح زیر کشت می‌باشد. تغذیه آبخوان عمقی نیز از طریق انتقال جریان آب زیرزمینی از آبخوان محدوده اصفهان- برخوار صورت می‌گیرد (۱۷).

در این بررسی از داده‌های کیفی نمونه برداری شده ۴۶ حلقه چاه واقع در دشت کوهپایه - سگری مربوط به دوره آماری ۱۳۸۹-



$$f(x,y) = \sum_{j=1}^n a_j E(P_{x-x_j, y-y_j, P}) + b_0 + b_1 x + b_2 y \quad (2)$$

که در آن، $\| \cdot \|$: بیانگر طول بردار، x و y : متغیرهای مکانی، (x_j, y_j) : مختصات مکانی زمین نقطه مشاهداتی پارامتر Z_j و E یک RBF می باشد. b_0, b_1, b_2, a_j ضرایبی هستند که باید تعیین شوند تا تابع f به طور صریح مشخص شود. البته ابتدا بایستی تابع RBF (E) مشخص شود (۱۸).

روش کریجینگ (Kriging)

کریجینگ اولین بار در سال ۱۹۵۱ توسط Krige (۴) برای تخمین رگه‌های طلای معادن در آفریقای جنوبی استفاده شد (۱۹).

کریجینگ بهترین تخمین گر خطی ناریب است و عاری از خطای سیستماتیک می باشد. همچنین واریانس تخمین نیز در آن حداقل می باشد، بنابراین:

$$E[Z(X_i) - Z^*(X_i)] = 0 \quad (3)$$

که در آن، $Z(X_i)$: مقدار مشاهده شده متغیر در نقطه i ام با مختصات معلوم، $Z^*(X_i)$: مقدار تخمینی در همان نقطه i ام و E : امید ریاضی است.

رابطه فوق را می توان به صورت زیر نوشت:

$$E\left[Z(X_i) - \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(X_i)\right] = 0 \quad (4)$$

که در آن، λ_i : وزن داده‌های مشاهده‌ای می باشد. با انجام عملیات ریاضی، خواهیم داشت:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (5)$$

بنابراین شرط ناریبی کریجینگ بیانگر آن است که مجموع ضرایب وزنی تخمین باید مساوی واحد باشد. شرط دیگر در

روش عکس فاصله وزنی (Inverse Distance Weighting)

از مهمترین روش‌های درون‌یابی، روش عکس فاصله وزنی (IDW) می باشد. در این روش، وزن نقاط نمونه بر روی نقطه مجهول بر اساس فاصله بین نقاط معلوم و نقطه مجهول، محاسبه می شود. این اوزان توسط توان وزن‌دهی کنترل می شوند، بطوریکه توان‌های بزرگتر، اثر نقاط دورتر از نقطه مجهول را کاهش می دهند و توان‌های کوچکتر وزن‌ها را با طول یکنواخت‌تری بین نقاط همسایه، توزیع می کنند. معادله زیر چگونگی محاسبه اوزان در این روش را نشان می دهد:

$$\lambda_i = \left(\frac{D_0}{D_i}\right)^\alpha - 1 \quad (1)$$

که در آن، λ_i : وزن نقطه نمونه i ام، D_i : فاصله بین نقطه نمونه i ام و نقطه مجهول، α : توان وزن دهی و D_0 : شعاع همسایگی می باشد.

نکته‌ای که در این روش وجود دارد این است که به نقاط دارای فاصله یکسان از نقطه مورد نظر، وزن یکسان داده می شود و موقعیت و آرایش آنها در نظر گرفته نمی شود (۱۸).

روش توابع شعاع محور (Radial Basis Functions)

روش توابع شعاع محور (RBF) می تواند روی داده‌های دارای نویز که بطور نامنظم در یک منطقه پخش شده‌اند، اعمال شده و یک درون‌یابی چندمتغیره هموار روی داده‌ها انجام دهد. این روش یک تابع $f(x,y)$ را می یابد که نه تنها از تمامی داده‌های موجود می گذرد، بلکه مقدار یک تابع انحناء که میزان هموار بودن تابع $f(x,y)$ را می سنجد، را نیز کمینه می کند. در روش RBF، تابعی که میزان تابع انحناء برای آن مینیمم می شود، به شکل عمومی زیر می باشد و تفاوت روش‌های مختلف RBF در نحوه تعریف تابع RBF (E) در رابطه ۲، می باشد.



متغیر مشاهده شده و $Y(X_k)$: متغیر کمکی می‌باشند. در این پژوهش از فاصله چاه‌ها تا رودخانه زاینده‌رود به عنوان متغیر کمکی استفاده شده است (۱۸).

