



بررسی نقشه‌های آنومالی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی (مطالعه موردی: حوضه آبریز جیرفت)

محمد نادریان فر^{۱*}، کرامت نژاد افضلی^۲ و فاطمه بیاتانی^۳

تاریخ ارسال: ۱۳۹۶/۰۱۰/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۰۷

چکیده

آگاهی از تغییرات مکانی پارامترهای کیفی ابزاری مهم در جهت شناخت استعدادهای منطقه و نحوه مدیریت اراضی است. بنابراین در این پژوهش تغییرات مکانی و زمانی پارامترهای EC، SAR، TDS و TH آب زیرزمینی در حوضه آبریز جیرفت با استفاده از روش‌های زمین آماری در طول دوره آماری ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۳ مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. بدین منظور از اطلاعات مربوط به تجزیه و تحلیل ۴۴ حلقه چاه آب در دشت جیرفت که دارای اقلیم بیابانی گرم میانه می‌باشد و بر اساس آخرین نمونه‌گیری سال ۱۳۹۳ به‌دست آمده است استفاده شد. روش‌های زمین‌آماري استفاده‌شده برای پهنه‌بندی پارامترهای ذکر شده شامل کریجینگ معمولی و روش عکس فاصله (IDW) با توان‌های مختلف بود. برای ارزیابی روش‌های زمین آماری از تکنیک ارزیابی متقابل با معیارهای Root Mean Square Error (RMSE)، Mean Bios Error (MBE)، Mean Absolute Error (MAE) و R^2 بین داده‌های واقعی و تخمینی استفاده شد. نتایج رتبه‌بندی معیارهای ارزیابی نشان داد که برای پارامتر EC و TDS روش کریجینگ با مدل کروی و برای SAR و TH روش عکس فاصله با توان به ترتیب ۲ و ۳ دارای کمترین خطا است. بررسی‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که همبستگی مکانی پارامترهای کیفی اشاره‌شده در دشت جیرفت بسیار زیاد است. به‌طوری‌که خطای مدل نیم تغییرنمای داده‌های اندازه‌گیری شده نسبت جذبی سدیم در دوره آماری ۸۴-۱۳۸۳ با اثر قطعه‌ای ۰/۹۷ و دامنه تأثیر ۲۳ کیلومتر برابر ۱۴/۲ درصد و خطای مدل نیم تغییرنما در دوره آماری ۹۴-۱۳۹۳ با اثر قطعه‌ای ۰/۲۳ و دامنه تأثیر ۲۸ کیلومتر برابر ۳/۸ درصد می‌باشد. نتایج نقشه‌های آنومالی پارامترهای کیفی در دشت جیرفت نشان داد که بیشترین تغییرات در قسمت شرقی (مناطق جبالبارز) و شمال غربی (ساردویه) می‌باشد و کمترین تغییرات در بخش‌های جنوبی دشت می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آنومالی، زمین‌آمار، کریجینگ، روش عکس فاصله (IDW)، جیرفت

۱- استادیار و عضو هیئت علمی گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت (× نویسنده مسئول):

(Naderian.mohamad@ujiroft.ac.ir)

۲- استادیار و عضو هیئت علمی گروه جغرافیا، دانشکده علوم پایه، دانشگاه جیرفت

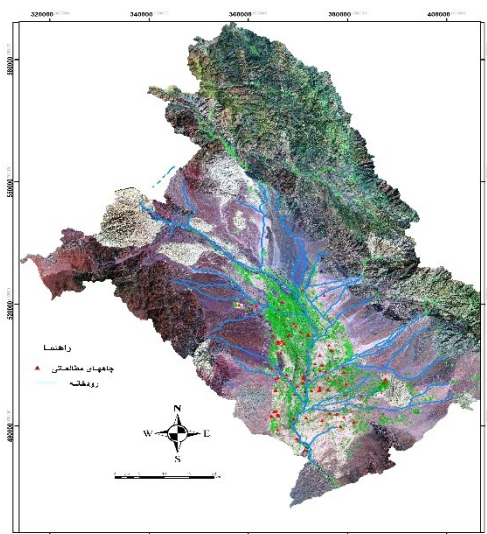
۳- دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی دانشگاه حکیم سبزواری



مقدمه

آگاهی از تغییرات مکانی پارامترهای کیفی آبیاری مهم در جهت شناخت استعدادهای منطقه و نحوه مدیریت اراضی است. در این بین استفاده از همه‌ی پارامترهای کیفی می‌تواند آبیاری سازنده جهت تصمیم‌گیری در مواقع بحرانی برای مسئولین باشد (تاهبوب و همکاران، ۲۰۰۷). همچنین امروزه یکی از مهم‌ترین مسائلی که محیط‌زیست را تهدید می‌کند، آلودگی آب‌های زیرزمینی می‌باشد که از طریق فعالیت‌های انسانی از جمله فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و ... ایجاد می‌شود، لذا کیفیت آب از مهم‌ترین عواملی است که باید به هنگام ارزیابی توسعه‌ی یک منطقه مورد بررسی قرار گیرد (کوردوبا و همکاران، ۲۰۱۰). تحقیقات زیادی مربوط به بررسی تغییرات مکانی پارامترهای کیفی در دنیا و ایران صورت گرفته است از جمله آگالی و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی تغییرات مکانی پارامترهای کیفی با استفاده از مدل IDW در منطقه Dema لیبی پرداختند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد برخی از پارامترهای شیمیایی بالاتر از حد مجاز آب آشامیدنی است. نقشه‌های پهنه‌بندی پارامترهای کیفی آب‌های زیرزمینی نشان می‌دهد که مقدار تمام پارامترهای کیفی آب زیرزمینی به جز آهن و pH در شمال و مناطق شمال غربی منطقه مطالعه افزایش یافته است که علت آن آلودگی بالای ناشی از تراکم شهری و جمعیت بالا و افزایش فعالیت‌های انسانی مرتبط در این مناطق است. نادریان فر و همکاران (۱۳۹۱) در تحقیق که بر روی کیفیت آب زیرزمینی دشت جیرفت انجام دادند نشان دادند که افت سطح آب زیرزمینی دشت از عمده عوامل کاهش کیفیت آب زیرزمینی در دشت نیشابور می‌باشد. همچنین از مقایسه روش‌های مختلف زمین آماری برای برآورد هدایت الکتریکی و نسبت جذبی سدیم، مشخص گردید که روش کوکریجینگ مناسب‌ترین روش میان‌یابی در دشت جیرفت می‌باشد.

