

ارزیابی توانایی روش‌های مختلف کریجینگ در پهنه‌بندی شوری خاک در شهرستان اهواز

زهرا سواری^۱، سعید حجتی^{۱*} و روح‌الله تقی‌زاده مهرجردی^۲

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۶/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۲/۷)

چکیده

شوری و سدیمی بودن خاک کیفیت فیزیکی، شیمیایی و همچنین بیولوژیکی خاک را کاهش می‌دهد و در نهایت کاهش عملکرد محصول را به دنبال دارد. این تحقیق با هدف ارزیابی تغییرات شوری خاک با استفاده از روش‌های مختلف زمین‌آماری در شهرستان اهواز انجام گرفته است. برای این منظور تعداد ۶۹ نمونه خاک از عمق صفر تا ۱۰ سانتی‌متری سطح خاک برداشت شد و مقادیر هدایت الکتریکی عصاره نسبت ۱:۱ خاک به آب در نمونه‌ها اندازه‌گیری گردید. در این پژوهش از سه روش زمین‌آماری کریجینگ معمولی، لاگ نرمال کریجینگ و کریجینگ شاخص برای تهیه نقشه شوری خاک استفاده گردید. به منظور ارزیابی دقت این روش‌ها از پارامترهای آماری مجذور میانگین مربعات خطا و ضریب تبیین استفاده شد. نتایج نشان داد که روش لاگ کریجینگ با داشتن حداقل مجذور میانگین مربعات خطا و حداکثر ضریب تبیین که به ترتیب برابر ۰/۳۴ و ۰/۷۳ است، مدل مناسب و دقیق‌تر برای ارزیابی شوری خاک است. روش کریجینگ شاخص براساس آستانه‌های تعریف شده توانسته است احتمال خطر شوری را در کلاس‌های ۴، ۸، ۱۶ و ۳۲ دسی‌زیمنس بر متر نشان دهد. بر این اساس بخش اعظم منطقه دارای شوری بالای ۴ دسی‌زیمنس بر متر است. نتایج نقشه نهایی شوری خاک نشان داد که بیشترین مقدار تجمع نمک مربوط به غرب و جنوب غرب منطقه و کمترین مقدار شوری در بخش‌های شرق و شمال منطقه مشاهده می‌شود.

کلمات کلیدی: تغییرات مکانی، زمین‌آمار، کریجینگ شاخص، شوری، اهواز

۱. گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

۲. گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه اردکان

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: s.hojati@scu.ac.ir

مقدمه

شوری خاک یکی از عوامل محدود کننده تولیدات کشاورزی است که باعث کاهش رشد گیاه به ویژه گیاهان حساس به شوری می شود. خاک های شور بیش از سه درصد از سطح زمین را اشغال کرده و سبب کاهش ۲۰ درصدی تولید محصولات کشاورزی در سراسر جهان در کشت های آبی می شوند (۱۹) و (۲۹). استان خوزستان با داشتن پنج درصد از منابع خاکی کشور یکی از مستعدترین مناطق ایران جهت توسعه کشاورزی به شمار می آید. وجود املاح شور در مواد مادری، بالا بودن سطح آب زیرزمینی، تبخیر زیاد و بارندگی کم باعث شده که اراضی خوزستان به مدیریت بالا برای مقابله با مشکلات شوری و قلیائیت نیاز داشته باشند (۱۲). همچنین وجود رودخانه کارون پرآب ترین رود ایران به عنوان منبع اصلی تأمین آب بر اهمیت این منطقه می افزاید. محدودیت شوری خاک در شهر اهواز یکی از معضلات مهم بخش کشاورزی است که نیاز به مدیریت و برنامه ریزی دقیق و کارآمد جهت احیای خاک ها و حفظ زمین های کشاورزی و اکوسیستم های طبیعی دارد.

به طور کلی، پایش تغییرات شوری با پایش فرآیندهای شوری زایی ارتباط دارد. همان طور که تجربه نشان داده است، شور شدن خاک نتیجه مدیریت ضعیف آب و خاک خواهد بود که به طور قابل ملاحظه ای با گذشت زمان افزایش می یابد (۲۴). پایش شوری در وهله اول نیازمند شناسایی مکان های تجمع نمک و سپس بررسی تغییرات مکانی و زمانی آن می باشد. نقشه برداری و پهنه بندی شوری اولین گام جهت مدیریت بهتر خاک های شور است که در این رابطه، از تکنیک های مختلف از جمله فناوری زمین آمار می توان استفاده نمود (۲۴). به طور کلی روش های گوناگونی جهت پهنه بندی و تخمین تغییرات پیوسته مکانی و زمانی خصوصیات خاک وجود دارد که می توان به سه دسته روش های هندسی، روش های مبتنی بر فاصله و روش های زمین آماری تقسیم بندی کرد. هر یک از این روش ها دارای محدودیت ها، مزایا و معایبی بوده و بر یک سری فرضیات استوار می باشد که انتخاب روش مناسب برای تخمین باید براساس این

عوامل و نیز دقت و کیفیت مورد نظر انجام شود (۳).

از مهم ترین روش های توصیف تغییرات مکانی، روش های زمین آماری است که در دهه های گذشته به عنوان ابزاری قدرتمند برای تخمین توزیع بسیاری از متغیرهای محیطی مطرح شده است (۲۰). کریجینگ یکی از روش های پرکاربرد در زمینه درون یابی است. کریجینگ یک روش و تخمین گر محلی و تصادفی برای برآورد مقادیر یک متغیر در نقاط نمونه برداری نشده، با استفاده از مقادیر آن متغیر در نقاط نمونه برداری شده است. امروزه شاخه های مختلفی از روش کریجینگ گسترش یافته اند که هر کدام با توجه به ویژگی ها و اهداف خاص درون یابی، می توانند دقت این روش را بهبود بخشند. از جمله این روش ها می توان به کریجینگ عام و کریجینگ شاخص اشاره نمود. در این روش ها که برای پهنه بندی متغیرهای کمی استفاده می شود فرض بر این است که داده های مشاهده ای دارای توزیع نرمال هستند (۳۰).

کریجینگ شاخص یک روش زمین آماری غیرخطی برای مدل سازی تغییرات مکانی است. این روش مستلزم یک تغییر غیرخطی به نام کدبندی (codification) می باشد. در واقع در روش کریجینگ شاخص با تعریف حدود آستانه و گسسته سازی داده ها بر این اساس، درون یابی انجام می گیرد. این روش، داده ها را به صوت دو حالت یعنی {۰، ۱} تبدیل می کند و برای هر نقطه مجهول، احتمال عبور و یا عدم عبور کمیت مجهول آن نقطه را از حدود آستانه تعریف شده مشخص می کند (۹). به طور کلی کریجینگ شاخص با فراهم کردن اطلاعات در رابطه با توزیع مکانی داده ها در کلاس بندی مشخص، به تخمین احتمالی مقادیر بالای آستانه کمک می کند. کریجینگ شاخص به طور وسیع برای تجزیه و تحلیل های احتمالی، پیش بینی توزیع مکانی و ارزیابی خطر احتمالی در منطقه مانند خطر احتمالی آلودگی خاک ها به فلزات سنگین استفاده می شود (۱۴ و ۳۶).

با توجه به اهمیت روش های زمین آماری در مطالعات خاک شناسی پژوهش های زیادی به منظور پهنه بندی و تهیه نقشه

در نقاط فاقد اطلاعات برخوردار است. ارسال (۱۸) به‌منظور بررسی تغییرات مکانی و زمانی شوری آب زیرزمینی ۹۷ چاه در دوره ۷ ساله (۲۰۱۰-۲۰۰۴) در دشت بافرا در ترکیه از روش کریجینگ عام و کریجینگ شاخص استفاده نمود. در این مطالعه کریجینگ عام جهت بررسی روند تغییرات مکانی و از کریجینگ شاخص به‌منظور ارزیابی خطر شوری براساس مقدار آستانه پنج دسی‌زیمنس بر متر استفاده شد. بررسی نقشه‌های تغییرات مکانی نیز نشان داد که شوری آب زیرزمینی از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۰ روند کاهشی داشته است. همچنین اطلاعات مندرج درون نقشه‌های کریجینگ شاخص حاکی از آن است که در سال ۲۰۰۴ نسبت به سال ۲۰۱۰، ۱۳/۶۰ درصد از کل منطقه دارای شوری بالای حد آستانه بین ۰/۸ تا ۱ می‌باشد.

