

پهنه‌بندی و بررسی روند شوری خاک با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و آنالیزهای زمین آماری (مطالعه موردی: شادگان، خوزستان)

دنیا امینی: دانش‌آموخته‌ی کارشناسی ارشد بیابان‌زایی، دانشگاه ایلام

محسن توکلی*: استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه ایلام

محمود رستمی‌نیا: استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه ایلام

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۲۷

تاریخچه مقاله (تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۴/۱۰)

چکیده

شوری خاک یکی از شایع‌ترین فرآیندهای بیابان‌زایی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. تهیه‌ی نقشه‌ی شوری خاک به ویژه در مناطقی با وسعت زیاد، گران و زمان‌بر است؛ از این رو به روش‌هایی نیاز است که بتوانند از طریق آن، تهیه‌ی این نقشه را آسان‌تر کنند. در چند دهه‌ی گذشته، استفاده از روش‌های زمین آمار و بهره‌گیری از داده‌های سنجش از دور برای تهیه‌ی نقشه شوری خاک و پایش تغییرات آن توسعه یافته‌است. هدف از این مطالعه، پهنه‌بندی و بررسی روند شوری خاک با استفاده از داده‌های سنجش از دور در دشت شادگان است. ابتدا برای ترسیم این نقشه، از ۵۴ نمونه خاک سال ۱۳۸۵ و روش‌های درون‌یابی و حداکثر درست‌نمایی استفاده شد. برای تهیه‌ی نقشه‌ی شوری با استفاده از داده‌های سنجش از دور (باندها، شاخص‌های شوری و تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی)، از تصویر ماهواره‌ای نزدیک‌ترین زمان به زمان نمونه‌برداری یعنی سال ۲۰۰۶ استفاده شد. با بررسی همبستگی بین ارزش بازتاب پیکسل‌های روش‌های ذکر شده و نمونه‌های خاک، روش مناسب انتخاب شد. نتایج نشان داد روش PCA123 در سال ۲۰۰۶ بالاترین همبستگی را با نقاط نمونه‌برداری دارد. براساس نقشه‌های شوری در سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۵، می‌توان گفت میزان شوری شدید در قسمت‌های جنوبی به تدریج به سمت قسمت‌های شمالی منطقه پیش‌روی کرده و هم‌زمان، وسعت شوری در کلاس‌های متوسط و زیاد کاهش و از طرف دیگر، وسعت شوری در کلاس بسیار زیاد در سال ۱۹۹۰ به تدریج از قسمت‌های شمالی و جنوبی منطقه افزایش یافته و در سال ۲۰۱۵ در تمام منطقه پراکنش داشته است.

واژگان کلیدی: پهنه‌بندی شوری خاک، درون‌یابی، سنجش از دور، شادگان.

۱- مقدمه

شوری خاک یکی از شایع‌ترین فرآیندهای بیابان‌زایی در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود (Jian et al, 2011)؛ چون شور شدن خاک، مقدمه‌ی تخریب آن را فراهم می‌سازد و به ایجاد عواملی نظیر انواع فرسایش‌های آبی و بادی، افزایش ریزگردها، از بین بردن پوشش گیاهی، کاهش توان تولید خاک و ... منجر می‌شود که خود از مهمترین عوامل تشدید بیابان‌زایی است. خاک‌های شور بیشتر در مناطقی وجود دارد که اقلیم‌های گرم و خشک بر آنها حاکم

است. کشور ایران نیز با توجه به اینکه بیشتر دارای اقلیم گرم و خشک است، از این امر مستثنی نیست. براساس آخرین اطلاعات شوری خاک که از نقشه‌ی یک میلیونیم منابع و استعداد خاک ایران در مقیاس سرزمین برگرفته شده‌است، اراضی دارای خاک‌هایی با درجات مختلف شوری، مساحتی بالغ بر ۵۵/۶ میلیون هکتار یعنی ۳۴ درصد از مساحت کل ایران را شامل می‌شود که بیشتر در فلات مرکزی، دشت ساحلی جنوب و دشت خوزستان قرار دارند (Momeni, 2010).

