



"مقاله پژوهشی"

پهنه‌بندی و بررسی روند شوری خاک با استفاده از داده‌های سنجش از دور و زمین آمار (مطالعه موردی: دشت سگزی، اصفهان)

ثریا یعقوبی^۱، چوقی بایرام کمکی^۲ و حمیدرضا کریم‌زاده^۳

۱- دانشجوی دکتری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران، (نویسنده مسؤل: soraya_yaghobi@yahoo.com)

۲- استادیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

۳- دانشیار دانشگاه صنعتی اصفهان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۰۴

صفحه: ۹۲ تا ۱۰۴

چکیده

شوری خاک یکی از خصوصیات بسیار مهم خاک است. که تجمع آن در مناطق خشک حاکم است و آن را به یک مشکل جدی زیست‌محیطی تبدیل کرده است. شناسایی و پهنه‌بندی خاک‌های شور غالباً به دلیل تغییرپذیری زمانی و مکانی آن و نیاز به نمونه‌برداری و کارهای آزمایشگاهی مشکل است. در چند دهه گذشته استفاده از روش‌های زمین‌آمار و سنجش از دور برای تهیه نقشه شوری خاک و پایش تغییرات آن توسعه پیدا کرده است. هدف از این مطالعه پهنه‌بندی شوری و مقایسه قابلیت روش‌های زمین‌آمار و سنجش از دور برای تهیه نقشه شوری خاک است. هدف از این مطالعه پهنه‌بندی شوری و مقایسه قابلیت روش‌های زمین‌آمار و سنجش از دور برای تهیه نقشه شوری خاک است. ابتدا ۲۹ نمونه خاک از منطقه مورد مطالعه به روش تصادفی برداشت و میزان هدایت الکتریکی آن اندازه‌گیری شد. جهت تهیه نقشه شوری خاک داده‌های ماهواره‌ای سنجنده TM لندست ۷ همزمان با تاریخ برداشت صحرایی در مرداد ۱۳۷۶ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. سپس پردازش‌هایی مانند بازسازی تصاویر و تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) بر روی این داده‌ها اعمال شد. نتایج نشان داد که مدل کریجینگ معمولی با نیم تغییر نمای نمایی بهترین روش در مدل‌سازی و درون‌یابی شوری خاک می‌باشد. با استفاده از آنالیز سطح معنی‌داری و میزان همبستگی بین خروجی مدل‌ها و داده‌های زمینی بهترین روش انتخاب و نقشه شوری خاک بر اساس بهترین روش استخراج شد. نتایج نشان داد روش PCA234 بالاترین همبستگی را با نقاط نمونه‌برداری دارد. با نتایج حاصل از دو مقطع زمانی ۱۹۹۷ و ۲۰۱۸ مشخص شد که میزان شوری کلاس‌های متوسط و زیاد به ترتیب در سال ۱۹۹۷ سپس در سال ۲۰۱۸ کاسته شده و به میزان شوری کلاس‌های بسیار زیاد و شدید در سال ۲۰۱۸ اضافه شده است.

واژه‌های کلیدی: پهنه‌بندی، دشت سگزی، شوری خاک، کریجینگ معمولی، PCA

مقدمه

شوری خاک به‌عنوان یک عامل محدودکننده به‌طور مستقیم روی رشد گیاهان تأثیر می‌گذارد. به‌همین دلیل در علوم کشاورزی و منابع طبیعی همواره مورد توجه قرار گرفته و پژوهش‌های فراوانی را به‌خود اختصاص داده است. شوری زایی باعث بیابانی شدن زمین‌ها و کاهش کیفیت آن‌ها شده است (۱۶). خاک‌های خیلی شور و شورزارها از تنوع ریخت‌شناختی و شیمیایی زیادی برخوردار هستند. همین مسئله موجب می‌شود بازتاب‌های طیفی مختلفی از شورزارها حاصل شود (۲۰). وجود تغییرات مکانی در ویژگی‌های خاک امری معمول است ولی شناخت این تغییرات به‌ویژه در اراضی کشاورزی جهت برنامه‌ریزی دقیق و مدیریت اراضی امری ضروری است. آگاهی از این مسئله برای افزایش سود و نیل به بهره‌برداری پایدار ضرورت دارد (۷). استفاده از روش‌های آزمایشگاهی برای برآورد شوری، عموماً وقت‌گیر و پرهزینه است. همچنین به‌علت زیاد بودن تغییرات مکانی شوری خاک (۳) بهتر است برای تعیین و پایش خاک‌های شور از روش‌های زمین‌آمار و داده‌های سنجش از دور استفاده کرد (۲۵). در این بین تهیه نقشه‌های شوری خاک اهمیت و جایگاه ویژه‌ای دارد. در دو دهه اخیر استفاده از تکنیک‌های میدانی و ترکیب آن‌ها با داده‌های سنجش از دوری کمک قابل توجهی به نقشه‌کشی اراضی شور

کرده است. سنجش از دور قابلیت و توانمندی استخراج و مطالعه مشکل شوری‌زایی در پهنه‌های بزرگ‌مقیاس را دارا است (۸). سنجش از دور عبارت است از شناسایی، جمع‌آوری و تفسیر داده‌ها از راه دور به‌وسیله سنجنده‌هایی که بازتاب امواج الکترومغناطیسی سطح زمین را اندازه‌گیری می‌کنند (۱۹). با توجه به قابلیت بالای تصاویر ماهواره‌ای که چند طیفی و تکراری بوده و پوشش وسیعی دارند، یکی از روش‌های رسیدن به اطلاعات مورد نیاز تهیه نقشه از خصوصیات خاک مناطق خشک و بیابانی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای می‌باشد (۹). روش‌های زمین‌آماري مانند تخمین‌گرهای آماری ناپارامتری نظیر میانگین متحرک وزن‌دار و روش‌های پارامتری زمین‌آماري نظیر کریجینگ و کوکریجینگ مطرح می‌باشد. روش‌های زمین‌آماري به دلیل در نظر گرفتن همبستگی مکانی داده‌ها از اهمیت زیادی در بررسی‌های مربوط به پراکنش داده‌های زمینی برخوردار هستند و تخمین‌های بهتری از شوری خاک به‌دست می‌دهند (۲۷). در زمینه بررسی شوری خاک با استفاده از الگوریتم‌های طبقه‌بندی با داده‌های ماهواره‌ای و روش‌های زمین‌آماري مطالعاتی انجام گرفته است.

الهارتی و همکاران (۱۰) با استفاده از تصاویر سنجنده TM و سنجنده OLI در دشت تادلا در مرکز مراکش اقدام به تهیه نقشه شوری خاک نمودند. آن‌ها یک بازه ۱۳ ساله از

GIS برای تهیه نقشه‌های شن، رس، آهک، رطوبت قابل‌دسترس و هدایت الکتریکی در مناطق فاقد نمونه‌برداری استفاده کردند. در ارزیابی مقادیر برآورد شده و مشاهده‌ای نشان داده شد که روش کریجینگ در همه متغیرها به جز درصد رس از خطا و انحراف کمتر و دقت بالاتری برخوردار است. ژئواشرف و همکاران (۱۱) طی پایش شوری خاک با استفاده از داده‌های سنجنده ASTER به این نتیجه رسیده‌اند که در دوره زمانی ۷ ساله (۲۰۰۳-۲۰۱۰) از سطح اراضی غیر شور کاسته و بر ساحت اراضی شور افزوده شده است که بیانگر تخریب خاک، کاهش بازدهی و پیشرفت بیابان‌زایی در منطقه است.

حسین و همکاران (۱۵) نیز روش کریجینگ معمولی را نسبت به سایر روش‌های میانابایی دقیق‌تر دانستند. عبدالعظیمی و همکاران (۱) نقشه‌های شوری خاک منتج از داده‌های ماهواره‌ای و روش کریجینگ را در منطقه ارسنجان مورد ارزیابی قرار دادند این پژوهشگران نشان دادند با افزایش فاصله از دریاچه مقادیر شوری در مرکز دشت کاهش یافته است. هدف از این تحقیق تهیه نقشه‌های شوری خاک با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای TM و ETM+ و روش‌های میانابایی در دشت سگری استان اصفهان و تعیین روابط همبستگی و رگرسیونی بین داده‌های واقعی با باندها، شاخص‌های شوری و تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اول باندها (PCA) می‌باشد از آنجا که دشت سگری به جهت قرارگیری در منطقه خشک و نیمه‌خشک در معرض خاک‌های شور قرار گرفته است در این تحقیق سعی شده که نقشه شوری سال ۱۹۹۷ و ۲۰۱۸ برای منطقه مذکور با استفاده از روش‌های زمین‌آمار و طبقه‌بندی حداکثر احتمال تهیه گردد تا بتوان با شناخت عمیق و کافی از روند تغییرات شوری خاک، راه‌های مقابله با این پدیده را فراهم آورد.