با توجه به این‌که در مناطق جنوب کشور از جمله استان خوزستان یکی از مهم‌ترین مشکلات کشاورزی مسئله شور و سدیمی بودن خاک است، بنابراین مدیریت اراضی شور و شناسایی مکان‌های دارای محدودیت بالا در این مناطق از اولویت‌های مهم مسائل کشاورزی است. از طرفی به‌کار بردن روش‌های مکانی ویژه به‌منظور بررسی تغییرپذیری خصوصیات خاک می‌تواند در اصلاح این خاک‌ها مؤثر واقع شود. این تحقیق با هدف پهنه‌بندی شوری خاک و شناسایی مناطق دارای شوری زیاد، مقایسه روش‌های کریجینگ عام، لاگ کریجینگ و کریجینگ شاخص، بررسی خطر احتمال شوری براساس آستانه‌های مختلف شوری و ارزیابی دقت روش کریجینگ شاخص در ارزیابی خطر شوری خاک در شهرستان اهواز انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

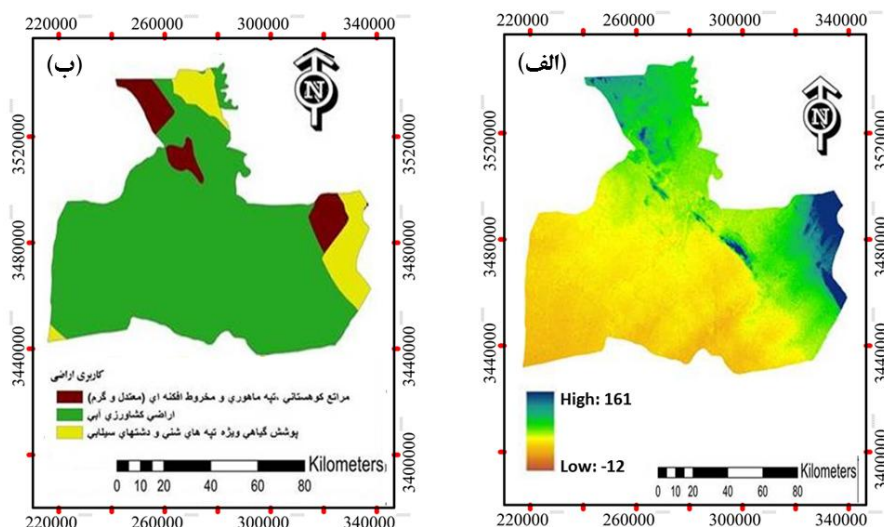
منطقه مورد مطالعه

این تحقیق در شهرستان اهواز با مساحت ۲۰۰۰۰۰ هکتار در مرکز استان خوزستان انجام گرفت (۱۲). شهرستان اهواز در موقعیت جغرافیایی ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۴۰ دقیقه طول شرقی، در بخش جلگه‌ای خوزستان واقع شده است. خاک‌های شهرستان اهواز از نوع خاک‌های

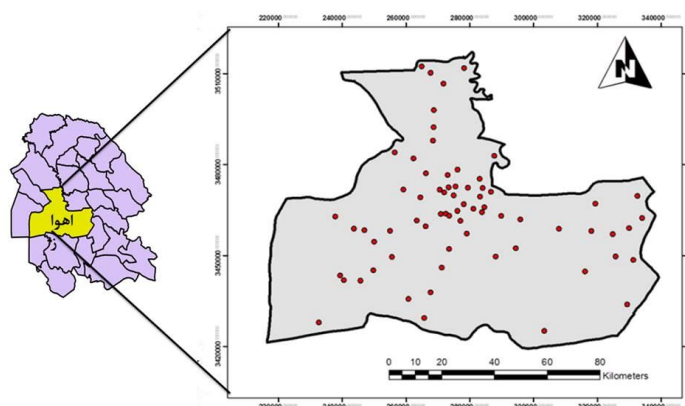
شوری خاک با استفاده از تکنیک زمین‌آمار انجام گرفته است که از آن جمله می‌توان به مطالعه بیلگیلی و همکاران (۱۹) اشاره نمود. ایشان برای تهیه نقشه شوری و سدیمی خاک در دشت هاران (ترکیه) از روش کریجینگ شاخص به‌عنوان یک روش غیرخطی استفاده کردند. برای این کار تعداد ۲۰۰ نمونه خاک به‌صورت تصادفی از سراسر دشت برداشت و هدایت الکتریکی آنها اندازه‌گیری شد. نتایج ایشان نشان داد که توزیع احتمالی خطر شوری در منطقه شامل کلاس‌های غیرشور، شور، شور-سدیمی و سدیمی است. همچنین کایدانی و دلبری (۱۳) به‌منظور پهنه‌بندی شوری خاک در منطقه میانکنگی استان سیستان بلوچستان از دو روش کریجینگ عام و کریجینگ شاخص استفاده نمودند. نتایج نشان داد که هر دو روش زمین‌آمار از دقت مشابهی در تخمین شوری خاک برخوردار هستند. ولی روش کریجینگ شاخص بر خلاف روش کریجینگ معمولی قادر است علاوه بر نقشه تخمین شوری، نقشه خطر شوری خاک را در منطقه با توجه به حدود آستانه تعیین شده تهیه کند.

الدیاری و گارسیا (۲۵) طی پژوهشی با هدف مدیریت خاک و مقایسه میزان محصول در خاک‌های با درجه‌های مختلف شوری از روش کریجینگ شاخص استفاده نمودند. نتایج ایشان نشان داد که این روش می‌تواند برای تهیه نقشه‌های راهنما استفاده شود به‌گونه‌ای که منطقه را براساس آستانه شوری برای هر محصول، به بخش‌های با پتانسیل‌های مختلف تقسیم‌بندی نماید.

سکوتی اسکویی و همکاران (۱۰) با هدف ارزیابی و تحلیل تغییرات مکانی شوری خاک روش‌های مختلف زمین‌آمار را در برآورد و تهیه نقشه پراکنش مکانی شوری خاک مورد استفاده قرار دادند و برای برآورد شوری خاک در نقاط نمونه‌برداری نشده، از روش کریجینگ، کوکریجینگ و میانگین متحرک وزن‌دار در محیط سامانه‌های اطلاعات مکانی استفاده نمودند. نتایج ایشان نشان داد که در مقایسه با سایر روش‌های اشاره شده روش کریجینگ از دقت بیشتری برای برآورد میزان شوری



شکل ۱. الف) نقشه مدل رقومی ارتفاعی (DEM) و ب) نقشه کاربری اراضی شهرستان اهواز



شکل ۲. موقعیت منطقه مورد مطالعه و پراکندگی نقاط نمونه برداری در شهرستان اهواز

منطقه مورد بررسی دارای ارتفاع بیشتری نسبت به سایر نواحی است (کوهستان و تپه ماهور) که بایر و غیر زراعی بوده و مناطق مسکونی در بخش مرکزی واقع شده‌اند و سایر نواحی که بخش عمده‌ای از منطقه را شامل می‌شود توسط اراضی کشاورزی پوشانده شده است (شکل ۱ ب).

نمونه برداری و تجزیه آزمایشگاهی

به منظور انجام نمونه برداری، تعداد ۶۹ نمونه خاک، به صورت نامنظم و تصادفی از عمق صفر تا ۱۰ سانتی متری سطح خاک در نقاط مختلف شهرستان اهواز برداشت گردید (شکل ۲).

رسوبی و در بعضی از مناطق خاک‌های شور قلیا و قهوه‌ای لیتوسل است. از نظر اقلیمی شهرستان اهواز دارای تابستان‌های بسیار گرم و طولانی و زمستان‌های کوتاه و معتدل است. متوسط رطوبت نسبی این ناحیه تقریباً معادل ۴۳ درصد و براساس طبقه بندی دومارتن که متکی به دو متغیر میانگین بارندگی و میانگین دما است، شهر اهواز در گروه اقلیم خشک قرار دارد (۲). بخش عمده منطقه دارای ارتفاع پایین تر نسبت به آب دریا است به طوری که حداکثر ارتفاع ۱۶۱ متر مربوط به شرق منطقه و حداقل ارتفاع ۱۲- متر مربوط به جنوب غرب است (شکل ۱، الف). بر این اساس، بخش‌های شمالی و شرق

برای سنجش شدت و ضعف همبستگی مکانی داده‌ها، معیارهای مختلفی وجود دارد که یکی از آنها نسبت بخش ساختاردار، (C) به کل واریانس یا حد آستانه (C₀ + C) نیم تغییر نما است. با زیاد شدن مقدار C، مقدار C₀ (بخش بدون ساختار) کم می‌شود و این امر نشان دهنده همبستگی مکانی بالاتر متغیر مورد نظر است که در بهترین حالت، این نسبت می‌تواند برابر یک شود. به طور کلی می‌توان همبستگی مکانی داده‌ها را براساس نسبت $(\frac{C_0}{C_0 + C})$ به سه گروه قوی، متوسط و ضعیف تقسیم کرد. به گونه‌ای که اگر نسبت مذکور بزرگتر از ۷۵ درصد باشد داده‌ها دارای همبستگی قوی، اگر بین ۲۵ تا ۷۵ درصد باشد همبستگی مکانی داده‌ها متوسط و نسبت کمتر از ۲۵ درصد نشان دهنده داده‌های با دارای همبستگی همبستگی ضعیف هستند (۲۱).

