

بهره‌گیری از روش کریجینگ در ارزیابی وضعیت شوری و سدیمی: مطالعه موردی، خاک‌های اطراف دریاچه طشک و بختگان، استان فارس

هادی عبدالعظیمی^{(۱)*}، محمدحسین مهدیان^۲، سید کاظم علوی پناه^۳، حمیدرضا متین‌فر^۴، ابراهیم پذیرا^۵، محمدحسن مسیح‌آبادی^۶ و حسین کریمی^۷

۱. استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز، شیراز
۲. استاد پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران
۳. استاد دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران
۴. استادیار دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان، خرم‌آباد
۵. استاد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران
۶. عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران
۷. دانشجوی دکتری، بخش علوم خاک دانشگاه فردوسی، مشهد

تاریخ دریافت: ۹۰/۶/۳۰

تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۲/۲۳

چکیده

با توجه به گسترش وسیع خاک‌های دارای املاح در ایران و تاثیر آنها بر عملکرد محصولات کشاورزی، شناسایی این زمین‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است. برای رسیدن به این شناخت و آگاهی از وضعیت تغییرپذیری مکانی این پدیده زیست‌محیطی، نیاز به تهیه نمونه‌های زیادی بسته به وسعت این نوع خاک‌ها می‌باشد که مستلزم صرف زمان و هزینه زیاد است. بنابراین، احتمالاً بتوان با بهره‌گیری از فناوری‌ها و علوم مختلف، ضمن در نظر گرفتن محدودیت‌های اقتصادی و زمانی، اطلاعات مناسبی را از منطقه مطالعاتی به دست آورد. بدین منظور، در بخشی از زمین‌های دشت ارسنجان، استان فارس (۸۰۶۲ هکتار)، نقشه‌های شوری و سدیمی خاک با استفاده از روش کریجینگ معمولی در دو عمق ۵-۰ و ۵۰-۰ سانتی‌متر تهیه و مورد ارزیابی قرار گرفت. تحلیل زمین‌آماري داده‌های شوری (۱۲۲ داده) نمونه‌برداری شده به روش شبکه‌ای منظم، مؤید آن بود که همبستگی مکانی این داده‌ها در عمق ۵۰-۰ سانتی‌متر و ۵-۰ سانتی‌متر از نوع متوسط است. مقدار MBE تخمین داده‌های شوری و سدیمی مؤید بیش‌برآوردی در هر دو روش کریجینگ بود. پس از ارزیابی دوجانبه داده‌های تخمینی و واقعی، جذر میانگین مربعات خطا در روش کریجینگ معمولی برای داده‌های شوری در اعماق ۵-۰ و ۵۰-۰ سانتی‌متر به ترتیب ۲۷/۸۵ و ۱۷/۵۶ و برای داده‌های سدیمی، ۱۲/۸۳ و ۱۲/۳۴ نتیجه شد. در روش کوکریجینگ از درجات روش‌شنایی تصویر سنجنده LISS-III به عنوان متغیر کمکی در تخمین شوری عمق ۵-۰ سانتی‌متر استفاده گردید. در این روش دقت بهتر نسبت به روش کریجینگ معمولی مشاهده نشد. ارزیابی نقشه‌های شوری و سدیمی نشان داد که در هر دو عمق، شوری و سدیمی خاک در مجاورت دریاچه از مقادیر بالایی برخوردار می‌باشد. در شمال منطقه، کشاورزی آبی محصولات نظیر یونجه، گندم و جو وجود دارد، لذا به نظر می‌رسد استفاده از آب با کیفیت نامطلوب باعث گرایش خاک‌های این منطقه به معضل شوری و سدیمی شده است.

واژه‌های کلیدی: شوری خاک، کریجینگ، درجات روش‌شنایی سنجنده LISS-III

مقدمه

امروزه، محققین در تلاش هستند در راستای پایش نواحی متأثر از شوری، از روش‌های متفاوت برای شناسایی و نقشه‌برداری این خاک‌ها استفاده کنند. به طور مسلم، صرفه‌جویی در زمان و هزینه، ضمن در نظر گرفتن دقت نقشه‌های تولید شده، یکی از مهمترین اهداف این پژوهشگران است. روش‌ها و فناوری‌های مختلفی به منظور مدل‌سازی پارامترهای خاک (نظیر شوری و سدیمی) و دستیابی به نقاط فاقد اطلاعات وجود دارد که از آن جمله می‌توان به تخمین‌گرهای ساده رگرسیونی تاروش‌های رگرسیونی غیر خطی پیشرفته (Mckenzie and Ryan, 1997; Moore et al., 1993)، پردازش تصاویر ماهواره‌ای (Metternich and Zinck, 2003) و تخمین‌گرهای زمین‌آماري (Navarro-Pedreno et al., 2007; McBratney et al., 2000; Goovaerts, 1999; Odeh et al., 1995) اشاره نمود. اندازه‌گیری مقادیر پارامترهای شوری و سدیمی در سطح بزرگ و پهنه‌بندی آنها، هزینه و زمان زیادی را به دنبال خواهد داشت به‌ویژه اگر پایش در طول چند سال نیز مدنظر باشد. نظر به اینکه در پژوهش حاضر، استفاده از تخمین‌گرهای زمین‌آماري مدنظر می‌باشد؛ لذا در ادامه به بررسی برخی از مطالعات صورت‌گرفته در این رابطه، پرداخته شده است. Pozdnyakova and Renduo (1999) شوری برخی از خاک‌های کالیفرنیا را مورد مطالعه قرار دادند. در این تحقیق، واریوگرام همسانگرد و شعاع تأثیر ۷۰۰ متر نتیجه شد. همچنین در روش کوکریجینگ برای اصلاح تخمین‌های نسبت جذبی سدیم^۱ از متغیر هدایت الکتریکی به عنوان داده‌های کمکی استفاده گردید. در الجزایر، Walter et al. (2001) نقشه شوری را با روش کریجینگ تهیه نمودند. در این تحقیق درجه‌های شوری، از کم تا خیلی زیاد تفکیک گردید. در این رابطه، شرایط زمین‌ساختاری، تغییرات توپوگرافی، کیفیت آب آبیاری و نوع کاربری اراضی بر روی همبستگی مکانی تأثیر بسزایی گذاشت که نتیجه آن شعاع تأثیر ۴۰۰۰ متر بود.

در تحقیقی، Ardahantiglu et al. (2003) تغییرات مکانی درصد سدیم تبدیلی^۲، هدایت الکتریکی، اسیدیته و مقدار بور خاک‌های شور دشت ایگدیر^۳ در ترکیه را مورد مطالعه قرار دادند. برای انجام این تحقیق از منطقه‌ای با وسعت ۱۰۰۰ متر در ۱۰۰۰ متر و از سه عمق ۰-۳۰، ۳۰-۶۰، ۶۰-۹۰ سانتی‌متر در فواصل ۱۰۰ متری نمونه‌برداری گردید. تحلیل نیم تغییرنماها نشان داد که شباهت‌هایی در الگوهای تغییرپذیری مکانی درصد سدیم تبدیلی،

هدایت الکتریکی و مقدار بور خاک‌ها وجود دارد. تغییرپذیری مکانی شوری خاک در خاک‌های اریدی سول و آلفی سول توسط (Miyamoto et al., 2005)، مورد مطالعه قرار گرفت. در این رابطه، خاک‌هایی که دارای بافت رسی بودند، به دلیل نفوذپذیری کم، مقادیر شوری بالاتری را به خود اختصاص دادند.