استفاده از روش‌های آزمایشگاهی برای برآورد شوری، عموماً وقت‌گیر و پرهزینه است. همچنین به علت زیاد بودن تغییرات مکانی شوری خاک (Akramkhanov et al, 2011)، بهتر است برای تعیین و پایش خاک‌های شور از روش‌های زمین‌آماری و داده‌های سنجش از دور استفاده کرد (Said et al, 2014). در چند دهه‌ی اخیر، برای مطالعه‌ی شوری خاک از تصاویر سنجش از دور استفاده می‌شود که علت آن، توانایی زیاد این تصاویر در کشف تغییرات است (Matinfar et al, 2011). از روش‌های زمین‌آمار نیز برای بررسی ساختارهای مکانی استفاده می‌شود؛ بنابراین، تلفیق اطلاعات زمینی و باندی برای ارزیابی مشکل شوری مفید خواهد بود (Mushtak and Zhou, 2012). سنجش از دور و زمین‌آمار، فن‌های مرتبط با زمین هستند و در بررسی اجزای آن کاربردهای مهمی دارند (Matinfar et al, 2011). روش‌های درون‌یابی، به کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام می‌شود؛ سیستم اطلاعات جغرافیایی یک سیستم اطلاعاتی است که با پردازش آن بر روی اطلاعات جغرافیایی، به کسب اطلاعات در زمینه‌ی پدیده‌هایی می‌پردازد که به نوعی با موقعیت مکانی در ارتباط هستند (Sedighi, 2004). از طرفی، سنجش از دور اطلاعاتی از سطوح گسترده در مدت‌زمان نسبتاً کوتاه فراهم می‌آورد که بایستی به این ویژگی، فقدان محدودیت دسترسی به مناطق صعب‌العبور یا شرایط خطرناک محیطی را نیز افزود. بازتاب امواج الکترومغناطیس از سطوح عوارض سطح زمین، متفاوت است و همین امر، شناسایی انواع مختلف پدیده‌ها را در تصاویر ماهواره‌ای ممکن می‌سازد (Alavipanah, 2003).

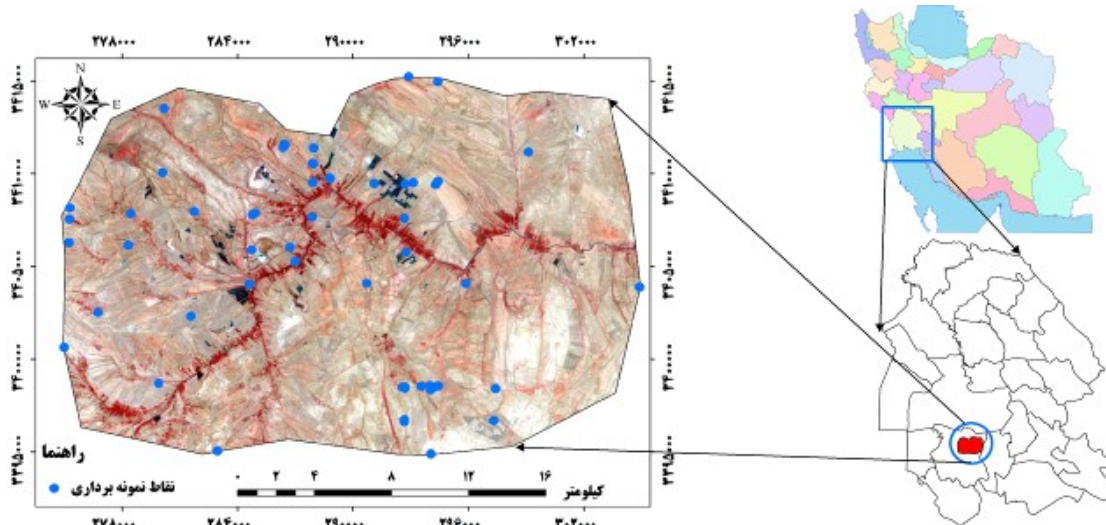
در کشورهای مختلف، مطالعات زیادی برای تعیین شوری با استفاده از هر یک از این روش‌ها صورت گرفته‌است (Said et al, 2014 & Matinfar et al, 2011 & Gabriel and Soe, 2012) و همکاران (Habashi, 2006) با بررسی ازت خاک (در شهرستان گرگان) و با استفاده از روش‌های درون‌یابی (عکس فاصله‌d وزن‌دار، چندجمله‌ای محلی، توابع پایه شعاعی و کریجینگ) به این نتیجه رسیدند که روش کریجینگ نسبت به سایر روش‌های آمار کلاسیک، خطای کمتری دارد (Habashi et al, 2006). Sokoti oskooei و همکاران (2007) به منظور مقایسه‌ی کارایی روش‌های زمین‌آماری برای پیش‌بینی پراکنش مکانی شوری خاک، مطالعه‌ای در بخش جنوبی ارومیه انجام دادند. آنها مدل گوسی را به عنوان مدل مناسب برای آنالیز نیم تغییر نما در نظر گرفته‌اند. نتایج نشان داد که روش کریجینگ در مقایسه با روش‌های کوکریجینگ و میانگین متحرک وزن‌دار، تخمین‌های بهتری از شوری خاک یک منطقه ارائه می‌دهند (Sokoti oskooei et al, 2007). Daempanah و همکاران (2011) به منظور مقایسه‌ی روش‌های دورسنجی و زمین‌آمار در تهیه‌ی نقشه‌ی شوری و سدیمی خاک در شهرستان مه ولات، از روش کریجینگ معمولی و باندهای ۲، ۳ و ۵، شاخص‌های شوری استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که شاخص شوری (SI1)، مناسب‌ترین روش برای تهیه‌ی نقشه‌های شوری خاک است (Daempanah et al, 2011). از دیگر تحقیقات اجرا شده، می‌توان به