کریجینگ معمولی

ساده‌ترین و معمول‌ترین روش تخمین در زمین‌آمار کریجینگ معمولی است که در این مطالعه برای تخمین مقدار شوری در نقاط اندازه‌گیری نشده مورد استفاده قرار گرفت (۲۴). تخمین شوری در این روش از طریق رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad [2]$$

که در این معادله $Z(x_i)$ مقدار اندازه‌گیری شده متغیر در مکان (x_i) ، $Z(x_0)$ مقدار تخمین زده شده متغیر در نقطه (x_0) ، λ_i وزن داده شده به متغیر x در نقطه i و n تعداد کل مشاهدات می‌باشد (۱۴، ۲۶).

لاگ نرمال کریجینگ

اگر داده‌ها توزیع نرمال نداشته باشند، نمی‌توان روش‌های کریجینگ خطی را به کار گرفت، زیرا در این حالت اثر تناسب واریانس با میانگین وجود خواهد داشت. در چنین حالتی بهتر است که داده‌ها را با به کارگیری یک روش تبدیل مناسب نرمال کرد تا بتوان از روش‌های خطی برای تخمین استفاده نمود. از

به توضیح است که از آنجایی که محدوده مطالعاتی فضای شهری را نیز شامل می‌گردید و از سوی دیگر در بخش‌هایی از حومه شهر به دلیل وجود موانع طبیعی (وجود آب‌گرفتگی‌های فصلی در زمان نمونه‌برداری، انجام پروژه‌های مختلف عمرانی در نقاط مختلف شهرستان و ...) دسترسی به برخی نقاط امکان‌پذیر نبود، از اینرو روش نمونه‌برداری نامنظم برای بررسی وضعیت شوری انتخاب گردید. سپس نمونه‌های مذکور به آزمایشگاه منتقل و هوا خشک شده و پس از کوبیدن و عبور از الک دو میلی‌متر، از آنها عصاره ۱:۱ تهیه و هدایت الکتریکی آنها توسط دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی مدل Starter ۳۱۰۰ اندازه‌گیری گردید (۳۷). با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶ چگونگی توزیع داده‌ها بررسی و توصیف آماری آنها انجام گردید و در مواردی که نیاز به نرمال‌سازی داده‌ها بود، داده‌های آزمایشی با استفاده از روش تبدیل داده‌ها (لگاریتم‌گیری از آنها در مبنای ۱۰) نرمال شدند (۱ و ۳۲).

مطالعات زمین‌آماري

جهت پهنه‌بندی و تهیه نقشه شوری خاک از روش‌های زمین‌آماري کریجینگ عام و کریجینگ شاخص در محیط نرم‌افزار ArcGIS نسخه شماره ۱۰/۲ استفاده گردید. به منظور بررسی تغییرپذیری مکانی شوری خاک، نیم تغییر نمای Semivariogram) تجزیه داده‌ها در محیط نرم‌افزار GS+ نسخه ۵ ترسیم گردید. در رابطه (۱) نیم تغییر نما با $\gamma(h)$ نشان داده شده است.

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

در این رابطه $N(h)$ تعداد جفت نقاطی است که فاصله آنها از هم به اندازه h است و $Z(x_i)$ و $Z(x_i+h)$ متغیرهای ناحیه‌ای هستند (۳ و ۱۲). در این مطالعه سه مدل نیم تغییر نما شامل مدل کروی، نمایی و گوسی جهت برازش داده‌ها استفاده گردید و جهت انتخاب مدل مناسب برای نیم تغییر نمای تجربی مقادیر ضریب تبیین و مجذور مجموع مربعات به دست آمده برای هر مدل مورد ارزیابی قرار گرفتند.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(Z^*(x_i) - Z(x_i) \right)^2} \quad [4]$$

$$R^2 = \left[\frac{\sum (Z^*(x_i) - \bar{Z}^*) (Z(x_i) - \bar{Z})}{\sqrt{\sum ((Z^*(x_i) - \bar{Z}^*)^2 (Z(x_i) - \bar{Z})^2)}} \right]^2 \quad [5]$$

نتایج و بحث

توصیف آماری داده‌ها

خلاصه آماری داده‌های اولیه و داده‌های تبدیل شده شوری خاک در جدول (۱) ارائه شده است. با توجه به جدول (۱) داده‌های اولیه شوری خاک دارای میانگین برابر ۲۴/۸۷ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد که دلیل بر بالا بودن میزان شوری در منطقه مطالعاتی می‌باشد. مقدار میانه داده‌ها برابر ۱۱/۵۷ دسی‌زیمنس بر متر است که در حالت توزیع نرمال مقدار میانه و میانگین باید تقریباً یکسان باشند. همچنین پارامتر ضریب تغییرات بیانگر پراکندگی و تغییرپذیری زیاد داده‌های شوری در منطقه مطالعاتی است. شرط استفاده از آنالیز واریوگرام برای بررسی ساختار مکانی، نرمال بودن داده‌ها است؛ زیرا توزیع نرمال تأثیر زیادی بر واریوگرام دارد (۱۴). به منظور بررسی نرمال بودن داده‌های هدایت الکتریکی از آزمون کولموگروف - اسمیرونوف استفاده گردید. چنانچه سطح معنی‌داری در این آزمون بیشتر از ۵ درصد باشد می‌توان داده‌ها را با اطمینان بالا نرمال فرض نمود. نتایج این آزمون در جدول (۲) ارائه شده است. بر این اساس و طبق نمودار توزیع فراوانی داده‌ها (شکل ۳ الف) می‌توان گفت که توزیع داده‌های شوری خاک در منطقه نرمال نبوده و دارای چولگی مثبت (راست) هستند که نشان دهنده وجود نقاط با مقادیر بسیار زیاد شوری در سطح منطقه است.

بر این اساس، داده‌های شوری خاک ابتدا به روش لگاریتمی نرمال‌سازی گردید. خلاصه آماری داده‌های تبدیل یافته در جدول (۱) ارائه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود تبدیل لگاریتمی توانسته است توزیع داده‌ها را به حالت نرمال درآورده و مقدار ضریب تغییرات را نیز کاهش داده است. همچنین مقادیر میانه و میانگین با هم برابر شده است. دلبری و

اینرو در این مطالعه از داده‌های لگاریتمی استفاده گردید. سپس از روش کریجینگ معمولی برای تخمین داده‌ها استفاده گردید و سپس مقادیر تخمین زده شده با یک تبدیل معکوس به مقادیر واقعی تبدیل شدند (۲۸).

کریجینگ شاخص (Indicator Kriging)

کریجینگ شاخص یک روش پیش‌بینی غیرخطی است. این روش بر مبنای تبدیل غیرخطی داده‌ها با در نظر گرفتن یک سری حدود آستانه عمل می‌کند. اساس کار در این روش بر این است که ابتدا با توجه به معادله (۳) مقادیر کمیت مورد نظر به دو کد صفر و یک تبدیل می‌شوند. به این صورت که به مقادیر اصلی اگر از حد آستانه کوچک‌تر باشند، کد صفر و اگر بزرگ‌تر باشند، کد یک تعلق می‌گیرد.

$$I(X : Z_k) = \begin{cases} 0 & \text{if } Z(X) \leq Z_k \\ 1 & \text{other} \end{cases} \quad K = 1, \dots, K \quad [3]$$

در این معادله $I(X; Z_k)$ متغیر شاخص، Z_k حد آستانه و K تعداد کل آستانه‌هاست. در مطالعه حاضر روش کریجینگ شاخص با در نظر گرفتن حدود آستانه ۴، ۸، ۱۶ و ۳۲ دسی‌زیمنس بر متر انجام شد (۹). لازم به توضیح است که در روش کریجینگ شاخص مقدار توزیع تجمعی برآورد شده در هر نقطه به صورت ناپیوسته بوده و بنابراین میان‌یابی بین هر دو نقطه میانی تابع و برون‌یابی نقاط تابع باید انجام گیرد. با وجود تابع توزیع تجمعی پیوسته در هر نقطه، مقدار میانگین این تابع و واریانس شرطی متناظر با آن و همچنین مقدار احتمال اینکه در هر نقطه، مقدار متغیر بیشتر از حد آستانه مورد نظر باشد، قابل محاسبه است (۳۴ و ۳۸).

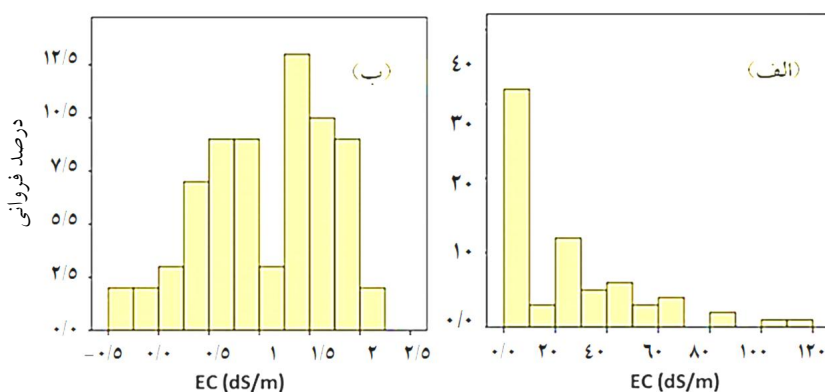
به منظور برآورد کیفیت نقشه‌های تهیه شده از پارامترهای آماری مجذور میانگین مربعات خطا (معادله ۴) و ضریب تبیین با استفاده از معادله ۵ تعیین می‌شود. هر قدر مجذور میانگین مربعات خطا به صفر نزدیک‌تر باشد نشان دهنده خطای کمتر است و در مقابل هر چه مقدار ضریب تبیین به یک نزدیک باشد نشان دهنده همبستگی بیشتر بین مقادیر واقعی و برآورد شده است (۲۷).

