

پهنه‌بندی فراسنج‌های کیفی (شوری و سدیمی) آب با استفاده از روش‌های زمین‌آماري

مطالعه‌ی موردی: دشت کرمان

معصومه دلبری^{1*}، پیمان افراسیاب²، مژده سالاری³

تاریخ دریافت: 1391/3/23 تاریخ پذیرش: 1391/12/6

چکیده

طراحی و مدیریت درست روش‌های آبیاری مستلزم داشتن آگاهی از وضعیت نفوذپذیری خاک که خود متأثر از فراسنج‌های کیفی (شوری و سدیمی) آب است، می‌باشد. از این رو در این تحقیق به بررسی تغییرات مکانی و پهنه‌بندی فراسنج‌های کیفی آب زیرزمینی شامل هدایت الکتریکی (EC) و نسبت جذبی سدیم (SAR) با استفاده از روش‌های زمین‌آماري پرداخته می‌شود. هدف نهایی پیش‌بینی تغییرپذیری میزان نفوذ آب به خاک در سطح منطقه‌ی مورد مطالعه‌ی با توجه به وضعیت شوری و سدیمی آب زیرزمینی می‌باشد. اطلاعات مربوطه از تجزیه و تحلیل نمونه‌های مربوط به 76 حلقه چاه آب در دشت کرمان، و بر اساس آخرین نمونه‌گیری سال 1387 به‌دست آمده‌اند. روش‌های میان‌یابی استفاده شده شامل کریجینگ معمولی و لاگ کریجینگ بوده‌اند. برای ارزیابی روش‌ها از روش ارزیابی متقابل با معیارهای جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین قدر مطلق خطا (MAE) استفاده شده است. تجزیه و تحلیل زمین‌آماري نشان داد که داده‌هایی هدایت الکتریکی و نسبت جذبی سدیم دارای همبستگی مکانی قوی بوده و ساختار مکانی آنها از شبیه نیم‌تغییرنمای کروی تبعیت می‌کند. نتایج حاصل از ارزیابی متقابل حاکی از آن است که هر دو روش کریجینگ معمولی و لاگ کریجینگ از دقت مشابهی برای تخمین فراسنج‌های شوری و سدیمی برخوردارند. از طرف دیگر، مقایسه‌ی نقشه‌های هم‌تراز هدایت الکتریکی و نسبت جذبی سدیم به‌دست آمده بار دیگر نشان از مشابه عمل کردن دو روش میان‌یابی دارد؛ هر چند نقشه‌های خطای تخمین مربوط به دو روش کمی متفاوتند. بنابراین، در مواردی که هدف تنها ارائه‌ی تصویری کلی از شکل توزیع مکانی یک ویژگی در سطح منطقه‌ی است، کاربرد روش کریجینگ معمولی که از نظر اجرا نیز راحت‌تر و سریعتر است، توصیه می‌گردد. بر اساس نقشه‌های EC و SAR تهیه شده با کاربرد روش کریجینگ معمولی و معیارهای موجود، وضعیت منطقه‌ی از لحاظ شدت نفوذ آب به خاک مورد پیش‌بینی قرار گرفت. با توجه به نتایج حاصله به نظر می‌رسد که قسمت اعظم منطقه‌ی مورد مطالعه‌ی شامل نواحی شمالی و غربی از نفوذپذیری خوب برخوردار باشد. مابقی منطقه‌ی، که درصد نسبتاً زیادی را، بویژه در شمال شرقی و جنوب شرقی، شامل می‌شود دارای قابلیت نفوذپذیری متوسط است.

واژه‌های کلیدی: زمین‌آمار، کریجینگ معمولی، لاگ کریجینگ، هدایت الکتریکی، نسبت جذبی سدیم، نفوذپذیری

¹ - استادیار مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل

² - استادیار مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل

³ - دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل

* نویسنده مسئول: mas_delbari@yahoo.com

مقدمه

امروزه کمبود منابع آب با کیفیت مناسب در بخش کشاورزی، بخصوص در مناطق خشک و نیمه خشک، از موضوعهای اساسی مورد بحث است (بلیتران، 1999). فراسنج‌های کیفی آب آبیاری (شوری و سدیمی) تأثیر زیادی بر بسیاری از ویژگی‌های خاک می‌گذارد (آیزر و وسکات، 1989؛ وارنس و همکاران، 2003). بنابراین، آگاهی از تغییرپذیری مکانی فراسنج‌های کیفی آب آبیاری مهم در جهت شناخت و مدیریت بهتر منابع آب و اراضی می‌باشد. یکی از مهمترین مشخصه‌های فیزیکی خاک از نظر کشاورزی نفوذ¹ است که همان فرایند ورود آب به خاک از سطح آن می‌باشد. نفوذپذیری ضعیف خاک با ایجاد اختلال در استقرار گیاه، نفوذ ریشه در داخل خاک و تأمین آب و مواد غذایی کافی به وسیله گیاه، در مجموع اثر منفی بر عملکرد و بقای گیاه دارد (آیزر و وسکات، 1989؛ هانسون و همکاران، 1999؛ فالستاد، 2000؛ وارنس و همکاران، 2003). بنابراین، طراحی و مدیریت بهتر روش‌های آبیاری، مستلزم داشتن آگاهی از وضعیت نفوذپذیری خاک می‌باشد. شوری (EC) و نسبت جذبی سدیم (SAR) آب، معمولترین عوامل موثر در شدت نفوذ آب به خاک می‌باشند (هاداس و فرنکل، 1982؛ آیزر و وسکات، 1989؛ اسلاویچ و همکاران، 2002). آب با شوری بالا میزان نفوذپذیری را افزوده، در حالی که آب با شوری پایین و یا نسبت جذبی سدیم بالا میزان نفوذپذیری را کاهش می‌دهد (آیزر و وسکات، 1989). مشکلات نفوذپذیری مرتبط با کیفیت آب آبیاری معمولاً در لایه‌های سطحی خاک رخ داده و مربوط به پایداری ساختمان خاک سطحی و میزان کم کلسیم نسبت به سدیم آن می‌شود. زمانی که خاکی با آب دارای سدیم بالا آبیاری می‌شود، خاکی با درصد سدیم بالا در لایه سطحی ایجاد شده که موجب تضعیف ساختمان خاک می‌گردد. در نتیجه خاکدانه‌های خاک سطحی به ذرات کوچکتر شکسته شده که باعث بسته شدن خلل و فرج خاک و کاهش نفوذپذیری می‌گردد. چنین وضعیتی ممکن است بر اثر آبیاری با آب کم شور (کمتر از 0/5 دسی‌زیمنس بر متر) نیز به وجود آید، که این مربوط به طبیعت خورنده‌ی