یافته‌ها

در این بررسی پهنه‌بندی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی دشت کوهپایه - سگری اصفهان برای بررسی تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب زیرزمینی و با در نظر گرفتن دوره آماری ۱۳۸۹-۱۳۷۴ با استفاده از روش‌های زمین‌آماري و قطعی، انجام شده است. برای نیل به این هدف ابتدا نرمال بودن داده‌ها با آزمون آماری کولموگراف-اسمیرنوف از بسته نرم افزاری SPSS ۱۶ بررسی شده است.

نتایج به دست آمده نشان داد که کلیه پارامترهای مورد نظر نرمال بوده‌اند. سپس واریوگرام داده‌ها به منظور تشریح پیوستگی مکانی و بررسی روند، ایستایی و همگنی داده‌ها، ترسیم شده است. نتایج حاصل از بررسی واریوگرام داده‌ها بیانگر نرمال بودن داده‌ها، وجود پیوستگی مکانی در داده‌ها، عدم وجود روند در داده‌ها، ایستا بودن آنها و همگن بودن محیط است که امکان استفاده از روش‌های زمین‌آماري را فراهم می‌کند. بعد از تشخیص تناسب داده‌ها، برای هر سال دوره آماری، چهار روش زمین‌آماري و قطعی کریجینگ و کوکریجینگ، تابع شعاع محور و معکوس فاصله وزنی، با در نظر گرفتن توابع و توان‌های مختلف موجود در هر یک از روش‌ها، ارزیابی شده (جدول‌های ۱ الی ۳) و در نهایت برای هر سال بر اساس کمترین میزان RMSE، روش و تابع مناسب انتخاب شده است.

(جدول ۴). در نهایت نقشه‌های پهنه‌بندی پارامترهای مورد نظر در

روش کریجینگ این است که واریانس تخمین باید حداقل باشد. اعمال این شرط به حل معادله ماتریسی زیر منتهی می‌شود:

$$AX=BPX=A^{-1}.B \quad (۶)$$

که در آن، A: ماتریس γ_{ij} ، مقدار مدل نیم تغییرنا بین نمونه‌های i و j، B: ماتریس γ_{0i} ، مقدار مدل نیم تغییرنا بین نقطه مجهول و نقاط نمونه i، X: ماتریس ضرایب و λ_i : وزن نمونه i ام برای تخمین نقطه مجهول، است (۱۸).

در استفاده از این تخمین‌گر، متغیر Z، باید توزیع نرمال داشته باشد، در غیر این صورت باید از کریجینگ غیرخطی استفاده کرد و یا با بهره‌گیری از تبدیل‌های آماری، توزیع متغیر را نرمال نمود (۲۰).

روش کوکریجینگ (Co-Kriging)

همانطور که در آمار کلاسیک نیز روش‌های چند متغیره وجود دارد، در زمین‌آمار نیز می‌توان با روش کوکریجینگ که بر اساس همبستگی بین متغیر اصلی و یک متغیر کمکی استوار است، به تخمین متغیر اصلی پرداخت. معادله کوکریجینگ به شرح زیر می‌باشد:

$$Z^*(X_i) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot Z(X_i) + \sum_{k=1}^n \lambda_k \cdot U(X_k) \quad (۷)$$

که در آن، λ_i : وزن مربوط به متغیر Z در موقعیت X_i ، λ_k : وزن مربوط به متغیر کمکی U در موقعیت X_k ، $U(X_k)$: مقدار مشاهده‌ای متغیر کمکی در موقعیت X_k ، است.

محاسبه نیم تغییرنا متقابل ۱ برای محاسبه اوزان به صورت زیر می‌باشد:

$$(h) = \frac{1}{2} n [Z(x_i+h) - Z(x_i)] \times [Y(x_k+h) - Y(x_i)] \quad (۸)$$

که در آن، $\gamma_{zy}(h)$: نیم تغییرنا متقابل بین متغیر Z و Y، $Z(x_i)$:



در روش عکس فاصله وزنی نیز توان‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است.

معیار انتخاب بهترین تابع، توان و در نهایت روش درونیابی بر اساس کمترین میزان RMSE بوده است. بر اساس نتایج به دست آمده برای پارامتر سدیم در طول دوره آماری (جدول ۱)، توان یک در روش IDW، تابع Inverse Multiquadric در روش RBF و تابع Gaussian در روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ، در اکثر سال‌های دوره آماری مورد بررسی، کمترین میزان RMSE را داشته‌اند.

محیط نرم افزاری ArcGIS ۹/۳ رسم شده است (شکل‌های ۲ الی ۴). همانگونه که ذکر شد، در این تحقیق، چهار روش زمین-آماري و قطعی مورد بررسی قرار گرفته است، هر کدام از این روش‌ها دارای توابع و توان‌های مختلفی هستند که میزان خطا در هر کدام از آنها متفاوت است. توابع مورد بررسی در روش کریجینگ و کوکریجینگ شامل Spherical، Circular، Exponential و Gaussian و در روش توابع شعاع محور شامل Spline With Completely Regularized Spline، Thin Inverse Multiquadric، Multiquadric، Tension Plate Spline می‌باشد.