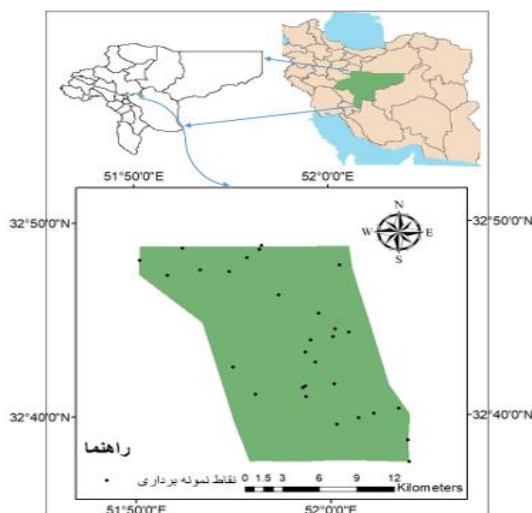
مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مطالعاتی

دشت سگری واقع در ۴۰ کیلومتری شرق شهر اصفهان، یکی از ۱۶ کانون بحرانی بیابان‌زایی در استان اصفهان است. محدوده مورد مطالعه که بخشی از این دشت است، با مساحت ۲۹۵۹۰ هکتار بین $52^{\circ}07'30''$ تا $56^{\circ}29'51''$ طول جغرافیایی $32^{\circ}23'32''$ تا $32^{\circ}55'32''$ عرض جغرافیایی واقع شده است. توپوگرافی منطقه مورد مطالعه حالت کاسه مانند بوده که بیشترین ارتفاع آن مربوط به دشت‌سر پانداژ با ارتفاع ۱۶۵۰ متر از سطح دریا در شمال شرقی منطقه و کم‌ترین ارتفاع منطقه، قسمت‌های مرکزی و جنوب‌شرقی با تیپ جلگه رسی بوده که دارای ارتفاع ۱۵۱۷ متر از سطح دریای آزاد می‌باشد. بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده از ایستگاه موجود در منطقه مورد مطالعه، متوسط بارش سالانه منطقه ۱۳۴ میلی‌متر، متوسط دمای سالانه ۱۷/۱ درجه سانتی‌گراد و میانگین تبخیر سالانه در منطقه ۲۷۶۵ میلی‌متر و اقلیم منطقه به‌روش دومارتن خشک به‌دست آمد (شکل ۱).

سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ را مورد بررسی و با تهیه مقادیر هدایت الکتریکی خاک منطقه، مدل‌های رگرسیونی را اجرا نمودند. در مرحله اعتبارسنجی مدل‌ها، ضریب تبیین R^2 از ۰/۵۵ تا ۰/۷۷ و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) بین $1/02$ ds/m تا $2/35$ ds/m به‌دست آمد. نقشه‌های خروجی، کاهش شوری در بازه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. وایتنی و همکاران (۲۸) با انتخاب داده‌های سنجنده مودیس ۸ و شاخص‌های NDVI CRSI و EVI به بررسی شوری خاک در مرکز کالیفرنیا پرداختند. نتایج نشان داد، استفاده از داده‌های مودیس و به‌کارگیری شاخص‌های منتخب برای تخمین شوری سطح خاک با دقت قابل قبولی امکان‌پذیر می‌باشد. Yu و همکاران (۲۹) با استفاده از تصاویر سنجنده OLI نلدست 8 و الگوریتم PLSR به تهیه نقشه شوری خاک در غرب ایالت جیلین چین پرداختند. آن‌ها متغیرهای محیطی PH و EC خاک را اندازه‌گیری نمودند. نتایج نشان می‌دهد که دقت نقشه‌های شوری خاک به‌واسطه باندهای انعکاسی و شاخص‌های طیفی بهبود یافته است و روش PLSR در مدل‌سازی تخمین میزان شوری خاک توانمند است.

اخیانی و ارسطو (۶) در برآورد شوری خاک با استفاده از داده‌های سنجنش از دور چند طیفی در اراضی کشاورزی استان سمنان به این نتیجه رسیدند که بین EC خاک و تصاویر ماهواره‌ای و چند شاخص مشتق شده از تصاویر رابطه معناداری وجود دارد در بین این شاخص‌ها باند ۷ ماهواره نلدست ETM+ بیشترین همبستگی (۷۵٪) با هدایت الکتریکی خاک مشاهده‌ای داشته و می‌توان در برآورد و پیش‌بینی از آن استفاده کرد. در مطالعات اسدی آبادی و اختری (۲) در جهت تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از تحلیل طیفی داده‌های سنجنده OLI و داده‌های میدانی در جنوب شهر ملایر به این نتیجه رسیدند که با توجه به رابطه رگرسیونی بین شاخص‌های استخراج شده و نقشه‌های تهیه‌شده در مطالعات میدانی، مدل‌های بهینه برای تهیه نقشه‌های شوری منطقه مورد مطالعه، تعیین و کالیبره شدند. بر اساس اطلاعات ماهواره‌ای مدل‌های به‌دست‌آمده در این مطالعه برآورد مناسبی از عناصر مورد مطالعه داشتند زیرا ضریب همبستگی آن‌ها قابل قبول است. با تکمیل گسترش و بسط یافته‌های این تحقیق می‌توان به پهنه‌بندی اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و بدون نیاز به نمونه‌برداری پرداخت. این فن ضمن فراهم آوردن دقت بیشتر می‌تواند هزینه‌های نمونه‌برداری را نیز به حداقل برساند. زینالی و همکاران (۳۱) نتایج ارزیابی شوری خاک سطحی با روش پیکسل مینا با داده‌های سنجنده TM در شهرستان خوی حاکی از همبستگی بالای باندهای ۱، ۴ و ۵ تصویر TM با داده‌های شوری بوده و از میان الگوریتم‌های طبقه‌بندی در روش پیکسل مینا بالاترین میزان دقت نقشه مربوط به حداکثر احتمال می‌باشد. زارع چاهوکی و همکاران (۳۰) پراکنش مکانی برخی خصوصیات مکانی شمال شرق سمنان با استفاده از روش‌های زمین‌آمار مورد بررسی قرار دادند. از روش کریجینگ و میانگین متحرک وزن‌دار در محیط GS+



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه
Figure 1. The geographical location of the study area

مهم‌ترین عملیات پیش‌پردازش انجام شده در مورد داده‌ها شامل تصحیح هندسی می‌باشد. با توجه به اینکه داده‌های ETM+ لندست به صورت ژئورفرنس شده در اختیار ما قرار گرفتند، لذا نیازی به تصحیحات هندسی نبود و فقط تصحیحات رادیومتریک بر روی تصاویر انجام شد. از طرفی سعی شده است تصاویری استفاده شود که درصد پوشش ابری آن‌ها صفر باشد. جهت تهیه نقشه شوری خاک تمامی داده و اطلاعات مربوط به تجزیه و تحلیل خاک منطقه جهت نرمال‌سازی با استفاده از آزمون کلموگراف-اسمیرنوف در محیط SPSS محاسبه شد. شرط نرمال بودن داده‌ها بر اساس آزمون موردنظر سطح معنی‌داری بیشتر از ۰/۰۵، چولگی بین ۱ تا -۱ و کشیدگی بین ۳ تا -۳ است که مقدار آن برای داده‌های این پژوهش به ترتیب برابر ۰/۰۵۵، ۰/۵- و ۱/۷ می‌باشد (جدول ۱). که محاسبات نشان از نرمال بودن داده‌های مورد استفاده می‌باشد.