این‌گونه آب‌هاست و نه مقدار سدیم آب یا خاک (آیزر و وسکات، 1989). در واقع، آب با شوری کم باعث شستشوی نمکها و عناصر محلول، بخصوص کلسیم که تأثیر زیادی بر پایداری خاکدانه‌ها و ساختمان خاک دارد، از خاک سطحی می‌شود. در مورد تأثیر فراسنج‌های کیفی آب بر ویژگی‌های خاک، از جمله نفوذپذیری مطالعات مختلفی صورت گرفته است (استر و شرور، 1979؛ آقاسی و همکاران، 1981؛ شنبرگ و لتی، 1984؛ میلر و دناهو، 1995؛ هانسون و همکاران، 1999؛ میلیهول و همکاران، 1999؛ فالستاد، 2000؛ باودر و بروک، 2001؛ وان دی گراف و پاترسون، 2001). هاداس و فرانکل (1982) نیز در تحقیقی بیان داشتند که آب با نسبت جذبی سدیم بالا به خاطر پراکندگی ذرات رس و تورم آنها موجب کاهش پایداری خاک و در نهایت کاهش نفوذپذیری می‌شود. همچنین، امداد و همکاران (1382) در مطالعه‌ی خود به این نتیجه رسیدند که تأثیر غلظت زیاد سدیم اثر شوری را تحت الشعاع قرار داده، و در حقیقت عامل سدیم موجب کاهش نفوذپذیری نهایی خاک شده است. جدول 1 وضعیت نفوذپذیری خاک را با توجه به کیفیت (EC) و SAR) آب آبیاری نشان می‌دهد (آیزر و تانجی، 1981). بر اساس این جدول، آبی با SAR مساوی یا بزرگتر از 12 و EC کمتر از 2/9 میلی‌موس بر سانتیمتر، شدت نفوذ آب به خاک را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد. از طرفی افزایش شوری آب یا کاهش SAR می‌تواند باعث افزایش شدت نفوذ گردد. بنابراین، جهت ارزیابی درست اثر کیفیت آب بر شدت نفوذ آب به خاک، دو عامل شوری و SAR بایستی با هم مورد بررسی قرار بگیرند. منابع آب زیرزمینی در دشت کرمان همانند بسیاری از مناطق کشور از جمله منابع اصلی تأمین کننده آب مورد نیاز آبیاری است. بررسی وضعیت آب زیرزمینی منطقه‌ی از لحاظ فراسنج‌های کیفی و تأثیر آنها بر نفوذپذیری خاک احتیاج به نمونه‌برداری از آب به تعداد نسبتاً زیادی در کل منطقه‌ی مورد مطالعه‌ی دارد، که این خود نیاز مند صرف وقت و هزینه زیادی (چه از نظر عملیات صحرائی و چه آزمایشگاهی) می‌باشد. یکی از راه‌های مقابله با این مشکل نمونه‌برداری از تعداد معدودی محل که معرف کل منطقه‌ی باشند، و سپس با کاربرد نتایج حاصل از آنها به

¹. Infiltration

همکاران، 2005؛ گارسیا سولداتو و همکاران، 2008؛ ادهیکاری و همکاران، 2009). با وجود این در ایران مطالعات چندانی در خصوص ارزیابی روشهای مختلف کریجینگ برای میان‌یابی شوری و سدیمی آب زیرزمینی به جز تعدادی معدود (تقی‌زاده مهرجردی و همکاران، 2008) صورت نگرفته است. مقاله‌ی حاضر از روشهای زمین‌آماري برای بررسی توزیع مکانی هدایت الکتریکی و نسبت جذبی سدیم آب زیرزمینی، و تهیه‌ی نقشه‌های هم‌میزان آنها در منطقه‌ی دشت کرمان استفاده می‌کند. این نقشه‌ها می‌توانند ابزار مفیدی در پیش‌بینی شکل توزیع مکانی نفوذپذیری خاک باشند.

مواد و روشها

منطقه‌ی مورد مطالعه‌ی و نمونه برداری

منطقه‌ی مورد مطالعه‌ی دشت کرمان است که از لحاظ آب و هوایی در منطقه‌ی خشک و نیمه خشک قرار گرفته است. از لحاظ موقعیت جغرافیایی بین عرضهای 15° و 30° و 30° 30' شمالی و طولهای جغرافیایی 57° 00' و 15° 57' شرقی قرار دارد. متوسط ارتفاع دشت از سطح دریا 1755 متر می‌باشد. نمونه برداری آب از 76 حلقه چاه مشاهده‌ای در سطح دشت کرمان در سال 1387 صورت گرفته است. در شکل 1 موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه‌ی و محل چاههای مشاهده‌ای نشان داده شده است. اندازه‌گیری ویژگیهای کیفی آب شامل هدایت الکتریکی (EC)، نسبت جذبی سدیم (SAR)، آنیونها، کاتیونها، pH و TH از تجزیه‌ی شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی در آزمایشگاه حاصل گردید.

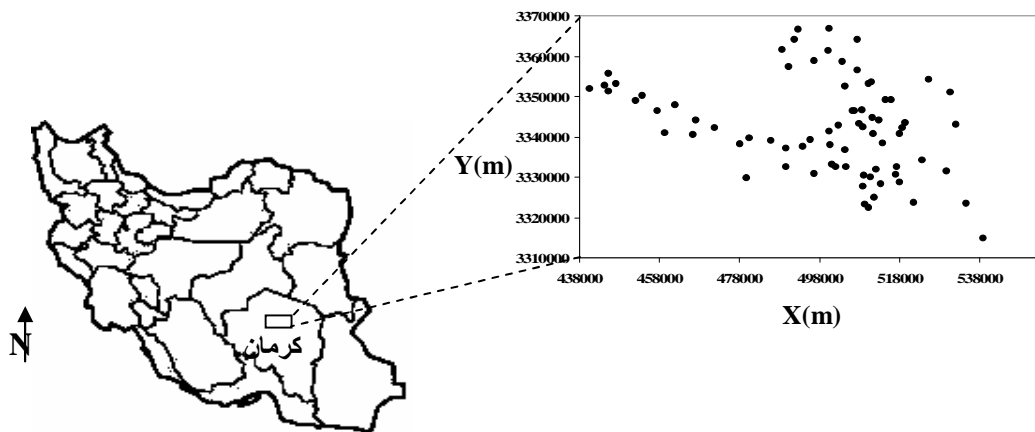
کل منطقه‌ی به‌وسیله‌ی روشهای متداول زمین‌آماري است. اساس زمین‌آمار بر این فرض استوار است که نمونه‌های برداشت شده یک ویژگی، مستقل از یکدیگر نبوده بلکه یک وابستگی فضایی (فاصله‌ای و جهتی) بین آنها وجود دارد (جورنل و هوجبرگس، 1978). پیوستگی مکانی بین داده‌های می‌تواند با کاربرد ابزارهای مختلفی مانند تابع همبستگی¹، تابع هم‌اریانس² و یا نیم‌تغییرنما³ توصیف گردد (ایساک و اسریواستاوا، 1989). از جمله متداولترین این ابزارها برای شبیه کردن ساختار مکانی یک متغیر نیم‌تغییرنماست (ایساک و اسریواستاوا، 1989). به مجموعه‌ای از روشهای میان‌یابی زمین‌آماري که از ارتباط مکانی بین داده‌های در فرایند تخمین استفاده می‌کنند کریجینگ⁴ گفته می‌شود. معروفترین و متداولترین نوع کریجینگ، روش کریجینگ معمولی است که دارای کاربرد زیادی در علوم مختلف از جمله دانش خاک می‌باشد (بورگس و وبستر، 1980). با این حال، این روش نیز دارای محدودیتهایی است؛ از جمله این‌که بهترین نتایج را در صورت بهنجار بودن توزیع داده‌هایی ویژگی مورد بررسی ارائه می‌دهد، که این شرط لزوماً در مورد همه فراسنجهای علوم زمینی صادق نیست. این ویژگی و سایر محدودیتهای کریجینگ معمولی باعث شده است که دانشمندان در مطالعات مختلفی عملکرد این روش را با انواع دیگر کریجینگ مورد مقایسه‌ی قرار دهند (گوارتس، 1998؛ بیشاپ و مک برتنی، 2001؛ ترینتافیلیس و همکاران، 2001). روش لاگ کریجینگ که در آن لگاریتم داده‌های به‌جای داده‌هایی خام تخمین زده می‌شوند، یکی از روشهای متداول برای میان‌یابی بسیاری از ویژگیهای زمینی و محیطی است که دارای توزیع با چولگی مثبت می‌باشند (ساتو و همکاران، 2000). در دهه‌های اخیر، مطالعات پرشماری در مورد بررسی تغییرات مکانی و میان‌یابی ویژگیهای کیفی آب زیرزمینی به کمک روشهای زمین‌آماري صورت گرفته است (زیرشکی و همکاران، 1985؛ روحانی و هال، 1988؛ سودرسترم، 1992؛ استوک و همکاران، 1993؛ هو و

¹ correlation function

² covariance function

³ semivariogram

⁴ Kriging



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه‌ی و محل چاههای مشاهده‌ای.