جدول ۱: میزان خطای روش‌های مورد بررسی برای ارزیابی پارامتر سدیم بر اساس RMSE کمتر

کو کریجینگ	کریجینگ	RBF	IDW	Na
خطا	تابع ^۲	خطا	تابع ^۱	سال
۱۶/۸۸	۲	۱۶/۹۸	۴	۱۳۷۴
۲۰/۴۸	۴	۲۰/۴۲	۴	۱۳۷۵
۱۸/۹۱	۱	۱۸/۹۹	۱	۱۳۷۶
۲۰/۴۲	۱	۲۰/۰۵	۴	۱۳۷۷
-	-	-	-	۱۳۷۸
-	-	-	-	۱۳۷۹
۲۲/۰۵	۳	۲۱/۹۲	۳	۱۳۸۰
۱۷/۷۳	۲	۱۶/۹۴	۴	۱۳۸۱
۱۸/۹۴	۴	۱۸/۹۷	۴	۱۳۸۲
۳۱/۳۹	۲	۳۱/۵۸	۱	۱۳۸۳
۱۹/۸۸	۴	۱۹/۸	۴	۱۳۸۴
۲۵/۶۲	۴	۲۶/۰۴	۱	۱۳۸۵
۲۳/۷۴	۱	۲۳/۸۹	۲	۱۳۸۶
۲۴/۲۸	۳	۲۳/۵۷	۳	۱۳۸۷
۲۰/۷۰	۴	۲۰/۷۸	۴	۱۳۸۸
۲۳/۹۷	۴	۲۳/۲۵	۴	۱۳۸۹

۱- توابع روش RBF. ۱. Completely Regularized Spline. ۲. Spline With Tension. ۳. Multiquadric. ۴. Inverse Multiquadric. ۵. Thin Plate Spline.

۲- توابع روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ. ۱. Circular. ۲. Spherical. ۳. Exponential. ۴. Gaussian.



جدول ۲: میزان خطای روش‌های مورد بررسی برای ارزیابی پارامتر کل مواد جامد محلول بر اساس RMSE کمتر

کو کریجینگ		کریجینگ		RBF		IDW		TDS
خطا	تابع	خطا	تابع	خطا	تابع	توان	خطا	سال
۱۸۱۲	۲	۱۸۳۰	۴	۱۸۰۹	۴	۱/۱۷e-۳۸	۱۸۷۶	۱۳۷۴
۱۹۲۴	۴	۱۹۳۵	۱	۱۸۸۹	۴	۹۹۶/۲۳	۱۸۶۴	۱۳۷۵
۱۷۴۳	۳	۱۷۵۰	۱	۱۷۰۰	۲	۰/۰۱	۱۶۸۳	۱۳۷۶
۲۰۴۶	۱	۲۱۵۰	۳	۲۱۶۵	۴	۱۳۴۵/۳	۲۱۵۸	۱۳۷۷
-	-	-	-	-	-	-	-	۱۳۷۸
-	-	-	-	-	-	-	-	۱۳۷۹
۱۶۹۵	۳	۱۷۵۷	۳	۱۶۸۷	۳	۰	۱۳۸۶	۱۳۸۰
۲۵۴۳	۲	۲۵۹۲	۴	۲۴۸۹	۴	۹/۸۱	۲۵۵۷	۱۳۸۱
۲۰۱۶	۱	۱۹۷۷	۴	۱۹۲۰	۴	۱/۱۷e-۳۸	۱۹۸۶	۱۳۸۲
۳۲۹۸	۲	۳۳۲۷	۴	۳۳۳۶	۴	۱/۱۷e-۳۸	۳۳۳۹	۱۳۸۳
۲۷۲۶	۴	۲۷۲۵	۴	۲۷۴۱	۴	۱/۱۷e-۳۸	۲۸۰۸	۱۳۸۴
۳۳۰۲	۱	۳۳۳۵	۲	۳۳۷۴	۴	۲۹۱/۵۸	۳۳۴۵	۱۳۸۵
۲۷۳۱	۴	۲۲۲۵	۴	۲۶۵۷	۴	۲۰۸/۸۴	۲۶۷۳	۱۳۸۶
۲۸۹۲	۳	۲۸۹۲	۳	۲۸۵۲	۴	۱۰۹۰/۳	۲۷۹۶	۱۳۸۷
۲۶۹۲	۱	۲۷۱۵	۲	۲۸۰۹	۱	۰/۰۲	۲۷۴۱	۱۳۸۸
۲۹۱۴	۳	۲۹۰۷	۲	۳۰۰۰	۱	۰/۰۱	۲۹۷۱	۱۳۸۹

جدول ۳: میزان خطای روش‌های مورد بررسی برای ارزیابی پارامتر هدایت الکتریکی بر اساس RMSE کمتر