امروزه روش‌های زمین‌آماري علی‌رغم پیچیدگی‌های آن‌ها به دلیل کاربرد نرم‌افزارهای کامپیوتری قوی نظیر GS⁺ و ARCGIS در شاخه‌های مختلف علوم کاربرد فراوانی دارند. متغیرهای محیطی را با روش‌های گوناگونی پهنه‌بندی می‌کنند که از آن جمله می‌توان روش‌هایی چون کریجینگ، لوگ کریجینگ، کوکریجینگ، منحنی پوش (SPLINE) و عکس فاصله (IDW) را نام برد. منابع گوناگونی به کاربرد این روش‌ها با پارامترهای مختلف متغیرهای محیطی پرداخته‌اند، با این حال هیچ نتیجه‌گیری مدونی برای انتخاب روش مناسب برای متغیرهای محیطی مورد نظر وجود ندارد. رضایی و همکاران (۱۳۸۹) به بررسی تغییرات مکانی برخی شاخص‌های کیفی آب‌های زیرزمینی شامل EC، Na و SAR با استفاده از روش‌های زمین آماری کریجینگ و عکس فاصله با سه توان مختلف (۱، ۲ و ۳) در استان گیلان پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که در مجموع روش کریجینگ با مدل کروی و روش معکوس فاصله با توان یک دقت بیشتری در میان‌یابی پارامترهای کیفی ذکر شده دارد. مصطفی و یوموتا (۱۹۹۸) به تحلیل شوری و هدایت هیدرولیکی خاک‌ها با استفاده از روش‌های زمین آماری پرداختند. آن‌ها با مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده این پارامترها و مقادیر برآورد شده آن‌ها با استفاده از روش کریجینگ و تهیه نقشه‌های هم‌مقدار پارامترهای ذکر شده به این نتیجه رسیدند که روش کریجینگ، نقشه‌های منطقی‌تری را برای مطالعات پروژه‌های زهکشی فراهم می‌کند. آزمون‌های زمین آماری برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی جهت ارزیابی خطرات شوری بسیار مورد استفاده قرار گرفته‌اند (حسینی و همکاران، ۱۹۹۴)؛ اوده و همکاران، (۱۹۹۸)؛ سمرا و همکاران، (۱۹۸۸)؛ سیلا و همکاران، (۱۹۹۵) و ونگ و همکاران (۱۹۹۹)، از روش‌های زمین آماری برای بررسی تغییرات مکانی هدایت هیدرولیکی در خاک‌های شور استفاده کردند. در مجموع جمع‌بندی آن‌ها نشان می‌-



شکل (۱) نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

دشت جیرفت از اطراف توسط کوه‌های جبال بارز در شرق و شمال شرقی، بحرآسمان از شمال، نرمان و بانه هورا از غرب احاطه شده است؛ و به صورت یک فرورفتگی از مواد آبرفتی پر شده است که ضخامت آن در بخش‌های مرکزی به ۳۰۰ متر می‌رسد. دشت جیرفت جزئی از حوزه رسوبی ایران مرکزی محسوب می‌شود. این دشت، محل تمرکز نهشته‌های بالادست می‌باشد که در حقیقت متناسب با رشته‌های کوهستانی اطراف به شمار می‌آیند.

زمین‌شناسی

از نظر زمین‌شناسی، دشت جیرفت جزئی از حوضه ساختاری رسوبی ایران مرکزی است که رشته کوه‌های بارز با امتداد شمال غربی- جنوب شرقی این حوضه را از حوضه کویر جدا می‌سازد و بخشی از کمربند آتشفشانی بزمان- سهند را تشکیل می‌دهد.

حاشیه شمال و شرق دشت جیرفت توسط سنگ- های آذرین (گرانیت، گرانودیوریت و دیوریت)، رسوبات آبرفتی و مخروط افکنه‌های کواترنری مشخص می‌شود. در حاشیه غربی، مخروط افکنه‌های جوان دوران کواترنر

دهد که روش مناسب زمین آماری در برآورد یک متغیر، به نوع متغیر و عوامل منطقه‌ای تأثیرگذار بر آن بستگی دارد و نمی‌توان روش منتخب در یک منطقه را به سایر مناطق تعمیم داد. با توجه به اهمیت وضعیت کیفیت آب زیرزمینی به‌ویژه در منطقه مورد مطالعه تحقیق حاضر (دشت جیرفت) از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است، لذا ابتدا با استفاده از نرم‌افزارهای GS^+ و ARCGIS تغییرات مکانی پارامترهای هدایت الکتریکی (EC)، نسبت جذب سدیم (SAR)، کل مواد جامد محلول (TDS) و سختی کل (TH) در طول دو دوره آماری ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۳ مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه به بررسی نقشه‌های آنومالی پارامترهای نامبرده پرداخته شد تا شدت تغییرات پارامترهای کیفی در بازه زمانی ۱۰ ساله مشخص شود. در نهایت تغییرات زمانی پارامترهای کیفی در دشت جیرفت مورد بررسی قرار گرفته و به تحلیل دلایل آن پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

موقعیت محدوده مورد مطالعه

دشت جیرفت (شکل ۱) میان ارتفاعات جبالبارز، بحر آسمان و اسفندقه واقع شده است. در این دشت شهرستان‌های جیرفت و عنبرآباد واقع هستند که از شمال به شهرستان کرمان، از شمال غرب و غرب به شهرستان بافت، از جنوب به شهرستان کهنوج و از شرق و شمال شرقی به شهرستان بزم محدود می‌شود و در مختصات ۲۸° و ۲۰° عرض جغرافیایی قرار گرفته‌اند.



رودخانه از میان این دشت، از سوی دیگر باعث شکل-گیری تراکم سکونت‌گاه‌های بزرگ و کوچک فراوانی با معیشت کشاورزی در این اراضی گردیده است و در این دشت تقریباً تمامی اراضی به زیر کشت رفته است. پویایی اقتصاد کشاورزی مشخصه ویژگی اصلی سکونتگاه‌هایی است که در این اراضی و پهنه حاصلخیز استقرار یافته و زمین‌های زراعی و باغات در محدوده بلافاصله آبادی‌ها واقع شده است. مراکز زیست واقع در این اراضی، از نظر حرکات جمعیتی جزء نقاط مهاجرپذیر شهرستان محسوب می‌شود.

تجزیه و تحلیل‌های زمین آماری

در این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار آرک جی‌آی‌اس ورژن ۱۰/۳ با استفاده از مدل‌های زیر نقشه‌های پهنه‌بندی صورت پذیرفت.

مدل کریجینگ معمولی

یکی از روش‌های استفاده‌شده کریجینگ معمولی است که بهترین تخمینگر خطی نارباب (B.L.U.E) نام‌گرفته است. روش فوق یک روش تخمین زمین آماری است که با استفاده از مقادیر معلوم و یک نیم تغییرنا، مقادیر مجهول را برآورد می‌کند. نیم‌تغییرنا واریانس وابسته به فاصله است که با نماد γ نشان داده می‌شود. اگر واریانس بین نقاطی به فاصله h کوچک باشد نشانه وابستگی بیشتر بین نقاط است. نیم تغییرنا با نماد γ نشان داده می‌شود و به شرح زیر محاسبه می‌گردد (حسنی پاک، ۱۳۷۷):

(۱)

$$2\gamma(h) = \frac{1}{N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i + h) - Z(x_i)]^2$$

که در آن: $\gamma(h)$: مقدار نیم تغییرنا در فاصله (h) ، $Z(x_i + h)$: مقدار مشاهده‌شده متغیر موردنظر که به فاصله h از $Z(x_i)$ قرار دارد، $Z(x_i)$: مقدار مشاهده‌شده متغیر موردنظر، $N(h)$: تعداد جفت نمونه-

و سنگ‌هایی از قبیل ماسه‌سنگ و کنگلومرای نئوژن مشاهده می‌شود. حاشیه جنوبی دشت نیز توسط رسوبات ماسه‌ای و کنگلومرای سست نئوژن مشخص می‌شود. قدیمی‌ترین واحدهای سنگ‌شناسی منطقه شیست‌های سریسیتی همراه با تناوبی از فیلیت و آمفیبولیت به سن احتمالی پرمین تشکیل می‌دهند. نهشته‌های دوره کواترنر که به‌طور دگر شیب روی تمام سازندهای کهن‌سال‌تر را می‌پوشاند از یک بخش قدیمی (Q1) شامل آواری‌های نسبتاً سخت شده با جورشدگی ضعیف و در بخش جوان‌تر (Q2) با رخساره‌های گوناگونی بستر شنی رودخانه‌ها (QaL)، تراس‌های رودخانه‌ای (Qt)، نهشته‌های بادی و دشت سیلابی و مخروط افکنه‌ها دیده می‌شود.