دلبری، 2007). با افزایش h مقدار نیم‌تغییر نما تا فاصله‌ی معینی که دامنه یا شعاع تأثیر می‌نامند، افزایش می‌یابد، و پس از آن به حد ثابتی می‌رسد که به آن آستانه گفته می‌شود.

پس از محاسبه‌ی نیم‌تغییرنمای تجربی، بهترین شبیه‌انگاره‌ی بایستی بر آن برآزش شود. از جمله متداولترین شبیه‌ها، شبیه‌ی کروی است که معادله‌ی آن مطابق زیر می‌باشد:

$$g(h) = \begin{cases} C_0 + C \left[\frac{3h}{2a} - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] & h \leq a \\ C_0 + C & h > a \end{cases} \quad [2]$$

که در آن $C_0 + C$ اثر قطعه‌ای، C_0 حد آستانه، و a دامنه‌ی تأثیر می‌باشد.

روشهای میان‌یابی

کریجینگ معمولی⁵

تخمینگر کریجینگ معمولی (OK) که آن را بهترین تخمین‌گر خطی ناریب⁶ (BLUE) نیز می‌نامند (جورنل و هوجبرگس، 1978)، به شکل معادله‌ی زیر تعریف می‌شود (ایساک و اسریواستاوا، 1989):

تجزیه و تحلیل‌های زمین‌آماري

نیم‌تغییرنما

در زمین‌آمار، برای بررسی ساختار تغییرپذیری متغیر مورد مطالعه‌ی نسبت به فاصله (مکانی یا زمانی)، لازم است تابع نیم‌تغییرنمای مناسب برقرار شود. نیم‌تغییرنما، واریانس وابسته به فاصله است که بانماد γ نشان داده می‌شود. اگر جمعاً تعداد $N(h)$ زوج نمونه $Z(x_i)$ و $Z(x_i+h)$ ، که به فاصله‌ی h از یکدیگر واقع شده‌اند در دست باشد نیم‌تغییرنمای تجربی¹، $g^*(h)$ مطابق زیر قابل محاسبه است (ایساک و اسریواستاوا، 1989):

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

هر نیم‌تغییرنما دارای سه مشخصه‌ی اصلی است: اثر قطعه‌ای²، آستانه³ و شعاع تأثیر⁴. مقدار نیم‌تغییرنما به ازای $h=0$ ، اثر قطعه‌ای نامیده می‌شود، که معمولاً ناشی از خطاهای نمونه‌برداری، اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل داده‌ها، و یا به دلیل تغییرات کوچک مقیاس (تغییراتی که در فواصل کمتر از کوچکترین فاصله نمونه‌برداری شده رخ می‌دهد) می‌باشد (ایساک و اسریواستاوا، 1989)؛

¹. experimental semivariogram

². nugget effect

³. sill

⁴. range of influence

⁵. ordinary kriging

⁶. best linear unbiased estimator

یک تبدیل معکوس به داده‌هایی قابل قیاس با داده‌هایی واقعی تبدیل کردند (دلبری، 2007).

روش و معیارهای ارزیابی

ارزیابی روشهای میان‌یابی به کار رفته با استفاده از روش اعتبارسنجی متقابل² (ایساک و اسریواستاوا، 1989)، با معیارهای ارزیابی جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین قدر مطلق خطا (MAE) و میانگین انحراف خطا (MBE) انجام می‌شود:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \{Z^*(x_i) - Z(x_i)\}^2} \quad [7]$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Z^*(x_i) - Z(x_i)| \quad [8]$$

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \{Z^*(x_i) - Z(x_i)\} \quad [9]$$

که در آنها، $Z^*(x_i)$ و $Z(x_i)$ به ترتیب مقدار تخمین زده شده و مقدار واقعی متغیر Z در نقطه‌ی x_i و n تعداد کل مشاهده‌ها، می‌باشد. علاوه بر این دو معیار، ضریب همبستگی (R) بین مقادیر مشاهده شده و تخمین زده شده نیز محاسبه می‌گردد. طبیعی است بهترین روش، آن است که دارای کمترین مقدار RMSE و MAE و بیشترین مقدار R باشد. مقدار MBE، که بیانگر میزان ارزیابی روش است، در یک تخمینگر نسبتاً دقیق بایستی نزدیک به صفر باشد (ایساک و اسریواستاوا، 1989).

نتایج و بحث

تجزیه و تحلیل آماری

تحلیل آماری ویژگیهای مورد مطالعه‌ی با محاسبه‌ی خلاصه آماری داده‌هایی EC و SAR (جدول 2) و رسم نمودار ستونی فراوانی آنها (شکل 2) انجام گرفته است. نتایج نشان دادند که EC و SAR هر دو دارای واریانس و ضریب تغییرات بالایی در منطقه‌ی مورد مطالعه‌ی می‌باشند. از طرفی، ضرایب چولگی (جدول 2) و شکل توزیع فراوانی (شکل 2) ویژگیهای مورد مطالعه‌ی بیانگر آنند که توزیع هر دو متغیر غیر بهنجار، بلکه دارای

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n I_i Z(x_i) \quad [3]$$

در این معادله، $Z^*(x_0)$ مقدار تخمین زده شده‌ی متغیر Z در موقعیت x_0 وزن یا اهمیت نسبت داده شده به مقدار معلوم متغیر Z در نقطه‌ی x_i و n تعداد نقاط همسایگی نقطه مورد تخمین است. وزنه‌ی اختصاص داده شده به مقادیر معلوم Z یعنی I_i ها، به‌نحوی محاسبه می‌گردند که اولاً، حاصل جمع آنها برابر با واحد گردد (معادله‌ی 5)، و ثانياً، کمترین واریانس کریجینگ فراهم شود (معادله‌ی 4). بنابراین، وزنه‌ی I_i با حل دستگاه $(n+1)$ معادله‌ی خطی زیر به‌دست می‌آید (ایساک و اسریواستاوا، 1989):

$$\sum_{j=1}^n I_j g(x_i, x_j) + m = g(x_i, x_0) \quad , \quad i = 1, \dots, n \quad [4]$$

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad [5]$$

که در آن $g(x_i, x_j)$ مقدار نیم‌تغییرنما بین تمام جفت نقاط معلوم، m ضریب لاگرانژین برای به کمترین رساندن واریانس کریجینگ و $g(x_i, x_0)$ میانگین نیم‌تغییرنما بین موقعیت مورد تخمین x_0 و n آمین نقطه مشاهده‌ای می‌باشد.

واریانس کریجینگ در نقطه x_0 ، که معیاری از مقدار نامعینی مقدار تخمین زده شده متغیر در این نقطه می‌باشد، عبارت است از:

$$S^2(x_0) = \sum_{i=1}^n I_i g(x_0, x_i) + m \quad [6]$$

با داشتن واریانس (یا انحراف معیار) کریجینگ، و با فرض یک توزیع بهنجار برای خطاهای کریجینگ، دامنه‌ی اطمینان مقادیر تخمین زده شده در سطوح اعتماد مختلف قابل محاسبه است (گوارتس، 1997).