جدول ۱. توصیف آماری داده‌های شوری خاک منطقه

توزیع داده‌ها	داده‌های خام	داده‌های تبدیل شده
تعداد	۶۹	۶۹
حداقل	۰/۳۵	-۰/۵
حداکثر	۱۱۴/۵۰	۲/۶
میانگین	۲۴/۷۸	۱/۰۶
میانه	۱۱/۵۷	۱/۰۶
چولگی	۱/۴۱	-۰/۴۴
کشیدگی	۱/۶۴	-۰/۶۴
ضریب تغییرات	۱۱۴/۵	۲/۵۶
انحراف معیار	۲۶/۸	۰/۶۲
Kolmogorov-Smirnov Z	۱/۶۳	۰/۷۵
Asymp. Sig. (۲-tailed)	۰/۱	۰/۶۲

جدول ۲. مشخصات مدل برازش داده شده به نیم تغییر نمای تجربی

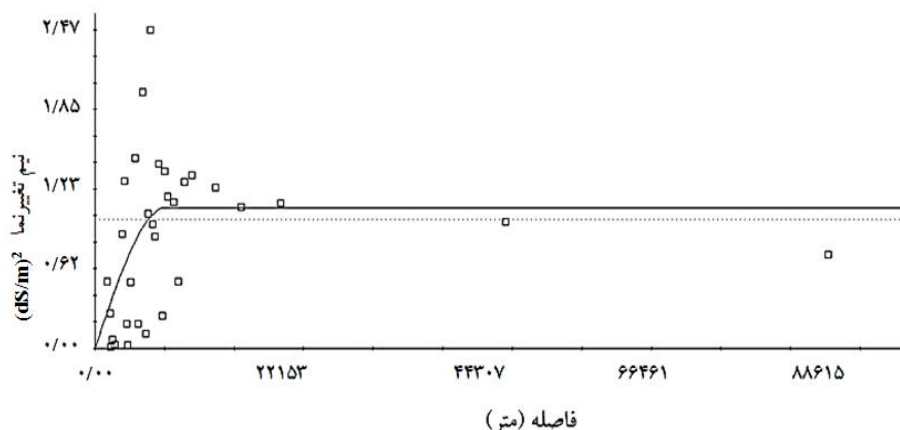
مدل	اثر قطعه‌ای	آستانه	دامنه تأثیر (m)	C/C.+C	R ^۲	RSS
کروی	۱	۷۷۹	۷۵۰۰	۰/۹۹	۰/۲۸	۴/۱
نمایی	۱	۸۳۶	۱۰۸۰۰	۰/۹۹	۰/۲۵	۴/۴
گوسی	۲۱	۷۹۴	۶۲۳۵	۰/۹۷	۰/۲۷	۴/۹



شکل ۳. هیستوگرام فراوانی داده‌های شوری خاک، الف) داده‌های اولیه و ب) داده‌های تبدیل شده

(۳۰) برای نرمال سازی داده‌های هدایت الکتریکی روش لگاریتمی را پیشنهاد نموده‌اند.

جهانی (۶) نیز جهت نرمال کردن داده‌های شوری و سدیمی خاک‌های منطقه چات استان گلستان از روش لگاریتمی استفاده کردند. همچنین والتر و مک براتنی (۴۰) و جردن و همکاران



شکل ۴. نیم تغییر نمای تجربی داده‌های شوری خاک

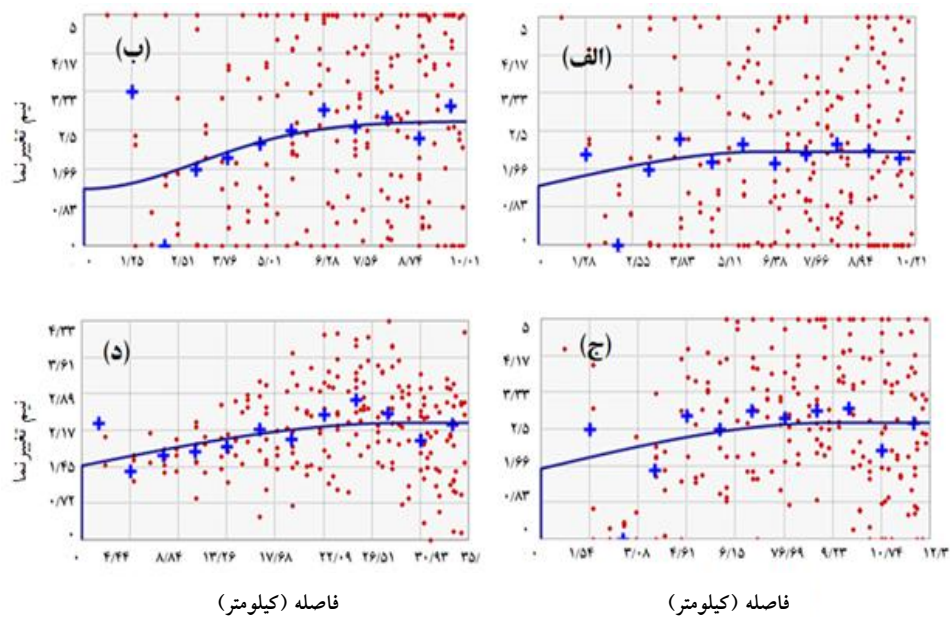
مطالعات زمین‌آماری

به منظور بررسی وجود همسانگردی، نیم تغییر نماهای تجربی در چهار جهت صفر، ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ درجه ترسیم شد و نتایج بررسی وضعیت همسانگردی داده‌ها در منطقه نشان داد که تغییرات مکانی شوری خاک در جهات مختلف تقریباً یکسان بوده و داده‌های مورد مطالعه همسانگرد می‌باشند (جدول (۲) مشخصات مدل‌های تئوری مختلف برازش داده شده بر داده‌های آزمایشی را جهت تعیین مؤلفه‌های مختلف تغییر نما نشان می‌دهد. بر این اساس از بین سه مدل کروی، نمایی و گوسی، مدل کروی با داشتن کمترین مقدار مجذور مجموع مربعات و بیشترین مقدار ضریب تبیین به عنوان مدل مناسب جهت تخمین‌های صورت گرفته به روش کریجینگ انتخاب گردید (شکل ۴). این نتایج با گزارش کایدانی و دلبری (۱۳)، محمدی (۳۵) و هانگ و همکاران (۲۳) در انتخاب مدل کروی جهت برازش به داده‌های شوری در مناطق مختلف مطابقت دارد. همچنین با توجه به مشخصات نیم تغییر نمای برازش داده شده در مدل کروی مقدار مؤلفه $\frac{C_0}{C_0 + C}$ برابر ۰/۹۹ است که نشان می‌دهد توزیع داده‌های شوری خاک در سطح منطقه دارای همبستگی مکانی بسیار قوی است. از مشخصات دیگر واریوگرام اثر قطعه‌ای می‌باشد. از نظر تئوری مقدار واریوگرام به ازاء $h=0$ (اثر قطعه‌ای) باید به حداقل مقدار خود یعنی به

صفر تنزل کند. در شرایط معمولی واریوگرام‌های واقعی که محصول تجربه می‌باشند از این شرایط تبعیت نمی‌کنند. در مطالعه حاضر مقدار اثر قطعه‌ای ۱ به دست آمده است. از جمله عواملی که در پیدایش اثر قطعه‌ای مؤثر است می‌توان به وجود مؤلفه‌های تصادفی در توزیع متغیر، خطاهای نمونه‌برداری، خطاهای آماده‌سازی و آنالیز نمونه‌ها اشاره نمود. همچنین تعداد نمونه‌هایی که برای محاسبه نیم تغییر نما به کار می‌رود نیز در بزرگی اثر قطعه‌ای می‌تواند مؤثر باشد (۳ و ۴).