ژئومورفولوژی

از نظر ژئومورفولوژی، دشت جیرفت به دو بخش تقسیم می‌شوند:

- الف: بخش کوه‌های بسیار یا نسبتاً مرتفع به صورت سنگی، مضرس و فرسایش یافته هستند.
- ب: بخش دره‌ها و پهنه‌های محدود میان کوهی که اکثراً فرسایشی بوده و مهم‌ترین نواحی تمرکز جمعیتی و آبادی‌ها محسوب می‌شوند. نوع فرایند غالب بر این واحد فرسایش آبی از نوع خطی است. با توجه به بارندگی‌های رگباری، ارتفاع، جنس زمین، شیب توپوگرافی و فقیر بودن پوشش گیاهی، آبراهه‌ها رسوبات حاصل از فرسایش را به پهنه‌های دشتی منتقل کرده و بسته به ریزی و درشتی رسوبات در دشت به‌جای می‌گذارند.

جنس خاک‌ها در دشت جیرفت

از نظر خاک‌شناسی در بخش‌های جنوبی دشت جیرفت، خاک باقابلیت بالا و دارای مواد آلی به‌منظور بهره‌برداری‌های کشاورزی است؛ و استعداد و قابلیت مطلوب خاک‌ها در دشت جیرفت از یک‌سو و عبور



$$Z_{x_0} = \frac{\sum_{i=1}^n Z_{x_i} d_i^{-\alpha}}{\sum_{i=1}^n d_i^{-\alpha}} \quad (3)$$

Z_{x_0} : مقدار تخمینی متغیر Z در نقطه X_0 ، Z_{x_i} :

مقدار نمونه در نقطه X_i ، d_i : فاصله نقطه مورد نظر تا نقطه مورد تخمین، α : ضریبی که وزن بر اساس فاصله تعیین می‌کند و مقدار آن غالباً معلوم نیست و با سعی و خطا تعیین می‌شود، که α در این تحقیق ۱، ۲ و ۳ در نظر گرفته شد.

آنومالی پارامترهای کیفی

برای نشان دادن چگونگی تغییرات زمانی پارامترهای کیفی آب، از مقادیر اندازه‌گیری شده در دو بازه زمانی متفاوت ۱۳۹۳ و ۱۳۸۳ استفاده شد و پس از اینکه با بهترین مدل پهنه‌بندی شد، با استفاده از روش آنومالی درصد تغییرات به دست آمد که مقادیر آنومالی منفی نشان‌دهنده بهبود کیفیت و مقادیر مثبت آنومالی نشان‌دهنده کاهش کیفیت در دشت می‌باشد (نادریان فر و همکاران، ۱۳۹۱)، بدین صورت که:

$$EC_{Anomaly} = \frac{EC_{1393} - EC_{1383}}{EC_{1393}} \times 100 \quad (4)$$

روش و معیارهای ارزیابی

در این تحقیق از روش اعتبار سنجی متقابل برای ارزیابی روش‌ها استفاده شده است. این روش بر این اساس است که هر بار یک نقطه مشاهده‌ای حذف شده و برای آن از روی نقاط مجاور، مقداری برآورد می‌گردد. سپس مقدار واقعی به محل قبلی برگردانده شده و برای تمامی نقاط شبکه، این عمل تکرار می‌شود. ارزیابی روش‌های میان‌یابی به کاررفته در این تحقیق با استفاده از معیارهای ارزیابی مجذور میانگین مربعات خطا

های به کاررفته در محاسبه که در فاصله h از یکدیگر قرار دارند می‌باشد. معمولاً هر چه h افزایش یابد تعداد جفت‌ها کم می‌شود. با افزایش h ، مقدار نیم تغییرنا تا فاصله معینی اضافه می‌شود و پس از آن به حد ثابتی می‌رسد که حد آستانه نامیده می‌شود. به فاصله بین نمونه‌ها که از آن به بعد مقادیر متغیر در نقاط مجاور تأثیر چندانی بر یکدیگر ندارند و با افزایش بیشتر فاصله مقدار نیم‌تغییرنا تفاوت معنی‌داری نمی‌کند، دامنه یا شعاع تأثیر گفته می‌شود. مقدار نیم‌تغییرنا به ازاء $h=0$ اثر قطعه‌ای نام دارد (آیزاک و سریواستاوا، ۱۹۸۹). معمولاً اثر قطعه‌ای ناشی از خطاهای نمونه‌برداری، اندازه‌گیری و آنالیز داده‌هاست. فرمول عمومی تخمین مقادیر مجهول در کلیه روش‌های میان‌یابی زمین آماری از جمله کریجینگ به شرح زیر است:

(۲)

$$\hat{Z}(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)$$

که در آن: $\hat{Z}(x_0)$: مقدار تخمین زده شده متغیر در نقطه X_0 ، $Z(x_i)$: مقدار اندازه‌گیری شده متغیر در مکان X_i ، λ_i : وزن داده شده به مشاهده آم می‌باشد. در مطالعه حاضر از نرم‌افزار GS+ برای محاسبات به روش کریجینگ استفاده شده است.

مدل میان‌یابی IDW

روش میان‌یابی IDW یکی از معمول‌ترین روش‌های میان‌یابی نقاط پراکنده در فضا است که اساس آن بر مبنای این فرضیه است که در یک سطح میان‌یابی اثر یک پارامتر بر نقاط اطراف یکسان نبوده و نقاط نزدیک بیشتر و نقاط دور کمتر تحت تأثیرند و هر چه فاصله از مبدأ افزایش یابد اثر پارامتر کمتر می‌شود.



معیارهای ذکرشده رتبه داده شد و روشی که در آن مجموع رتبه‌ها کمتر بود به‌عنوان روش برتر انتخاب شد.

نتایج و بحث

تحلیل مکانی پارامترهای کیفی

آمار توصیفی متغیرهای مورد مطالعه یعنی نسبت جذبی سدیم و هدایت الکتریکی در جدول (۱) خلاصه شده است. با توجه به مقادیر چگالی و کشیدگی، منحنی توزیع فراوانی داده‌های EC، SAR، TDS و TH، با استفاده از نرم‌افزار Minitab14 و روش کلموگروف-اسمیرنوف آزمون نرمالیته انجام گرفت و مشخص شد که EC، SAR، TDS و TH با توجه به مقادیر $P\text{-Value} < 0.05$ از یک توزیع لوگ نرمال تبعیت می‌کنند. در جدول ۱ و ۲ خلاصه پارامترهای آماری در طول دوره‌های آماری ۱۳۸۳ و ۱۳۹۳ ارائه شده است، به طوری که میانگین پارامترهای کیفی برای متغیرهای EC، SAR، TDS و TH به ترتیب ۸۸۲/۱، ۳/۰۲، ۵۷۰/۶ و ۴/۴۸ در سال ۱۳۸۳ به دست آمد در حالی که مقادیر EC، SAR، TDS و TH در سال ۱۳۹۳ به ترتیب ۹۹۰/۳۳، ۳/۱۶، ۶۴۳/۸۴ و ۵/۲۸ به دست آمد که نشان می‌دهد میانگین پارامترهای کیفی افزایش یافته است.