Pakparvar et al, 1999 & Ahmadian et al, 2010 & Albed et al, 2014 & Aref, 2014 & Sokoti oskoei et al, 2007 & Mushtak and Zhou, 2012 & Said et al, 2014 اشاره کرد.

از آنجایی که نقشه‌ی شوری خاک با هدف ارائه‌ی روش‌های مدیریتی تهیه می‌شود و از سوی دیگر، با توجه به اینکه هزینه‌های زیادی برای اصلاح و بهسازی خاک نیاز است؛ به همین دلیل، تهیه‌ی نقشه‌ی شوری برای مدیریت بهتر اراضی و کاهش هزینه‌های ضروری است. شهرستان شادگان از جمله مناطقی است که در ناحیه‌ی خشک و نیمه‌خشک کشور قرار دارد و یکی از مشکلات آن شوری خاک است. مشاهدات نشان می‌دهد که در سال‌های اخیر به دلیل سدسازی در بالادست و کاهش آب شیرین در پایین دست این منطقه، سطح آب‌های شور بالا آمده‌است و کشاورزان منطقه برای آبیاری زمین‌های کشاورزی از آب شور استفاده می‌کنند. در چند سال اخیر کاهش چشمگیر بارندگی و افزایش خشکسالی در منطقه‌ی شادگان، از عوامل مهم شوری خاک در این منطقه به شمار می‌رود. این پژوهش به بررسی روند و تهیه‌ی نقشه‌ی تغییرات شوری خاک در اطراف شهرستان شادگان واقع در استان خوزستان می‌پردازد و این امر با استفاده از فن‌های سنجش از دور و آنالیزهای زمین‌آماری صورت می‌گیرد. بدیهی است که با شناخت عمیق و کافی از روند تغییرات شوری خاک، می‌توان راه‌های مقابله با این پدیده را آسان‌تر کرد.

۲- منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه، دارای مختصات جغرافیایی $30^{\circ} 39' 3''$ تا $30^{\circ} 51' 30''$ عرض شمالی و $48^{\circ} 38' 9''$ تا $48^{\circ} 32' 32''$ طول شرقی است، در استان خوزستان و در بخشی از شهرستان شادگان قرار دارد و وسعت آن، ۵۳ هزار هکتار است. ارتفاع متوسط این منطقه از سطح آزاد دریا، حدود ۹ متر و براساس آمار و اطلاعات، متوسط درجه حرارت و بارش سالانه در این شهرستان حدود ۹۱ میلی‌متر و ۲۷ درجه‌ی سانتی‌گراد است. براساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن، این منطقه در اقلیم خشک قرار می‌گیرد و با توجه به منحنی‌های هم‌تبخیر، میزان تبخیر در آن ۳۵۰۰ میلی‌متر گزارش شده‌است (Meteorological Organization of Khuzestan Province, 2013). براساس طبقه‌بندی خاک آمریکایی، خاک‌های این منطقه از دو رده‌ی اریدی سولز و آنتی‌سولز تشکیل شده‌است (Natural Resources Organization of Khuzestan Province, 2006). خاک‌های اریدی سولز، خاک‌های اصلی مناطق بیابانی را تشکیل می‌دهد که یکی از مشخصات متداول آن، وجود تجمع کربنات کلسیم است. اغلب آنتی‌سولزها روی موادی حاوی کوارتز تشکیل می‌شوند. شکل ۱، موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه در کشور و استان