کو کریجینگ		کریجینگ		RBF		IDW		EC
خطا	تابع	خطا	تابع	خطا	تابع	توان	خطا	سال
۳۰۳۱	۱	۳۰۵۵	۴	۲۹۶۷	۴	۱/۱۷e-۳۸	۳۰۱۲	۱۳۷۴
۲۷۷۷	۴	۲۷۹۴	۴	۲۷۲۴	۴	۹۴۹/۸۸	۲۶۹۰	۱۳۷۵
۲۸۴۱	۳	۲۸۵۹	۲	۲۷۸۲	۲	۰/۰۱	۲۷۴۲	۱۳۷۶
۲۹۹۶	۲	۳۰۸۷	۳	۳۱۲۰	۴	۱۳۴۹/۴	۳۱۳۳	۱۳۷۷
۳۳۸۹	۴	۳۳۸۸	۴	۳۴۱۷	۲	۰/۰۱	۳۴۰۷	۱۳۷۸
۴۰۸۶	۴	۴۰۹۲	۴	۴۰۹۰	۴	۱/۱۷e-۳۸	۴۱۰۶	۱۳۷۹
۲۴۱۷	۳	۲۵۰۶	۳	۲۴۰۲	۳	۰	۱۹۷۲	۱۳۸۰
۳۶۳۱	۲	۳۷۰۱	۴	۳۵۵۴	۴	۱۱/۴۱	۳۶۵۱	۱۳۸۱
۲۸۷۶	۱	۲۸۲۱	۴	۲۷۴۱	۴	۱/۱۷e-۳۸	۲۸۳۴	۱۳۸۲
۴۷۱۶	۲	۴۷۵۸	۴	۴۷۶۶	۴	۱/۱۷e-۳۸	۴۷۷۲	۱۳۸۳
۳۸۹۳	۴	۳۸۹۰	۴	۳۹۱۳	۴	۱/۱۷e-۳۸	۴۰۰۹	۱۳۸۴
۴۷۱۹	۱	۴۷۹۶	۱	۴۸۲۱	۴	۲۸۹/۹۹	۴۷۸۰	۱۳۸۵
۳۹۰۰	۴	۳۸۹۱	۴	۳۷۹۴	۴	۲۱۱/۹۵	۳۸۱۶	۱۳۸۶
۴۱۳۱	۳	۴۱۳۱	۳	۴۰۷۲	۴	۱۰۹۰/۴	۳۹۹۳	۱۳۸۷
۳۸۴۴	۱	۳۸۷۸	۲	۴۰۱۱	۱	۰/۰۲	۳۹۱۴	۱۳۸۸
۴۱۶۲	۳	۴۱۵۱	۲	۴۲۸۳	۱	۰/۰۱	۴۲۴۳	۱۳۸۹



RBF و تابع Gaussian در روش کریجینگ در اکثر سالها کمترین میزان RMSE را داشته‌اند.

در مورد روش کوکریجینگ نیز، تابع خاصی برجسته تر از دیگر توابع نبوده است. در نهایت، برای هر سال آماری، چهار روش مورد بررسی با هم مقایسه شده است و بهترین روش برای هر سال بر اساس کمترین میزان RMSE، انتخاب شده است.

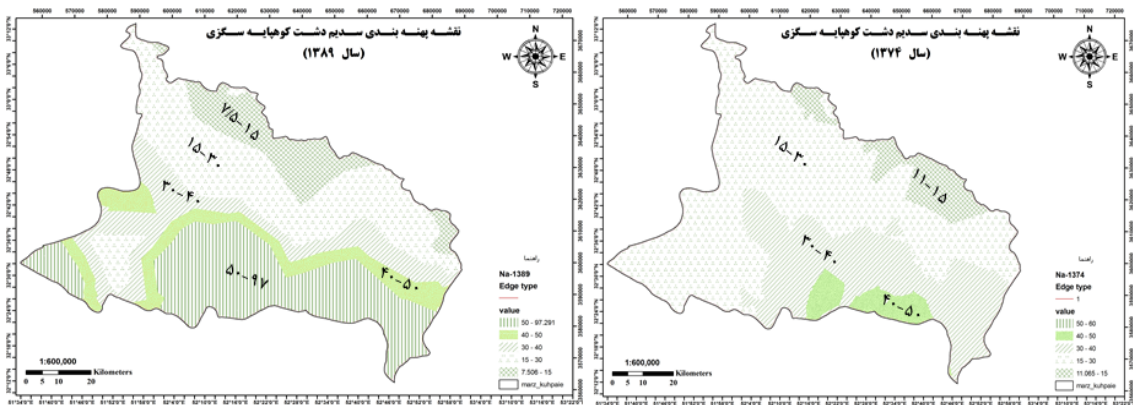
پس از تعیین بهترین روش برای درون‌یابی پارامترهای مورد نظر، نقشه‌های پهنه بندی با استفاده از بهترین روش مشخص شده در جدول ۴، در محیط نرم افزاری ArcGIS ۹/۳، تهیه شده است.