به نقل از (Lopezgranados et al., 2005)، محققین متعددی به این موضوع اشاره نموده‌اند، که می‌توان از اطلاعات ثانویه قابل دسترس به صورت کامل، جامع و ارزان برای تهیه نقشه خصوصیات خاک به منظور افزایش دقت تخمین‌ها استفاده نمود (Goovaerts, 1999; Bishop and McBratney, 2001). در این رابطه، پژوهشگران دیگری (Kerry and Oliver, 2003) در این رابطه، (Odeh et al., 1995) تصدیق کرده‌اند که داده‌های AVHRR^۴ منتج از ماهواره NOAA^۵، داده‌های سنجنده TM^۶ و عکس‌های هوایی رنگی در تخمین خصوصیات خاک مفید واقع شده‌اند. همچنین، Douaoui et al. (2006)، از تصاویر ماهواره SPOT XS با قدرت تفکیک مکانی ۲۰ متر و روش‌های آماری و زمین‌آماري (رگرسیون ساده^۷، طبقه‌بندی^۸، کریجینگ معمولی^۹، طبقه‌بندی - کریجینگ^{۱۰}، رگرسیون - کریجینگ^{۱۱}) برای تهیه نقشه شوری ۴۰۰۰۰ هکتار از اراضی دشت شلیف در الجزایر استفاده نمودند. (Caffarelli and Pollice, 2008) نیز عوامل مؤثر بر شوری و توزیع مکانی آن را با استفاده از مدل‌های ژئودایتیو^{۱۲} مطالعه کردند. نقشه منتج از تخمین‌ها، نشان داد که در منطقه مورد مطالعه، شوری در اثر فرایندها و شرایط طبیعی رخ داده است نه در اثر فعالیت‌های مدیریتی. بررسی منابع نشان می‌دهد، بهره‌گیری از روش کریجینگ به عنوان یک تخمین‌گر زمین‌آماري می‌تواند در شناسایی و پایش نواحی متأثر از شوری، مؤثر واقع گردد. ولی در برخی از پژوهش‌هایی که در آنها از روش کریجینگ استفاده شده است؛ دقت تخمین‌ها پائین بوده است (Jordan et al., 2004). یکی از دلایل این موضوع را به تغییرات شوری در فواصل کوتاه، نسبت داده‌اند. در مدل‌های رگرسیونی هم که یکی دیگر از روش‌های تخمینی محسوب می‌گردد، وابستگی مکانی پارامترها در نظر گرفته نمی‌شود (Lopez-Granados et al., 2005). در روش کوکریجینگ و یا روش‌های تخمینی دیگر نظیر رگرسیون - کریجینگ که در واقع زیر مجموعه روش‌های زمین‌آماري هستند، همبستگی مکانی دو پارامتر هدف و ثانویه نیز مد نظر قرار می‌گیرد. بنابراین در منابع متعدد (Goovaerts, 1999; Bishop and McBratney, 2001) استفاده و ارزیابی روش‌های

1. Sodium Absorbption Ratio
2. Exchangeable Sodium Percentage
3. Igdır
4. Advanced very High Resolution Radiometer
5. National Oceanic and Atmospheric Administration
6. Thematic Mapper
7. Simple Regression (SR)
8. Classification (CL)
9. Ordinary Kriging (OK)
10. Classification-Kriging (CLK)
11. Regression-Kriging (RK)
12. Geoadditive Models

۳۳۰ میلی‌متر، میانگین دمای سالیانه ۱۸/۴ درجه سانتی‌گراد و رژیم رطوبتی و حرارتی خاک به ترتیب زیریک و ترمیک می‌باشد (حسن شاهی، ۱۳۷۰).

پردازش مقدماتی تصویر ماهواره‌ای

تصویر مورد استفاده در این تحقیق شامل اطلاعات رقومی چهار باند سنجنده LISS-III مربوط به ماهواره IRS-P6 (مورخ ۸ مرداد ماه ۱۳۸۶) می‌باشد. سنجنده LISS-III دارای قدرت تفکیکی مکانی ۲۴ متر بوده که عرض تصویربرداری آن ۱۴۰ کیلومتر می‌باشد و دارای چهار باند در محدوده طیفی ۰/۵۲-۰/۵۹ میکرون (باند ۲)، ۰/۶۸-۰/۶۲ میکرون (باند ۳)، ۰/۷۷-۰/۸۶ میکرون (باند ۴) و ۱/۷۰-۱/۵۵ میکرون (باند ۵) است. در تصویر حاصل از این سنجنده، باند ۲، سبز، باند ۳، قرمز، باند ۴، مادون قرمز نزدیک و باند ۵، مادون قرمز میانی نامیده می‌شود. تصاویر رقومی دریافت شده دارای انحراف هندسی بودند. لذا در پژوهش حاضر از تصحیح هندسی^۱ برای جبران انحراف‌ها استفاده شد، به نحوی که تصویر تصحیح شده قابلیت انطباق با نقشه راه‌ها را پیدا نمود. با استفاده از GPS و با حضور در منطقه، مختصات ۲۴ نقطه (تقاطع جاده‌های فرعی با اصلی، میداين و پیچ جاده‌ها) به عنوان نقاط کنترل زمینی^۲ برداشت گردید. تمامی داده‌های برداشت شده به صورت فایل نقطه‌ای و با سیستم مختصات متریک به نرم‌افزار ILWIS وارد شد. ضمن در نظر گرفتن پراکنش مناسب نقاط،

مختلف کریجینگ به‌ویژه بهره‌گیری از متغیرهای کمکی یا ثانویه متنوع پیشنهاد شده است.

در رابطه با بررسی‌های انجام‌شده، در پژوهش حاضر سعی بر آن است تا اهداف ذیل در خاک‌های اطراف دریاچه طشک و بختگان که فاقد اطلاعات شوری و سدیمی بود؛ بررسی گردد:

۱- ارزیابی وضعیت شوری و سدیمی عمق ۵-۰ سانتی‌متر به روش کریجینگ معمولی

۲- ارزیابی تاثیر درجات روشنایی سنجنده LISS III در تخمین مقادیر شوری عمق ۵-۰ سانتی‌متر به روش کوکریجینگ

۳- ارزیابی وضعیت شوری و سدیمی عمق ۵۰-۰ سانتی‌متر به روش کریجینگ معمولی

مواد و روش‌ها

تشریح وضعیت عمومی منطقه

منطقه مورد مطالعه دارای وسعتی در حدود ۸۰۶۲ هکتار است که در بین طول‌های جغرافیایی ۱۴' ۵۳° تا ۲۴' ۵۳° شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۹' ۲۹° تا ۴۴' ۲۹° شمالی در جنوب دشت ارسنجان و در استان فارس واقع شده است. این منطقه از شمال به کوه آق تپه، از غرب به دو کوهک، از جنوب به شوره‌زارهای دریاچه طشک و بختگان و از شرق به کوه رحمت محدود می‌شود. ارتفاع از سطح دریای این منطقه از ۱۵۵۷ تا ۱۶۹۷ متر متغیر است (شکل ۱). میانگین بارندگی سالیانه منطقه



۱:۱۰۰۰۰۰

شکل ۱. موقعیت محدوده مورد مطالعه

1. Geometric Correction
2. Ground Control Points

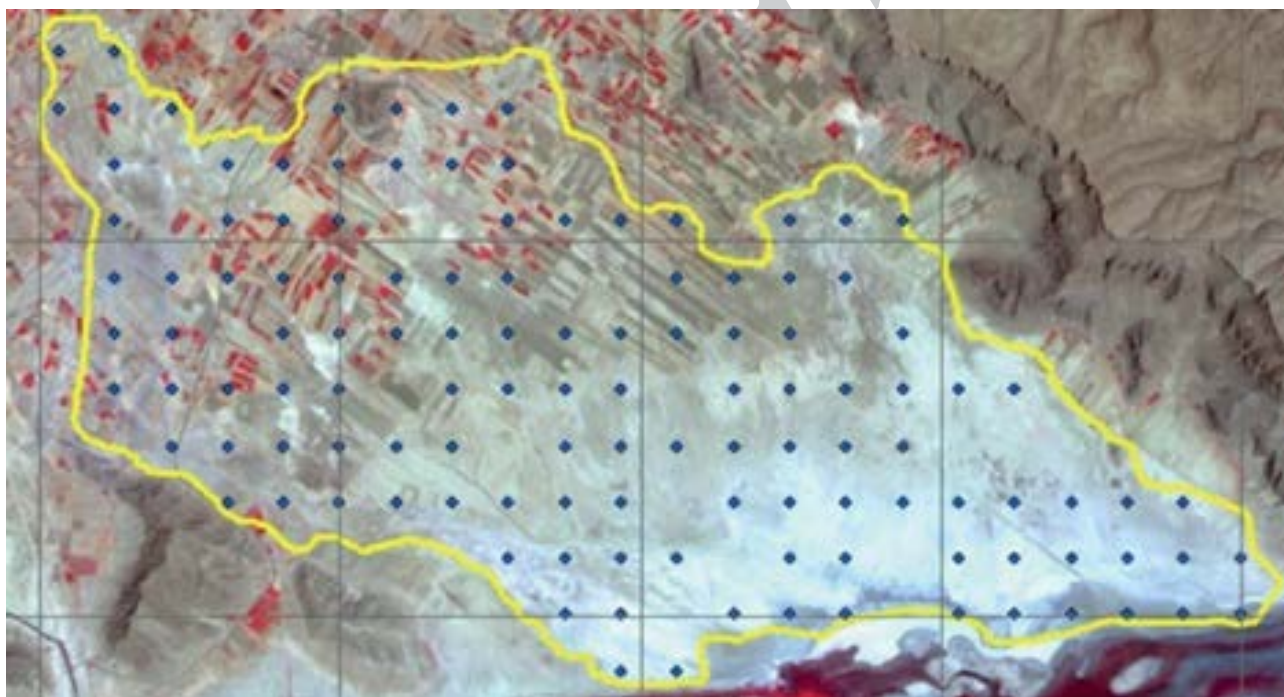
داده‌ها نیز از تبدیل لگاریتمی استفاده شد. پس از بررسی شکل واریوگرام‌های رویه‌ای (محمدی، ۱۳۷۸) وضعیت همسانگردی^۵ و ناهمسانگردی^۶ آن‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته است. در نهایت مدل کروی برای دو عمق ۰-۵ و ۰-۵۰ سانتی‌متر، در شرایط ناهمسانگرد برای واریوگرام تجربی در گام ۷۵۰ متر انتخاب شد. در واریوگرام‌های ترسیم شده (واریوگرام ثوری)، پارامتر شعاع تاثیر^۷ در محور افقی و پارامترهای اثر قطعه‌ای^۸ و آستانه^۹ در محور عمودی قرار دارند. برای تخمین نقاط مجهول در روش کریجینگ معمولی و کوکریجینگ (بهره‌گیری از درجات روشی^{۱۰} بهترین باند به عنوان متغیر کمکی) از ۲۰ همسایه استفاده گردیده است. این تابع واریوگرام، ابزار کلیدی در نظریه متغیرهای ناحیه‌ای است. این واریوگرام که اصطلاحاً واریوگرام تجربی^{۱۱} نامیده می‌شود عبارت است از متوسط مجذور اختلافات بین دو مشاهده $(z(x), z(x+h))$ در دو موقعیت مکانی واقع در فضای نمونه‌برداری که توسط آرایه h از هم جدا شده‌اند:

$$\hat{r}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} (z(x_i) - z(x_i + h))^2 \quad (1) \text{ رابطه}$$

زمین مرجع نمودن تصویر^۱ با استفاده از Second Order Bilinear (علوی‌پناه، ۱۳۸۲)، با ۹ نقطه کنترلی انجام گردید. در این روش، خطای $\sqrt{0.165}$ RMS نتیجه شده است.

بررسی‌های زمین آماری

در تحقیق حاضر از روش کریجینگ، برای تخمین ویژگی‌های شوری^۳ و سدیمی^۴ خاک، استفاده شده است. در این رابطه، نمونه‌های خاک از ۱۲۲ نقطه به فواصل ۷۵۰ متر (مبتنی بر مطالعات خاک‌شناسی نیمه تفصیلی دقیق) و از دو عمق ۰-۵ (خاک سطحی) و ۰-۵۰ سانتی‌متر (خاک سطحی - عمقی)، به صورت شبکه‌ای منظم (شکل ۲) تهیه و سپس به منظور اندازه‌گیری شوری عصاره اشباع، نسبت جذبی سدیمی آن‌ها و مقادیر گچ، آهک و سیلت به آزمایشگاه ارسال گردید. همچنین از این داده‌ها در محاسبات زمین آماری و بررسی رابطه همبستگی داده‌های شوری با مقادیر رقومی باندهای سنجنده LISS III استفاده شد. اطلاعات آماری داده‌های مربوط به هر دو عمق شامل توزیع فراوانی، میانگین، حداقل، حداکثر، انحراف معیار، ضریب تغییرات، چولگی و کشیدگی مورد بررسی قرار گرفت. برای نرمال نمودن



۱:۱۰۰۰۰۰

شکل ۲. موقعیت نقاط نمونه‌برداری در محدوده مطالعاتی

1. Image Georeferencing
2. Root Mean Square Error (RMSE)
3. Sallinity
4. Sodium Absorbtion Ratio (SAR)
5. Isotropic Variogram
6. Anisotropic Variogram
7. Range
8. Nugget
9. Sill
10. Digital Numbers
11. Experimental Variogram

ارزیابی دقت تخمین‌ها و نقشه‌های منتج از روش کریجینگ

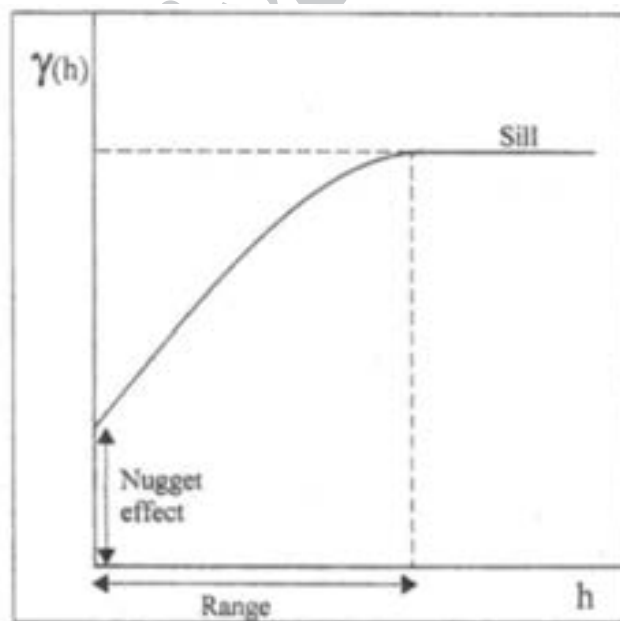
با استفاده از تکنیک جک‌نایف^۳، تخمین‌های ناشی از روش‌های کریجینگ مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس با بهره‌گیری از شاخص‌های آماری $RMSE^2$ ، MBE^5 و ضریب همبستگی^۶، داده‌های واقعی و تخمینی مقایسه گردید. پس از آن، نقشه‌های روش‌های تخمینی ذکر شده با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS، ترسیم و بخش‌های شور و سدیمی شناسایی شد. روند انجام پژوهش حاضر در شکل ۴ ارائه شده است. لازم به ذکر است که در پژوهش حاضر، کلاس‌های شوری به صورت قراردادی و برحسب ECE در جدول ۱ و کلاس‌های وضعیت سدیمی در جدول ۲ ارائه شده‌اند.

نتایج و بحث

تجزیه و تحلیل زمین‌آماري داده‌های شوری و سدیمی
پس از نمونه‌برداری و آماده‌سازی، نمونه‌ها جهت اندازه‌گیری شوری و نسبت جذبی سدیم به آزمایشگاه ارسال شد و نتایج در جدول ۳ ارائه شده است. به نظر می‌رسد وجود ضریب تغییر پائین‌تر در عمق ۵۰-۰ سانتی‌متر، به دلیل یکسان‌تر بودن شرایط خاک‌زایی است. محمدی (۱۳۷۸) در منطقه رامهرمز استان خوزستان، دامنه همبستگی مکانی بالای شوری را به دلیل الگوی پراکنش جغرافیایی مواد مادری گزارش نموده است. توزیع فراوانی داده‌های شوری و سدیمی عمق ۵۰-۰ و ۵۰-۰

که در آن: $N(h)$ عبارت است از جفت نمونه‌های جدا شده به وسیله h . واریوگرام، در حقیقت سنجش گر میانگین عدم شباهت داده‌ها در دو موقعیت مکانی x و $x+h$ به عنوان تابعی از فاصله بین آنها (h) است. واریوگرام تجربی را می‌توان برای جهات مختلف جغرافیایی و همچنین شبکه‌های نمونه‌برداری منظم و غیرمنظم نیز محاسبه کرد. با توجه به ابعاد شبکه نمونه‌برداری، واریوگرام‌های تجربی براساس گام‌های مختلف محاسبه می‌گردد (به عنوان مثال در تحقیق حاضر، حداقل فاصله بین نمونه‌ها (گام)، ۷۵۰ متر انتخاب شده است که برای محاسبه مدل تئوری گام‌های مختلف مورد ارزیابی قرار می‌گیرند). در نحوه ترسیم نمودارها، از فواصل مشخص و ثابت h استفاده می‌گردد. شکل ۳ یک واریوگرام ایده‌آل به همراه پارامترهای مهم آن را نشان می‌دهد.

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، با افزایش فاصله مقدار واریوگرام نیز به تدریج تا فاصله معینی افزایش می‌یابد و در ماورای آن به حد ثابتی می‌رسد که آن را حد آستانه می‌گویند. حد آستانه، مقدار عددی واریوگرام در شرایطی است که تابع مورد نظر، فاقد هرگونه صعود و یا نزول مشخصی است. در چنین فاصله‌ای، مقدار واریوگرام به مقدار واریانس داده‌ها نزدیک می‌شود و معادل کوواریانس در گام صفر است. فاصله‌ای که در طی آن، واریوگرام به حد ثابت و مشخص خود می‌رسد، اصطلاحاً دامنه نامیده می‌شود که بیانگر فاصله‌ای است که در ماورای آن، نمونه‌ها بر هم تاثیر ندارند و مقادیر مشاهده شده یا نمونه‌برداری شده را می‌توان مستقل از یکدیگر (نبود همبستگی مکانی) به حساب آورد.