۳- مواد و روش

در این مطالعه برای بررسی روند شوری خاک، از تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۵ استفاده شده‌است. با توجه به پوشش زمانی و در دسترس بودن تصاویر ماهواره‌ای لندست، از تصاویر سنجنده‌های TM و ETM^+ مربوط به سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۵ به شرح زیر استفاده شد. قدیمی‌ترین تصویر منطقه، داده‌های سنجنده‌ی TM متعلق به لندست ۵ و سال ۱۹۹۰ است که علاوه بر آن، از تصویر ماهواره‌ای ۲۰۰۶ مربوط به سنجنده‌ی ETM^+ و جدیدترین تصویر منطقه مربوط به سنجنده‌ی ETM^+ متعلق به سال ۲۰۱۵ نیز استفاده شده‌است. پس از تهیه‌ی داده‌های ماهواره‌ای به منظور آماده‌سازی داده‌ها برای پردازش، عملیات تصحیح هندسی و زمین مرجع نمودن تصاویر با استفاده از لایه وکتوری شبکه‌راه‌ها و عکس هوایی منطقه صورت گرفت. تصحیح طیفی تصاویر، به منظور بارزساختن پدیده‌ها و بالا بردن سطح کیفی آن و حذف تأثیرات نامطلوب نور و اتمسفر در تصاویر صورت انجام شد. برای تهیه‌ی نقشه‌ی شوری خاک، از ۵۴ نمونه که در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری از سطح خاک برداشت‌شده بودند، استفاده شد (Natural Resources Organization of Khuzestan Province, 2006).

ابتدا برای تهیه‌ی نقشه‌ی شوری خاک با استفاده از روش‌های زمین‌آماری، داده‌های شوری خاک مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت و شاخص‌های آماری میانگین، واریانس، انحراف معیار، چولگی و کشیدگی داده‌های شوری خاک سال ۱۳۸۵ محاسبه شد (جدول ۱). با توجه به شاخص‌های آماری مذکور مشخص شد که داده‌ها دارای توزیع نرمال هستند. شرط نرمال بودن داده‌ها براساس آزمون کلموگراف - اسمیرنوف، سطح معنی‌داری بیشتر از ۰/۰۵، چولگی بین ۱ تا -۱ و کشیدگی بین ۳ تا -۳ است که مقدار آن برای داده‌های مورد مطالعه به ترتیب برابر (۰/۰۵۳)، (۰/۵۶-) و (۲/۲۵) می‌باشد.

جدول ۱: نتایج آنالیزهای آماری داده‌های شوری خاک

متغیر مورد بررسی	تعداد داده	حداقل	حداکثر	میانگین	مد	واریانس	انحراف معیار	چولگی	کشیده‌گی	Sig
شوری خاک (ds/m)	۵۴	۴/۸۵	۷۰	۴۳/۰۴	۴۳	۱۳۶/۲۱	۱۱/۶۷	-۰/۵۶	۲/۲۵	۰/۰۵۳