(RMSE)، میانگین انحراف خطا (MBE)، میانگین قدر مطلق خطا (MAE) و R^2 بین نقاط تخمینی و واقعی انجام می‌شود.

(۵)

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n \{Z^*(x_i) - Z(x_i)\}}{n} \quad (۶)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \{Z^*(x_i) - Z(x_i)\}^2} \quad (۷)$$

$$R^2 = 1 - \frac{ESS}{TSS} \quad (۸)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |Z^*(x_i) - Z(x_i)|}{n}$$

که در آن‌ها: $Z^*(x_i)$: مقدار تخمینی متغیر موردنظر در نقطه (x_i) ، $Z(x_i)$: مقدار واقعی متغیر موردنظر در نقطه (x_i) ، ESS و TSS به ترتیب مجموع مربع خطاهای تبیین نشده و کل خطاهای خط رگرسیون برازش داده شده می‌باشد.

هرچه مقادیر مجذور میانگین مربعات خطا و میانگین انحراف خطا کمتر باشد دقت روش بیشتر است. MAE معرف انحراف معیار است که هرچه مقدار آن به صفر نزدیک تر باشد انحراف روش کمتر خواهد بود. برای یافتن مدل برتر به هر روش بر اساس



متغیر	میانگین	انحراف معیار	واریانس	حداکثر	حداقل	چولگی	کشیدگی
EC ($\mu\text{mhos/cm}$)	۸۸۲/۱	۶۲۵/۳	۳۹۰۹۷۵	۳۴۴۲/۵	۱۸۸/۵	۲/۴۸	۷/۰۷
SAR	۳/۰۲	۲/۴۴	۵/۹۸	۱۱/۱۱	-۰/۲۱۱	۱/۶۷	۲/۳۷
TDS (mg/L)	۵۷۰/۶	۴۰۷/۶	۱۶۶۱۵۵	۲۲۱۰	۱۲۳	۲/۴۴	۶/۷۲
TH(meq/L)	۴/۴۸	۲/۵۲	۶/۳۵	۱۲۰	۱/۳۰	۲/۰۸	۴/۰۵

۱۳

جدول (۲) خلاصه آماری داده‌های مربوط به EC، SAR، TDS و TH در طول دوره آماری ۱۳۹۳ (n=۴۴)

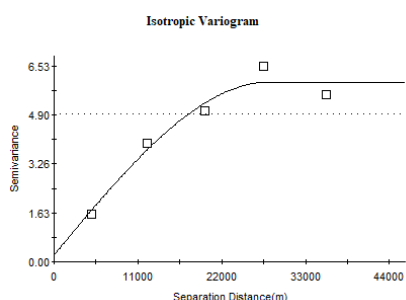
متغیر	میانگین	انحراف معیار	واریانس	حداکثر	حداقل	چولگی	کشیدگی
EC ($\mu\text{mhos/cm}$)	۹۹۰/۳۳	۶۲۶/۴	۳۹۲۴۳۳	۳۳۳۰	۳۷۶/۵	۱/۹۰	۳/۸۸
SAR	۳/۱۶	۲/۲۱	۴/۹۲	۸/۵۵	-۰/۴۸۲	۱/۰۳	۰/۰۲
TDS (mg/L)	۶۴۳/۸۴	۴۰۷/۲	۱۶۵۸۳۸	۲۱۶۵	۲۴۴/۵	۱/۹۰	۳/۸۹
TH(meq/L)	۵/۲۸	۳/۱۱	۹/۷۲	۱۷	۱/۶	۲/۰۲	۴/۶۳

جدول (۳) مشخصات بهترین مدل برازش داده‌شده بر مقادیر نیم تغییرنمای تجربی در روش کریجینگ

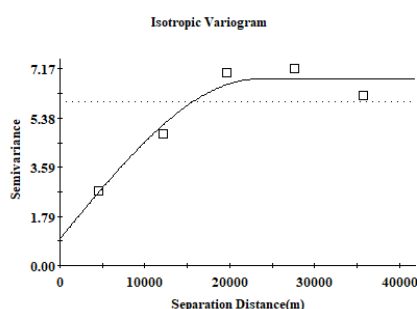
نیم تغییرنمای تجربی	بهترین مدل	C0	C+C0	A0 (m)	C0/Sill (%)	R2
۱۳۸۳-۸۴						
EC ($\mu\text{mhos/cm}$)	کروی	۹۰۰۰	۴۱۱۳۰۰	۱۴۰۰۰	۲/۱	۰/۹۵
SAR	کروی	۰/۹۷	۶/۸۰	۲۳۰۰۰	۱۴/۲	۰/۹۸
TDS (mg/L)	کروی	۱۰۰	۱۷۲۵۰۰	۱۳۰۰۰	۰/۰۵	۰/۹۹
TH(meq/L)	نمایی	۱/۵۲	۷/۳۲	۲۸۹۰۰	۲۰/۷	۰/۹۶
۱۳۹۳-۹۴						
EC ($\mu\text{mhos/cm}$)	کروی	۱۰۵۲۰۰	۳۲۱۳۰۰	۱۲۳۲۰	۳۲/۷	۰/۹۸
SAR	کروی	۰/۲۳	۵/۹۹	۲۸۳۲۰	۳/۸	۰/۹۵
TDS (mg/L)	کروی	۴۴۶۰۰	۱۳۵۸۰۰	۱۲۳۴۰	۳۲/۸	۰/۹۸
TH(meq/L)	کروی	۵/۰۷	۱۱/۸۸	۲۳۱۳۰	۴۲/۶	۰/۹۹

از برازش چندین مدل نیم تغییرنما به داده‌های EC، SAR، TDS و TH بهترین مدل برازش داده‌شده با توجه به نتایج ارزیابی و رتبه‌بندی روش‌های مختلف تخمین موجود در جدول (۴) برای هر روش در جدول (۳) آورده شده است. نتایج موجود در جدول (۳) نشان می‌دهد، خطای مدل نیم تغییرنمای داده‌های اندازه‌گیری شده هدایت الکتریکی در دوره آماری ۸۴-۱۳۸۳ با اثر قطعه‌ای ۹۰۰۰ و دامنه تأثیر ۱۴ کیلومتر

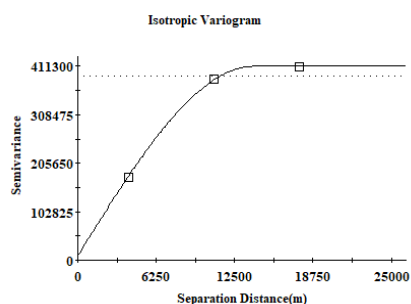
جهت بررسی وجود یا عدم وجود همبستگی مکانی متغیرهای مورد مطالعه، پس از برازش چند مدل واریوگرام و بررسی ظاهری آن‌ها مدل مناسب با توجه به نسبت $C_0/(C_0 + C)$ که باید کمتر از ۰/۵ باشد انتخاب می‌شود. نسبت $C_0/(C_0 + C)$ معرف آن است که چه مقدار از کل تغییرپذیری را اثر قطعه‌ای توجیه می‌کند (عماری، ۱۳۷۷)؛ اما در این تحقیق پس