شکل ۳. واریوگرام ایده‌آل به همراه پارامترهای آن

1. Lag
2. Range of Influence
3. Jack Knife
4. Root Mean Square Error
5. Mean Bias Error
6. Correlation Coefficient

جدول ۲. تقسیم‌بندی سدیمی.

محدوده	نام خاک	کلاس
$SAR = ۰-۸$	بدون مشکل سدیمی	A0
$SAR = ۸-۱۳$	مشکل سدیمی کم	A1
$SAR = ۱۳-۳۰$	مشکل سدیمی متوسط	A2
$SAR = ۳۰-۷۰$	مشکل سدیمی شدید	A3
$SAR > ۷۰$	مشکل سدیمی بسیار شدید	A4

* تقسیم‌بندی مقادیر شوری و سدیمی بر اساس نشریه فنی شماره ۲۰۵ مؤسسه خاک و آب صورت گرفته است.

سانتی‌متر نشان داده است که مقادیر شوری و سدیمی به سمت راست چولگی^۱ دارند. مقادیر چولگی این دو پارامتر به ترتیب در دو عمق مذکور ۲/۲۷، ۱/۵۲، ۱/۷۱، و ۱/۳۱ می‌باشند. با توجه به اینکه در روش کریجینگ معمولی، فرض نرمال بودن داده‌ها باید رعایت گردد، داده‌ها با استفاده از تبدیل لگاریتمی، نرمال شد و مقدار چولگی در عمق ۵-۰ سانتی‌متر برای این دو پارامتر به ترتیب ۰/۷۴ و ۰/۲۷ و در عمق ۵۰-۰ سانتی‌متر نیز به اعداد ۰/۶۱ و ۰/۰۷- کاهش یافت. پس از بررسی ضریب همبستگی بین مقادیر شوری خاک سطحی و درجات روشنائی تصویر سنجنده LISS-III، بالاترین ضریب همبستگی ۰/۴۵ با باند ۲ مشاهده و بدین علت از داده‌های این باند به عنوان متغیر کمکی در تخمین گر کوکریجینگ، برای تخمین مقادیر شوری عمق ۵-۰

سانتی‌متر نشان داده است که مقادیر شوری و سدیمی به سمت راست چولگی^۱ دارند. مقادیر چولگی این دو پارامتر به ترتیب در دو عمق مذکور ۲/۲۷، ۱/۵۲، ۱/۷۱، و ۱/۳۱ می‌باشند. با توجه به اینکه در روش کریجینگ معمولی، فرض نرمال بودن داده‌ها باید رعایت گردد، داده‌ها با استفاده از تبدیل لگاریتمی، نرمال شد و مقدار چولگی در عمق ۵-۰ سانتی‌متر برای این دو پارامتر به ترتیب ۰/۷۴ و ۰/۲۷ و در عمق ۵۰-۰ سانتی‌متر نیز به اعداد ۰/۶۱ و ۰/۰۷- کاهش یافت. پس از بررسی ضریب همبستگی بین مقادیر شوری خاک سطحی و درجات روشنائی تصویر سنجنده LISS-III، بالاترین ضریب همبستگی ۰/۴۵ با باند ۲ مشاهده و بدین علت از داده‌های این باند به عنوان متغیر کمکی در تخمین گر کوکریجینگ، برای تخمین مقادیر شوری عمق ۵-۰

آنالیز واریوگرافی

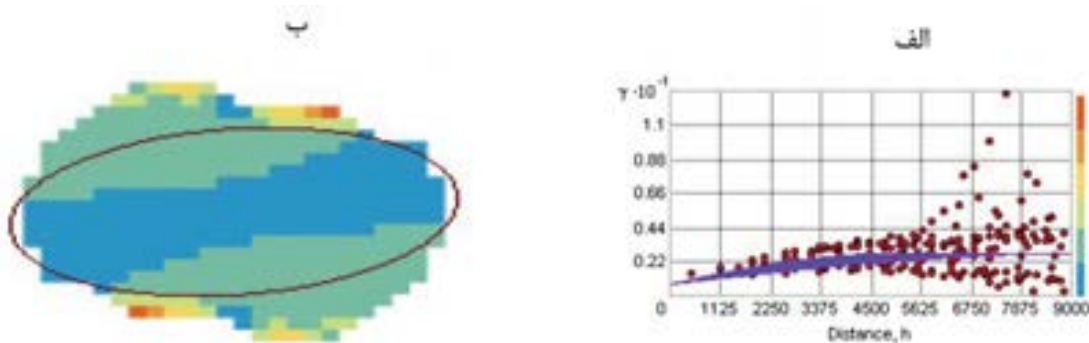
علاوه بر در نظر گرفتن شاخص‌های آماری عنوان شده در بحث قبل، به منظور بررسی روند تغییرات و تحلیل مکانی داده‌های شوری و سدیمی منطقه مورد مطالعه، از واریوگرام استفاده شده که در این رابطه تعداد گام‌ها، ۱۲ و به فواصل ۷۵۰ متر انتخاب گردید. شکل واریوگرام‌های رویه‌ای ترسیم شده در عمق ۵-۰ و ۵۰-۰ سانتی‌متر (شکل‌های ۵، ۶، ۷ و ۸ الف و ب) نشان داد که داده‌های شوری و سدیمی منطقه از وضعیت ناهمسانگرد برخوردارند. بنابراین، وضعیت شوری و سدیمی در

جدول ۳. خلاصه آماری مقادیر شوری (دسی‌زیمنس بر متر) و سدیمی در دو عمق.

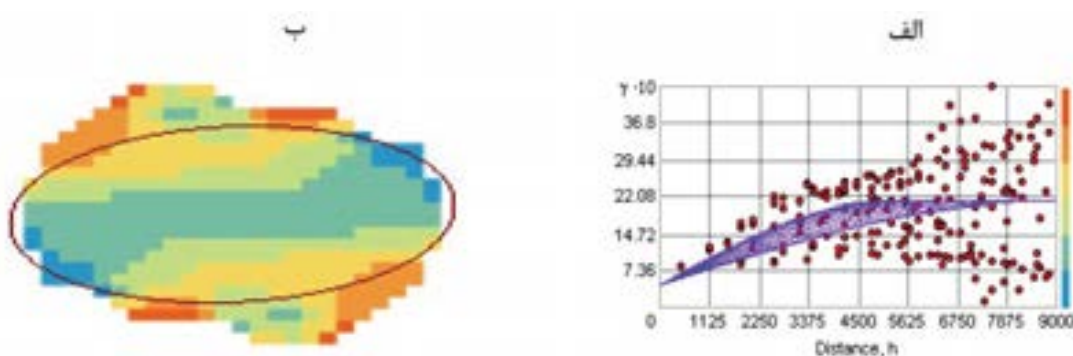
متغیر	عمق (سانتی‌متر)	میانگین	مقدار حداقل	مقدار حداکثر	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی	ضریب تغییر (درصد)
شوری (دسی‌زیمنس بر متر) <td>۵-۰</td> <td>۲۲/۸۷</td> <td>۰/۵</td> <td>۱۶۶</td> <td>۴۲/۶۳</td> <td>۲/۲۷</td> <td>۳/۸۸</td> <td>۱۸۶/۴</td>	۵-۰	۲۲/۸۷	۰/۵	۱۶۶	۴۲/۶۳	۲/۲۷	۳/۸۸	۱۸۶/۴
زیمنس بر متر <td>۵۰-۰</td> <td>۲۱</td> <td>۰/۵۴</td> <td>۱۲۱/۳</td> <td>۳۱/۸۶</td> <td>۱/۷۱</td> <td>۱/۴۵</td> <td>۱۵۱/۷</td>	۵۰-۰	۲۱	۰/۵۴	۱۲۱/۳	۳۱/۸۶	۱/۷۱	۱/۴۵	۱۵۱/۷
SAR	۵-۰	۱۳/۹۱	۰/۶	۶۹/۴	۱۸	۱/۵۳	۱/۰۶	۱۲۹/۴۰
	۵۰-۰	۱۵/۸۷	۰/۶	۶۷/۱	۱۷/۸۴	۱/۳۱	۰/۴	۱۲۱/۴۱

جدول ۴. ضرایب همبستگی بین مقادیر شوری عمق ۵-۰ و ۵۰-۰ سانتی‌متر و درجه روشنائی باندها.