روش پژوهش

به منظور بررسی خصوصیات خاک منطقه مورد مطالعه تعداد ۳۰ نمونه خاک به روش تصادفی از طریق حفر پروفیل‌هایی در عمق ۰-۲۰ سانتی‌متر برداشت شد. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مربوط به ماه‌های گرم سال و نمونه‌برداری از خاک سطحی در این زمان با توجه به تراکم حداکثر املاح در سطح، در تهیه نقشه شوری خاک مؤثرتر خواهد بود. لذا نمونه‌برداری صحرائی در ۱۲ مرداد ۱۹۹۷ صورت گرفت (۲۶،۱۷). سپس تصاویر ماهواره‌ای TM مربوط به سال نمونه‌برداری و همین‌طور جدیدترین تصاویر ETM+ یعنی سال ۲۰۱۸ تهیه شد. همچنین از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ برای شناسایی منطقه مورد مطالعه و نرم‌افزار ENVI برای پردازش تصاویر ماهواره‌ای استفاده شد. قبل از تحلیل داده‌ها و استخراج اطلاعات از تصاویر ماهواره‌ای انجام یکسری عملیات پیش‌پردازش بر روی تصاویر ضروری می‌باشد.

جدول ۱- نتایج آنالیزهای آماری داده‌های شوری

Table 1. The results of the statistical analysis of salinity data

Sig	کشیدگی	چولگی	انحراف معیار	واریانس	مد	میانگین	حداکثر	حداقل	تعداد داده	متغیر مورد بررسی
۰/۰۵۵	۱/۷	-۰/۵	۱/۶۳	۲۶۸/۷۶	۴۵	۵۵	۷۸	۱۰	۲۹	شوری خاک (ds/m)

سال ۱۹۹۷ و ۲۰۱۸ استفاده و روند شوری مورد بررسی قرار گرفت. ضمن آنکه به دلیل وجود پوشش گیاهی در منطقه و افزایش میزان خطا و ناممکن بودن تفکیک نقاط تعلیم کلاس‌های شوری ۴-۸ و ۸-۱۶ ds/m در نقشه ۲۰۱۸ این دو کلاس باهم ادغام شدند و در یک کلاس شوری قرار گرفتند.

نقشه شوری واقعی با روش‌های درون‌یابی

در این روش بعد از انجام آزمون‌های نرمالیتی و آماری بر روی داده‌های شوری جهت انجام درون‌یابی از دو روش کریجینگ معمولی و وزن‌دهی فاصله معکوس (IDW) استفاده شد. معیارهای ارزیابی مدل برای بررسی کارایی مدل

با توجه به اینکه هدف ما رسیدن به روشی است که با آن بتوانیم نقشه شوری برای تمامی منطقه تهیه کنیم و برای آنکه بتوانیم نقشه‌های تولیدی با روش‌های مختلف را از نظر کارایی و دقت مقایسه کنیم، برای این منظور دو نقشه واقعی شوری با روش زمین‌آمار و حداکثر احتمال تهیه شد. سپس با استفاده از روش‌های تجزیه و تحلیل مؤلفه‌ها و شاخص‌های شوری نقشه‌های داده‌های ماهواره‌ای به دست آمد و مناسب‌ترین روش با بیشترین همبستگی و حداکثر واریانس انتخاب شد. سپس نقشه‌های به دست آمده با نقشه به دست آمده از روش‌های سنجش از دوری مقایسه شد. در نهایت بهترین روش انتخاب شده برای تهیه نقشه شوری خاک در

رابطه (۱)

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

که در آن: $\gamma(h)$ مقدار نیم‌تغییر نما در فاصله h ، $Z(X_i + h)$ مقدار اندازه‌گیری متغیر در موقعیت مکانی $(X_i + h)$ ، $Z(X_i)$ مقدار اندازه‌گیری شده متغیر در موقعیت (X_i) و $N(h)$: تعداد جفت نقاط در فاصله h (۲۳).

دامنه تأثیر: این دامنه محدوده‌ای را مشخص می‌کند که می‌توان از داده‌های موجود در آن، برای تخمین مقدار متغیر مجهول استفاده کرد.

اثر قطعه‌ای: مقدار نیم‌تغییر نما در مبدأ مختصات باید به‌ازای $h=0$ صفر شود ولی معمولاً بیش‌تر از صفر است.

آستانه: وقتی تغییر نما به مقدار ثابت خود می‌رسد، ارتفاع تغییر نما برابر حد آستانه یا سقف تغییر نما است. در این تحقیق از چهار مدل کروی، نمایی، خطی و گوسی استفاده شد.

نقشه شوری واقعی با روش حداکثر احتمال

در این تحقیق با استفاده از ۷۰ درصد نمونه‌های برداشت‌شده زمینی سال ۱۹۹۷ روی تصاویر ماهواره‌ای همان سال نقاط تعلیمی ایجاد شد و بر اساس آن، طبقه‌بندی از نوع حداکثر درست‌نمایی به‌عنوان دقیق‌ترین الگوریتم شناخته‌شده در نرم‌افزار ENVI 4.7 انجام پذیرفت. ابتدا ۲۰ نقطه از نقاط نمونه‌برداری به‌عنوان مناطق آموزشی روی باندی که بیشترین همبستگی با داده‌های زمینی پارامتر مورد نظر دارد، انتخاب و اطراف هر ۹ پیکسلی که حول نقطه نمونه‌برداری شده بودند پلیگون بسته شد. سپس پلیگون حول هر محل نمونه‌برداری بر حسب مقدار پارامتر مورد نظر در نمونه‌ی خاک مربوط به آن نقطه کدبندی مجدد شدند و به نرم‌افزار معرفی گردیدند. سپس با استفاده از الگوریتم حداکثر احتمال اقدام به طبقه‌بندی پیکسل‌های تصویر در طبقات در نظر گرفته شده گردید و نهایتاً پراکنش شوری منطقه تهیه شد. سپس نقشه‌های شوری تهیه شده با دو روش رگرسیون چند متغیره و طبقه‌بندی نظارت شده جهت برآورد صحت و بررسی میزان تطابق آنها با واقعیت موجود در منطقه با محاسبات ماتریس خطا مورد آزمون قرار گرفتند و از ۳۰ نقطه، ۲۰ نقطه به‌طور تصادفی به‌منظور مدل‌سازی و تهیه نقشه و ۱۰ نقطه به‌منظور تعیین صحت نقشه‌ها انتخاب گردیدند و ماتریس خطا برای طبقات ایجاد شده با دو روش، دقت کلی و ضریب کاپا مورد بررسی قرار گرفت. پس از محاسبه شاخص‌های شوری در محیط نرم‌افزار ENVI، مقادیر این شاخص‌ها در محل نقاط نمونه‌گیری استخراج و ارتباط بین این شاخص‌ها با متغیرهای شوری مربوط به زمان تصاویر بررسی شد و معنی‌داری این شاخص‌ها با کمک رگرسیون ساده خطی مورد ارزیابی قرار گرفت و شاخص‌های مطلوب برای ادامه فرآیند انتخاب گردیدند. رابطه خطی بین مقادیر شاخص‌هایی که ارتباط معنی‌داری با متغیرهای شوری داشتند، با متغیرها برآورد گردید و در محیط نرم‌افزار ArcGIS 9.3 و با کمک رابطه ریاضی بدست آمده مقادیر متغیرهای شوری از روی شاخص‌های شوری بدست آمده از تصاویر تخمین زده شدند.

به‌منظور تخمین شوری خاک، اعتبارسنجی به‌روش حذف یک داده و پیش‌بینی آن انجام گرفت. در شرایطی که زمان و بودجه کافی برای برداشت نمونه احتمالی وجود ندارد، بهترین گزینه اعتبارسنجی به‌روش حذف داده است. در این روش، تقسیم‌کردن به‌طور تکرارپذیری انجام می‌شود و این روش را مؤثرتر می‌کند. در چنین شرایطی بهترین گزینه برای اعتبارسنجی مدل نقشه برداری رقومی، اعتبارسنجی به‌روش حذف داده و پیش‌بینی آن است. به بیان دیگر میزان دقت تخمین‌ها با مقایسه کردن میزان انحراف تخمین‌ها از داده‌های اندازه‌گیری شده به‌روش اعتبارسنجی متقاطع ارزیابی شد. در این روش، مقایسه‌ای بین نقاط اندازه‌گیری شده و مقادیر تخمینی با روش‌های مورد‌استفاده صورت می‌گیرد. به‌این‌ترتیب که یک نقطه حذف‌شده و با استفاده از سایر نقاط و اعمال روش درون‌یابی موردنظر برای این نقطه تخمین صورت می‌گیرد. سپس این نقطه به محل خود برگردانده می‌شود و نقطه بعدی حذف می‌گردد و به‌این‌ترتیب برای تمام نقاط برآورد صورت می‌گیرد به‌طوری‌که در پایان دو ستون شامل مقادیر مشاهده‌ای و مقادیر برآورد شده وجود دارد که توسط آن می‌توان خطا و انحراف روش را به‌دست آورد (۲۲).