مشخصه دیگر واریوگرام دامنه تأثیر است که بیانگر محدوده ساختار فضایی بین نقاط می‌باشد. برای یک متغیر ناحیه‌ای با ساختار فضایی، مقدار متغیر ناحیه‌ای نقاط نزدیک به هم نسبت به نقاط دور تشابه بیشتری دارند. لذا با افزایش فاصله مکانی به حدی می‌رسد که در آن ناحیه نقاط بر هم دیگر تأثیر چندانی ندارد و با افزایش فاصله واریوگرام تغییر معنی‌داری نمی‌کند. بزرگ بودن دامنه تأثیر دلیل بر وجود ساختار فضایی گسترده‌تر می‌باشد که در این صورت می‌توان تا محدوده بیشتری از داده‌های موجود در آن برای تخمین مقدار متغیر ناحیه‌ای در نقاط مجهول استفاده کرد (۴). در این مطالعه متوسط دامنه تأثیر برابر ۷۵۰۰ متر می‌باشد. بنابراین تا محدوده ۷۵۰۰ متر داده‌ها دارای ساختار مکانی بوده و بر یکدیگر تأثیر می‌گذارند.

مصلاهی و همکاران (۱۵) در مطالعه‌ای با عنوان پهنه‌بندی شوری خاک منطقه حسین‌آباد یزد با مساحت ۵۰۰ هکتار،



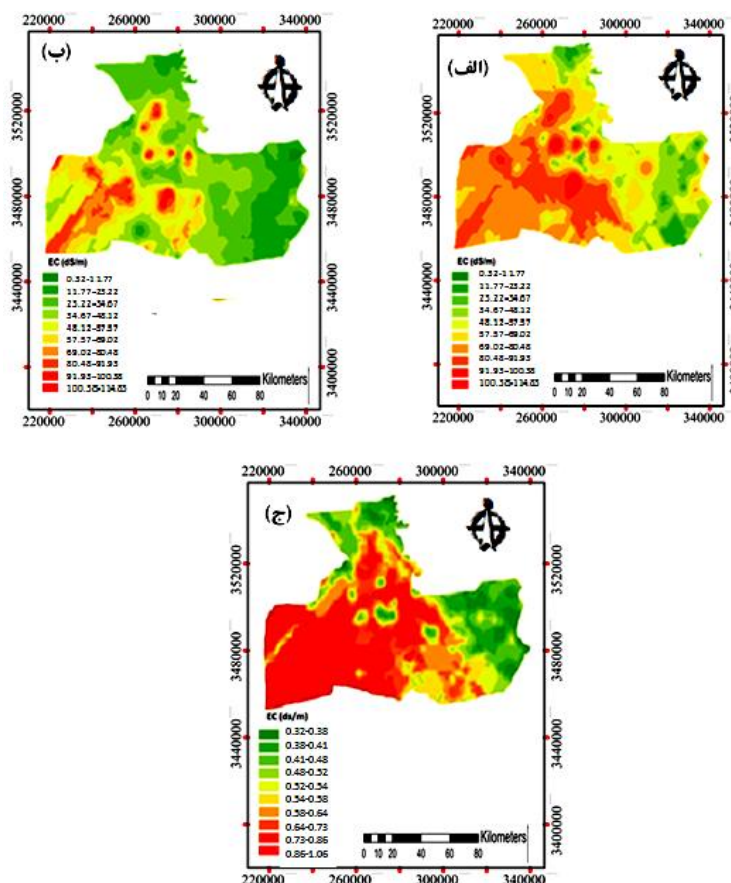
شکل ۵. نیم تغییر نمای شاخص تجربی الف) آستانه ۴ (dS/m)، ب) ۸ (dS/m)، ج) ۱۶ (dS/m) و د) ۳۲ (dS/m)

جدول ۳. مشخصات مدل‌های برازش داده‌شده بر نیم تغییر نماهای شاخص تجربی شوری خاک

متغیر (dS/m)	مدل مکانی	اثر قطعه‌ای (dS/m) ^۲	آستانه (dS/m) ^۲	دامنه تأثیر (m)	C/C ₀ +C	کلاس همبستگی
شاخص ۴	کروی	۱/۰	۱/۵۸	۶۱۶۰	۰/۳۷	متوسط
شاخص ۸	کروی	۱/۰	۱/۷۶	۷۳۴۰	۰/۴۳	متوسط
شاخص ۱۶	کروی	۱/۶	۱/۷۵	۹۶۰۰	۰/۱۰	ضعیف
شاخص ۳۲	کروی	۱/۴	۱/۵۶	۱۳۹۰۰	۰/۱۰	ضعیف

تعداد ۴۰۰ نمونه به صورت منظم از خاک سطحی برداشت نمودند. در این مطالعه مقدار اثر قطعه‌ای و دامنه تأثیر واریوگرام داده‌های شوری خاک را به ترتیب برابر ۰/۲۸ و ۳۴۱ متر گزارش دادند. ایشان دلیل کم بودن دامنه تأثیر را فاصله زیاد بین نقاط نمونه‌برداری معرفی می‌کنند. همچنین خوان و همکاران (۳۱) در مطالعه خود در جنوب اسپانیا تعداد ۴۰۰ نمونه خاک برای همبستگی مکانی خصوصیات خاک مورد بررسی قرار دادند. در مطالعه ایشان مقادیر ۰/۰۶ و ۲۶۲۲۸ متر به ترتیب برای اثر قطعه‌ای و دامنه تأثیر داده‌های شوری خاک ارائه گردید. شکل (۵) نیم تغییر نماهای تجربی کریجینگ شاخص برای

آستانه‌های ۴، ۸، ۱۶ و ۳۲ دسی‌زیمنس بر متر را نشان می‌دهد. مشخصات مدل برازش داده‌شده بر نیم تغییر نماهای تجربی شوری خاک در جدول (۳) ارائه شده است. بر این اساس نیم تغییر نماهای تجربی برای چهار آستانه مذکور از مدل کروی تبعیت نموده و داده‌های آزمایشی در آستانه‌های انتخاب شده دارای همبستگی مکانی ضعیف تا متوسط هستند. یکی از دلایل اصلی کم بودن همبستگی مکانی تعداد کم داده‌ها در آستانه‌های ذکر شده است (۷). مقادیر اثر قطعه‌ای در چهار آستانه بین ۱ تا ۱/۶ دسی‌زیمنس بر متر متغیر است که حداقل مقدار آن در آستانه‌های ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر و حداکثر مقدار در آستانه



شکل ۶. نقشه تخمین شوری خاک: الف) کریجینگ عام، ب) لاگ کریجینگ، ج) کریجینگ شاخص

رقومی منطقه (شکل ۱ الف) قسمت اعظم منطقه دارای ارتفاع پایین تر از سطح آب دریا است، بنابراین با توجه به بالا بودن آب زیرزمینی در قسمت‌های مرکزی و جنوب منطقه و همچنین حرکت مویبگی آب لایه‌های زیرین در اثر تبخیر آب از سطح خاک، در نهایت این املاح محلول موجود در سطح خاک تجمع پیدا کرده و در نتیجه میزان شوری خاک سطحی را در این نواحی افزایش می‌دهد.

کیفیت آب زیرزمینی و آب آبیاری اراضی کشاورزی در افزایش هدایت الکتریکی خاک‌ها نقش مؤثری دارند. در این مورد استفاده از انواع کودها به خصوص کود حیوانی در کشاورزی به علاوه استفاده از فاضلاب‌های شهری و صنعتی در کیفیت آب‌ها تأثیر می‌گذارند. نتایج نشان داده که استفاده مکرر از کودهای آلی می‌تواند شور شدن خاک را به دنبال داشته باشد. از جمله عوامل دیگری که در کیفیت آب زیرزمینی نیز مؤثر

۱۶ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده می‌شود. به این دلیل که تعداد نمونه‌های استفاده شده در آستانه ۴ و ۸ نسبت به آستانه‌های ۱۶ و ۳۲ بیشتر است. دامنه تأثیر در این مطالعه با زیاد مقدار شاخص شوری روند افزایشی نشان داد. بیشترین دامنه تأثیر برابر ۱۳۹۰۰ متر بوده که مربوط به آستانه ۳۲ دسی‌زیمنس بر متر است.

پهنه‌بندی شوری خاک

شکل (۶) نقشه شوری خاک سطحی منطقه را که با استفاده از روش‌های کریجینگ عام، لاگ کریجینگ و کریجینگ شاخص تهیه شده است، نشان می‌دهد. بر این اساس در هر سه روش مورد استفاده کمترین مقدار شوری خاک در شمال و شرق و بیشترین مقدار آن در جنوب و مرکز منطقه مشاهده می‌شود. در این رابطه قابل توضیح است که با توجه به نقشه مدل ارتفاعی

کوچک شوری بزرگ‌تر از مقدار واقعی تخمین زده می‌شود. این عمل باعث می‌شود تا دامنه تخمین محدودتر گردد (۱۱).