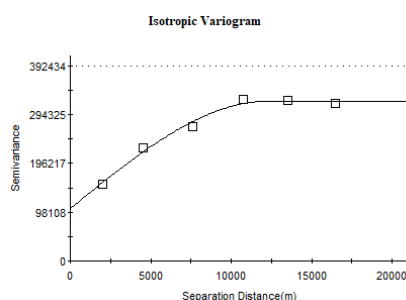
(الف)



(ب)



(پ)



(ت)

شکل (۲) نیم تغییرنماهای نظری برازش داده شده بر: الف- SAR₁₃₉₃، مدل کروی، ب- SAR₁₃₈₃، مدل کروی، پ- EC₁₃₈₃، مدل کروی، ت- EC₁₃₉₃، مدل کروی

برابر ۲/۱ درصد و خطای مدل نیم تغییرنما در دوره آماری ۹۴-۱۳۹۳ با اثر قطعه‌ای ۱۰۵۲۰۰ و دامنه تأثیر ۳۲ کیلومتر برابر ۳۲/۷ درصد می‌باشد که نشان‌دهنده وجود همبستگی مکانی هدایت الکتریکی در هر دو دوره آماری است. خطای مدل نیم تغییرنمای داده‌های اندازه‌گیری شده نسبت جذبی سدیم در دوره آماری ۸۴-۱۳۸۳ با اثر قطعه‌ای ۰/۹۷ و دامنه تأثیر ۲۳ کیلومتر برابر ۱۴/۲ درصد و خطای مدل نیم تغییرنما در دوره آماری ۹۴-۱۳۹۳ با اثر قطعه‌ای ۰/۲۳ و دامنه تأثیر ۲۸ کیلومتر برابر ۳/۸ درصد می‌باشد که این نتایج حاکی از وجود همبستگی مکانی در هر دو دوره آماری است. همچنین نتایج موجود در جدول (۳) حاکی از وجود همبستگی مکانی بالایی برای TDS و TH در هر دو دوره آماری است.

نتایج ارزیابی و رده‌بندی روش‌های مختلف تخمین موجود در جدول (۴) نشان می‌دهد که در مورد برآورد هدایت الکتریکی (EC) و کل مواد جامد محلول (TDS) در بین روش‌های کریجینگ و عکس فاصله (IDW) با توان ۱، ۲ و ۳ روش کریجینگ بر اساس مجموع معیارهای ارزیابی متقابل به‌عنوان مناسب‌ترین روش برای تخمین EC و TDS در کل منطقه انتخاب شد. پس از روش کریجینگ روش IDW با توان ۱ به‌عنوان بهترین روش انتخاب شدند. همچنین برای پارامتر نسبت جذبی سدیم (SAR) و سختی کل (TH) به ترتیب مدل IDW با توان ۲ و ۳ دارای رتبه کمتری بودند و به‌عنوان بهترین مدل بر اساس معیارهای ارزیابی مختلف انتخاب شدند و برای میانمایی پارامترهای کیفی در دشت از مدل‌های برتر استفاده شد. با توجه به نتایج به‌دست آمده مشخصات نیم - تغییرنمای برازش داده شده بر EC و SAR به همراه مشخصات آن‌ها در دو دوره آماری برای روش کریجینگ معمولی در شکل (۲) ارائه شده است.

جدول (۴) مقایسه روش‌های زمین آماری در برآورد پارامترهای کیفی بر اساس معیارهای مختلف در دوره آماری ۱۳۹۳

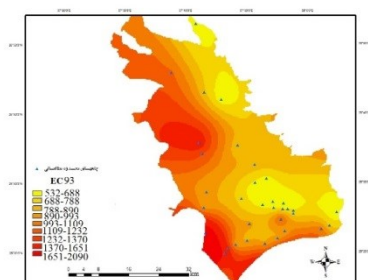


IDW			کریجینگ	معیار ارزیابی	پارامتر	IDW			کریجینگ	معیار ارزیابی	پارامتر
$\alpha=3$	$\alpha=2$	$\alpha=1$				$\alpha=3$	$\alpha=2$	$\alpha=1$			
۰/۴۴۰	۰/۴۵۹	۰/۴۶۱	۰/۵۳۲	R^2	TDS	۰/۴۴۱	۰/۴۵۹	۰/۴۶۳	۰/۵۰۲	R^2	EC
-۱۳/۱۴	-۲۳/۱۱	-۳۴/۲	-۱۶/۲	MAE		-۲۰/۲	-۳۵/۶	-۵۲/۷	-۲۵/۱	MAE	
۲۵۰/۴	۲۴۴/۲	۲۴۱/۵	۲۳۷/۲	MBE		۳۸۵/۳	۳۷۵/۶	۳۷۱/۶	۳۶۴/۹	MBE	
۳۸۳/۹	۳۶۳/۳	۳۵۹/۲	۳۴۹/۲	RMSE		۵۹۰/۵	۵۵۸/۹	۵۵۲/۵	۵۳۷/۲	RMSE	
۴	۳	۲	۱	رتبه		۴	۳	۲	۱	رتبه	
۰/۳۷۳	۰/۳۴۹	۰/۲۱۷	۰/۳۲۱	R^2	TH	۰/۶۶۱	۰/۶۷۲	۰/۶۶۱	۰/۶۶۲	R^2	SAR
۰/۰۳۵	۰/۰۱۳	-۰/۰۳۵	-۰/۰۱۵	MAE		-۰/۲۰	-۰/۱۹	-۰/۱۳	-۰/۱۳	MAE	
۱/۵۶	۱/۵۷	۱/۶۶	۱/۵۹	MBE		۱/۰۹	۱/۰۷	۱/۱۵	۱/۱۰	MBE	
۲/۴۰	۲/۳۷	۲/۴۳	۲/۳۶	RMSE		۱/۶۶	۱/۶۳	۱/۶۹	۱/۶۶	RMSE	
۱	۲	۴	۳	رتبه		۳	۱	۴	۲	رتبه	

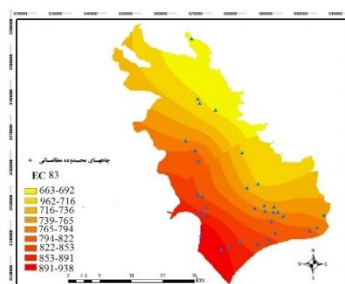
نقشه‌های پهنه‌بندی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی

آبخوان دارای بهترین کیفیت آب زیرزمینی می‌باشد. آب زیرزمینی در این محدوده‌ها دارای مقدار هدایت الکتریکی کمتر از $700 \mu\text{mhos/cm}$ می‌باشد. از محدوده ذکر شده به طرف نواحی غربی و بخش‌هایی از جنوب و جنوب غربی دشت، کیفیت آبخوان به تدریج کاهش پیدا نموده و هدایت الکتریکی آن به بیش از $3000 \mu\text{mhos/cm}$ افزایش پیدا می‌کند؛ اما نقشه‌های پهنه‌بندی شده هدایت الکتریکی در سال آبی ۹۴-۱۳۹۳ (شکل ۳-ب) حاکی از آن است که حداقل و حداکثر مقدار هدایت الکتریکی محدوده آبخوان به ترتیب $376/5 \mu\text{mhos/cm}$ و $3330 \mu\text{mhos/cm}$ به دست آمده است. در نواحی شرقی و شمال شرقی دشت آبخوان دارای بهترین کیفیت آب زیرزمینی می‌باشد آب زیرزمینی در این محدوده دارای مقادیر کمتر از $680 \mu\text{mhos/cm}$ می‌باشد. از محدوده ذکر شده به طرف نواحی شمال غربی و جنوب غربی کیفیت به تدریج کاهش یافته و هدایت الکتریکی به بیش از $2000 \mu\text{mhos/cm}$ افزایش یافته است. در نتیجه شوری آب به طور متوسط ۱۱ درصد از سال ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۳ افزایش یافته است، گرچه تغییرات شوری در تمام دشت یکسان نمی‌باشد