نتایج به دست آمده برای ارزیابی پارامتر کل مواد جامد محلول در جدول ۲، نشان داده شده است. برای این پارامتر نیز، توان یک در روش IDW، تابع Inverse Multiquadric در روش RBF و تابع Gaussian در روش کریجینگ، در اکثر سالها، نتایج بهتری داشته‌اند، اما در روش کوکریجینگ، تابع خاصی نتایج برجسته تری نسبت به دیگر توابع نداشته است.

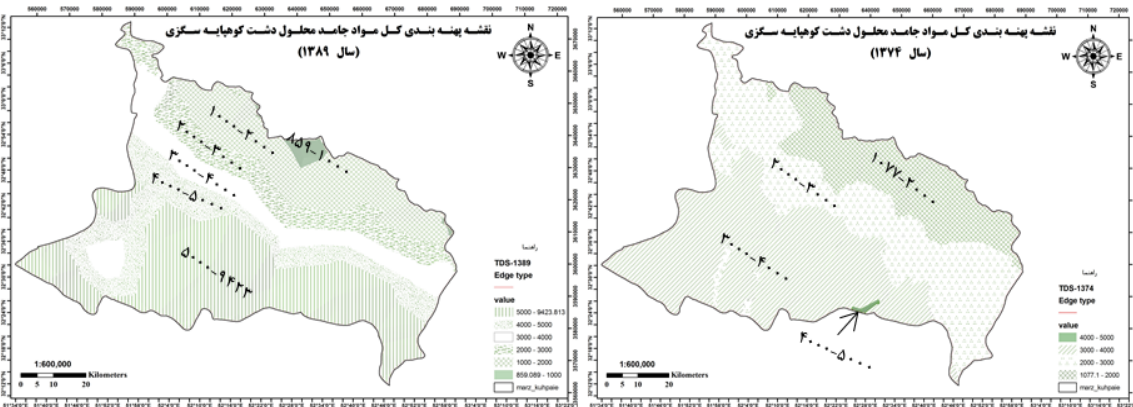
نتایج به دست آمده حاصل از ارزیابی پارامتر هدایت الکتریکی (جدول ۳) در طول دوره آماری نیز نشان می‌دهد که توان یک در روش IDW، تابع Inverse Multiquadric در روش

جدول ۴: انتخاب بهترین تابع، توان و روش درون‌یابی برای هر سال دوره آماری بر اساس RMSE کمتر

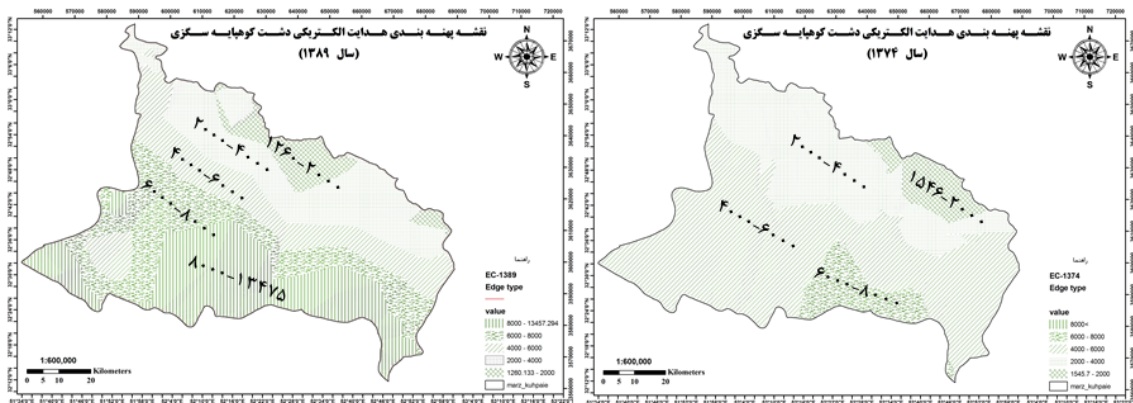
EC		TDS		Na		سال
تابع (یا توان)	روش	تابع (یا توان)	روش	تابع (یا توان)	روش	
۴	RBF	۴	RBF	۴	RBF	۱۳۷۴
۱	IDW	۱	IDW	۴	RBF	۱۳۷۵
۱/۴۵	IDW	۱/۳۹	IDW	۱/۰۹	IDW	۱۳۷۶
بیضوی	کوکریجینگ	کروی	کوکریجینگ	گوسی	کریجینگ	۱۳۷۷
گوسی	کریجینگ	-	-	-	-	۱۳۷۸
گوسی	کوکریجینگ	-	-	-	-	۱۳۷۹
۶/۲	IDW	۶/۱۸	IDW	۳/۱۴	IDW	۱۳۸۰
۴	RBF	۴	RBF	گوسی	کریجینگ	۱۳۸۱
۴	RBF	۴	RBF	۴	RBF	۱۳۸۲
بیضوی	کوکریجینگ	بیضوی	کوکریجینگ	بیضوی	کوکریجینگ	۱۳۸۳
گوسی	کریجینگ	گوسی	کریجینگ	گوسی	کریجینگ	۱۳۸۴
کروی	کوکریجینگ	کروی	کوکریجینگ	گوسی	کوکریجینگ	۱۳۸۵
۴	RBF	گوسی	کریجینگ	۴	RBF	۱۳۸۶
۱/۵۱	IDW	۱/۵۱	IDW	۱/۸۱	IDW	۱۳۸۷
کروی	کوکریجینگ	کروی	کوکریجینگ	گوسی	کوکریجینگ	۱۳۸۸
بیضوی	کریجینگ	بیضوی	کریجینگ	گوسی	کریجینگ	۱۳۸۹