لاگ کریجینگ¹

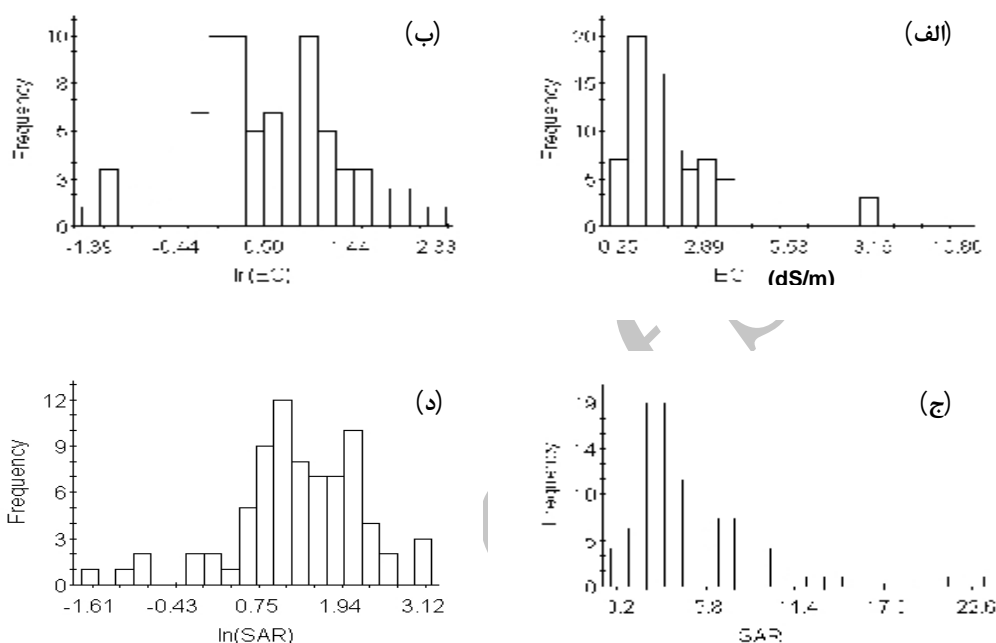
لاگ کریجینگ (LOK) در واقع همان کریجینگ معمولی است که در مورد داده‌هایی تبدیل یافته (لگاریتم داده‌های) صورت می‌گیرد. البته، در انتها لازم است که مقادیر تخمین زده شده همراه با واریانس تخمین آنها با

². Cross-validation

¹. Lognormal kriging

بهنجار نشده است، اما عدم تقارن توزیع داده‌هایی خام تا حدود زیادی برطرف شده است. در مطالعه‌ی تقی‌زاده مهرجردی و همکاران (2008) نیز از تبدیل لگاریتمی برای بهنجار سازی داده‌هایی EC و SAR استفاده شده است، در حالی که ادهیکاری و همکاران (2009) از هیچ تبدیلی استفاده نکرده‌اند.

چولگی به سمت راست (مثبت) است. از این‌رو، از تبدیل لگاریتمی برای قرینه کردن توزیع فراوانی داده‌هایی استفاده گردید. آماره‌ها و نمودار ستونی فراوانی داده‌هایی تبدیل یافته به ترتیب در جدول 2 و شکل 2 ارائه‌ی شده است. نتایج نشان دادند که تبدیل لگاریتمی توانسته است توزیع داده‌هایی EC را به توزیع بهنجار تبدیل کند. در مورد SAR هر چند توزیع داده‌هایی لگاریتمی‌شده کاملاً



شکل 2- نمودار ستونی مربوط به هدایت الکتریکی (الف و ب) و نسبت جذبی سدیم (ج و د) با داده‌هایی خام و داده‌هایی لگاریتمی شده.

تجزیه و تحلیل زمین‌آماري

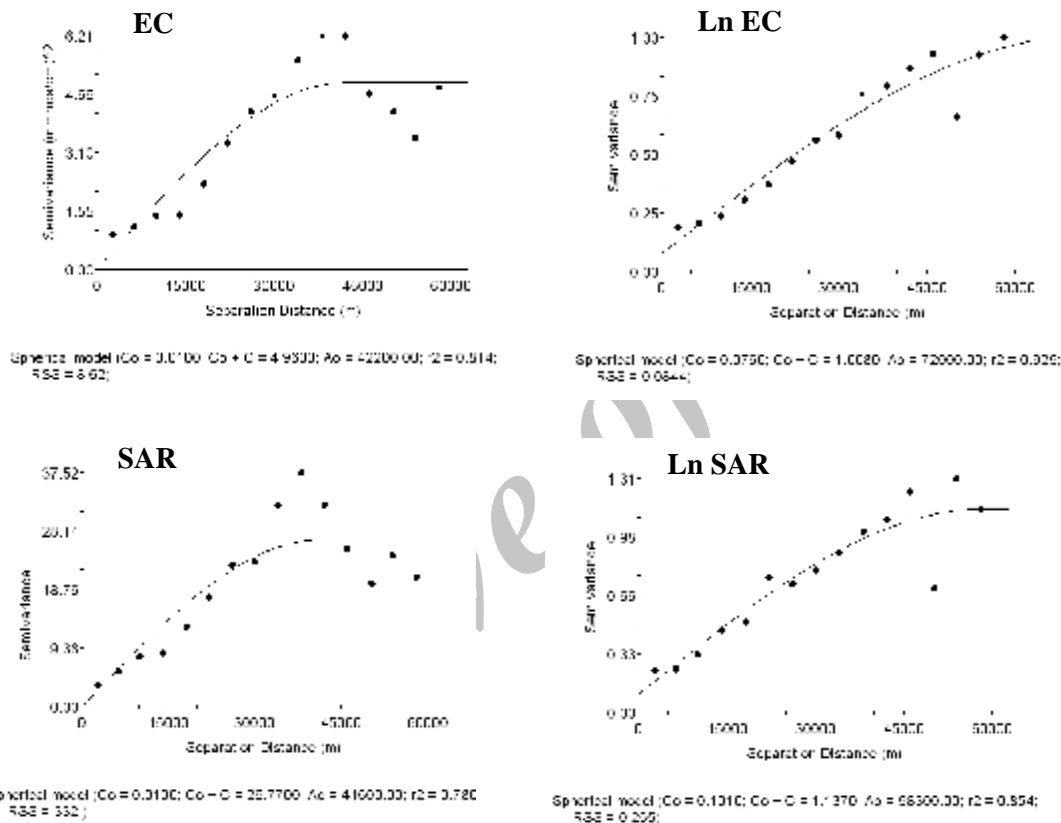
همبستگی مکانی EC و SAR

نظر (با داده‌هایی خام و تبدیل یافته) محاسبه و در شکل 3 نشان داده شده‌اند. همچنین، در این شکل بهترین شبیه‌برازش شده به نیم‌تغییرنماها از نظر داشتن کمترین مجذور مربعات خطا (RSS) و بیشترین ضریب همبستگی (r^2) که با کاربرد نرم افزار GS+ (روبرتسون، 2000) محاسبه شده، ارائه گردیده است. بر اساس نتایج حاصله، ساختار مکانی EC (و لگاریتم آن) و SAR (و لگاریتم آن) از شبیه‌کروی تبعیت می‌کند، که مشخصات این شبیه‌ها شامل اثر قطعه‌ای، آستانه و شعاع تأثیر آنها در