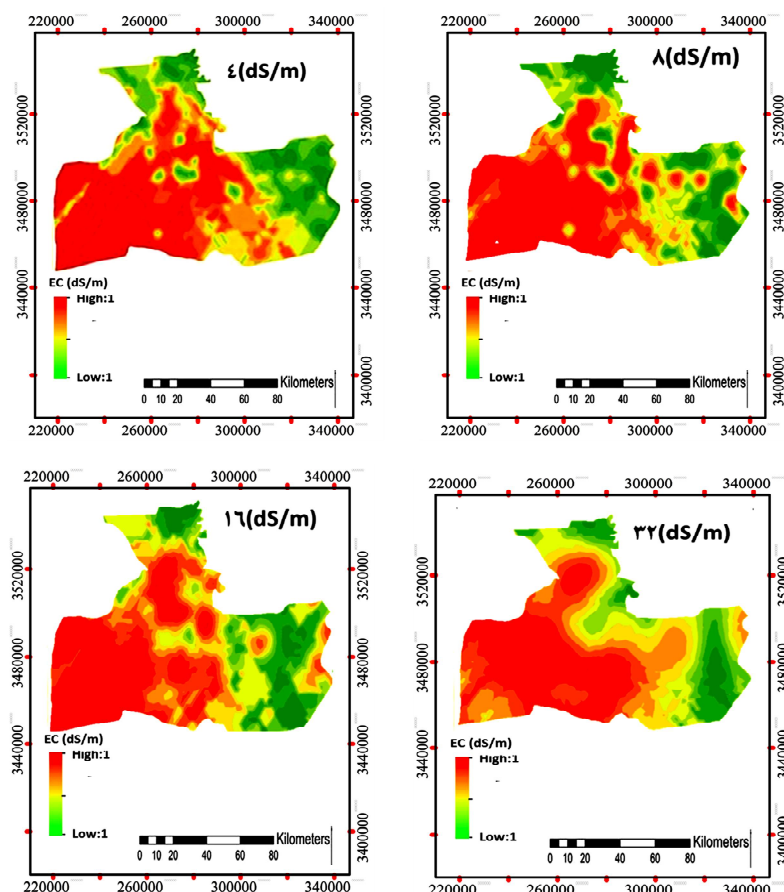
شکل (۷) نقشه تخمینی شوری خاک را با استفاده از روش کریجینگ شاخص در آستانه‌های ۴، ۸، ۱۶ و ۳۲ دسی‌زیمنس بر متر نشان می‌دهد. بر این اساس احتمال شوری خاک بالاتر از ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر در بخش اعظم منطقه قابل مشاهده است و این احتمال در شرق و شمال منطقه کم می‌شود. به علاوه احتمال شوری بالاتر از ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر در قسمت‌های غرب و جنوب غربی منطقه مطالعاتی بیشتر بوده و احتمال شوری بالاتر از ۳۲ دسی‌زیمنس بر متر عمدتاً مربوط به مرکز و غرب منطقه است. کایدانی و دلبری (۱۳) به منظور تهیه نقشه‌های ریسک شوری در منطقه میانکنگی (سیستان و بلوچستان) آستانه‌های ۲، ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر استفاده کردند. نتایج ایشان نشان داده که اکثر مناطق دارای شوری بیشتر از دو دسی‌زیمنس بر متر هستند. در مطالعه‌ای دیگر در شیخی نارانی و همکاران (۳۹) از روش کریجینگ شاخص به منظور پهنه‌بندی خطر آلودگی آب زیرزمینی به نترات استفاده نمودند. در این مطالعه مقدار ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر نترات به‌عنوان آستانه آلودگی انتخاب گردید. نتایج ایشان نشان داد که حدود سه درصد از منطقه در کلاس آلودگی خیلی قوی قرار دارد.

نتایج ارزیابی دقت روش‌های مختلف کریجینگ در جدول (۴) ارائه شده است. با توجه به نتایج به‌دست آمده مقدار ضریب تبیین در روش لاگ کریجینگ ۰/۷۳ می‌باشد که نسبت به سایر روش‌ها با داشتن کمترین مقدار مجذور میانگین مربعات خطا و بیشترین مقدار ضریب تبیین بهترین روش برای تخمین میزان شوری خاک می‌باشد.

کراوچنکو و بالوک (۳۳) از سه روش درون‌یابی کریجینگ عام، لاگ کریجینگ و وزن‌دهی عکس فاصله برای برآورد فسفر و پتاسیم در ۳۰ مزرعه آزمایشی استفاده کردند. آنها نشان دادند که اگر داده‌ها توزیع نرمال داشته باشند، لاگ کریجینگ نرمال تخمین بهتر و دقیق‌تری نسبت به کریجینگ معمولی ارائه

است می‌توان به نوع مواد مادری نیز اشاره نمود. تنوع کاربری اراضی در منطقه می‌تواند یکی دیگر از دلایل بالا بودن میزان شوری در برخی نقاط به حساب آید. دیانی و همکاران (۸) نیز طی پژوهشی به پهنه‌بندی شوری و سدیمی شدن خاک سطحی در اراضی غرب رودخانه کارون در استان خوزستان پرداختند. نتایج نشان داد که بالا بودن آب زیرزمینی، نبود زهکش مناسب، فرآیند صعود موئینگی املاح محلول، سنگین بودن بافت خاک و نوع مواد مادری و رسوبات موجود در منطقه از عمده عوامل شوری خاک در بخش‌های غربی و مرکز منطقه می‌باشد و نواحی مجاور رودخانه کارون کمترین میزان شوری را نشان می‌دهد.

کاردون و همکاران (۲۲) طی مطالعه‌ای بر روی خاک‌های کلرادو به بررسی عوامل شوری خاک پرداختند. نتایج ایشان نشان داد که فعالیت‌های انسانی از جمله استفاده از فاضلاب‌های شهری بر روی کیفیت آب آبیاری تأثیر گذاشته و در نهایت منجر به شور شدن خاک‌های زمین‌های کشاورزی می‌شود. همچنین یزدانی‌نژاد و ترابی گل‌سفیدی (۱۶) در بررسی تغییرات مکانی شوری خاک در اراضی کشاورزی جنوب تهران به این نتیجه رسیدند که پستی و بلندی، تفاوت در عمق آب زیرزمینی، استفاده از آب فاضلاب‌ها، نزدیکی اراضی کشاورزی به فاضلاب‌ها و همچنین استفاده مداوم از کودهای حیوانی از عوامل اصلی در شور شدن خاک محسوب می‌شود. همچنین از شکل (۶) دریافت می‌شود که روند تغییرات شوری خاک در روش کریجینگ عام و کریجینگ شاخص تقریباً یکسان است، لیکن در روش لاگ کریجینگ به دلیل تبدیل داده‌ها، انحراف مقادیر شوری نسبت به میانگین کاهش یافته و نقشه به‌دست آمده تغییرات شوری خاک را هموارتر نشان می‌دهد. به‌علاوه دامنه تغییرات در تخمین‌های کریجینگ (معمولی و لاگ نرمال) کم‌تر از دامنه تغییرات در روش کریجینگ شاخص است که از دلایل این تفاوت می‌توان به قدرت بالاتر این روش‌ها در نرم‌سازی داده‌های تخمینی اشاره نمود. به این معنی که در روش کریجینگ مقادیر بزرگ شوری کمتر از مقدار واقعی و مقادیر



شکل ۷. نقشه تخمین شوری خاک به روش کریجینگ شاخص با آستانه‌های مختلف

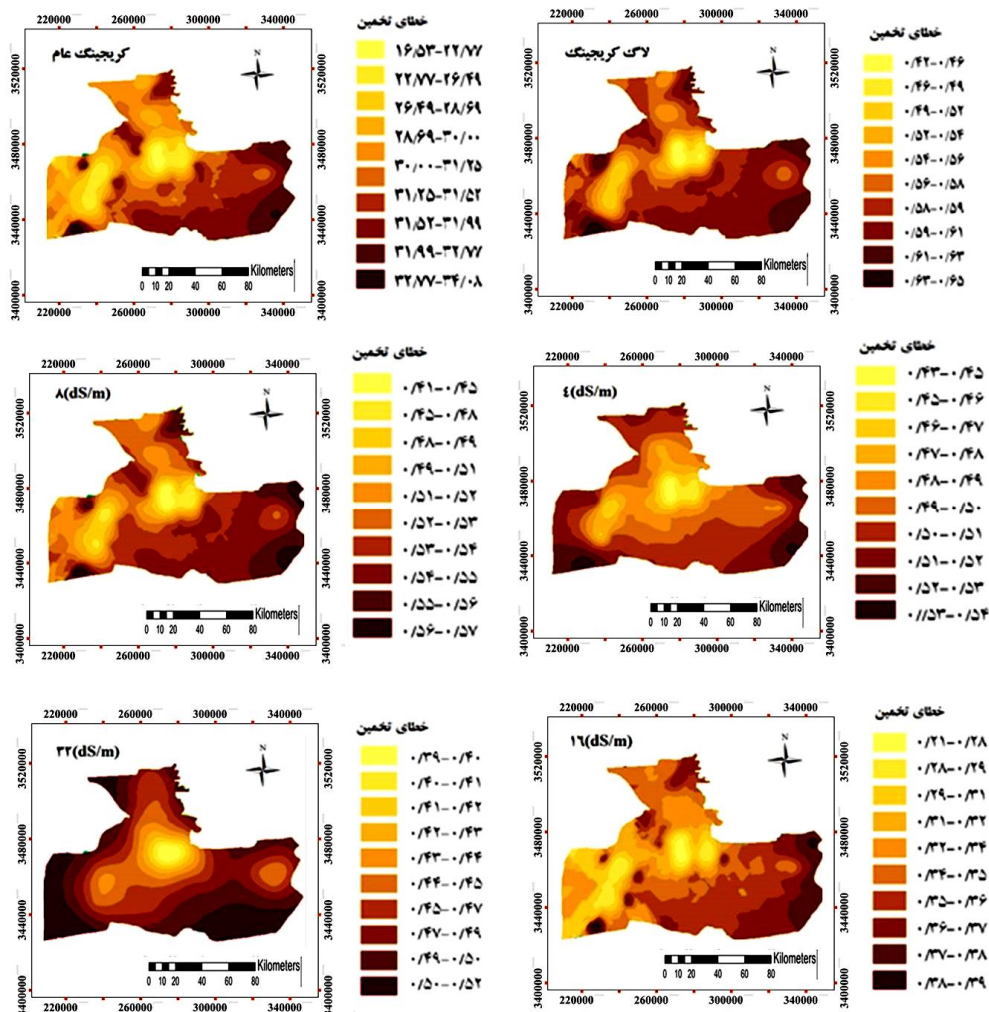
جدول ۴. ارزیابی کیفیت نقشه‌های ارائه شده به روش‌های مختلف کریجینگ