شکل ۲: نقشه پهنه بندی سدیم



شکل ۳: نقشه پهنه بندی کل مواد جامد محلول در آب



شکل ۴: نقشه پهنه بندی هدایت الکتریکی

از مناطق جنوبی دشت به خصوص نواحی اطراف رودخانه زاینده‌رود، ظاهر شده است. همین مسئله در مورد پارامتر کل مواد جامد محلول نیز صدق می‌کند. در مورد TDS (mg/lit) (شکل ۳) طبقه بیش از ۵۰۰۰، در سال ۱۳۷۴ در منطقه وجود نداشته است اما در سال ۱۳۸۹، بخش وسیعی از مناطق جنوبی

در شکل ۲، نقشه‌های پهنه بندی میزان سدیم در سال‌های ۱۳۷۴ و ۱۳۸۹، ارائه شده است. در مورد Na (mg/lit)، در سال ۱۳۷۴ طبقه بیش از ۵۰ وجود نداشته و طبقه ۴۰ - ۵۰ در سطح کمی از دشت در اطراف شهرهای پایانی مسیر زاینده‌رود، وجود داشته است، اما در سال ۱۳۸۹، طبقه بیش از ۵۰ در سطح وسیعی



IDW با توان یک، فیضی و همکاران (۱۳۹۰) روش کریجینگ جهانی، شیخ گودرزی و همکاران (۱۳۹۱) روش کوکریجینگ را به عنوان مناسبترین روش برای درون یابی متغیر مورد نظر و در منطقه مطالعاتی ویژه‌ای، معرفی کرده‌اند، لذا لازم است که برای هر منطقه و هر متغیر، بررسی‌های جداگانه انجام گرفته تا یک روش مناسب برای منطقه مورد نظر و پارامتر مورد بررسی، حاصل گردد.

تغییر در کیفیت آب‌های زیرزمینی معمولاً در اثر مدیریت غلط استحصال رخ می‌دهد. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که کیفیت آب زیرزمینی دشت کوهپایه - سگزی اصفهان در سال ۱۳۸۹ نسبت به سال ۱۳۷۴، کاهش چشمگیری پیدا کرده است (کاهش حدود ۴۰ درصدی کیفیت آب). نکته مشترک در مورد هر سه پارامتر مورد بررسی، افزایش چشمگیر مقادیر آنها در منطقه جنوبی دشت کوهپایه - سگزی است. این قسمت در حاشیه رودخانه زاینده رود واقع شده است و همانگونه که در شکل‌ها (شکل‌های ۵-۳) نشان داده شده است، بیشترین مقادیر افت کیفیت آب مربوط به همین قسمت می‌باشد که به صورت کانون‌های بحرانی ظاهر شده است. این در حالی است که مقادیر این سه پارامتر در نواحی شمالی و شرقی دشت که در فاصله دورتری از رودخانه زاینده‌رود قرار گرفته‌اند، در سال ۱۳۸۹ نسبت به سال ۱۳۷۴، تفاوت قابل ملاحظه‌ای نداشته است و این خود گواه بر نقش مؤثر این رودخانه بر منابع آبی این دشت است. در سال‌های اخیر به علت خشکسالی‌های متعدد، برداشت‌های بی‌رویه از آب زیرزمینی، تغییرات کاربری اراضی در مناطق بالادست رودخانه، احداث صنایع سنگین در مجاورت رودخانه و انتقال آب به مناطق مختلف، آورد رودخانه زاینده رود به مناطق انتهایی بسیار کاهش یافته و گاهی به صفر

دشت را در بر گرفته است. طبقه ۵۰۰۰ - ۴۰۰۰، در سال ۱۳۷۴ در وسعت بسیار کمی در اطراف شهر ورزنه، پدیدار شده بود، در حالیکه در سال ۱۳۸۹ به سمت شمال و شرق دشت توسعه پیدا کرده است.