برای بررسی تغییرات مکانی شوری و سدیمی آب زیرزمینی در جهات مختلف، نیم‌تغییرنمای تجربی داده‌هایی EC و SAR در چهار جهت 0، 45، 90 و 135 درجه با انحراف زاویه‌ای 22/5 درجه رسم گردیدند. نتایج نشان دادند که ویژگی‌های مورد بررسی ناهمسانگردی قابل ملاحظه‌ای از خود نشان نمی‌دهند. بنابراین، از نیم‌تغییرنمای همسانگرد برای مراحل بعدی تحقیق استفاده گردید. نیم‌تغییرنمای همسانگرد ویژگی‌های مورد

تأثیر آن نیز به مراتب بزرگتر است. تقی‌زاده مهرجردی و همکاران (2008) نیز برای EC و SAR شبیه‌سازی با شعاع تأثیر به ترتیب برابر با 42/9 و 47/4 کیلومتر را مناسبترین شبیه‌سازی ساختار مکانی معرفی کرده‌اند. نتایج مطالعه‌ی ادهیکاری و همکاران (2009) برای شبیه‌سازی ساختار مکانی EC، نشان از برتری شبیه‌سازی با شعاع تأثیر 37/2 کیلومتر بوده است.

شکل 3 ارائه‌ی شده‌اند. درصد بسیار پایین اثر قطعه‌ای نسبت به آستانه نیم‌تغییرنماها، بیان‌کننده‌ی همبستگی خوب ویژگیهای مورد مطالعه‌ی در سطح منطقه‌ی است (کامباردلا و همکاران، 1994). EC و SAR دارای ساختار مکانی مشابه با شعاع تأثیر حدود 42 کیلومتر می‌باشند. نیم‌تغییرنمای تجربی مربوط به لگاریتم داده‌هایی EC و SAR از پراکنش کمتری نسبت به نیم‌تغییرنمای داده‌های خام برخوردار بوده و فاصله‌ی



شکل 3- نیم‌تغییرنماهای (عرضی) تجربی مربوط به ویژگیهای مورد مطالعه‌ی آب زیرزمینی

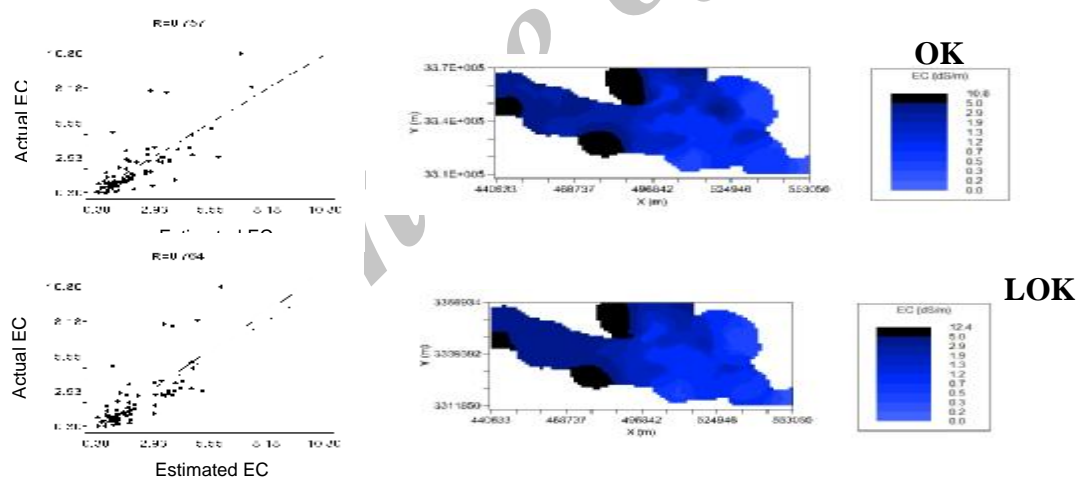
چند نقشه‌ی تهیه شده با کاربرد روش لاگ کریجینگ تفاوت بیشتری را نسبت به روش کریجینگ معمولی عرضه می‌دارد. بطور مثال، نواحی غربی منطقه، که در نقشه‌ی مربوط به OK دارای EC بین 1/9 تا 5 (دسی‌زیمنس بر متر) است، در روش LOK، EC آن بین 2/9 تا 5 (دسی‌زیمنس بر متر) می‌باشد. با این حال نتایج حاصل از ارزیابی متقابل (جدول 3) حاکی از آنند که هر دو روش دارای دقت (MAE و RMSE) و انحراف (MBE) مشابهی در تخمین EC می‌باشند. از طرف دیگر، ضرایب

میان‌یابی EC و SAR

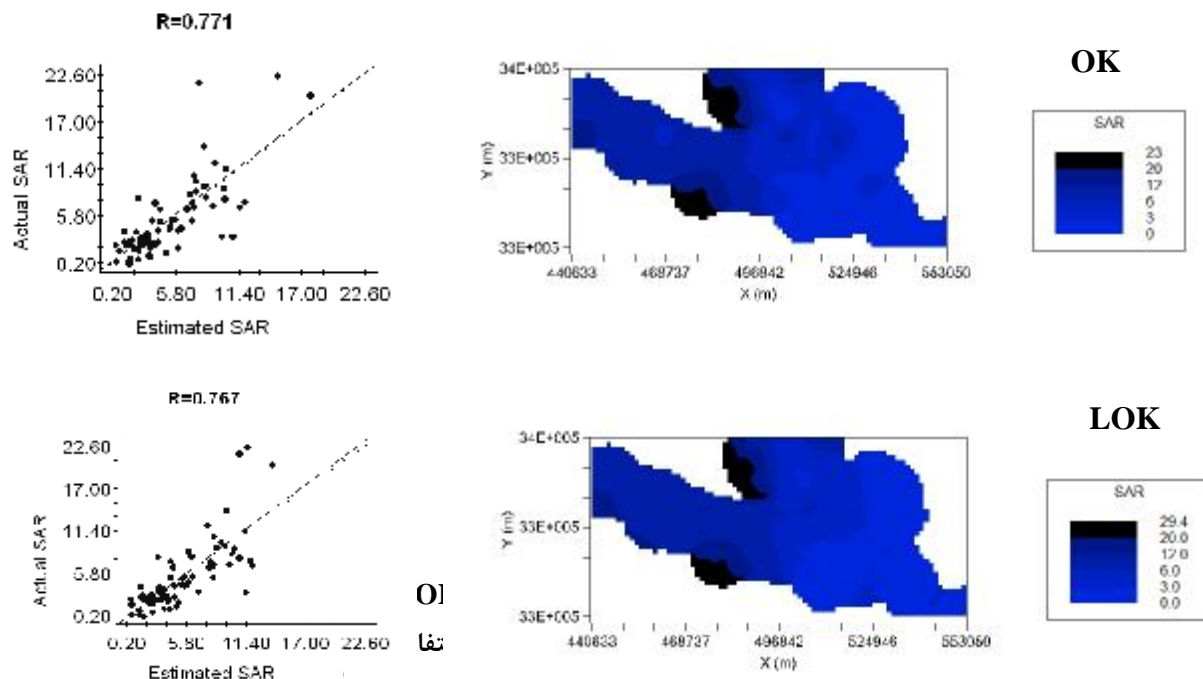
پس از بررسی همبستگی مکانی داده‌هایی EC و SAR، با به‌کار بردن مشخصات نیم‌تغییرنماها در سامانه‌ی کریجینگ، به میان‌یابی و پهنه‌بندی ویژگیهای مورد نظر در سطح مورد مطالعه‌ی پرداخته شد. نقشه‌های EC و SAR تهیه گردیده به کمک هر دو روش کریجینگ معمولی و لاگ کریجینگ در شکل‌های 4 و 5 ارائه شده‌اند. نقشه‌های EC مربوط به هر دو روش، شکل توزیع مکانی مشابهی را برای شوری آب زیرزمینی نشان می‌دهند، هر