نوع روش	R^2	RMSE
شاخص ۴	۰/۵۸	۰/۴۰
شاخص ۸	۰/۶۱	۰/۴۲
شاخص ۱۶	۰/۴۲	۰/۵۱
شاخص ۳۲	۰/۴۰	۰/۶۹
کریجینگ عام	۰/۶۴	۰/۴۲
لاگ کریجینگ	۰/۷۳	۰/۳۴

دقت بالاتری برخوردار است.

ولی از آنجایی که در روش کریجینگ شاخص ریسک شوری خاک نسبت به حدود آستانه بهتر تشخیص داده می‌شود می‌توان شناخت بهتری از وضعیت شوری خاک در منطقه

می‌دهد. همچنین دلبری و افراسیاب (۵) از سه روش کریجینگ معمولی، لاگ کریجینگ و کوکریجینگ به‌منظور بررسی تغییرات مکانی شوری خاک در دشت سیستان استفاده کردند. نتایج نشان داد که در بین سه روش، روش لاگ کریجینگ از



شکل ۸. نقشه‌های خطای تخمین روش‌های مختلف کریجینگ

کریجینگ شاخص برای نشان دادن توزیع احتمالی خطر شوری مناسب می‌باشد.

شکل (۸) نقشه‌های خطای تخمین شوری خاک توسط روش‌های مختلف کریجینگ را نشان می‌دهد. نقشه‌های خطا برای پیش‌بینی نواحی با حداکثر خطای تخمین استفاده می‌شود. مطابق با شکل (۸) نواحی مجاور نقاط نمونه‌برداری دارای حداقل خطا بوده و در مرز منطقه و بخش‌هایی که نمونه‌برداری صورت نگرفته مقدار خطا افزایش یافته است. در این نواحی کم‌بودن تعداد نقاط نمونه‌برداری و همچنین فاصله زیاد بین نقاط باعث افزایش خطا شده‌اند. نتایج پیسنی و همکاران (۳۶) در رابطه با آلودگی آب زیرزمینی در ایتالیا نشان داد که در

داشتن نقشه‌های احتمالی حاصل از روش کریجینگ شاخص همچنین می‌تواند برای نشان دادن نواحی مساعد برای کشت و کار در منطقه استفاده گردد (۳۶). نتایج محققین مختلف نشان می‌دهد که در صورت بیشتر بودن تعداد نمونه‌ها، روش کریجینگ شاخص نتایج مطلوب‌تر و با دقت بیشتری خواهد داد. ادیکری و همکاران (۱۷) روش‌های کریجینگ معمولی و شاخص را برای تهیه نقشه‌های پارامترهای کیفی آب زیرزمینی از جمله کلراید به کار بردند. آنها گزارش کردند که کریجینگ شاخص، روش سودمندی برای ارزیابی ریسک آلودگی آب زیرزمینی از طریق فراهم کردن نقشه‌های احتمال است. در مطالعه‌ای دیگر بیلگیلی و همکاران (۱۹) نشان دادند روش

نواحی که نمونه برداری نشده است یا تعداد نمونه‌ها کافی نیست حداکثر خطای تخمین مشاهده می‌گردد. همچنین دیانی و همکاران (۸) و کایدانی و دلبری (۱۳) نیز گزارش دادند که با افزایش فواصل نمونه برداری و همچنین نقاط فاقد آمار میزان خطا بیشتر می‌شود.

نتیجه گیری کلی

در این مطالعه از سه روش کریجینگ معمولی، لاگ کریجینگ و کریجینگ شاخص به منظور تخمین شوری خاک در شهرستان اهواز استفاده گردید. نتایج نشان داد که روش لاگ کریجینگ نسبت به روش کریجینگ معمولی و کریجینگ شاخص تخمین دقیق‌تری از مقادیر شوری خاک فراهم می‌کند که در این مورد به دلیل تبدیل داده‌ها، انحراف داده‌ها نسبت به میانگین کاهش یافته و در این حالت خطای تخمین نیز کاهش می‌یابد. ولی روش کریجینگ شاخص نیز از اهمیت بالایی برخوردار است. روش کریجینگ شاخص به دلیل در نظر گرفتن آستانه‌های

مختلف شوری، احتمال خطر شوری را بهتر نشان می‌دهد. در این تحقیق احتمالاً به دلیل کم بودن تعداد نمونه‌ها در آستانه‌های مختلف، ساختار مکانی کاهش یافته است. با این حال توصیه می‌شود که در مطالعات بعدی از داده‌های بیشتری در این روش استفاده گردد. نتایج این مطالعه حاکی از وجود بیشترین میزان شوری در بخش‌های غرب و جنوب منطقه می‌باشد و نواحی شمال و شرق که بخش‌های مرتفع منطقه است کمترین شوری را نشان می‌دهد. همچنین نتایج حاکی از آن است که بخش اعظم منطقه دارای شوری بالای چهار دسی‌زیمنس بر متر است که از دلایل عمده شوری خاک در این مناطق بالا بودن آب زیرزمینی، تفاوت در پستی و بلندی، حرکت موئینگی املاح به سطح خاک، تفاوت در نوع کاربری اراضی در نواحی مختلف شهرستان و همچنین کیفیت آب زیرزمینی و آب آبیاری که تحت تأثیر استفاده مکرر از کودهای حیوانی و پساب فاضلاب‌ها است، می‌باشد.

منابع مورد استفاده

- احمدالی، خ.، س. نیک‌مهر و ع. لیاقت. ۱۳۸۷. ارزیابی روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ در تخمین شوری و اسیدیته عمقی خاک (مطالعه موردی: اراضی منطقه بوکان). مجله پژوهش آب ایران ۲۳(۲): ۶۴-۵۵.
- انوری پور، ر. ۱۳۹۲. مدیریت و ارزیابی رواناب شهری با استفاده از تکنیک سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی نمونه موردی: کلانشهر اهواز. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- حسینی پاک، ع. ۱۳۸۴. تحلیل داده‌های اکتشافی. انتشارات دانشگاه تهران.
- حسینی پاک، ع. ا. ۱۳۸۹. زمین‌آمار (ژئواستاتستیک). انتشارات دانشگاه تهران.
- دلبری، م. و پ. افراسیاب. ۱۳۸۱. بررسی تغییرات مکانی شوری خاک در مناطق شیب‌آب و پشت‌آب پایین دشت سیستان. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان ۱۵(۳-۴): ۳۴-۴۰.
- دلبری، م. و س. جهانی. ۱۳۹۳. بررسی تغییرات مکانی ویژگی‌های شوری و سدیمی خاک‌های منطقه چات در استان گلستان. نشریه پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب) ۲۸(۲): ۴۳۳-۴۴۶.
- دلبری، م. و پ. افراسیاب. ۱۳۹۳. کاربرد کریجینگ شاخص و معمولی در مدل کردن کلر آب زیرزمینی. نشریه محیط شناسی ۴۰(۳): ۷۶۴-۷۵۱.
- دیانی، م.، س. جعفری و ب. خلیل مقدم. ۱۳۹۱. پهنه‌بندی خطر شور و سدیمی شدن خاک سطحی با استفاده از زمین‌آمار (مطالعه موردی: اراضی غرب رودخانه کارون در استان خوزستان). پژوهش‌های آبخیزداری ۷(۹۴): ۸۶-۹۵.