* سطح معنی‌داری ۰/۰۵*

برای رسیدن به اهداف تحقیق ابتدا با استفاده از داده‌های موجود، نقشه‌های واقعی شوری خاک برای سال ۲۰۰۶ با دو روش درون‌یابی و حداکثر احتمال و با استفاده از نرم‌افزارهای ArcGIS، Idrisi و ENVI تهیه و به‌منظور ترسیم این نقشه با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، از تصاویر ماهواره‌ای نزدیک‌ترین زمان به زمان نمونه‌برداری یعنی سال ۲۰۰۶ و شاخص‌های شوری و روش تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی استفاده شد. از روش تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی مبتنی بر ماتریس همبستگی، استفاده‌های متعددی برای تحلیل داده‌های خاک صورت گرفته است. در هنگام تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی، متغیرهایی که دارای همبستگی خیلی بالایی باشند بعد از انجام PC، محورها به گونه‌ای تغییر جهت داده می‌شود که حداکثر واریانس را به خود اختصاص دهند. از محاسن روش PCA، این است که این روش محدود به جمعیت‌های با پراکنش نرمال نیست. سپس نقشه‌های شوری واقعی خاک، با نقشه‌ی به‌دست‌آمده از داده‌های سنجش از دور مقایسه شد. پس از مشخص شدن روش مناسب، از این روش برای تهیه‌ی نقشه‌ی شوری خاک در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۱۵ استفاده شد و در نهایت با استفاده از نقشه‌های به‌دست‌آمده، روند شوری خاک طی سال‌های ۱۹۹۰-۲۰۱۵ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. ذکر این امر لازم است که قبل از انجام روش‌های زمین‌آمار، آنالیز نیم تغییر نما^۱ در نرم‌افزار GS⁺ رسم و از پارامترهای آن، در روش‌های کریجینگ ساده و معمولی استفاده شد. پس از تهیه‌ی نقشه‌ها در نرم‌افزار ArcGIS، از معیارهای آماری مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین انحراف خطا (MBE) و میانگین خطای مطلق (MAE) برای ارزیابی دقت روش‌های ذیل استفاده شد.

۱-۳- تهیه‌ی نقشه‌ی شوری واقعی خاک با روش‌های درون‌یابی

در این روش، ابتدا ۵۴ نمونه خاک از نظر نرمال بودن با آزمون کولموگراف - اسمیرنف در محیط نرم‌افزار SPSS بررسی شد (جدول ۱). پس از این مرحله از برخی روش‌های درون‌یابی اعم از روش عکس فاصله وزن‌دار^۲، روش توابع شعاعی^۳، روش چندجمله‌ای سراسری^۴، کریجینگ معمولی^۵ و کریجینگ ساده - به‌جز دو روش چندجمله‌ای سراسری محلی و کریجینگ عام به دلیل شیب یکنواخت در منطقه و فقدان تشخیص روند در داده‌ها - استفاده شد.

¹ Semi-Variogram

² Inverse Distance Weighted

³ Radial Basis Function

⁴ Global Interpolation

⁵ Ordinary Kriging

۲-۳- نقشه‌ی شوری واقعی خاک با استفاده از روش حداکثر احتمال^۱

در این تحقیق با استفاده از ۷۰ درصد نمونه‌های برداشت‌شده‌ی زمینی سال ۱۳۸۵، روی تصاویر ماهواره‌ای سال ۲۰۰۶ نقاط تعلیمی ایجاد شد و براساس آن، طبقه‌بندی از نوع حداکثر احتمال در نرم‌افزار ENVI 4.7 انجام پذیرفت. از میان روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده، روش حداکثر احتمال تاکنون دقیق‌ترین و پراستفاده‌ترین روش‌های ذکر شده‌است. روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال، واریانس و کواریانس کلاس‌ها را ارزیابی می‌کند؛ برای این کار فرض می‌شود همه‌ی نقاط آموزشی از پراکنش نرمال برخوردارند. در حقیقت نمونه‌های کلاس‌های آموزشی باید معرف آن کلاس باشند؛ بنابراین، تا حد امکان باید از تعداد نمونه‌های بیشتری استفاده شود تا تغییرات بسیاری از ویژگی‌های ظریفی در این گستره‌ی پیوسته قرار گیرد.

۳-۳- تهیه‌ی شوری خاک با استفاده از شاخص‌های شوری، باندها و تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی^۲

در این مرحله، ابتدا از شاخص‌های شوری (SI, NDSI, BI, SI1, SI2, SI3)، باندهای ۱ تا ۷ تصاویر ماهواره‌ای و روش‌های تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی - که شامل (PCA123, PCA123457, PCA234, PCA457) برای تصویر سال ۲۰۰۶ است - استفاده شد (جدول ۲). ذکر این امر لازم است که چون باند ۲، ۳ و ۴ در اکثر شاخص‌های شوری وجود دارد و بیشترین بازتاب خاک در باند ۲ است، در این تحقیق نیز از PCA234 استفاده شد.