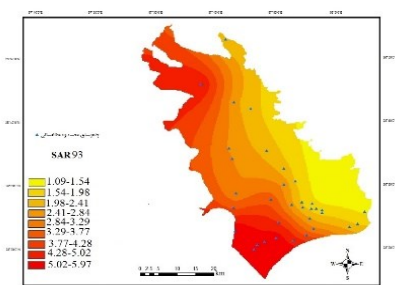
در مطالعه حاضر برای تهیه نقشه‌های SAR، EC، TDS و TH در سال‌های ۸۴-۱۳۸۳ و ۹۴-۱۳۹۳ از بهترین روش که بر اساس معیارهای ارزیابی به دست آمده بود استفاده شد (جدول ۴). به طوری که برای پارامتر هدایت الکتریکی و کل مواد جامد محلول از روش کریجینگ با مدل کروی استفاده شد و برای پارامتر نسبت جذبی سدیم و سختی کل از روش عکس فاصله با توان به ترتیب ۲ و ۳ استفاده شده است که نتایج آن در شکل ۳ ارائه شده است. در شکل ۳ نقشه پهنه‌بندی پارامترهای کیفی EC، SAR، TDS و TH در سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۳۹۳ ارائه شده است. در سال ۱۳۸۳ (شکل ۳-الف) حداقل و حداکثر مقدار هدایت الکتریکی محدوده آبخوان به ترتیب $663 \mu\text{mhos/cm}$ و $938 \mu\text{mhos/cm}$ به دست آمده است. در حالی که این مقدار برای سال ۱۳۹۳ $2090 \mu\text{mhos/cm}$ افزایش یافته است. همان طور که از شکل پیداست، در نواحی شمال شرق، شرق و جنوب شرقی دشت (ارتفاعات جبالبارز) که آبخوان تحت تأثیر تغذیه زیرزمینی و سطحی مناسبی قرار دارد و دانه-بندی آن نیز مناسب‌تر (دانه‌درشت تر) می‌باشد و



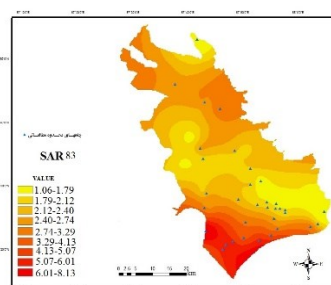
(ب)



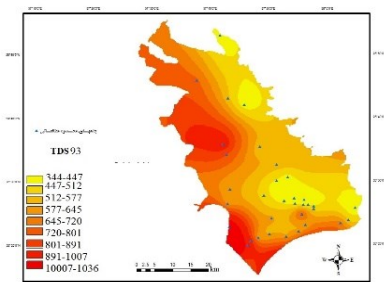
(الف)



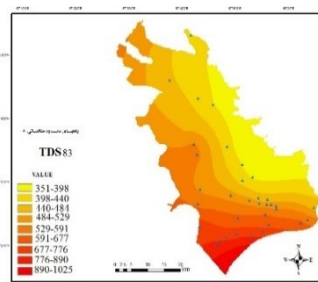
(ت)



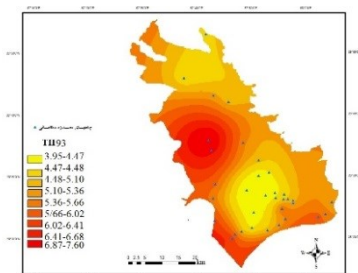
(پ)



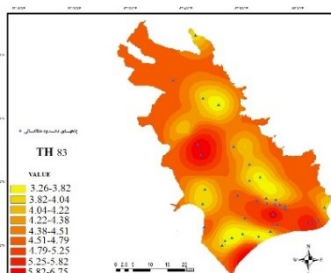
(ج)



(ج)



(خ)

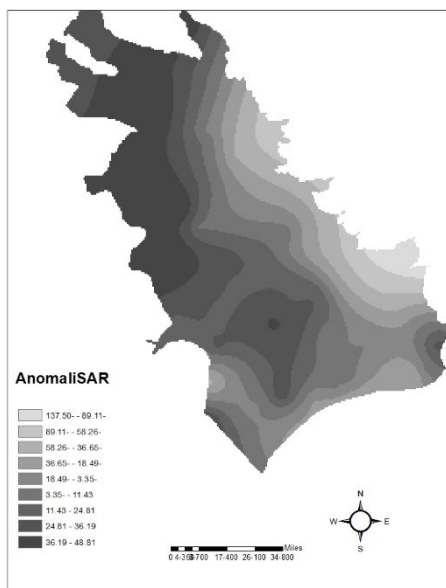


(ح)

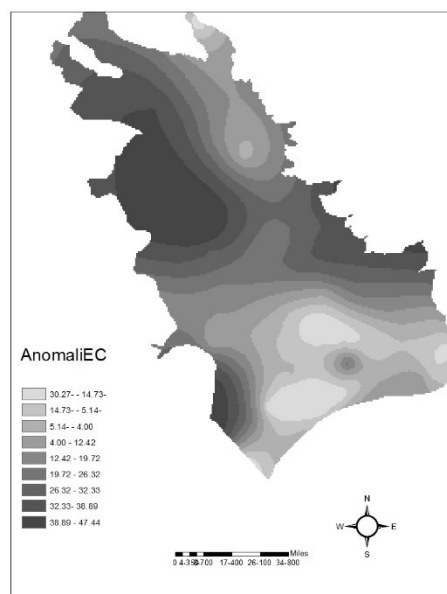
شکل (۳) نقشه‌های پهنه‌بندی شده پارامترهای کیفی در سال آبی الف: EC_{۱۳۸۲}، ب: EC_{۱۳۹۲}، پ: SAR_{۱۳۸۲}، ت: SAR_{۱۳۹۲}، ج: TDS_{۱۳۸۲}، ج: TDS_{۱۳۹۲}، ح: TH_{۱۳۸۲}، خ: TH_{۱۳۹۲}

غربی، شمال غربی و بخش‌هایی از غرب دشت می‌باشد که نشان می‌دهد شوری آب در این نواحی طی ۱۰ سال بیش از ۵۰ درصد افزایش یافته است.