۹. زورقین، ح. م.، ع. ا. آل شیخ، ع. علی محمدی و م. ح. وحیدنیا. ۱۳۹۰. روشی تازه به منظور درون‌یابی مشاهدات بارندگی با کمک کریجینگ شاخص نرم و الگوریتم ژنتیک. مجله‌ی سنجش از دور و GIS ایران ۳(۳): ۱۵-۳۲.
۱۰. سکوتی اسکوتی، ر. م. مهدیان، ش. محمودی و ا. قهرمانی. ۱۳۸۶. مقایسه کارایی برخی روش‌های زمین‌آماری برای پیش‌بینی پراکنش مکانی شوری خاک (مطالعه موردی: دشت ارومیه). مجله پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی ۷۴: ۹۸-۹۰.
۱۱. شکوری کتیگری، م. م. شعبان پور و ح. اسدی. ۱۳۹۰. ارزیابی کارایی روش‌های درون‌یابی مکانی در پهنه‌بندی کربن آلی و جرم مخصوص ظاهری خاک‌های شالیزاری گیلان. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک (علوم کشاورزی و منابع طبیعی) ۱۸(۲): ۲۱۰-۱۹۵.
۱۲. شهریاری، ا. ۱۳۹۲. بررسی تغییرات مکانی برخی از ویژگی‌های خاک در اراضی عطابیه (استان خوزستان) با کاربرد روش‌های زمین‌آماری، میان‌یابی و GIS. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز.
۱۳. کایدانی، م. م. و م. دلبری. ۱۳۹۰. پهنه‌بندی شوری خاک و ارزیابی ریسک شوری در منطقه میانکنگی (سیستان) با استفاده از روش‌های زمین‌آماری. مجله‌ی علمی کشاورزی (علوم و مهندسی آبیاری) ۳۵(۱): ۴۹-۶۰.
۱۴. محمدی، ج. ۱۳۸۵. پدومتری- جلد دوم (آمار مکانی). انتشارات پلک، تهران.
۱۵. مصلاهی، م. ح. شیرانی، و. مظفری و ع. اسفندیارپور. ۱۳۹۳. تغییرات مکانی شوری و بور قابل جذب در خاک‌های منطقه حسین‌آباد یزد. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک ۱۸(۷۰): ۶۷-۵۹.
۱۶. یزدانی‌نژاد، ف. و ح. ترابی گل‌سفیدی. ۱۳۹۲. بررسی تغییرات مکانی و پهنه‌بندی اراضی کشاورزی جنوب تهران با استفاده از کریجینگ و GIS. مجله‌ی تحقیقات آب و خاک ایران ۴۴(۳): ۲۶۲-۲۵۵.
17. Adhikary, P. P., H. Chandrasekharan, D. Chakraborty and K. Kamble. 2010. Assessment of groundwater pollution in West Delhi, India using geostatistical approach. *Environ. Monitor. Assess.* 167: 599-615.
18. Arslan, H. 2012. Spatial and temporal mapping of groundwater salinity using ordinary kriging and indicator kriging: Case study of Bafra Plain, Turkey. *Agric. Water Manag.* 113: 57- 63.
19. Bilgili, A., V. M. A. Çullu, S. Aydemir, A. Aydemir and A. Almaca. 2012. Probability mapping of saline and sodic soils in the Harran plain using a non-linear kriging technique. *Eurasian J. Soil Sci.* 2: 76- 81
20. Bierkens, M. F. P. and P. A. Burrough. 1993. The indicator approach to categorical soil data. *Europ. J. Soil Sci.* 44 (2): 361-368.
21. 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 Iowa soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 1501-1511.
22. Cardon, G. E., J. G. Davis, T. A. Bauder and R. M. Waskom. 2007. Managing Saline Soils. Colorado State University Extension Fact Sheet N. 0.503.
23. Hang, W. E., B. A. You, J. N. Yun, F. Zang and L. U. Xio. 2009. Spatial variability of soil chemical properties in the reclaiming marine foreland to Yellow Sea of China. *J. Agric. Sci. China.* 8(9): 1103-1111.
24. Corwin, D. L., M. Sorensen and J. D. Rhoades. 1992. Using GIS to locate salinity on irrigated soils. 8th Conference on Computing in Civil Engineering in Conjunction with A/E/C system, June 7-9, USA.
25. Eldeiry, A. A. and L. A. Garcia. 2011. Using deterministic and geostatistical techniques to estimate soil salinity at the sub-basin scale and the field scale. 31th Annual Hydrology Days, 21-23 March, USA.
26. Farifteh, J., F. van der Meer, M. van der Meijde and C. Atzberger. 2008. Spectral characteristics of salt-affected soils: A laboratory experiment. *Geoderma* 145: 196-206.
27. Hu, K., Y. Huang, 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. *Environ. Intl.* 31: 896-903.
28. Isaaks, E. H. and R. M. Serivastava. 1989. An introduction to applied geostatistics. Oxford University Press, 561p.
29. Jian-Li, D., W. Man-Chun and T. Tiyp. 2011. Study on soil salinization information in arid regions using remote sensing techniques. *J. Agric. Sci. China* 10(3): 404- 411.
30. Jordán, M. M., J. Navarro-Pedreño, E. García-Sánchez, J. Mateu and P. Juan. 2004. Spatial dynamics of soil salinity under arid and semi-arid conditions: Geological and environmental implications. *Environ. Geol.* 45: 448-456.
31. Juan, P., J. Mateu, M. M. Jordan, J. Mataix-Solera, I. Meléndez-Pastor and J. Navarro-Pedreño. 2011. Geostatistical

- methods to identify and map spatial variations of soil salinity. *J. Geochem. Explor.* 108: 62-72.
32. Journel, A. G. 1983. Nonparametric estimation of spatial distributions. *Mathemat. Geol.* 15: 445-468.
33. Kravchenko, A. and D. G. Bullock. 1999. A comparative study of interpolation methods for mapping soil properties. *Agron. J.* 91: 393-400.
34. Lee, J., J. C. S. Jang, S. W. Wang and C. W. Liu. 2007. Evaluation of potential health risk of Arsenic-affected groundwater using indicator kriging and dose response model. *Sci. Total Environ.* 384:151-162.
35. Mohammadi, J. 1998. Geostatistical mapping of environmental soil hazards. Fourth Iranian-International Statistics Conference, Shahid Beheshti University, Teheran, Iran.
36. Piccini, C., A. Marchetti, R. Farina and R. Francaviglia. 2012. Application of indicator kriging to evaluate the probability of exceeding nitrate contamination thresholds. *Intl. J. Environ. Res.* 6(4): 853-862.
37. Rhoades, J. D. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved salts. PP. 417-435. *In: Sparks, D.L. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 1. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, WI.*
38. Saito, H. and P. Goovaerts. 2002. Accounting for measurement error in uncertainty modeling and decision-making using indicator kriging and P-field simulation: Application to a dioxin contaminated site. *Environmetrics* 13: 555-567.
39. Sheikhy-Narany, T., M. F. Ramli, A. Z. Aris, W. N. A. Sulaiman and K. Fakharian. 2014. Spatial assessment of groundwater quality monitoring wells using indicator kriging and risk mapping, Amol-Babol Plain, Iran. *Water* 6: 68-85.
40. Walter, C. and B. McBratney. 2001. Spatial prediction of topsoil salinity in the Chelif valley, Algeria, using local kriging with local variograms versus local kriging with whole area variogram. *Aust. J. Soil Res.* 39: 259-272.

Assessing the Ability of Kriging Methods for Mapping Surface Soil Salinity in Ahvaz County

Z. Savari¹, S. Hojati^{1*} and R. Taghizadeh-Mehrjerdi²

(Received: Sept. 15-2015 ; Accepted : April 26-2016)

Abstract

Salinity and alkalinity decreases physical, chemical and biological quality of soils and as a result reduces crop yield. This study aims to evaluate spatial variability of soil salinity in Ahvaz using geostatistical approaches. Accordingly, 69 surface soil samples (0-10 cm) were collected and their electrical conductivities (EC) were measured in 1:1 soil: water extracts. The data were then analyzed using ordinary kriging (OK), log-normal kriging (LOK) and indicator kriging (IK) interpolation techniques to produce soil salinity maps. Finally, the quality control of soil maps was performed by calculation of root mean square error (RMSE) and coefficient of determination (R^2). The results indicated that due to the lowest RMSE and the highest R^2 values, the LOK interpolation method is the best approach in mapping soil salinity in Ahvaz. The results also illustrated that based on defined threshold values (4, 8, 16, and 32 dS m^{-1}) the indicator kriging methods have been able to show risk of soil salinity in the area. Based on this, most of the area is covered by soils with salinity higher than 4 dS m^{-1} . Evaluation of final soil maps showed that the highest concentrations of salts are related to the western and southwestern parts of Ahvaz city. In contrast, the lowest amounts of salinity were found in Eastern and Northern parts of the city.

Keywords: Ahvaz, Geostatistics, Indicator Kriging, Salinity, Spatial Variability.

1. Dept. of Soil Science, Faculty of Agr., Shahid Chamran Univ. of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

2. Dept. of Soil Science, Faculty of Agr., Ardakan Univ., Ardakan, Iran.

*: Corresponding Author, Email: s.hojati@scu.ac.ir