ابتدا شاخص‌های شوری خاک بر اساس روابط ذکرشده در جدول ۲ محاسبه و همراه با تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی مختلف، بر تصاویر ماهواره‌ای اعمال و در مجموع، ۱۵ حالت برای تهیه‌ی نقشه‌های شوری بررسی شد که با استفاده از مختصات جغرافیایی، نقاط نمونه‌برداری شده یک‌لایه و کتور نقطه‌ای در ArcGIS ساخته شد و این لایه‌ی وکتوری همراه با شماره‌ی نمونه‌برداری هر نقطه، بر روی ۱۵ حالت موجود به صورت یک‌لایه قرار گرفت. سپس ^۳DN پیکسل هر نقطه‌ای که نمونه‌برداری داخل آن قرار می‌گرفت، همراه با ۸ پیکسل اطراف آن استخراج و میانگین آن به عنوان شماره راقومی آن نقطه در تصاویر موردنظر ثبت شد. سپس همبستگی پیرسون بین داده‌های صحرائی و روش‌های مذکور در محیط SPSS برقرار شد و روشی که بیشترین میزان همبستگی را نسبت به سایر روش‌ها داشت، به عنوان روش برتر انتخاب شد. سپس با توجه به روش مناسب و نمونه‌های خاک، معادله رگرسیونی به دست آمد. در نهایت، براساس ۷۰ درصد نمونه‌های خاک و تن رنگ‌ها، نقاط تعلیمی ایجاد شد. وجود پوشش گیاهی در منطقه، میزان خطا را افزایش می‌داد که این امر به افزایش میزان خطا منجر می‌شد و تفکیک نقاط تعلیمی کلاس‌های شوری ds/m ۸-۱۶ را ناممکن می‌ساخت؛ به همین دلیل، این دو کلاس در نقشه‌ی شوری سال ۲۰۰۶ در یک کلاس ادغام شدند.

با هدف تفسیر بهتر نقشه شوری به دست آمده با نقشه‌های شوری واقعی خاک، از همین روش طبقه‌بندی برای سایر نقشه‌ها استفاده شد. در نهایت با استفاده از روش مناسب و نقاط تعلیمی ایجادشده، طبقه‌بندی نظارت شده (الگوریتم حداکثر احتمال) انجام پذیرفت. ذکر این امر لازم است که نقشه‌ی شوری به دست آمده، به ۴ کلاس شوری مطابق جدول ۳ تقسیم‌بندی و در نهایت، از ۳۰ درصد داده‌ها برای بررسی روش‌های طبقه‌بندی استفاده شد. همچنین درستی

^۱ Maximum Likelihood

^۲ Principal Component Analysis

^۳ Digital Number

نقشه‌ی تولیدشده، با توجه به ۲ معیار دقت کلی و ضریب کاپا ارزیابی شد. در مرحله‌ی بعد، برای تهیه‌ی نقشه از تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) استفاده شده است.

جدول ۲: متغیرهای مورد استفاده در تهیه‌ی نقشه‌ی شوری خاک

منبع	تعریف شاخص‌ها	متغیر
(Major et al, 1990)	$NDSI = (B_3 - B_4) / (B_3 + B_4)$	Normalized Differential Salinity Index
(Khan et al, 2005)	$BI = \sqrt{B_3^2 + B_4^2}$	Brightness Index
(Khan et al, 2005)	$SI = \sqrt{B_1 \times B_3}$	Salinity Index
(Douaoui et al, 2006)	$SI_1 = \sqrt{B_2 \times B_3}$	Salinity Index
(Douaoui et al, 2006)	$SI_2 = \sqrt{B_2^2 + B_3^2 + B_4^2}$	Salinity Index
(Douaoui et al, 2006)	$SI_3 = \sqrt{B_2^2 + B_3^2}$	Salinity Index
	Band 1 Reflectance Value of Band 1 (Blue Visible)	Band 1
	Band 2 Reflectance Value of Band 2 (Green Visible)	Band 2
	Band 3 Reflectance Value of Band 3 (Red Visible)	Band 3
	Band 4 Reflectance Value of Band 4 (Near Infrared)	Band 4
	Band 5 Reflectance Value of Band 5 (Middle Infrared)	Band 5
	Band 7 Reflectance Value of Band 7 (Far Infrared)	Band 7
(Frazier et al, 1989)	Principal Component Analysis of Band 123457	PCA 123457
(Frazier et al, 1989)	Principal Component Analysis of Band 123	PCA 123
	Principal Component Analysis of Band 234	PCA 234
(Frazier et al, 1989)	Principal Component Analysis of Band 457	PCA 457

جدول ۳: تقسیم‌بندی نوع خاک برحسب هدایت الکتریکی عصاره‌ی اشباع (۸)