برای ارزیابی دقت این روش‌ها از مهم‌ترین معیارهای آماری از جمله RMSE (مجدور میانگین مربعات خطا)، MAE (میانگین مطلق خطا) و MBE (میانگین انحراف خطا) استفاده شد. صحت مدل با MAE تعیین می‌شود که مقدار صفر آن نشان‌دهنده صحت ۱۰۰ درصد است و هر قدر مقدار آن از صفر فاصله داشته باشد حاکی از کم‌شدن صحت مدل است. معیار ارزیابی MBE نیز بیانگر میانگین انحراف است. این معیار علاوه بر دارا بودن علامت مثبت (بیش برآوردی مدل) و یا منفی (کم برآوردی مدل) مقدار انحراف از مقادیر مشاهده شده را نیز نشان می‌دهد. MBE برابر صفر، نشان می‌دهد که برآورد مدل خوب بوده و در آن هیچگونه انحرافی وجود ندارد. به‌طور معمول هر قدر مقدار این دو معیار و همچنین ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE) کمتر باشد صحت روش بیشتر است. از نظر تئوری هرگاه این دو معیار برابر صفر شوند نمایانگر این است که مقدار تخمین زده شده یک کمیت، دقیقاً برابر مقدار واقعی آن است.

ذکر این نکته ضروری است که برای انتخاب روش درون‌یابی مناسب نیاز به انتخاب بهترین تابع نیم‌تغییر نما برای برازش بر روی داده‌ها در نرم‌افزار GS+ می‌باشد.

نیم‌تغییر نما

تخمین‌های زمین‌آماري شامل شناخت و مدل‌سازی ساختار فضایی است که به‌وسیله آنالیز نیم‌تغییر نما قابل بررسی است. مرحله بعد تخمین و بهترین برآورد خطی ناریب می‌باشد. هر نیم‌تغییر نما با پارامترهای آن یعنی اثر قطعه‌ای، دامنه تأثیر یا شعاع تأثیر و سقف مشخص می‌شود. از ابزارهای اساسی جهت مشخص کردن پیوستگی مکانی بین داده‌ها محسوب می‌شود، که از مجموع مربع تفاضل زوج نقطه‌ای که به‌فاصله h از همدیگر قرار دارند، به‌دست می‌آید.

تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از شاخص‌های شوری و روش‌های تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)

در واقع PCA یک تکنیک آماری است که برای فشرده‌سازی داده‌ها، بهبود کیفیت بصری تصاویر در مورد اطلاعات چندزمانه‌ای باهدف کشف تغییرات پوشش زمین به‌کار گرفته می‌شود. چندین روش برای انجام PCA وجود دارد که یکی از آن‌ها ایجاد یک PCA کلی با توجه به تمامی باندهای مورد بررسی است. اما روش کاربردی‌تر و بهتر در ایجاد PCA استفاده از باندهای مؤثر در شناسایی یک پدیده خاص می‌باشد که PCAهایی متناسب با آن ایجاد می‌شوند. تعداد PCA ساخته شده بستگی به تعداد باندهای انتخاب شده دارد و می‌توان پس از اعمال روش PCA چند تصویر جداگانه ایجاد کرد (۵). در این تحقیق از ۶ شاخص مهم شوری (SI, SI1, SI2, SI3, BI, NDSI) و ۷ باند تصویر ماهواره لندست و ۳ مؤلفه PCA برای تصویر سال ۱۹۹۷ استفاده شد و با استفاده از هر کدام از آن‌ها یک نقشه رستری تهیه شد (جدول ۲). سپس نقشه شوری خاک بر اساس معیارهای

کلاس شوری خاک سازمان مطالعات شوری خاک آمریکا طبقه‌بندی گردید (جدول ۳).

بر اساس مختصات جغرافیایی نقاط نمونه‌برداری، یک وکتور نقطه‌ای در محیط GIS ساخته شد و این لایه همراه با شماره نمونه‌برداری هر نقطه، بر روی باندهای مختلف تصاویر و شاخص‌های مختلف، به‌صورت یک لایه قرار گرفت با تلاقی فایل نقطه‌ای و هر یک از باندها ارزش رقمی (DN) میانگین ۹ پیکسل اطراف نقاط نمونه‌برداری استخراج شد. سپس اطلاعات استخراجی به‌همراه اطلاعات مربوط به شوری نمونه‌ها وارد نرم‌افزار SPSS شد و با انجام آنالیز آماری همبستگی پیرسون بین داده‌ها مورد بررسی و روشی که بیشترین همبستگی را دارا بود جهت طبقه‌بندی تصویر انتخاب شد (جدول ۴). سپس با توجه به روش مناسب و نمونه‌های خاک معادله رگرسیونی به‌دست آمد (شکل ۲). در این تحقیق مؤلفه‌های اول PCA از جمله PCA(123), PCA(234) و PCA(457) به‌دلیل داشتن بیشترین اطلاعات مورد ارزیابی قرار گرفت.

جدول ۲- متغیرهای مورد استفاده در تهیه نقشه شوری خاک

Table 2. Variables used in soil salinity mapping

متغیر	تعریف شاخص‌ها
شاخص نرمال شده تفاوت شوری	$NDSI = (B_3 - B_4) / (B_3 + B_4)$
شاخص شفافیت	$BI = \sqrt{B_3^2 + B_4^2}$
شاخص شوری SI	$SI = \sqrt{B_1 \times B_3}$
شاخص شوری SI ₁	$SI_1 = \sqrt{B_2 \times B_3}$
شاخص شوری SI ₂	$SI_2 = \sqrt{B_2^2 + B_3^2 + B_4^2}$
شاخص شوری SI ₃	$SI_3 = \sqrt{B_2^2 + B_3^2}$
باند ۱	میزان بازتاب از باند ۱ (آبی)
باند ۲	میزان بازتاب از باند ۲ (سبز)
باند ۳	میزان بازتاب از باند ۳ (قرمز)
باند ۴	میزان بازتاب از باند ۴ (مادون قرمز نزدیک)
باند ۵	میزان بازتاب از باند ۵ (مادون قرمز متوسط)
باند ۷	میزان بازتاب از باند ۷ (مادون قرمز دور)
PCA 123457	آنالیز اجزای اصلی باند ۱۲۳۴۵۷
PCA 123	آنالیز اجزای اصلی باند ۱۲۳
PCA234	آنالیز اجزای اصلی باند ۲۳۴
PCA 457	آنالیز اجزای اصلی باند ۴۵۷

جدول ۳- تقسیم‌بندی مشخصات شوری خاک

Table 3. Classification of soil salinity characteristics

هدایت الکتریکی (Ds/m)	کلاس شوری	ردیف
EC < ۴	شوری کم	۱
۴ < EC < ۸	شوری متوسط	۲
۱۶ < EC < ۸	شوری زیاد	۳
۳۲ < EC < ۱۶	شوری بسیار زیاد	۴
EC > ۳۲	شوری شدید	۵

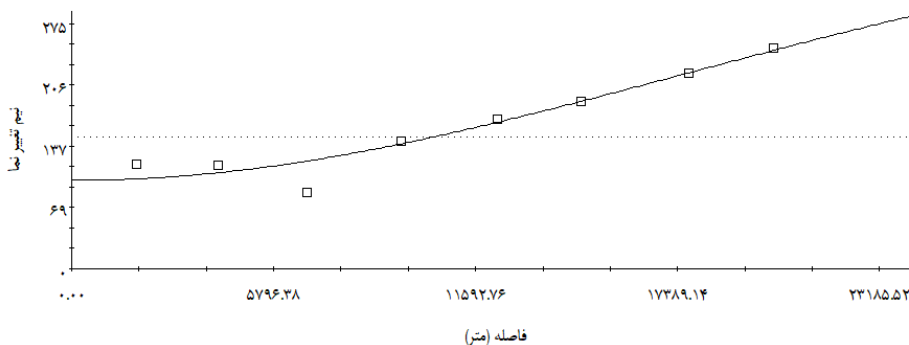
تهیه نقشه شوری خاک سال ۲۰۱۸

جهت تهیه نقشه شوری این سال ابتدا بهترین روشی که در سال ۱۹۹۷ انتخاب شد مورد استفاده قرار گرفت. برای این کار از معادله رگرسیونی که در سال ۱۹۹۷ به دست آمد استفاده شد با این تفاوت که به جای متغیر وابسته روش مناسبی که روی هر تصویر ماهواره‌ای ایجاد شده بود جایگذاری شد. در این تحقیق ۲۹ نقطه نمونه برداری به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد. سپس آنالیزهای آماری نظیر شاخص رگرسیونی بین فاکتور شوری خاک در محل نمونه برداری و DN باندهای مختلف سنجنده ETM+ در همان نقاط میزان همبستگی به دست آمد. ارتباط بین نمونه‌ها و تصاویر رقومی با مدل رگرسیونی ارزیابی شد. به گونه‌ای که باندهای ETM+ به عنوان متغیر مستقل و نمونه‌ها به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث
توصیف آماری داده‌ها