در مورد SAR نیز هر دو روش نقشه‌های مشابهی را فراهم کرده‌اند. همانند EC، این بار نیز نقشه SAR مربوط به روش LOK تفاوت بیشتری را نسبت به روش OK نشان می‌دهد. با وجود این، نتایج حاصل از ارزیابی متقابل (جدول 3) تفاوت معنی‌داری را برای هر دو روش بیان نمی‌کند. این موضوع با مقایسه‌ی ضرایب همبستگی (R) و نمودار پراکنش مقادیر برآورد شده در مقابل مقادیر واقعی SAR (شکل 5) نیز به روشنی مشهود است. با استفاده از نقشه‌ی تهیه شده با کاربرد روش OK، و با توجه به جدول طبقه‌بندی خطر سدیمی آب آبیاری براساس نسبت جذبی سدیم (جدول 4، آیرز و وسکات، 1989) کل سطح مورد مطالعه‌ی به سه ناحیه‌ی دارای درجه‌های مختلفی از خطر سدیمی آب طبقه‌بندی گردید (شکل 6). این شکل نشان می‌دهد که خطر سدیمی آب آبیاری در بیش از 82% منطقه، و بویژه در نیمه‌ی شرقی آن پایین می‌باشد. تنها در حدود 7% منطقه‌ی خطر سدیمی آب بالاست، که این مناطق بیشتر شامل بخشهایی در شمال و جنوب غربی منطقه‌ی می‌باشد.

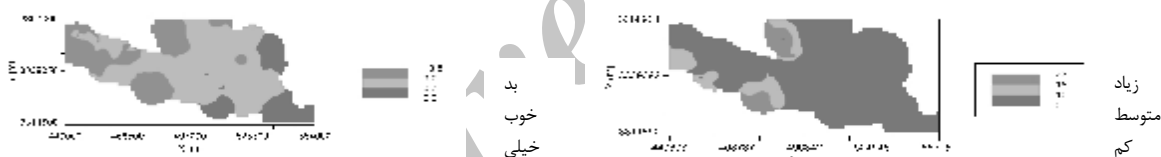
همبستگی (R)، و نمودار پراکنش مقادیر واقعی در برابر مقادیر برآورد شده EC که در شکل 4 نشان داده شده است، بار دیگر نیکویی عملکرد مشابه روشهای میان‌یابی به‌کار گرفته شده را نشان می‌دهد. بر اساس نقشه‌ی تهیه شده با کاربرد روش OK، و با توجه به معیارهای طبقه‌بندی آب آبیاری بر اساس هدایت الکتریکی ارائه‌ی شده در جدول 4 (آیرز و وسکات، 1989)، کل سطح مورد مطالعه‌ی به سه ناحیه دارای درجه‌های مختلفی از کیفیت آب طبقه‌بندی گردید (شکل 6). با توجه به این شکل، حدود 18% منطقه‌ی با داشتن EC کمتر از 0/7 (دسی زیمنس بر متر)، از کیفیت آب خیلی خوب، 55% با دارا بودن EC بین 0/7 و 3 (دسی زیمنس بر متر) از کیفیت آب متوسط و تقریباً 27% دارای EC بیش از 3 (دسی زیمنس بر متر) بوده، و بنابراین، از آب نامطلوبی برخوردار می‌باشند. دسته‌ی اخیر بیشتر شامل نواحی شمالی و غربی منطقه‌ی مورد مطالعه‌ی است. این مناطق نیاز به سامانه‌ی زهکشی خوب داشته و تا حد امکان بایستی با گیاهان مقاوم به شوری کشت گردند.



شکل 4- نقشه‌های EC آب زیرزمینی تهیه شده با استفاده از روشهای OK و LOK. در سمت چپ نمودار پراکنش داده‌هایی مشاهده گردیده در مقابل داده‌هایی برآورد شده EC با استفاده از هر دو روش ارائه گردیده است.



شکل 5- نقشه‌های SAR آب زیرزمینی تهیه شده با استفاده از روشهای OK و LOK. در سمت چپ نمودار پراکنش داده‌هایی مشاهده شده در مقابل داده‌هایی برآورد گردیده SAR با استفاده از هر دو روش ارائه‌ی شده است.



شکل 6- طبقه بندی منطقه‌ی مورد مطالعه بر اساس کیفیت آب از لحاظ اندازه‌ی EC (سمت چپ) و خطر سدیمی شدن بر اساس SAR (سمت راست) با توجه به حدود ارائه‌ی شده در جدول 4.

جدول 1- راهنمای تفسیر کیفیت آب برای آبیاری از نظر تاثیر آن بر شدت نفوذ آب به خاک (آیبرز و تانجی، 1981).

EC (دسی زیمنس بر متر)			SAR
بد	متوسط	خوب	0-3
<0/2	0/2	>0/7	3-6
<0/3	0/3	>1/2	6-12
<0/5	0/5	>1/9	12-20
<1/3	1/3	>2/9	20-40
<2/9	2/9	>5	

جدول 2- خلاصه‌ی آماری داده‌هایی EC (دسی زیمنس بر متر) و SAR در منطقه‌ی مورد مطالعه،

متغیر	میانگین	کمترین	بیشترین	واریانس	انحراف معیار	ضریب تغییرات (%)	چولگی	کشیدگی
EC	2/1	0/25	10/8	3/84	1/96	93	2/3	6
Ln* EC	0/416	-1/39	2/38	0/652	0/808	11	0/11	-0/17
SAR	5/361	0/2	22/6	20/366	4/513	83	1/93	4/42
Ln SAR	1/336	-1/611	3/12	0/844	0/919	69	-0/83	1/28

* لگاریتم نپری

جدول 3- نتایج حاصل از ارزیابی متقابل،

متغیر	روش میان‌یابی	MBE	MAE	RMSE
EC	روش میان‌یابی معمولی	-0/07	0/767	1/269
(دسی زیمنس بر متر)	لاگ کریجینگ	-0/08	0/771	1/269
SAR	روش میان‌یابی معمولی	-0/27	1/81	2/864
	لاگ کریجینگ	-0/04	1/90	2/872

جدول 4- معیارهای پیشنهاد شده برای طبقه بندی آب آبیاری براساس هدایت الکتریکی و نسبت جذبی سدیم.

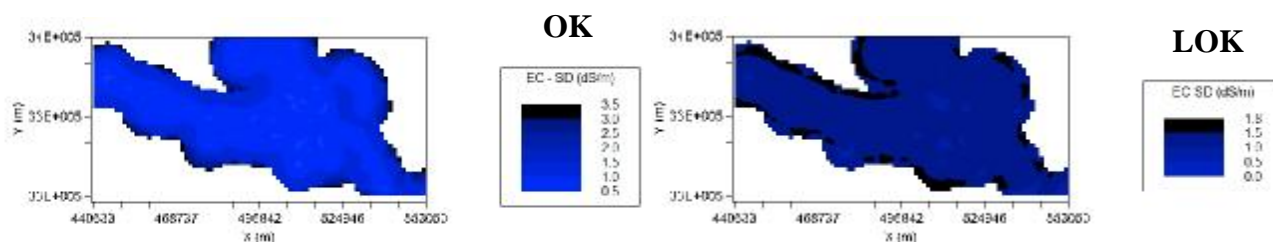
درجه‌ی محدودیت برای آبیاری	واحد	ویژگی آب
زیاد	کم	متوسط
3<	0/7-3	<0/7
نسبت جذبی سدیم (SAR)	-	هدایت الکتریکی (EC) (دسی زیمنس بر متر)
18<	10-18	<10

EC را ارائه‌ی کرده، که ممکن است به دلیل خطاهایی باشد که هنگام تبدیل معکوس مقادیر برآورد شده به نقشه‌های میان‌یابی شده وارد می‌شود (یاتریارچی و همکاران، 2005).