شکل ۴، پهنه‌بندی EC ($\mu\text{mhos/cm}$) را در دو سال ۱۳۷۴ و ۱۳۸۹، نشان می‌دهد، همانگونه که در شکل نیز مشخص شده است، طبقه EC بیش از ۸۰۰۰، در سال ۱۳۷۴ در منطقه مطالعاتی وجود نداشته است، طبقه ۸۰۰۰ - ۶۰۰۰ در سطح کوچکی از دشت وجود داشته و طبقه ۶۰۰۰ - ۴۰۰۰، حداکثر وسعت منطقه را در بر گرفته است. این در حالی است که در سال ۱۳۸۹، طبقه بیش از ۸۰۰۰، بخش‌های وسیعی از مناطق جنوبی دشت کوهپایه - سگزی را در بر گرفته است. طبقه ۸۰۰۰ - ۶۰۰۰ افزایش قابل توجهی یافته و به سمت نواحی غربی دشت، توسعه پیدا کرده است. طبقه ۶۰۰۰ - ۴۰۰۰ نیز به سمت نواحی شمالی و شرقی دشت، کشیده شده و از وسعت آن کاسته شده است.

بحث و نتیجه گیری

همانگونه که در جدول ۴ نیز دیده می‌شود برای هر سال و هر پارامتر روشی خاصی با تابع یا توانی خاص، بهترین نتیجه را دارد و روند منظمی در آنها وجود ندارد، اما در سال‌های بعد از سال ۱۳۸۳، روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ، نتایج بهتری نسبت به دیگر روش‌ها داشته‌اند.

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 به راحتی به منطقه‌ای دیگر تعمیم داد.

مثلاً رضایی و همکاران (۱۳۸۹) روش کریجینگ معمولی و



عاملی برای کاهش هرچه بیشتر کیفیت آب زیرزمینی منطقه می باشد.

تشکر و قدردانی

نگارندگان بر خود لازم می دانند تا از کارمندان شرکت آب منطقه ای اصفهان به علت در اختیار نهادن داده های لازم، نهایت تشکر و قدردانی را اعلام دارند.

نیز می رسد. ادامه این روند شرایط بحرانی را برای کلیه نقاط دشت رقم خواهد زد. لازم به ذکر است که شغل اکثر ساکنین این دشت، کشاورزی می باشد که تنها منبع درآمد اکثر آنان است. این شرایط باعث کاهش سطح زیر کشت، کاهش بازدهی زمین های کشاورزی و در نتیجه فقر شدیدتر مردم منطقه خواهد شد و روند مهاجرت از منطقه را افزایش خواهد داد. از طرفی، ادامه روند کنونی فشار را بر سفره ها افزایش خواهد داد که خود

References

- 1-Rostami Khalaj M, Mohseni Saravi R, Afsharnia R, et al. Monitoring of spatial distribution groundwater quality using geostatistical techniques, case study, the city of Mashhad. 7th National Seminar on Watershed Management Sciences and Engineering. 2011 Apr: 6. Isfahan, Iran. [Persian]
- 2-Marofi S, Toranjeyan A, Zare Abyaneh H. Evaluation of geostatistical methods for estimating electrical conductivity and pH of stream drained water in Hamedan-Bahar Plain. Journal of Water and Soil Conservation 2009; 16(2):169-87. [Persian]
- 3-Haji Hashemi Jazy MR, Atashgahi M, Hamidian AH. Mapping the spatial distribution of groundwater contamination, tools to manage water resources. 7th National Seminar on Watershed Management Sciences and Engineering. 2011 Apr:9. Isfahan, Iran. [Persian]
- 4-Krige DG. Lognormal-de wijsian geostatistics for ore evaluation. 2nd ed. South African: Institute of Mining and Metallurgy; 1981: 23-50.
- 5-Chandraskharan H, Sarangi A, Nagarajan M, et al. Variability of soil-water due to Tsunami-2004 in the coastal belt of Nagapattinam district, Tamilnadu, Journal of Environmental Management 2008; 89 (1): 63-72.
- 6-Yang X, Jin W. GIS-based spatial regression and prediction of water quality in river networks, a case study in Iowa. Journal of Environmental Management 2010;91(10): 1943-51.
- 7-Baalousha H. Assessment of a groundwater quality monitoring network using vulnerability mapping and geostatistics, a case study from Heretaunga Plains, New Zealand. Journal of Agricultural Water Management 2010; 97 (2): 240-6.