قبل از انجام محاسبات زمین‌آماري بررسی‌های متداول آماری از قبیل آزمون نرمال بودن توزیع داده‌ها صورت گرفت. به وسیله آزمون کولموگراف-اسمیرنوف مشخص شد که داده‌های این پژوهش با $\text{sig}=0/055$ نرمال شدند. در این تحقیق جهت برازش داده‌ها و آنالیز ساختار فضایی نیم‌تغییر نمای بهینه در نرم‌افزار GS+ انجام گرفت (شکل ۲) که نتایج زیر به دست آمد:

همان‌طور که گفته شد گزینش نیم‌تغییر نمای بهینه که بالاترین همبستگی فضایی بین داده‌های شوری خاک‌ها را نشان می‌دهد از نسبت میان اثر قطعه‌ای و سقف واریوگرام به دست می‌آید بدین ترتیب که هر واریوگرامی که مقدار $C/(C_0+C)$ به ۱ نزدیک‌تر باشد، ساختار فضایی بین نمونه‌ها را بهتر مدل‌سازی می‌کند. نتایج نشان داد که نیم‌تغییر نمای $C/(C_0+C)=0/80$ بهترین نیم‌تغییر نما برای نشان دادن ساختار فضایی و برآورد همبستگی فضایی شوری خاک‌های منطقه مورد مطالعه است (جدول ۴).



شکل ۲- مدل نیم تغییر نمای تئوریک برازش شده
Figure 2. Semivariogram theoretical model fitted

جدول ۴- مشخصات نیم تغییر نمای برازش شده

Table 4. Semivariogram characteristics fitted

متغیر	مدل	اثر قطعه‌ای (C_0)	حد آستانه (C_0+C)	دامنه تأثیر (m)	C/C_0+C	R^2
شوری خاک	نمایی	۶۹/۹	۲۳۴/۴۶	۲۰۱۳۵	۰/۸۰	۰/۹۲

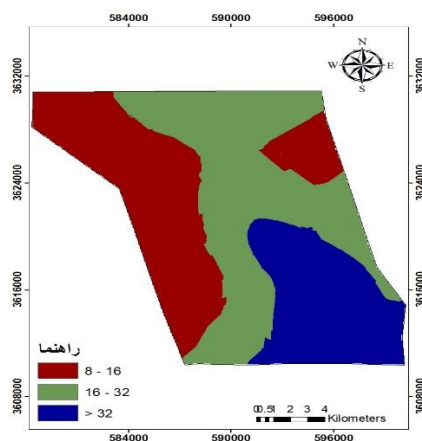
منظور نقشه شوری سال ۱۹۹۷ با روش کریجینگ معمولی در شکل (۳) به دست آمده است. بر اساس نقشه به دست آمده مشخص شد که در قسمت جنوبی شوری بالای ۳۲ (ds/m) می‌باشد و خاک‌های با شوری کمتر بین ۸-۱۶ (ds/m) در قسمت‌های شمال‌غربی، غربی و جنوب‌غربی و مساحت کمتری در قسمت شرقی منطقه را پوشش داده‌است.

از مقایسه مقدار آماره صحت سنجی RMSE مربوط به روش‌های مرسوم زمین‌آماري چون عکس فاصله وزن‌دار (IDW) و کریجینگ معمولی مشخص شد که روش کریجینگ معمولی داری کمترین مقدار $\text{RMSE}=12.6$ برای این صحت‌سنجی می‌باشد بنابراین بهترین نتایج را نشان می‌دهد. میزان RMSE, MBE و MAE مربوط به ارزیابی دقت روش‌های درون‌یابی در جدول (۵) آمده است. به همین

جدول ۵- نتایج حاصل از مقایسه روش‌های درون‌یابی

Table 5. Compare the results of interpolation methods

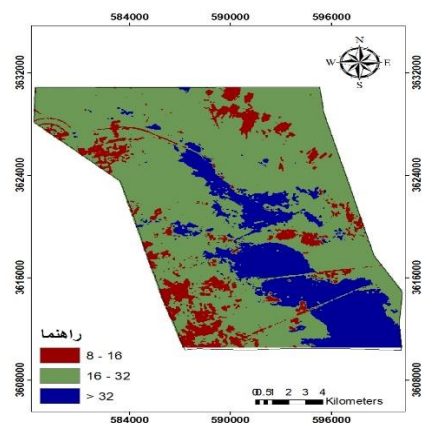
روش‌های درون‌یابی	RMSE	MBE	MAE
عکس فاصله وزن‌دار	۱۷/۴	-۰/۹	۱۴/۹
کریجینگ معمولی	۱۲/۶	-۰/۸	۱۰/۴



شکل ۳- نقشه شوری خاک سال ۱۹۹۷ به روش کریجینگ معمولی
Figure 3. Soil salinity map 1997 Ordinary Kriging

شوری بین ۱۶ - ۳۲ ds/m به خود اختصاص داده است. و خاک‌های با کلاس شوری خیلی کم به صورت پراکنده در قسمت‌های جنوب‌غربی، غرب و شمال شرقی قرار گرفته است (شکل ۴).

نقشه شوری واقعی خاک به روش حداکثر احتمال
نتایج به دست آمده از نقشه حاصل از الگوریتم حداکثر احتمال با ضریب کاپای ۸۱ درصد و دقت کلی ۹۴ درصد نشان داد که بیشترین شوری بالای ۳۲ ds/m در قسمت‌های جنوبی و مرکزی منطقه مشاهده می‌شود و بیشتر منطقه را



شکل ۴- نقشه شوری خاک سال ۱۹۹۷ با استفاده روش حداکثر درست‌نمایی
Figure 4. Soil salinity map of 1997 by using maximum likelihood method

شوری را برای سال ۱۹۸۶ بدست آوردند، آن‌ها به این نتیجه رسیدند که این معادله برای بدست آوردن شوری سطح خاک بدون داشتن نمونه‌های واقعی نتایج قابل قبولی را ارائه می‌دهد. سپس با بهره‌گیری از روش تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی و با اعمال مدل رگرسیونی، تمام مناطقی که نمونه‌گیری در آن انجام نشده است نیز میزان شوری آن‌ها بر اساس میزان ارزش رقومی پیکسل‌ها برآورد شد (۵). نمودار پراکنش بین شوری واقعی و برآورد شده در (شکل ۵) آورده شده است. در نهایت مدل به دست آمده بر روی تصاویر ۱۹۹۷ منطقه اعمال گردید و در نتیجه تصویری حاصل شد که ارزش رقومی در هر پیکسل یک عدد EC بود (شکل ۶). ضریب کاپا و دقت کلی به ترتیب ۰/۷۹ و ۰/۹۰ درصد برآورد شد. با توجه به نقشه تهیه شده با روش PCA234 مشخص شد که

تعیین بهترین روش برای تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای

با بررسی روابط موجود بین متغیرها با داده‌های باندهای مختلف، شاخص‌های شوری و روش تجزیه و تحلیل مؤلفه‌ها (PCA) در ۲۹ نقطه برداشت شده مشخص شد که ضریب همبستگی پیروسون بین نمونه‌های هدایت الکتریکی با روش PCA234 ۰/۷۸ برآورد شده که نسبت به بقیه روش‌ها از دقت بالاتری برخوردار است (جدول ۷). سپس بین مؤلفه اول روش PCA234 و نمونه‌های واقعی معادله رگرسیونی برقرار شد که میزان این همبستگی ۰/۸۱ درصد به دست آمد و بر اساس اطلاعات ماهواره‌ای تخمین‌گر خوبی برای برآورد شوری سطح خاک است. فتحی‌زاد و همکاران (۱۳) نیز با استفاده از معادله بدست آمده از مدل‌سازی سال ۲۰۱۶ میزان

به همین منظور از PCA234 تصویر سال ۱۹۹۷ برای تهیه نقشه شوری سال ۲۰۱۸ استفاده شد. به همین دلیل از معادله رگرسیونی بدست آمده از سال ۱۹۹۷ استفاده و بر تصویر سال ۲۰۱۸ جایگذاری، اعمال و طبقه‌بندی شد (شکل ۷). صحت نقشه شوری خاک نشان از ضریب کاپای ۰/۸۷ و دقت کلی ۰/۹۶ درصد برای این طبقه‌بندی می‌باشد.