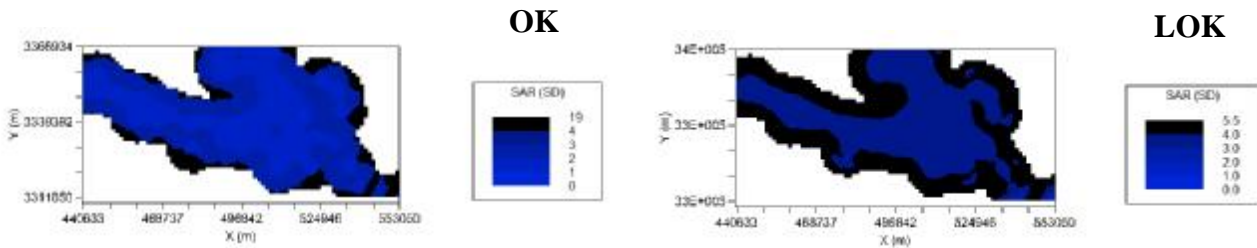
همانند EC، در مورد SAR نیز مقایسه‌ی نقشه‌های انحراف معیار ایجاد شده روند مشابهی را در سراسر منطقه‌ی نشان می‌دهد؛ مقدار نامعینی SAR برآورد شده در مجاورت نقاط مشاهده‌ای کمتر، و در محل‌هایی که فاصله‌ی نقاط از یکدیگر بیشتر است، بزرگتر می‌باشد. روش OK کمترین و روش LOK بیشترین خطای تخمین را نشان می‌دهد.

ارزیابی خطای تخمین EC و SAR

علاوه بر نقشه‌های هم‌تراز EC و SAR، نقشه‌های انحراف معیار (خطا) تخمین مربوط به هر ویژگی نیز با استفاده از روش‌های OK و LOK رسم گردیدند (شکل 7 و 8). بطور کلی، هر دو روش میان‌یابی خطای تخمین EC را در نزدیکی نقاط نمونه برداری شده کمتر نشان می‌دهند، که این بیان‌کننده نامعینی کمتر مقادیر برآورد شده در این محلهاست. برعکس، نامعینی مقادیر برآورد شده با فاصله گرفتن از محل نقاط مشاهده‌ای، بیشتر می‌گردد. هر چند دو روش روند یکسانی از خطای تخمین EC ارائه‌ی داده‌اند، روش LOK بیشترین خطای تخمین



شکل 7- نقشه‌های خطای تخمین EC آب زیرزمینی (دسی زیمنس بر متر) تهیه شده با استفاده از روش‌های OK و LOK.



شکل 8- نقشه‌های خطای تخمین SAR آب زیرزمینی تهیه شده با استفاده از روشهای OK و LOK.

مطالعه‌ی دارای همبستگی مکانی قوی بوده و ساختار مکانی آنها از شبیه نیم‌تغییرنمای کروی تبعیت می‌کند. نتایج حاصل از ارزیابی متقابل نشان دادند که هر دو روش OK و LOK دارای دقت (MAE و RMSE) و انحراف (MBE) مشابهی در تخمین EC و SAR در منطقه‌ی مورد مطالعه‌ی می‌باشند. ناکارآمدی روش LOK ممکن است به دلیل خطاهایی باشد که در فرایند تبدیل معکوس داده‌ها رخ می‌دهد (پاتریارچی و همکاران، 2005). این نتایج نشان می‌دهند که در مواردی که هدف تنها ارائه‌ی یک تصویر کلی از شکل توزیع مکانی یک ویژگی در سطح منطقه‌ی است، روش کریجینگ معمولی که از نظر اجرا نیز راحت‌تر و سریعتر است به روشهای دیگر ترجیح داده شود.

بطور کلی، هر دو روش OK و LOK روند مشابهی را از خطای تخمین EC و SAR در سراسر منطقه‌ی نشان دادند؛ مقدار نامعینی EC و SAR برآورد شده در مجاورت نقاط مشاهده‌ای کمتر، و در محل‌هایی که فاصله‌ی نقاط از یکدیگر بیشتر است، زیادتر می‌باشد. روش LOK بیشترین خطای تخمین EC را ارائه‌ی کرد، که همان‌گونه که گفته شد، می‌تواند به دلیل خطاهایی باشد که هنگام تبدیل معکوس مقادیر برآورد شده به نقشه‌های میان‌یابی شده وارد می‌گردد (پاتریارچی و همکاران، 2005).

در نهایت، با استفاده از نقشه‌های میان‌یابی EC و SAR اقدام به شناسایی مناطق مستعد از نظر داشتن وضعیت بد، متوسط و خوب نفوذپذیری گردید. نتایج حاصله نشان دادند که کل منطقه‌ی مستعد نفوذپذیری متوسط و خوب می‌باشد، هر چند درصد مناطقی با قابلیت نفوذپذیری خوب، که شامل بخش‌های زیادی از نواحی شمالی و غربی می‌باشد، بیشتر است. آگاهی از وضعیت

کاربرد نقشه‌های میان‌یابی شده‌ی EC و SAR در

پیش‌بینی وضعیت نفوذپذیری خاک

یکی از اهداف این تحقیق پیش‌بینی وضعیت منطقه‌ی مورد مطالعه‌ی از نظر نفوذپذیری خاک می‌باشد. بنابراین، پس از برآورد شوری و سدیمی در کل منطقه، و تهیه‌ی نقشه‌های آنها با توجه به حدود اعداد ارائه‌ی شده در جدول 1، اقدام به شناسایی مناطق مستعد نفوذپذیری بد، متوسط و خوب گردید. در این راستا، با توجه به تشابه دقت روشهای میان‌یابی استفاده شده در تخمین EC و SAR از نقشه تهیه گردیده با کاربرد روش OK استفاده شد. نتایج حاصله نشان دادند که جنوب شرقی منطقه‌ی، قسمتهایی از شمال شرقی و بخشی از نواحی مرکزی منطقه‌ی مورد مطالعه‌ی دارای قابلیت نفوذپذیری متوسط می‌باشند. به نظر می‌رسد که مابقی منطقه، که بیشتر شامل نواحی شمالی و غربی می‌شود، با داشتن SAR بالای 6 و EC بالای 1/9 (دسی زیمنس بر متر)، از نظر نفوذپذیری در وضعیت خوبی به سر می‌برند. این اطلاعات می‌توانند در فرایندهای تصمیم‌گیری از جمله برنامه‌ریزی و مدیریت آبیاری بسیار سودمند باشد.

خلاصه و نتیجه‌گیری

تجزیه و تحلیل آماری ویژگیهای مورد مطالعه‌ی نشان داد که هدایت الکتریکی (EC) و نسبت جذبی سدیم (SAR) هر دو دارای واریانس و ضریب تغییرات بالایی در منطقه‌ی مورد مطالعه‌ی می‌باشند. از طرف دیگر، توزیع داده‌هایی EC و SAR غیر بهنجار بوده که به‌وسیله‌ی تبدیل لگاریتمی توزیع هر دو متغیر تا حدود زیادی در پیرامون میانگین متقارن گردید.