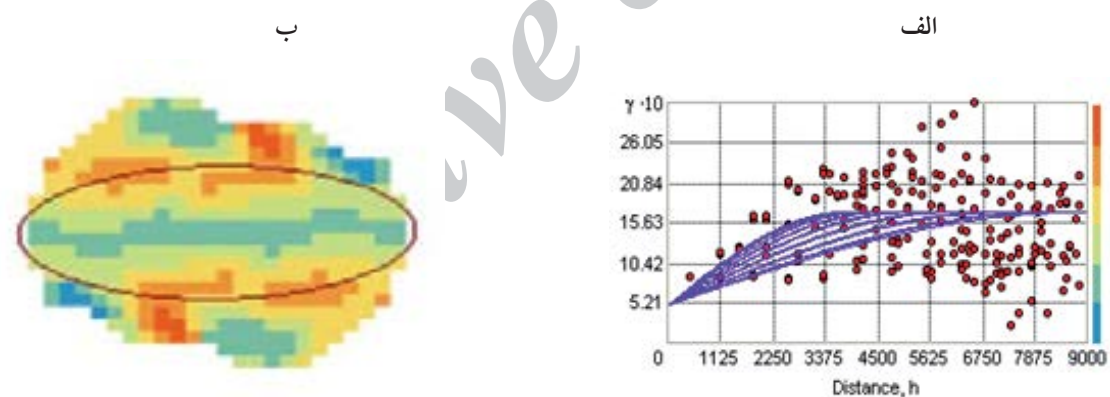
عمق (سانتی‌متر)	باند ۲	باند ۳	باند ۴	باند ۵
۵-۰	۰/۴۵	۰/۲۸	۰/۱۳	۰/۰۶
۵۰-۰	۰/۱۶	۰/۰۴	-۰/۱۴	-۰/۰۹



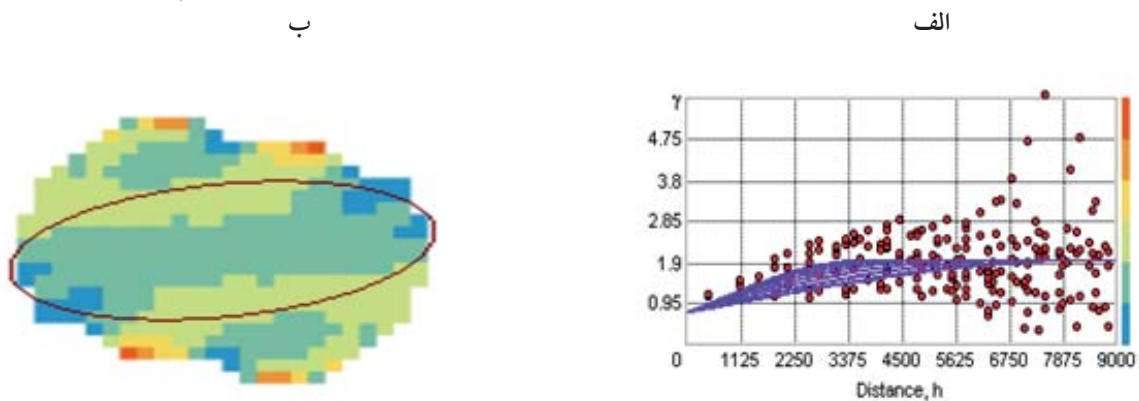
شکل ۵. الف) واریوگرام ناهمسانگرد، ب) واریوگرام رویه‌ای مربوط به داده‌های شوری عمق ۵-۰ سانتی‌متر.



شکل ۶. الف) واریوگرام ناهمسانگرد، ب) واریوگرام رویه‌ای مربوط به داده‌های شوری عمق ۵۰-۰ سانتی‌متر



شکل ۷. الف) واریوگرام ناهمسانگرد، ب) واریوگرام رویه‌ای مربوط به داده‌های سدیمی عمق ۵۰-۰ سانتی‌متر



شکل ۸. الف) واریوگرام ناهمسانگرد، ب) واریوگرام رویه‌ای مربوط به داده‌های سدیمی عمق ۵۰-۰ سانتی‌متر

بالاتری مشاهده شد. در تحقیق دیگری، (Yan et al., 2007)، تغییرات مکانی شوری خاک را در یک مزرعه ۱۰ هکتاری مورد مطالعه قرار دادند. به دلیل متفاوت بودن عملیات مدیریتی و پستی و بلندی‌های غیریکنواخت در سطح مزرعه، ضریب تغییرات از مقدار بالایی برخوردار و تفاوت‌های مقادیر شوری در فواصل کوتاه کاملاً محسوس بود.

تخمین داده‌های شوری و سدیمی و ارزیابی آن‌ها

نتایج ناشی از دو روش کریجینگ در رابطه با داده‌های شوری و سدیمی در جدول ۶ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد، تخمین شوری خاک سطحی (۰-۵ سانتی‌متر) به روش کوکریجینگ با استفاده از مقادیر رقوم سنجنده LISS-III، خطای RMS را کاهش نداده است. نتایج ناشی از روش کریجینگ در رابطه با داده‌های سدیمی در جدول (۶)، ارائه شده است. در هر دو پارامتر شوری و سدیمی، مقادیر BME ناشی از روش کریجینگ، بیش‌برآوردی را نشان داد (جدول ۶). در روش کوکریجینگ، مقدار ضریب همبستگی بین مقادیر تخمینی و واقعی شوری نیز

شرایط ناهمسانگرد مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج مدل استفاده شده در دو عمق مربوطه، در جدول ۵ ارائه شده است. نتایج جدول ۵، نشان می‌دهد که همبستگی مکانی داده‌های شوری و سدیمی خاک در عمق ۰-۵ سانتی‌متر و عمق ۵۰-۰ سانتی متر از نوع متوسط می‌باشد. چنانچه نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه کمتر از ۲۵ درصد، بیشتر از ۷۵ درصد و بین این دو عدد باشد، به ترتیب وابستگی مکانی بین نمونه‌ها از نوع قوی، ضعیف و متوسط خواهد بود.

Cambardella and Panagopoulos et al., 2006 به نقل از Karlen, 1999 و پژوهشگران دیگری نظیر (Jordan et al. (2004)، تغییرات مکانی شوری و سدیمی خاک را مورد مطالعه قرار داده‌اند و پس از بررسی، شعاع تأثیر را برای سدیم ۳۷ کیلومتر، برای شوری، ۲۶ کیلومتر و برای اسیدیته، ۱۸ کیلومتر برآورد گردید. در جنوب شرق اسپانیا، (Navarro-Pedreno et al. (2007 با استفاده از روش‌های زمین آماری، تغییرات مکانی شوری خاک را مورد مطالعه قرار دادند. مدل کروی آنها، شعاع تأثیر ۲۶ کیلومتر را ارائه کرد. در قسمت جنوبی منطقه مورد مطالعه، مقادیر شوری

جدول ۵. نتایج مدل برازش داده شده به نیم‌تغییرنمای داده‌های شوری و سدیمی.

عمق (سانتی‌متر)	مدل	شعاع تأثیر بزرگ (متر)	شعاع تأثیر کوچک (متر)	اثر قطعه‌ای (متر)	آستانه (متر)	آستانه / اثر قطعه‌ای (درصد)
۰-۵ (شوری)	کروی	۸۸۶۸	۴۸۶۷	۰/۷۵	۱/۹۴	۳۸
۰-۵۰ (شوری)	کروی	۸۸۹۰	۵۱۴۰	۰/۴۶	۱/۶۶	۲۸
۰-۵ (سدیمی)	کروی	۸۶۸۴	۳۷۷۸	۰/۷۲	۱/۲۳	۵۸
۰-۵۰ (سدیمی)	کروی	۸۷۱۵	۳۷۲۶	۰/۴۹	۱/۲۰	۴۰

جدول ۶. مقادیر R2، RMSE و MBE در تخمین شوری و سدیمی به روش کریجینگ

پارامتر	روش میان‌یابی	مدل	RMSE (درصد)	MBE (درصد)	R ²
شوری	کریجینگ معمولی (۰-۵ سانتی‌متر)	کروی	۲۷/۸۵	۲/۲	۰/۶۰
	کوکریجینگ (۰-۵ سانتی‌متر)	کروی	۳۰/۶۱	۰/۷	۰/۴۸
سدیمی	کریجینگ معمولی (۰-۵۰ سانتی‌متر)	کروی	۱۷/۵۶	۲/۴	۰/۷۴
	کریجینگ معمولی (۰-۵ سانتی‌متر)	کروی	۱۲/۸۳	۲/۱	۰/۵۷
	کریجینگ معمولی (۰-۵۰ سانتی‌متر)	کروی	۱۲/۳۴	۲/۸	۰/۶۴

مکانی خاک ۵-۰ سانتی‌متر و ۵۰-۰ سانتی‌متر منتج از روش کریجینگ نشان می‌دهند که خاک‌های مجاور دریاچه از بالاترین میزان شوری و سدیمی برخوردارند. با افزایش فاصله از دریاچه و در مرکز دشت، مقادیر این دو پارامتر کاهش یافته و سپس در زمین‌های کشاورزی واقع در شمال منطقه، شوری و SAR خاک‌ها افزایش پیدا نموده است. (Figueira et al. (1999 با استفاده از دو روش کریجینگ معمولی و کریجینگ با روند خارجی، مقادیر سدیم و کلر را در گل‌سنگ‌ها و خاک‌های هم‌جوار نواحی ساحلی تخمین زده‌اند. در این تحقیق، مقادیر عددی بزرگتر در مکان‌های نزدیک به ساحل مشاهده شده است و با افزایش فاصله این مقدار کاهش می‌یابد. با توجه به این‌که در شمال منطقه، کشاورزی آبی محصولاتی نظیر یونجه، گندم و جو وجود دارد، به نظر می‌رسد که استفاده از آب با کیفیت نامطلوب (هدایت الکتریکی بین ۲۰-۵ دسی‌زیمنس بر متر) (حسن‌شاهی، ۱۳۷۰) باعث گرایش خاک‌ها به معضل شوری و سدیمی شده است. در چند سال آینده در صورت نبود کنترل منابع آبی و خاکی، محدوده مورد مطالعه و اراضی مجاور به سمت بیابان‌زایی سوق پیدا کرده و منجر به مشکلات اقتصادی و اجتماعی عدیده‌ای برای مردم این منطقه می‌گردد.