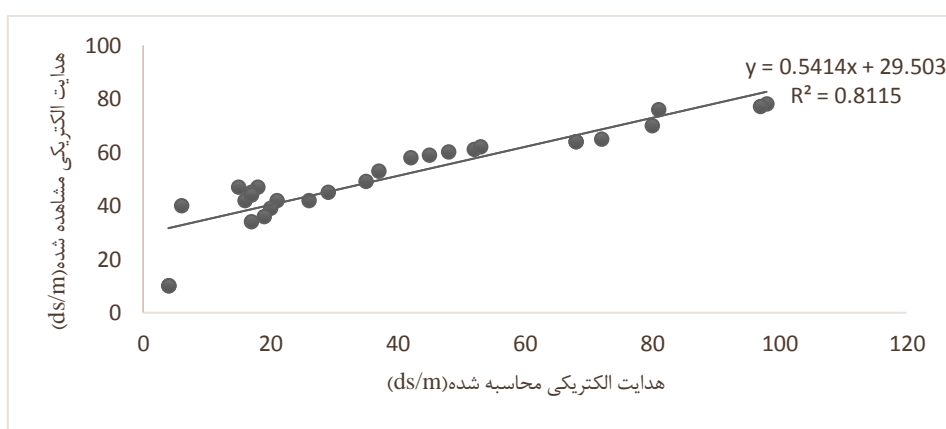
بیشترین وسعت همانند نقشه به‌دست آمده با الگوریتم حداکثر احتمال مربوط به کلاس شوری ۱۶-۳۲ (ds/m) می‌باشد و کمترین وسعت در قسمت‌های جنوب‌غربی و غرب و شمال‌غربی پراکنش یافته است. که این نتایج نشان از تطابق بالای روش حداکثر احتمال با روش PCA234 می‌باشد.

جدول ۷- بررسی ضریب همبستگی پیرسون با روش‌های مختلف

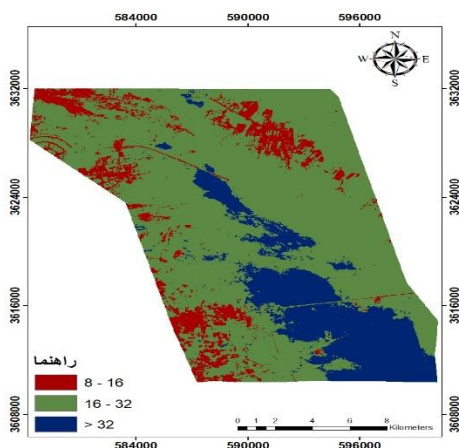
Table 7. Study of Pearson correlation coefficient by different methods

	BAND1	BAND2	BAND3	BAND4	BAND5	BAND7	PCA 457	PCA 234	PCA 123	SI3	SI2	SI1	SI	NDSI	BI
Pearson correlation	-۰/۰۰۹	-۰/۳۱	-۰/۱۵	۰/۲۸	۰/۱۱	-۰/۱۶	-۰/۴۷	۰/۷۸	-۰/۷۶	۰/۱۶	۰/۱۹	-۰/۴۷	-۰/۲۱	-۰/۱۷	-۰/۴۷
Sig (2-tailed)	۰/۵۲	۰/۰۵*	۰/۳۲	۰/۱۳**	۰/۴۰۰	۰/۲۱	۰/۳	۰/۰۰۰**	۰/۰۰۰**	۰/۴	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۲	۰/۲	۰/۹۰۰

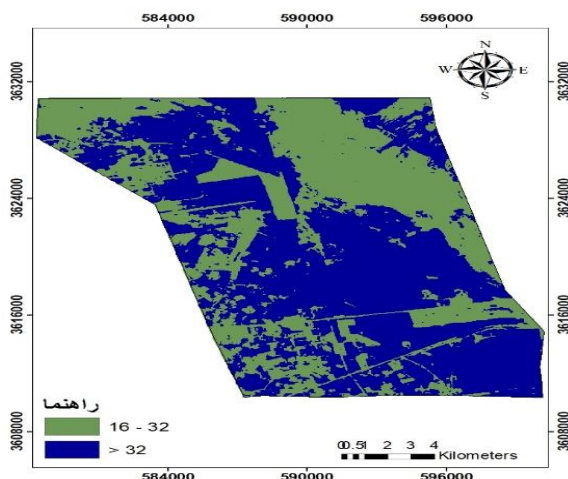
** سطح معنی‌داری ۰/۰۱، * سطح معنی‌داری ۰/۰۵



شکل ۵- معادله رگرسیونی بین مقادیر مشاهده‌ای و مقادیر محاسبه شده
Figure 5. Regression equation between observed values and calculated values



شکل ۶- نقشه شوری خاک سال ۱۹۹۷ تهیه شده بر اساس روش PCA234
Figure 6. Soil salinity map made in 1997 based on PCA234



شکل ۷- نقشه شوری خاک سال ۲۰۱۸ تهیه شده بر اساس روش PCA234
Figure 7. Soil salinity map made in 2018 based on PCA234

بیشتر منطقه را کلاس شوری شدید با مساحت ۵۸/۰۲ درصد (۱۷۱/۷۰ کیلومترمربع) پوشش داده است و کلاس شوری بسیار زیاد با ۴۲/۷۱ درصد (۱۲۶/۳۹ کیلومترمربع) بخش‌های شمال شرقی، غرب و شمال غربی را در بر گرفته است. نتایج به‌دست آمده نشان‌دهنده افزایش وسعت خاک‌های شور منطقه مورد مطالعه در طی سال‌های ۱۹۹۷ تا ۲۰۱۸ می‌باشد (جدول ۸).

نتایج بررسی روند شوری در سال‌های ۱۹۹۷ و ۲۰۱۸
نتایج حاصل از مساحت‌ها و نیز درصد هریک از کلاس‌های شوری خاک نشان می‌دهد که در سال ۱۹۹۷ درصد مساحت کلاس شوری زیاد ۷۶/۰۳ درصد (۲۲۵/۱۳ کیلومترمربع) از منطقه مورد مطالعه به‌خود اختصاص داده‌است و درصد اندک ۳/۱۰ درصد (۹/۱۸ کیلومترمربع) از منطقه در کلاس با شوری شدید قرار گرفته است. در مقابل در سال ۲۰۱۸ میزان شوری منطقه در دو کلاس شوری بسیار زیاد و شدید قرار گرفته و

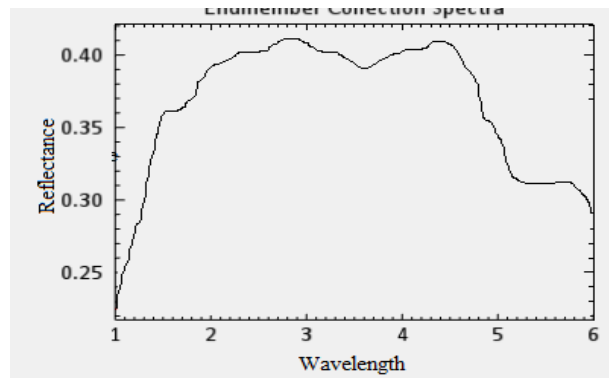
جدول ۸- مساحت و درصدهای کلاس‌های شوری

مساحت ۲۰۱۸		مساحت ۱۹۹۷		طبقات شوری	کلاس شوری خاک
%	کیلومترمربع	%	کیلومترمربع		
-	-	-	-	۴-۸	شوری متوسط
		۷۶/۰۳	۲۲۵/۱۳	۸-۱۶	شوری زیاد
۴۲/۷۱	۱۲۶/۳۹	۲۰/۷۸	۶۱/۵۲	۳۲-۱۶	شوری بسیار زیاد
۵۸/۰۲	۱۷۱/۷۰	۳/۱۰	۹/۱۸	>۳۲	شوری شدید

روند لگاریتمی را نشان می‌دهد که از طول موج کوتاه به سمت طول موج بلند بر میزان بازتاب‌های آن افزوده می‌شود. به همین منظور میزان انعکاس باندهای مورد استفاده در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفت تا تأییدی بر دقت بالای باندهای مورد استفاده در تهیه نقشه‌های شوری باشد در نهایت نمودار انعکاسی به‌دست آمده نشان‌داد که باندهای ۲، ۳ و ۴ بیشترین انعکاس بازتابی را از خود نشان داده‌اند (شکل ۸).