هدایت الکتریکی (ds/m)	کلاس شوری	ردیف
$EC < 4$	شوری کم	۱
$4 < EC < 8$	شوری متوسط	۲
$8 < EC < 16$	شوری زیاد	۳
$16 < EC < 32$	شوری بسیار زیاد	۴
$32 < EC$	شوری شدید	۵

۳-۴- تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)

تحلیل مؤلفه‌های اصلی، یک روش ریاضی است که از ویژگی‌های آماری داده‌ها برای تبدیل مجموعه داده‌های به احتمال همبسته به مجموعه داده‌های ناهمبسته استفاده می‌کند؛ به گونه‌ای که حداکثر اطلاعات ممکن حفظ شود. به این مجموعه داده‌ی ناهمبسته به اصطلاح مؤلفه‌های اصلی می‌گویند. تعداد مؤلفه‌های اصلی، کمتر یا برابر تعداد داده‌های اولیه است؛ به همین دلیل، از این تبدیل می‌توان برای کاهش ویژگی نیز استفاده کرد. تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های

اصلی یک فن آماری است که برای فشرده‌سازی داده‌ها و بهبود کیفیت بصری تصاویر در مورد اطلاعات چند زمانه‌ای با هدف کشف تغییرات زمین به کار گرفته می‌شود (Anyamba and Estman, 1996).

هرچه واریانس طیفی در یک تصویر بیشتر باشد، تصویر دامنه اطلاعات وسیع‌تری خواهد داشت که خود گویای پدیده‌های بیشتر در تصویر است و چنین تصویری برای مطالعه، مناسب به شمار می‌رود (Noori, 2004). مهمترین فواید تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی، جمع‌آوری و متراکم ساختن اطلاعات پدیده‌های موجود در باندهای مختلف در تعدادی باند یا مؤلفه‌ی کمتر است؛ به عبارتی، تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای حذف اطلاعات زائد در داده‌های ماهواره‌ای کاربرد فراوانی دارد (همان). با توجه به ویژگی‌های پدیده‌ی مورد بررسی، PCA های مختلف با اهداف متفاوتی نیز ایجاد می‌شود. در این مطالعه، مؤلفه‌ی اول PCA که دارای بیشترین اطلاعات بود، مورد بررسی قرار گرفت. همچنین به منظور بررسی همه جانبه، PCA123، PCA234 و PCA457 نیز بررسی شدند. حذف متغیرهایی که رابطه‌ی قوی با یکدیگر دارند نه تنها موجب از دست رفتن اطلاعات مفید نمی‌شود، بلکه می‌تواند به صرفه‌جویی در وقت و کاهش هزینه نیز منجر شود. بخش بسیار مهمی از مشخصات محیطی، فیزیکی و شیمیایی خاک در ۳ مؤلفه‌ی اول متراکم است. نتایج مربوط به PCA سال ۲۰۰۶ حاصل از نرم‌افزار Idrisi، در جدول (۴) آورده شده‌است.

جدول ۴: نتایج مربوط به PCA سال ۲۰۰۶

سال	PCA1	PCA2	PCA3	PCA4	PCA5	PCA6	PCA7	PCA8
۲۰۰۶	۹۹/۵۵	۰/۳۵	۰/۰۶	۰/۰۲۱	-	-	-	-

۳-۵- تهیه نقشه شوری خاک برای سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۱۵

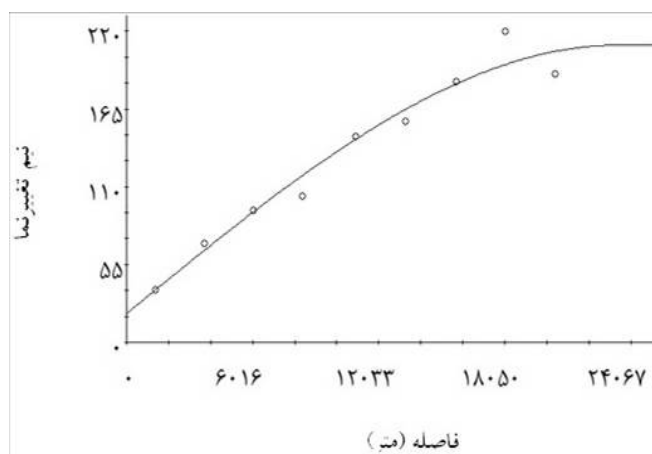
برای تهیه نقشه در این سال‌ها، ابتدا روش مناسبی که در سال ۲۰۰۶ مشخص شده‌است با توجه به ویژگی‌های تصویر ماهواره‌ای ۱۹۹۰ و ۲۰۱۵ مورد استفاده قرار گرفت. در این مرحله از معادله‌ی رگرسیونی به دست آمده در سال ۲۰۰۶ استفاده شد؛ با این تفاوت، زمانی که معادله روی تصاویر ماهواره‌ای سال مورد نظر اعمال و به جای متغیر وابسته، روش مناسبی که روی هر تصویر ماهواره‌ای ایجاد شده‌است، جاگذاری شد. در واقع، با اعمال معادله‌ی رگرسیونی و جای‌گذاری روش مناسب، هر DN به میزان شوری خاک تبدیل می‌شود (شکل ۵).