نتیجه‌گیری

همبستگی مکانی داده‌های شوری و سدیمی خاک در عمق ۵-۰ سانتی‌متر و عمق ۵۰-۰ سانتی‌متر از نوع متوسط می‌باشد. مقادیر مختلف شعاع تاثیر بیان‌گر متفاوت بودن شرایط خاک‌زایی مختلف مربوط به هر منطقه، وسعت محدوده مورد مطالعه و تعداد نمونه می‌باشد. در هر دو پارامتر شوری و سدیمی، مقادیر BME ناشی از تخمین‌گر کریجینگ، بیش‌برآوردی را نشان داده است. در روش کوکریجینگ در مقدار ضریب همبستگی بین مقادیر تخمینی و واقعی شوری نتایج بهتری نسبت به روش کریجینگ معمولی مشاهده نشده است. در خاک‌های غیرشور (هدایت الکتریکی کمتر از ۴ دسی‌زیمنس بر متر) روند نمودار طیفی مشابه با نواحی شور بوده است. این مسئله مبین حضور سیلت (۶۵-۳۵ درصد) و آهک فراوان (۹۲-۶۵ درصد) در این خاک‌ها است که علی‌رغم فقدان شوری، انعکاس بالایی در آن‌ها مشاهده گردیده است.

شناسایی مناطق پرخطر در نقشه‌های تغییرات مکانی خاک ۵-۰ سانتی‌متر و ۵۰-۰ سانتی‌متر منتج از روش کریجینگ نشان داده است که خاک‌های مجاور دریاچه از بالاترین میزان شوری و سدیمی برخوردارند. با فاصله از دریاچه در مرکز دشت مقادیر این دو پارامتر کاهش یافته و سپس در زمین‌های کشاورزی واقع در شمال منطقه، شوری و SAR خاک‌ها افزایش پیدا نموده است. درصد خاک‌های شور عمق ۵-۰ و ۵۰-۰ سانتی‌متر منتج از روش کریجینگ معمولی به ترتیب ۸۷/۶ و ۹۳/۹ درصد سدیمی بودن خاک‌ها در اعماق مذکور به ترتیب ۵۱/۹ و ۵۹ تخمین زده شده است. درصدهای شوری و سدیمی شدن

نتایج بهتری نسبت به روش کریجینگ معمولی مشاهده نگردید. همان‌طورکه در جدول (۶)، مشاهده می‌شود، ضریب تعیین بین داده‌های واقعی و تخمینی در روش کریجینگ معمولی، ۰/۶ و در روش کوکریجینگ، ۰/۴۸ است. وجود مواد با بازتاب مشابه با شوری در شکل (۹)، نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود؛ مقادیر شوری کمتر از ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر نیز که در واقع مبین دو کلاس خاک‌های غیر شور (۴-۰ دسی‌زیمنس بر متر) و خاک‌های با شوری کم (۸-۴ دسی‌زیمنس بر متر)، می‌باشند که درجه‌های روشنایی ۱۰۰ تا ۱۵۰ و حتی بالاتر را به خود اختصاص داده‌اند. این بدین مفهوم است که خاک‌های ذکرشده، علی‌رغم فقدان شوری و یا شوری کم، بازتاب بالا و مشابه شوری را نشان داده‌اند که در واقع مؤید حضور سیلت (۶۵-۳۵ درصد) و آهک فراوان (۹۲-۶۵ درصد) است. چنانچه همبستگی بین متغیر هدف و متغیر ثانویه ضعیف باشد، دقت برآوردها کاهش می‌یابد. نتایج ناشی از بهره‌گیری درجات روشنایی در روش کوکریجینگ بیان‌گر آن بود که در تحقیقات آتی باید از تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالاتر و باندهای بیشتر استفاده نمود. (Douaoui et al. (2006 از تصاویر ماهواره SPOT XS با قدرت تفکیک مکانی ۲۰ متر و روش‌های آماری و زمین آماری (رگرسیون ساده، طبقه‌بندی، کریجینگ معمولی، طبقه‌بندی - کریجینگ، رگرسیون - کریجینگ) برای تهیه نقشه شوری ۴۰۰۰۰ هکتار از اراضی دشت شلیف در الجزایر استفاده نموده‌اند. در روش رگرسیون - کریجینگ که از داده‌های تصویر ماهواره‌ای به عنوان متغیر ثانویه بهره گرفته شده بود، برخلاف نتایج این تحقیق افزایش در دقت تخمین به وسیله این روش مشاهده شده است.

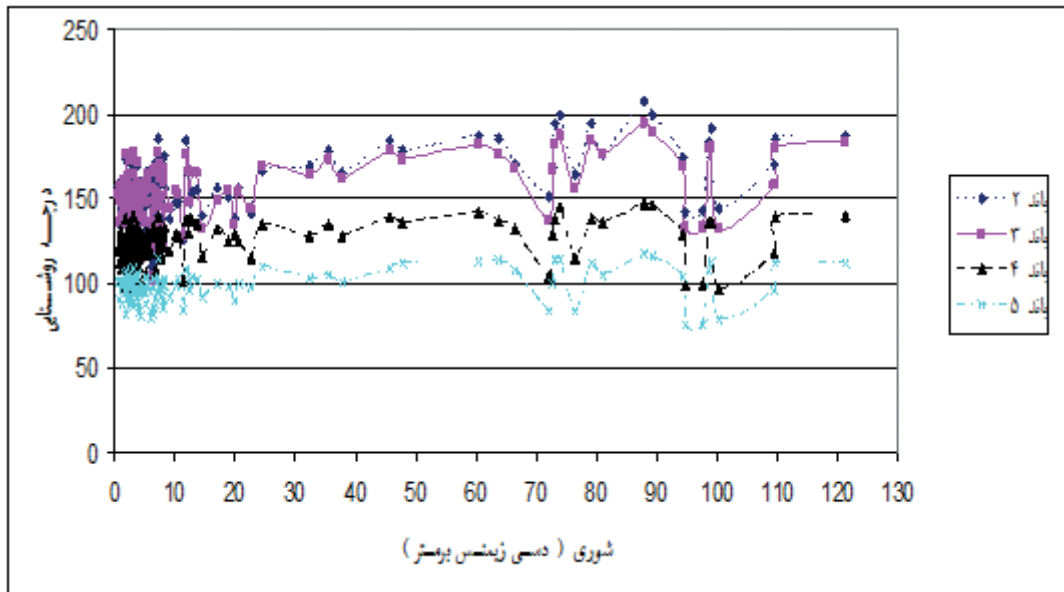
ارزیابی نقشه شوری و سدیمی خاک ۵-۰ و ۵۰-۰ سانتی‌متر منتج از روش کریجینگ معمولی

تهیه نقشه شوری و سدیمی به روش کریجینگ، این امکان را به وجود می‌آورد که در تمامی نقاط مقدار این پارامترها و کلاس مربوطه را استخراج نمود. درصد کلاس‌های شوری و سدیمی خاک منتج از روش کریجینگ معمولی در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ ارائه شده است. همان‌طورکه در این شکل‌ها مشاهده می‌شود، ترتیب کلاس‌های شوری و سدیمی منطقه مورد مطالعه بر اساس روش کریجینگ معمولی به شرح ذیل نتیجه شده است:

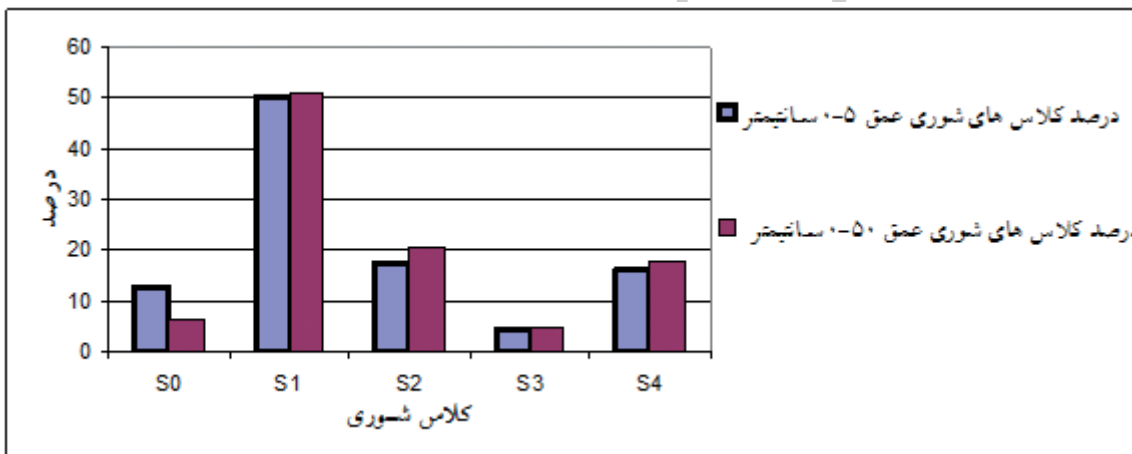
$$S1>S2>S4>S0>S3$$

$$A0>A1>A2>A4>A3$$

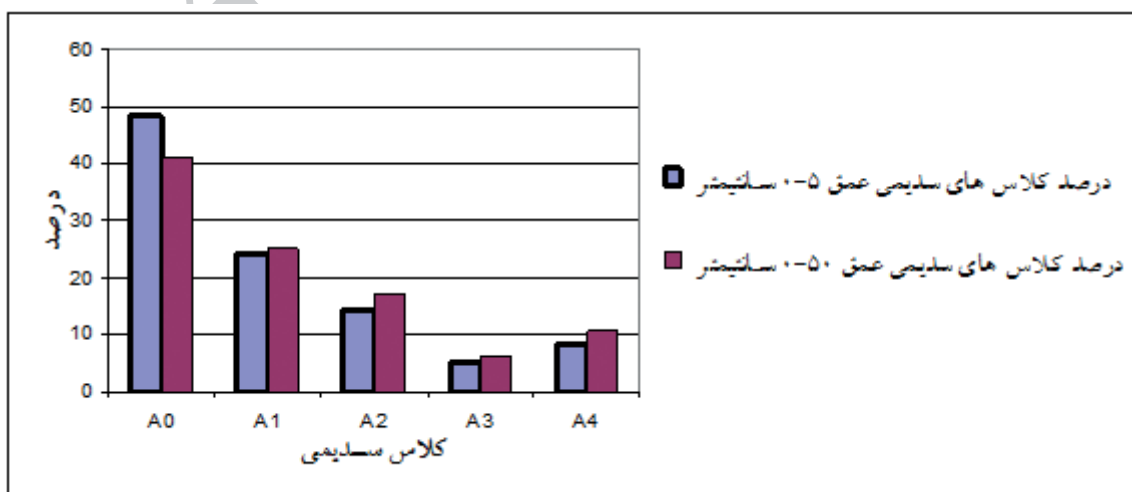
نقشه شوری و سدیمی خاک سطحی منطقه مورد مطالعه، در شکل‌های (۱۲، ۱۳، ۱۴ و ۱۵) ارائه شده است. این شکل‌ها نشان می‌دهند که شوری و SAR خاک در مجاورت دریاچه و در هر دو عمق از مقادیر بالایی برخوردار می‌باشد. نقشه‌های تغییرات



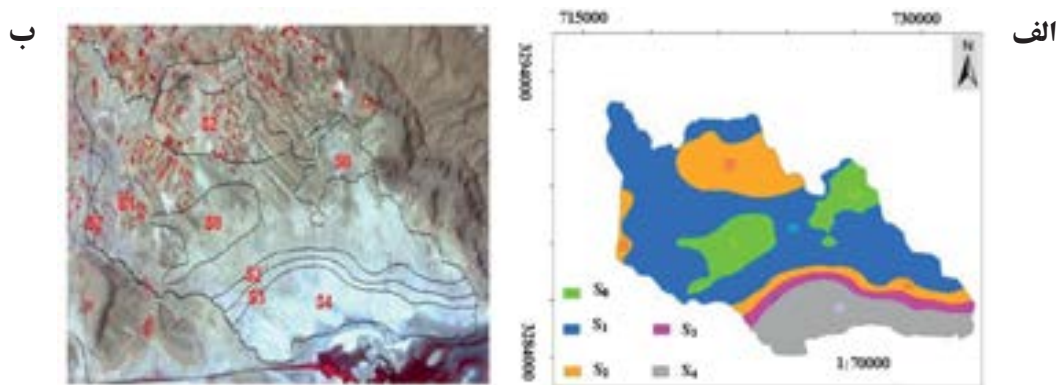
شکل ۹. درجه روشنایی باندها و مقادیر شوری متناظر



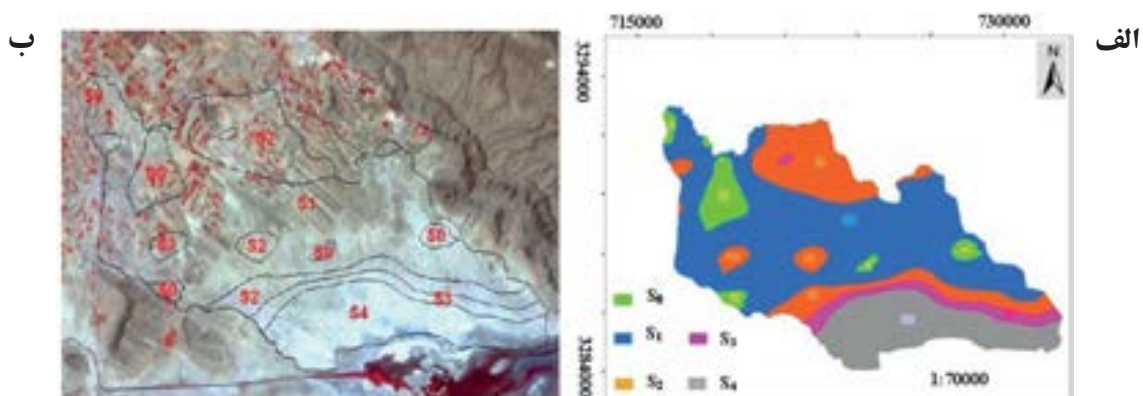
شکل ۱۰. درصد کلاس‌های شوری



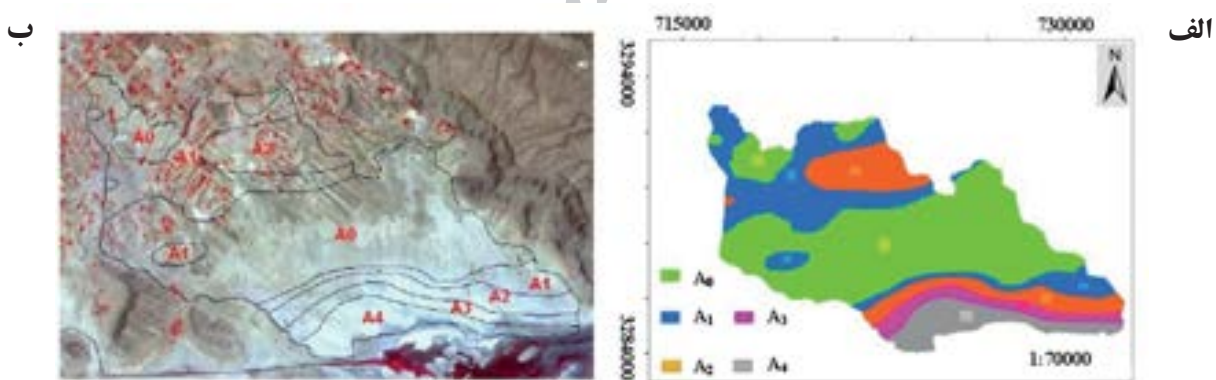
شکل ۱۱. درصد کلاس‌های سدیمی



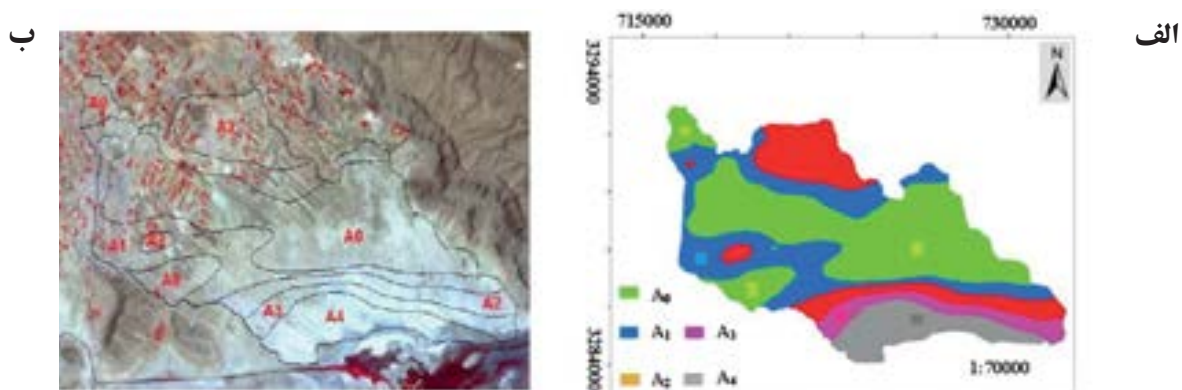
شکل ۱۲. الف) نقشه شوری خاک سطحی منتج از روش کریجینگ معمولی، ب) و نمای آن بر روی تصویر سنجنده LISS III.