- 8-Huang J, Xu J, Liu X, et al. Geospatial Based Assessment of Spatial Variation of Groundwater Nitrate Nitrogen in Shandong Intensive Farming Regions of China. *Journal of Sensor Letters* 2012; 10 (1-2): 491-500.
- 9-Habibi Arbatani V, Ahmadi A, Fattahi M. Modeling change spatial some of the chemical characteristics groundwater resources by geostatistical methods, *Journal of Iran-Watershed Management Science & Engineering* 2009;3(7): 23-34. [Persian]
- 10-Rezaei M, Davatgar N, Tajdari Kh, et al. Investigation the spatial variability of some important groundwater quality factors in Guilan, *Iran Journal of Water & Soil* 2010; 24 (5): 932-41. [Persian]
- 11-Taefeh N. Determine the most appropriate method for mapping changes in TDS, pH and EC of groundwater in the Mazandaran Plain. *Journal of New Finding in Applied Geology* 2010; 8: 36-43.
- 12-Feyzi MJ, Feyznia S, Zare M, et al. Assessing Spatial changes of groundwater using the Geographic Information System, case study, Birjand Plain in Khorasan Jonoobi. 7th National Seminar on Watershed Management Sciences and Engineering. 2011 Apr:10. Isfahan, Iran. [Persian]
- 13-Qomeyshiun M, Malekiyan A. Assessing Spatial and temporal changes of groundwater quality using geostatistical methods and influence of Semnan and Abgarm river on the its quality. 7th National Seminar on Watershed Management Sciences and Engineering. 2011 Apr:6 . Isfahan, Iran. [Persian]
- 14-Abdolahi Mansorkhani M, Mohammadzadeh H, Amini M. Assessing of spatial changes nitrate in the Shahrekord aquifer using geostatistical methods National conference on Water flow & Pollution. 2012 May:1-9. Tehran, Iran. [Persian]
- 15-Sheikh Goodarzi M, Mousavi SH, Khorasani N. Simulation spatial changes in groundwater quality factors using geostatistical methods, case study, Tehran- Karaj Plain *Journal of Natural Environmental, Iranian Journal of Natural Resources* 2012; 65 (1): 83-93. [Persian]
- 16-Moslehi Baharanchi A, Safavi HR. Estimate of coefficients of mechanical Dispersion in the uncertainty conditions, case study, Koohpaye- Segzi aquifer in isfahan. 5th National Congress of Civil Engineering. 2010 May:8. Mashhad, Iran. [Persian]
- 17-Esmi Khani M, Safavi H, Yazdanipoor M. Compilation Management of surface water and Groundwater resources by application of Support Vector Machine and Genetic Algorithm Methods, 5th National Congress of Civil Engineering. 2010 May: 8 Mashhad, Iran. [Persian]
- 18-Saghafian B, Rahimi Bandar Abadi S, Danesh Kar Araste P, et al. Guideline of spatial distribution of climatological factors using point data. 1st ed. Islamic Republic of Iran: Vice Presidency For Strategic Planning and Supervision, Bureau of Technical Execution: System; 2008: 29-113. [Persian]



19-Clifton PM, Neuman SP. Effects of kriging and inverse modeling on conditional simulation of the Avra valley aquifer in southern Arizona Journal of Water Resources Research 1982; 18 (4):1215-34.

20-Ghahroodi Tali M. Evaluation of interpolation by kriging method. Journal of Geographic Research 2002; 43:95-108. [Persian]



Modeling Spatial and Temporal Changes in Groundwater Quality in Arid Zones Using Geostatistical Methods(Case Study: Koohpaye– Segzi Plain in Esfahan)

Abbasi Jondani Sh (Former M.S Student)¹, Talebi A (PhD)²

1. MS.c student of Watershed Management, University of Yazd, Iran.

2. Associated Professor, Department of Watershed Management, University of Yazd, Iran.

Abstract

Introduction: Groundwater resources are as one of the most important water resource in arid and semi- arid areas, then protection of their quality is very important. On the other hand, monitoring and evaluating the groundwater quality are complex and expensive, so using interpolation methods look necessary.

Methods: In this research, the spatial and temporal variations of water quality parameters in Koohpaye– Segzi Plain of Esfahan including Ec, TDS and Nain the periods of 1374-1389 were studied and the rate and direction of changes in water quality parameters are specified. First, four the geostatistical and deterministic methods executable in ArcGIS 9.3, including the Kriging, CoKriging, RBF and IDW, were studied. Then the best of function and equation were selected for each of the mentioned methods and the best method for each parameter in each year of data period based on the lowest value of RMSE. Finally zoning maps of parameters in ArcGIS 9.3, was plotted

Results: The result obtained are showed that for each year and parameter specific method with function or power have best result and regular trend are not exist in there. But, in years after 1383, Kriging and CoKriging method have best results than other methods.

Conclusion: The results show that water quality in Koohpaye– Segzi Plain have dramatically reduced in 1389 than in 1374. Most of the changes have been occurred near Zayanderood river, as critical points have been appeared in Southern area of this plain. This show the effective role of Zayanderood river in groundwater aquifer.

Keywords: Zayanderood, Geostatistic Koohpaye – segzi Palins, Interpolation, Groundwater quality.