انعکاس طیفی خاک‌ها

انعکاس طیفی خاک با کاهش طول موج کم می‌شود. همین‌طور در شرایط یکسان رطوبتی نسبت به یک طول موج به عواملی چون ترکیب شیمیایی خاک، بافت و دانه‌بندی خاک و میزان ناخالصی موجود بستگی داشته و متفاوت است. خاک در مقایسه با سایر پدیده‌ها از یک رفتار طیفی بدون نوسان و یا کم نوسان برخوردار است. رفتار طیفی خاک به



شکل ۸- نمودار ارتباط انعکاسی و طول موج باندهای مورد استفاده
Figure 8. The chart of Relationship Reflection and bands Wavelength used

کریجینگ معمولی به‌عنوان بهترین تخمین‌گر خطی نارایب و نیم‌تغییر نمای نمایی به‌عنوان مدل بهینه انتخاب شد. با بررسی روند شوری خاک در یک دوره ۲۱ ساله و در دو مقطع زمانی ۱۹۹۷ و ۲۰۱۸ مشخص شد که میزان شوری کلاس‌های متوسط و زیاد به‌ترتیب در سال ۱۹۹۷ سپس در سال ۲۰۱۸ کاسته شده و به‌میزان شوری کلاس‌های بسیار زیاد و شدید در سال ۲۰۱۸ اضافه شده است. پیشروی شوری شدید از قسمت‌های جنوبی به‌تدریج به بخش‌های شمالی منطقه موردنظر است. خادمی و همکاران (۱۸) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست و به‌کمک علم سنجش از دور و GIS شوره‌زارهای اطراف دریاچه ارومیه را مورد بررسی قرار دادند. مطالعه تصاویر ماهواره‌ای لندست در یک دوره ۱۳ ساله روند بسیار سریع افزایش اراضی شور را نشان داد آن‌چنان‌که در سال ۱۹۹۸ مساحت شوره‌زارها ۲۸/۵۱۶ کیلومترمربع و در سال ۲۰۱۱ به ۷۴۴/۴۱۱ کیلومترمربع افزایش پیدا کرده بود.

از نتایج این تحقیق می‌توان چنین برداشت نمود که تقریباً کلیه خاک‌های منطقه مورد مطالعه دارای محدودیت شوری هستند اما مناطق بحرانی تهدید نمک استان اصفهان، در منطقه سگری و بخش‌هایی از شاهین‌شهر و برخوار متمرکز است. بخصوص در نواحی غیر کشاورزی که تغییر کاربری این اراضی منوط به برنامه‌ریزی خاص و مدیریت ویژه این‌گونه مناطق است. از سوی دیگر انتقال نمک از این نواحی به نواحی دیگر یکی از معضلاتی است که نیاز به مدیریت و برنامه‌ریزی دارد (۲۳). از این‌رو تهیه نقشه‌های خصوصیات خاک سطحی جهت شناسایی وضعیت کنونی منطقه از نظر غلظت نمک در جهت مدیریت طرح‌های کشاورزی و بیابان‌زدایی حائز اهمیت می‌باشد. کارایی بالای روش‌های زمین‌آماری و طبقه‌بندی نظارت‌شده در تهیه نقشه‌های شوری خاک علاوه بر صحت و دقت بالا و هزینه کم نسبت به روش‌های میدانی در انجام عملیات صحرائی، پروژه حاضر با هدف ارزیابی قابلیت داده‌های ماهواره‌ای در تهیه نقشه شوری خاک منطقه سگری با استفاده از دو روش فوق تعریف گردید.

شوری یکی از عوامل مهم محدودیت کاربری اراضی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است (۲). استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای در زمینه‌ی تعیین میزان شوری و تلفیق آن با اطلاعات زمینی می‌تواند در افزایش دقت نقشه‌های تولیدی نقش مؤثری را داشته باشد. نتایج این پژوهش نیز نشان داد که استفاده از مشاهدات زمینی در تلفیق با روش‌های آماری، شاخص‌های شوری خاک و تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی باندها می‌تواند مدلی مناسب را برای تهیه نقشه شوری خاک ارائه نماید. با توجه به اینکه روش ریاضی و رقمی دقیق یا شاخص معینی به‌منظور تهیه نقشه شوری خاک با استناد به تصاویر ماهواره‌ای برای مناطق بیابانی و به‌ویژه منطقه مورد مطالعه وجود نداشت؛ بنابراین تعیین روش مناسب جهت منطقه مورد مطالعه می‌تواند کمک شایانی به پژوهشگران در این زمینه باشد. مهم‌ترین مشکلات در ارتباط با تهیه نقشه شوری با استفاده از سنجش از دور را می‌توان رفتار طیفی نمک‌های مختلف، تغییرات زیاد شوری در سطح، تغییر شوری بر اثر گذشت زمان، تداخل با پوشش گیاهی و اختلاط با دیگر عوامل سطحی نام برد (۲۱). با بررسی و تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی باندهای تصاویر سال ۱۹۹۷ و برقراری رابطه رگرسیونی مشخص شد که PCA234 از دقت قابل‌توجهی برخوردار است. زیرا هدایت الکتریکی سطحی خاک بیشترین بازتاب را در ناحیه طیفی مرئی و مادون‌قرمز نزدیک (۱، ۲، ۳ و ۴) دارد. همچنین در اکثر شاخص‌های شوری خاک تنها ۲ باند دخالت دارد، این می‌تواند دلیل اصلی ناتوانی شاخص‌ها در نشان دادن تغییرات شوری باشد. نتایج این تحقیق با نتایج امینی و همکاران (۵) که با بهره‌گیری از روش تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی و با اعمال مدل رگرسیونی، میزان شوری مناطقی که در آن‌ها نمونه‌گیری انجام نشده است را بر اساس میزان ارزش رقمی پیکسل‌ها برآورد کردند هم‌خوانی دارد. در این پژوهش با بررسی روش‌های درون‌یابی مشخص شد که از دلایل برتری روش‌های زمین‌آمار نسبت به روش‌های آمار کلاسیک، آن است که روش‌های زمین‌آمار بر اساس آنالیز نیم‌تغییر نما استوارند و می‌توان به امکان دستیابی به خطای مرتبط با هر تخمین اشاره کرد. بنابراین مدل زمین‌آماری