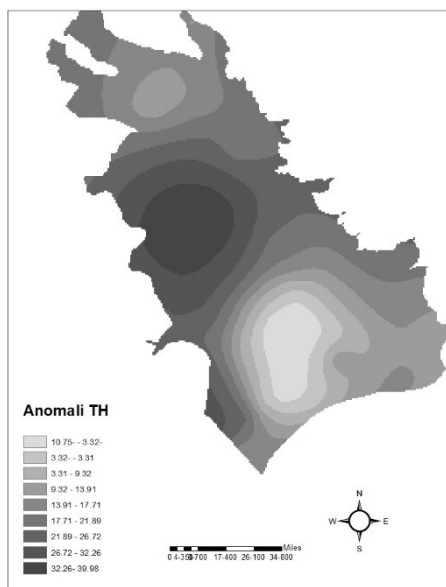
بیشترین درصد تغییرات در دشت جیرفت مربوط به EC است (شکل ۴- الف) به طوری که این تغییرات بین ۲۹/۸۳- درصد تا ۵۵/۳۱ درصد در دشت می‌باشد. بیشترین تغییرات برای EC در نقاط جنوبی، جنوب



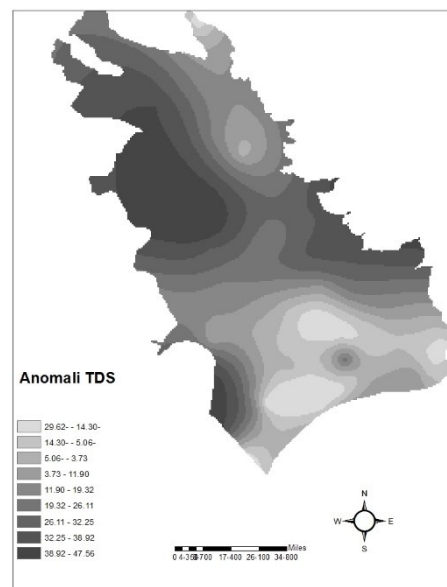
(ب)



(الف)



(ت)



(پ)

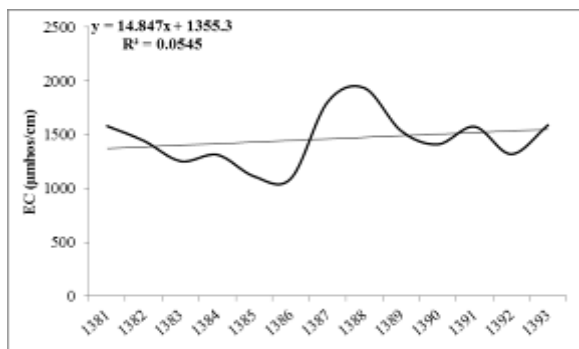
شکل (۴) نقشه‌های آنومالی مقادیر: الف- EC، ب- SAR، پ- TDS، ت- TH در طول دو دوره متفاوت ۱۳۸۳ و ۱۳۹۳



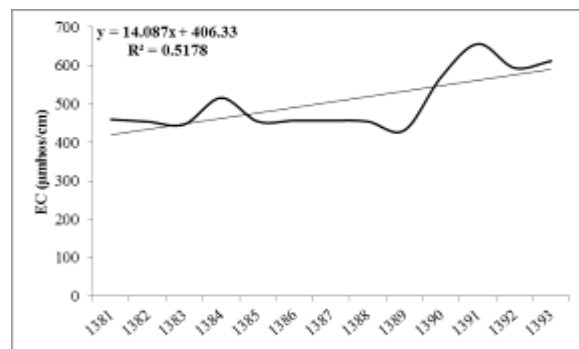
بررسی تغییرات زمانی شوری آب زیرزمینی

در شکل ۵ به بررسی تغییرات زمانی پارامترهای کیفی در چاه غیک و سلمان آباد دلشاد که به ترتیب در نقاط جنوبی و جنوب غربی دشت واقع هستند پرداخته شده است. نتایج تغییرات زمانی مربوط به متوسط شوری آب (شکل ۵) نشان می‌دهد که شیب خط روند تغییرات مثبت است و از سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۳ شوری آب افزایش یافته است. شیب خط معادله رگرسیون برای چاه غیک دارای روند مثبت معنی‌داری می‌باشد در حالی که این تغییرات برای سلمان آباد دلگشا معنی‌دار نمی‌باشد و در طول این بازه زمانی نوسانات کمی داشته است. بیشترین مقدار شوری برای غیک چاه و سلمان آباد دلشاد در سال ۱۳۸۸ و ۱۳۹۱ به ترتیب ۱۹۳۵ و ۶۵۶/۵ میکروموس بر سانتی‌متر به دست آمده است. در شکل ۶ نیز به بررسی تغییرات زمانی کلر در طول دوره آماری ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۳ پرداخته شده است که شیب خط رگرسیون مثبت می‌باشد و حاکی از افزایش معنی‌دار کلر در چاه‌های مذکور می‌باشد.

کمترین میزان تغییرات در دشت در محدوده ارتفاعات جبالبارز مشاهده می‌شود که با توجه به وجود مخروط افکنه‌ها و بافت مناسب خاک تغذیه مناسبی صورت گرفته است و منجر به بهبود کیفیت شوری آب شده است. این تغییرات بین ۵/۰۷- درصد تا ۲۹/۳۶- درصد می‌باشد. مقادیر منفی نشان می‌دهد که در طول مدت زمان بررسی شده کیفیت شوری در این نقاط بهبود یافته است. همچنین تغییرات برای SAR نیز در دشت بسیار زیاد است (شکل ۴- ب) به طوری که این تغییرات بین ۱۳۷/۰۳- درصد تا ۴۸/۸۴ درصد می‌باشد. بیشترین درصد تغییرات SAR در بخش‌های مرکزی دشت و به سمت شمال غربی (بخش‌هایی از ارتفاعات ساردو) و غرب دشت می‌باشد. محدوده تغییرات نقشه‌های آنومالی برای TDS بین ۲۹/۶۳- درصد تا ۴۷/۵۶ درصد می‌باشد. در حالی که برای پارامتر TH این تغییرات بین ۱۹/۵۹- درصد تا ۳۸/۶۰ درصد می‌باشد. برداشت آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی باعث می‌شود که بخشی از آب به صورت تبخیر-تعرق خارج شود و نمک آن در خاک باقی بماند. آبشویی باعث شستشوی نمک از منطقه توسعه ریشه شده و سبب افزایش املاح در آب زیرزمینی می‌شود. همچنین استفاده از کودهای شیمیایی از دیگر عوامل افزایش شوری در نقاط مذکور می‌باشد.

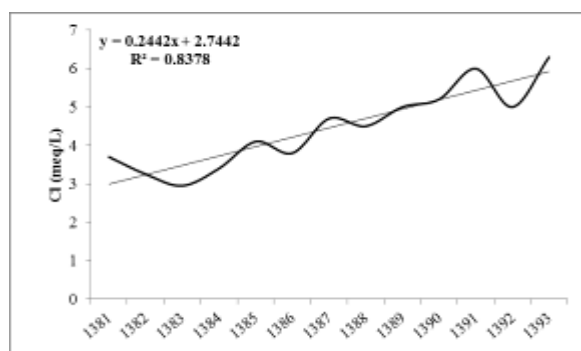


(ب)

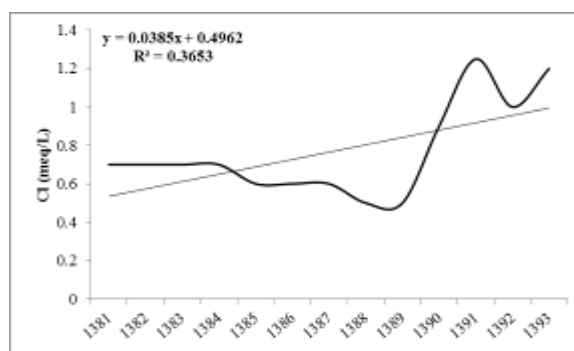


(الف)