تجزیه و تحلیل زمین آماری نشان داد که داده‌هایی هدایت الکتریکی و نسبت جذبی سدیم در منطقه‌ی مورد

- Iowa soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 1501–1511.
11. Delbari, M. 2007. Estimation and stochastic simulation of soil properties for case studies in Lower Austria and Sistan plain, southeast of Iran. Doctorate thesis. University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna, Austria.
 12. Falstad, J. 2000. Soil Condition. Transplant status in Burger Draw. Billings Gazette. Prepared by D.G. Steward Page. Burger Draw Comments and Recommendations. 6/06/00.
 13. García-Soldado, M.J., M. Chica-Olmo, J.A. Luque-Espinar, and V. Rodríguez-Galiano. 2008. A geostatistical approach to water quality spatial analysis at municipal level. *Int. geo. Congr. Oslo*, August, 6-14th.
 14. Goovaerts, P. 1997. Geostatistics for natural resources evaluation. Oxford University Press, New York. 483 p.
 15. Goovaerts, P. 1998. Geostatistical tools for characterizing the spatial variability of microbiological and physico-chemical soil properties. *Biol. Fertil. Soils*. 27: 315-334.
 16. Hadas, A., and H. Frenkel. 1982. Infiltration as affected by long-term use of sodic-saline water for irrigation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46: 524-530.
 17. Hanson, B., S.R. Grattan, and A. Fulton. 1999. Agricultural salinity and drainage. University of California Irrigation Program. University of California, Davis.
 18. Hu, K., Y. Huang, H. Li, B. Li, D. Chen, and R.E. White. 2005. Spatial variability of shallow groundwater level, electrical conductivity and nitrate concentration, and risk assessment of nitrate contamination in North China Plain. *Env. Int.* 6: 896-903.
 19. Isaaks, E.H., and R.M. Srivastava. 1989. An introduction to applied geostatistics. Oxford University Press. New York. 561 p.
 20. Istok, J.D., J.D. Smyth, and A.L. Flint. 1993. Multivariate geostatistical analysis of groundwater contamination: a case history. *Groundwater*. 31: 63-74.
 21. Journel, A.G., and C.J. Huijbregts. 1978. Mining geostatistics. Academic Press. New York. 600 p.
 22. Mailhol, J.C., M. Priol, and M. Benali. 1999. A furrow irrigation model to improve irrigation practices in the Gharb
- نفوذپذیری خاک می‌تواند در فرایندهای تصمیم‌گیری، از جمله برنامه‌ریزی و مدیریت آبیاری بسیار سودمند باشد.
- منابع**
1. امداد، م. ر.، ح. فرداد، و ح. سیادت. 1382. تأثیر کیفیت-های مختلف آب آبیاری (شوری و سدیمی) بر نفوذپذیری نهایی خاک در آبیاری جویچه‌ای علوم خاک و آب، 17 :: 239-232.
 2. Adhikary, P.P., H. Chandrasekharan, D. Chakraborty, and K. Kamble. 2009. Assessment of groundwater pollution in West Delhi, India using geostatistical approach. *Environ. Monit Assess. DOI* 10.1007/s10661-009-1076-5.
 3. Agassi, M., I. Shainberg, and J. Morin. 1981. Effect of electrolyte concentration and soil sodicity on infiltration rate and crust formation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48: 848-851.
 4. Ayers, R.S., and K. Tanji. 1981. An application from Ayers and Westcot's 1985 "Use of treated municipal wastewaters for irrigation." *FAO Irrigation and Drainage Paper No. 29 Rev. 1*. Originally published as an ASCE 1981 Water Forum Conference Proceedings.
 5. Ayers, R.S., and D.W. Westcot. 1989. Water quality for agriculture. *FAO Irrigation and Drainage. Paper No: 29*, pp. 1–174. Rome.
 6. Bauder, J.W., and T.A. Brock. 2001. Irrigation water quality, soil amendment, and crop effects on sodium leaching. *Arid Land Res. and Manage.* 15: 101-113.
 7. Beltran, J.M. 1999. Irrigation with saline water: benefits and environmental impact. *Agric. Wat. Manage.* 40:183-194.
 8. Bishop, T.F.A., and A.B. McBratney. 2001. A comparison of prediction methods for the creation of field-extent soil property maps. *Geoderma* 103: 149–160.
 9. Burgess, T.M., and R. Webster. 1980. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties: I. The variogram and punctual kriging. *J. Soil Sci.* 31: 315–331.
 10. Cambardella, C.A., T.B. Moorman, J.M. Novak, T.B. Parkin, D.L. Karlen, R.F. Turco, and A.E. Konopka. 1994. Field-scale variability of soil properties in central

34. Van de Graaff, R., and R.A. Patterson. 2001. Explaining the mysteries of salinity, sodicity, SAR and ESP in on-site practice p.p.361-368.
35. Patterson, R.A., and M.J. Jones (Eds). In Proceedings of On-site '01 Conf: Advancing On-site Wastewater Systems Published by Lanfax Laboratories, Armidale ISBN 0-9579438-0-6.
36. Warrence, Nikos, J., E. Pearson, James. Krista and W. Bauder. 2003. The basics of salinity and sodicity effects on soil physical properties [Online]. Available at <http://waterquality.montana.edu/docs/methane>.
37. Zirschky, J., G.P. Keary, R.O. Gilbert, and E.J. Middlebrooks. 1985. Spatial estimation of hazardous waste site data. *J. Environ. Eng. Div. ASCE*, 111: 777-789.
- Valley of Morocco. *Agric. Wat. Manage.* 42(1): 65-80.
23. Miller, R.W., and R.L. Donahue. 1995. *Soils in our Environment. Seventh Edition.* Prentice Hall. Englewood Cliffs, NJ. 323 p.
24. Oster, J.D., and W. Schroer. 1979. Infiltration as influenced by irrigation water quality. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43: 444-447.
25. Patriarche, D., M.C. Castro, and P. Goovaerts. 2005. Estimating regional hydraulic conductivity fields—A comparative study of geostatistical methods. *Math. Geol.* 37: 587–613.
26. Robertson, G.P. 2000. *GS+: Geostatistics for the environment sciences. GS+ User's Guide Version 5: Plainwell, Gamma design software.* 200 p
27. Rouhani, S., and T.J. Hall. 1988. Geostatistical schemes for groundwater sampling. *J. Hydrol.* 103: 85-102.
28. Saito, H., and P. Goovaerts. 2000. Geostatistical interpolation of positively skewed and censored data in a dioxin-contaminated site. *Environ. Sci. Technol.* 34: 4228–4235.
29. Shainberg, I., and J. Letey. 1984. Response of soils to sodic and saline conditions. *Hilgardia* 61: 21-57.
30. Slavich, P.G., G.H. Petterson, and D. Griffin. 2002. Effects of irrigation water salinity and sodicity on infiltration and lucerne growth over a shallow water table. *Aus. J. of Exp. Agric. Anim. Husb.* 42: 379-387.
31. Söderström, M. 1992. Geostatistical modeling of salinity as a basis for irrigation management and crop selection—A case study in central Tunisia. *Environ. Geol.* 20: 85-92.
32. Taghizadeh Mehrjardi, R., M. Zareian Jahromi, Sh. Mahmodi and, A. Heidari. 2008. Spatial distribution of groundwater quality with geostatistics (Case Study: Yazd-Ardakan Plain). *World Appl. Sci. J.* 4: 9-17.
33. Triantafilis, J., I.O.A. Odeh, and A.B. McBratney. 2001. Five geostatistical models to predict soil salinity from electromagnetic induction data across irrigated cotton. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65: 869–878.