شکل ۱۳. الف) نقشه شوری خاک سطحی-عمقی منتج از روش کریجینگ معمولی، ب) و نمای آن بر روی تصویر سنجنده LISS III.



شکل ۱۴. الف) نقشه سدیمی خاک سطحی منتج از روش کریجینگ معمولی، ب) و نمای آن بر روی تصویر سنجنده LISS III.



شکل ۱۵. الف) نقشه سدیمی خاک سطحی-عمقی منتج از روش کریجینگ معمولی، ب) و نمای آن بر روی تصویر سنجنده LISS III.

- Cambardella, C.A. and Karlen, D.K., 1999. Spatial analysis of soil fertility parameters. *Precision Agriculture*, 1, 5-14.

- Douaoui, A.E.K., Nicolas, H. and Walter, C.H., 2006. Detecting salinity hazards within a semiarid context by means of combining soil and remote sensing data. *Geoderma*, 134, 217-230.

- Figueira, R., Sousa, A.J., Pacheco, A.M.G. and Catarino, F., 1999. Saline variability at ground level after kriging data from Ramalina Spp. *Biomonitoring: The Science of the Total Environment*, 232, 3-11.

- Goovaerts, P., 1999. Using elevation to aid the geostatistical mapping of rainfall erosivity. *Catena*, 34, 227-242.

- Jordan, M., Navarro-Pedreno, J., Garcia-Sanchez, E., Mateu, J., and Juan, P., 2004. Spatial dynamics of soil salinity under arid and semi-arid conditions: geological and environmental implications. *Environmental Geology*, 45, 448-456.

- Kerry, R. and Oliver, M., 2003. Variograms of ancillary data to aid sampling for soil surveys. *Precision Agriculture*, 4, 261-278.

- Lopez-Granados, F., Jurado-Exposito, M., Pena-Barragan, J.M. and Garcia-Torres, L., 2005. Using geostatistics and remote sensing approaches for mapping soil properties. *European Journal of Agronomy*, 23, 279-288.

- McBratney, A.B., Odeh, I.O.A., Bishop, T.F.A., Dunbar, M.S. and Shatar, M., 2000. An overview of pedometric techniques for use in soil survey. *Geoderma*, 97, 293-328.

- McKenzie, N.J. and Ryan, P.J., 1997. Spatial prediction of soil properties using environmental correlation. *Geoderma*, 89, 67-94.

- Metternicht, G.I. and J.A. Zinck. 2003. Remote sensing of soil salinity: Potentials and Constraints. *Remote Sensing of Environment*, 85, 1-20.

- Miyamoto, S., Chacon, A., Hossain, M. and Martinez, I., 2005. Soil salinity of urban turf areas irrigated with saline water. *Landscape and Urban Planning*, 71, 233-241.

- Moore, I.D., Gessler, P.E., Nielsen, G.A. and Peterson, G.A., 1993. Soil attribute prediction using terrain analysis. *Soil Science Society of America Journal*, 57, 443-452.

- Navarro-Pedreno, J., Jordan, M.M., Melendes-Poster, I., Gomez, I., Juan, P. and Mateu, J., 2007. Estimation of soil salinity in semi-arid land using a geostatistical Model. *Land Degredation Development*, 18, 339-353.

خاک‌ها بیان‌گر آن است که زمین‌های محدوده مورد مطالعه نیاز به تدابیر اصولی و استراتژی‌های مدیریتی در زمینه احیا و جلوگیری از پیشرفت این عوارض دارند. در رابطه با ارزیابی دقیق‌تر این‌گونه معضلات زیست‌محیطی، نتایج پژوهش حاضر پیشنهاد می‌نماید در تحقیقات آتی از درجات روشنایی تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالاتر و یا تصاویر ابرطیفی به عنوان متغیر کمکی در روش‌های کریجینگ استفاده گردد و پتانسیل آنها در افزایش دقت تخمین‌ها مورد ارزیابی قرار گیرد. همچنین استفاده از هرگونه اطلاعات کمکی مختلف در تخمین شوری و سدیمی خاک نظیر درصد رس و غیره، با توجه به هزینه‌ها در نظر گرفته شود. بهره‌گیری از سایر روش‌های کریجینگ نیز نظیر دو روش کریجینگ شاخص و منفصل که در آنها فرض نرمال بودن داده‌ها حائز اهمیت نمی‌باشد، از پیشنهاد می‌گردد.

سپاسگزاری

تصاویر ماهواره‌ای این پژوهش از سازمان جغرافیایی ارتش جمهوری اسلامی ایران تامین شده است که مولفین از کارشناسان و مسئولین این مرکز به دلیل مساعدت و همکاری، کمال تشکر و قدردانی را دارند.

منابع

- حسن‌شاهی، ح.، ۱۳۷۰. مطالعات خاک‌شناسی نیمه تفصیلی دشت‌های سعادت شهر، سیوند، سیدان و توابع ارسنجان (استان فارس). مؤسسه تحقیقات خاک و آب، نشریه فنی شماره ۷۸۱.

- علوی‌پناه، س.ک.، ۱۳۸۲. کاربرد سنجش از دور در علوم زمین (علوم خاک). دانشگاه تهران. ۴۷۷.

- محمدی، ج.، ۱۳۷۸. مطالعه تغییرات مکانی شوری در منطقه رامهرمز (خوزستان) با استفاده از نظریه ژئواستاتستیک: کوکریجینگ. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ۳، شماره ۱، ۸-۱.

- مؤسسه تحقیقات خاک و آب، ۱۳۶۸. راهنمای طبقه بندی اراضی برای آبیاری. نشریه شماره ۲۰۵، سازمان تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی، وزارت کشاورزی.

- Ardahantiglu, O., Oztas, T., Evren., S., Yilmaz H. and Yildirim Z.N., 2003. Spatial variability of exchangeable sodium, electrical conductivity, soil pH and boron content in salt- and sodium-affected areas of Igdire palin (Turkey). *Journal of Arid Environments*, 54, 495-503.

- Bishop, T.F.A. and McBratney, A.B., 2001. A comparison of prediction methods for the creation of field-extent soil property maps. *Geoderma*, 103, 149-160.

- Cafarelli, B. and Pollice, A., 2008. Geadditive models for the analysis of the spatial distribution of soil salinity in a sardinia coastal area. *Environments*, 19, 742-750.

- Odeh, I.O.A., McBratney, A.B. and Chittleborough, D.J., 1995. Further results on prediction of soil properties from terrain attributes: heterotopic cokriging and regression-kriging. *Geoderma*, 67, 215-225.
- Panagopoulos, T., Jesus, J., Antunes, M.D.C. and Beltrao, J., 2006. Analysis of spatial interpolation for optimizing management of a salinized field cultivated with lettuce. *European Journal of Agronomy*, 24, 1-10.
- Pozdnyakova, L. and Renduo, Z., 1999. Geostatistical analyses of soil salinity in large field. *Precision Agriculture*, 1, 153-165.
- Yan, L.I., Zhou, S.H., Ci-Feng, W.U., Hong-yi, L.I., and Feng, L.I., 2007. Improved prediction and reduction of sampling density for soil salinity by different geostatistical methods. *Agricultural Sciences in China*, 6, 832-841.
- Walter, C., McBratney, A.B., Douaoui, A. and Minasny, B., 2001. Spatial prediction of topsoil salinity in the chelif valley, Algeria, using local ordinary kriging with local variograms versus whole-area variogram. *Australian Journal of Soil Research*, 39, 259-27.

Archive of SID