شکل (۵) تغییرات زمانی متوسط شوری آب زیرزمینی در الف: غیک چاه، ب: سلمان آباد دلشاد



(ب)



(الف)

شکل (۶) تغییرات زمانی متوسط کلر آب زیرزمینی در الف: یک چاه، ب: سلمان آباد دلشاد

نیم تغییرنمای کروی و برای نسبت جذبی سدیم و سختی کل روش عکس فاصله با توان ۲ و ۳ مناسب ترین روش میانایی در دشت جیرفت می باشد. نتایج حاصل از آنومالی پارامترهای کیفی نشان داد که بیشترین تغییرات در قسمت شرقی (مناطق جبالبارز) و شمال غربی (ساردویه) می باشد و کمترین تغییرات در بخش های جنوبی دشت می باشد. همچنین نتایج بررسی تغییرات زمانی پارامترهای کیفی در طول دوره ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۴ نشان داد که شیب خط روند پارامترهای کیفی افزایشی است و با افزایش دوره زمانی از کیفیت آب زیرزمینی کاسته شده است.

نتیجه گیری

جمع بندی نتایج به دست آمده از تجزیه نیم تغییرنمای و ارزیابی روش ها در این تحقیق نشان داد نیم تغییرنمای پارامترهای کیفی تحقیق حاضر از مدل کروی تبعیت می کند. نتایج حاصل از تحلیل نیم تغییرنمای هدایت الکتریکی و نسبت جذبی سدیم، همبستگی مکانی خوبی را در کل منطقه نشان می دهد که علت آن را می توان ناشی از خصوصیات اقلیمی و هیدرولوژیکی منطقه دانست.

همچنین از مقایسه روش های مختلف برآورد پارامترهای کیفی، مشخص گردید که برای هدایت هیدرولیکی و کل مواد جامد محلول روش کریجینگ با

منابع

- حسینی پاک، ع. ۱۳۷۷. زمین آمار. دانشگاه تهران. ص ۱۲۵.
- عماری، پ. ۱۳۷۷. مطالعات اجمالی خاکشناسی و طبقه بندی اراضی منطقه بوکان (استان آذربایجان غربی). سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی مؤسسه آب و خاک. نشریه شماره ۱۰۲۷، ص ۷۶.
- رضایی، م. دواتگر، ن. تاجداری، خ. ابولپور، ب. ۱۳۸۹. بررسی تغییرات مکانی برخی شاخص های کیفی آب های زیرزمینی استان گیلان با استفاده از زمین آمار. مجله آب و خاک شماره ۲۴، ص ۹۴۱-۹۳۲.
- نادریان فر، م. قهرمان، ب. انصاری، ح. سالاری، م. ۱۳۹۱. کاربرد روش های مختلف زمین آمار به منظور میان یابی مقادیر EC و SAR در آب های زیرزمینی با تأکید بر تغییرات نفوذپذیری حوضه. مجله علوم و مهندسی آبیاری اهواز شماره، ص ۲۱-۳۴.



- Cordoba, E., Martinez, A., Ferrer E., Water quality indicators: comparison of a probabilistic index and a general quality index, The case of the confederacion hidrografica del jucar (spain)", *Ecological Indicators* 10 (2010) 1049-1054.
- Hosseini, E. Gallichand, J. Marcotte, D. 1994. Theoretical and experimental performance of spatial interpolation methods for soil salinity analysis. *Transactions of the ASAE*, 37: 1799–1807.
- Isaaks, E.H. and Srivastava, R.M. 1989. *An Introduction to Applied Geostatistics*. Oxford University Press. New York. P.561.
- Moustafa, M.M. and Yomota, A. 1998. Spatial modeling of soil properties for subsurface drainage projects. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, SASCE, 124(4): 218-228.
- Odeh, I.O.A. Todd, A.J. Triantafilis, J. McBratney, A.B. 1998. Status and trends of soil salinity at different scales: the case for the irrigated cotton growing region of eastern Australia. *Nutrient Cycling in Groecosystems* 50, 99–107.
- Samra, J.S. Singh, V.P. Sharma, K.M.S. 1988. Analysis of spatial variability in sodic soils. 2: Point and block-kriging. *Soil Science* 145, 250–256.
- Sylla, M. Stein, A. Van Breemen, N. Fresco, L.O. 1995. Spatial variability of soil salinity at different scales in the Mangrove rice agro-ecosystem. *West Africa Agriculture, Ecosystems and Environment* 54, 1–15.
- Tahboub, A. Abbassi, B. Ta'any, R. Saffarini, G. 2007. Spatial variability of topsoil salinity in the lower reaches of Zerka River, central Jordan Valley.
- Elgali, J. A. J., Ekhwan, M., & Hashim, N. (2012). The spatial distribution of groundwater quality in the region of Derna, Libya. *African Journal of Agricultural Research*, 8(16), 1482-1491.
- Wang, J.H. Wu, Y.W. and Fu, Q.L. 1999. Study on spatial variability in conductivity of the coastal saline soils. *Journal of Zhejiang Agricultural University*. 25(2): 139-142.



Investigation of Anomaly maps of groundwater quality parameters (Case study: Jiroft watershed)

Mohammad Naderianfar¹, Keramat nezhad afzali² and Fateme bayatani³

Abstract

Awareness of spatial variations of qualitative parameters is an important tool in order to understand the capabilities of the region and how to manage the lands. Through the current study, the spatial and temporal changes of EC, SAR, TDS and TH parameters were analyzed using geostatistical methods during the two statistical periods of 2004 and 2014 in groundwater's. For this purpose, the data related to the analysis of 44 water wells in Jiroft plain, where has a middle hot desert climate were obtained according to the latest sampling in 2014. The Geostatistical methods used to zone the mentioned parameters include ordinary kriging and inverse distance weighing (IDW) with different powers. In order to evaluate the geostatistical pitch methods, the mutual evaluation technique used applying the RMSE, MBE, MAE and R^2 criteria between actual and estimated data. The results of the ranking of evaluation criteria showed that for the EC and TDS parameters, the Kriging method with a spherical model, and for the SAR and TH, the method of inverse distance to the power of 2 and 3 respectively, has the least error. The performed studies show that the spatial correlation of the qualitative parameters mentioned in the Jiroft Plain is very high. The error of the semi-variogram model of the measured sodium absorption ratio during the statistical period of 2004-2005 with a nugget effect of 0.97 and a range of effect, 23 km, is equal to 14.2%, and the error of the semi-variogram model during the statistical period of 2014-2015 with a nugget effect of 0.23 and a range of effect, 28 km, is equal to 14.2%. The results of the anomaly maps of the qualitative parameters in Jiroft plain indicated that the most of the changes are in the eastern part (Jebalbarez District) and northwest (Sarduiyeh District) and the least of the changes are in the southern parts of the plain.

Key words: Geostatistics, Anomaly, Kriging, Inverse Distance Weighing (IDW), Jiroft

¹ Assistant Professor, Water Engineering Department, University of Jiroft, Kerman - Iran
(*- Corresponding author Email: Naderian.mohamad@ujiroft.ac.ir)

² Assistant Professor, geography Department, University of Jiroft, Kerman – Iran

³ Ph.D. Student of Climatology, Faculty of Geographical Sciences, Hakim sabzavari University