منابع

1. Abdolazimi, H., S. Alavipanah, M. Madian, H. Matinfar, A. Pazira and M. MasihAbadi. 2014. Evaluation of Regression Model, Kriging Method and Supervised Classification of LISS-III Sensor Data in Estimating Soil Salinity (Case Study: Arsanjan Plain of Fars Province). *Journal of Remote Sensing and GIS*, 6(3): 75-88.
2. Akhzari, D. and A. AsadiAbadi. 2016. Preparation of Soil Salinity Map Using Spectral Analysis of OLI Data and Field Data (Case Study: Southern Malayer Plain). *Remote sensing and geographic information systems in natural resources*, 7(2): 87-100
3. Akramkhanov, A., C. Martius, S.J. Park and J.M.H. Hendrickx. 2011. Environmental factors of spatial distribution of soil salinity on flat irrigated terrain. *Geoderma*, 163: 55-62
4. Allbed, A., L. Kumar and Y.Y. Aldakheel. 2014. Assessing soil salinity using soil salinity and vegetation indices derived from IKONOS high-spatial resolution imageries: Applications In A Date Palm Dominated Region. *Geoderma*, 230: 1-8
5. Amini, D., M. Tavakoli and M. Rostaminia. 2017. Mapping Spatial Variability of Soil Salinity Using Remote Sensing Data and Geostatistical Analysis (Case Study: Shadegan, Khuzestan). *Journal of Environmental Erosion Research*, 4: 7(28): 24-43
6. Arasto, B. and A. Akhyani. 2018. Estimation of Soil Salinity Using Spectral Survey Data In agricultural lands. *Journal of GIS Application and Remote Sensing in Planning*, 9(1): 37-51.
7. Ayoubi, Sh., S. Mohammad Zamani and F. Khormali. 2007. Prediction total N by organic matter content using some geostatistic approaches in part of farm land of Sorkhankalateh, Golestan Province. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 14(4): 23-33.
8. Bouaziz M., M. Leidig and R. Gloaguen. 2011. Optimal Parameter Selection for Qualitative Regional Erosion Risk Monitoring: A Remote Sensing Study of SE Ethiopia. *Geoscience Frontiers*, 2(2): 237-245.
9. Chitsaz, V. 1999. Investigating the soil salinity mapping in the eastern region of Isfahan with digital data TM, Master's thesis OF Desertification, Isfahan University of Technology, Faculty of Natural Resources.
10. ELHarti, A., R. Lhissou, K. Chokmani, J. Ouzemou, M. Hassouna, E.L. Bachaoui and A. Ghmari. 2016. Spatiotempral monitoring of soil salinization in irrigated Tadla plain (Morrocco) using satellite spectral indices. *International journal of Applied earth –Observation and geoinformation*, 50: 64-73.
11. GioeAshraf, Z., M.A. Hakimzadeh, M. Zare, Z. Khosefi and K. Dashtkian. 2014. The monitoring of Soil salinity using ASTER sensor data for assessment of desertification in Marvost plain, Yazd province. *Journal of Natural Resources of Iran*, 67(4): 603-616.
12. Gorji, T., E. Sertel and A. Tanik. 2017. Monitoring soil salinity via remote sensing technology under data scarce conditions a case study from Turkey. *Ecological indicators*, 74: 384-391.
13. Fathizad, H., M.A.H. Ardakani, H. Sodaiezadeh, R. Kerry, H. Sodaiezadeh, R. Kerry and R. Taghizadeh-Mehrzardi. 2020. Investigation of the spatial and temporal variation of soil salinity using random forests in the central desert of Iran. *Geoderma*, 365: 114-233
14. Hakimzadeh Ardakani, M.A. 2015. Evaluation of Soil Salinity by Using Satellite Images and Statistical Methods (Case Study: Chah Afzal Ardakan Area). *Journal of the Desert Geosciences Exploration*, 3(2): 25-46.
15. Hosseini, E., J. Gallich and D. Marcotte. 1994. Theoretical And Experimental Performance Of Spatial Interpolation Methods For Salinity Analysis. *Trans of the ASAE*, 36: 1799-1807.
16. Jian-li, D., W. Man-chun and T. Tiyp. 2011. Study on Soil Salinization Information in Arid Region Using Remote Sensing Technique. *Journal of Agricultural Sciences in China*, 10(3): 404-411.
17. Karimzadeh, H. 2003. How the Genesis and development of soils in different landforms and the evolution of wind erosion sediments in the east of Isfahan. Phd dissertation on Soil Science, Isfahan University of Technology.
18. Khademi, F., H. Pirkharati and S. Shahkarami. 2014. Investigating the Effect of Urmia Lake go back on Vegetation of Land around the Lakes Using GIS and RS. *Journal of Engineering Geology and Environment*, 24(94): 93-98
19. Khaier, F. 2003. Soil salinity detevtion using satellit remote sensing, M.S. Thesis, ITC, Netherlands.
20. Khayamim, F., H. Khademi, B. Estanberg and U. Viterlind. 2015. The Possibility of Near-Infrared Spectrometry Approach in Prediction Some Chemical Properties of Isfahan Soils. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 72(19): 81-92.

21. Metternicht, G. and J. Zinck. 2003. Remote sensing of soil salinity: potentials and constraints. *Journal of Remote Sensing of Environment*, 85: 1-20
22. MirMousavi, S.H., A. Mazidy and Y. Khosravi. 2010. Determine the best methods of geostatistics to estimate rainfall distribution using GIS (Case Study: Isfahan Province). *Journal of Geography Space*, 30: 105-120.
23. Mohamadi, J. 2006. *Pedometrics 2 (Geostatistical statistics)* Print of Tehran: Publishing Institute of pelk., 453 pp.
24. Sadr, S., M. Efioni and Z. Movahedirad. 2013. Extraction of Soil Salinity Areas in Dry and Semi-Arid Areas Using Geostatistics Theory (Isfahan Province). *Journal of geography and environmental hazards*, 7: 136-123.
25. Said, N., B. Henning and H. Joachim. 2014. Estimation of soil salinity using three quantitative methods basedon visible and near-infrared reflectance spectroscopy: a case study from Egypt, *Arabian Journal of Geosciences*, 8(7): 5127-5140.
26. Salehi, M. 1997. Investigation of the origin of factors and processes of salt accumulation in Sajzi plains and their effect on wind erosion. Master's thesis, Isfahan University of Technology.
27. Sokouti Oskooei, R. and M.H. Mahdian. 2011. Spatial variability of macronutrient for soil fertilization management: A case study on Urmia plain. *International Journal of Soil Science*, 6: 49-59.
28. Whitney, K. and E. Scudiero, H. El-Askary, H. SkaggsTodd, M. Allali and L. Corwin Dennis. 2018. Validating the use of MODIS time series fore salinity assessment over agricultural soils in California, USA, *Ecological indicators*, 93: 889-898.
29. Yu, H., M. Liu, B. Du, Z. Wang, Z. Hu and B. Zhang. 2018. Mapping soil salinity /sodicity by using land sat OLI imagery and PLSR algorithm over semi-arid west Jilin province China, 18(4): 1-17.
30. Zare Chahouki, M.A., L. Khalasi Ahvazi, H. Azarnivand and A. Zare Chahouki. 2013. Examine the spatial distribution some of soil properties using spatial statistical methods in East Semnan rangeland. *Journal of Range and Watershed*, 66(3): 378-399.
31. Zeinali, M., A. Jafarzadeh, F. Shahbazi and SH. Ostan. 2016. Evaluation of soil salinity by-pixel basis, based on data from Landsat TM (Case Study: East Land of Khoy city, Western Azerbaijan Province. *Scientific Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 25(99): 127-140.

Zoning and Studying of the Soil Salinity Trend by using Remote Sensing Data and Land Statistics (Case Study: Segzi Plain, Isfahan)

Soraya Yaghobi¹, Choghi Bairam Komaki² and Hamidreza Karimzadeh³

1- PhD Student, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
(Corresponding author: soraya_yaghobi@yahoo.com)

2- Assistant Professor, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

3- Associate Professor, Isfahan University of Technology

Received: September 12, 2020

Accepted: November 24, 2020

Abstract

Soil salinity is one of the most important characteristics of the soil. Salinity accumulation is strong in arid areas and it has become a serious environmental problem. Identification and mapping of saline soils often due to temporal and spatial variability and the need for sampling and laboratory work is difficult. In recent decades using geostatistic and remote sensing have been developed for mapping salinity and sodicity of surface soil and monitoring their changes. The objective of this research was soil salinity zonation and comparing the capability of geostatistic and remote sensing for mapping soil salinity- in Segzi plain, Esfahan province. For this purpose, 29 soil samples from the study area were randomly sampled and measured the electrical conductivity. TM LandSat 7 images from August 1997 at the same time field sampling were applied to prepare for mapping soil salinity. Then Image processing like image enhancement and PCA were applied on the data. The results indicated that the ordinary kriging (OK) with exponential semivariogram the best method for modeling and interpolating soil salinity. With a significance level analysis and measure study between ground data and output of models, best salinity method selected and extraction soil salinity map. The results showed that the PCA234 method has the highest correlation with the sampling point. With the results of two periods of 1997 and 2018, it was found that the salinity levels of medium and high classes were reduced in 1997, then in 2018, respectively. Added to the Very high and extreme salinity classes in 2018.

Keywords: Ordinary Kriging, PCA, Segzi Plain, Soil salinity, Salinity indices, Zonation