۴- یافته‌ها (نتایج)

۴-۱- نتایج تجزیه و تحلیل روش‌های درون‌یابی

ابتدا با توجه به آزمون کلموگراف-اسمیرنوف مشخص شد که داده‌ها با داشتن $\text{sig}=0.053$ نرمال هستند. به منظور محاسبه‌ی روش‌های زمین‌آماري (کریجینگ ساده و کریجینگ معمولی) و مشخص شدن پیوستگی مکانی داده‌ها، نیم تغییرنمای شوری خاک رسم شد (شکل ۲). نتایج نشان داد که از بین مدل‌های کروی، دایره‌ای، گوسی و خطی، بهترین مدل برازش داده‌شده‌ی نیم تغییر نما، مدل کروی با اثر قطعه‌ای $۲۰/۳۰$ متر، شعاع تأثیر ۲۳۴۱۰ متر و ضریب تبیین ($۰/۹۶$) است. همچنین مشخص شد که داده‌ها با میزان ۹۰ درصد، از همبستگی مکانی بالایی برخوردار هستند (جدول ۵). کریجینگ ساده با میزان $RMSE$ ($۱۱/۳$) و MAE ($۷/۹۵$)، نسبت به سایر روش‌ها از دقت پایین‌تری برخوردار است (جدول ۶). بر همین اساس با استفاده از روش کریجینگ ساده، نقشه‌ی شوری واقعی خاک در

منطقه‌ی مورد مطالعه تهیه شد. با توجه به این شکل، بیشتر قسمت‌های منطقه دارای شوری بیشتر از 32 ds/m و تنها قسمت‌های جنوب غربی آن دارای میزان شوری متوسط و زیاد است (شکل ۳).



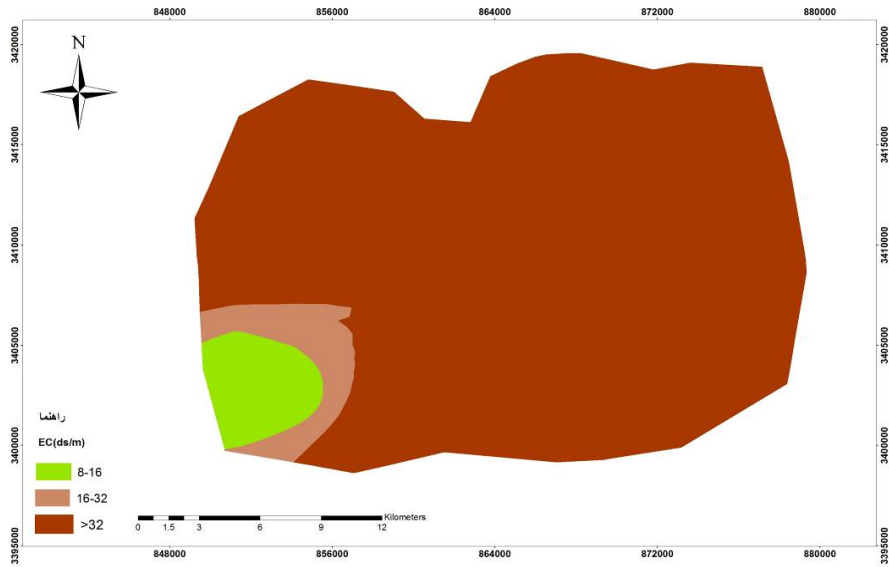
شکل ۲: مدل نیم تغییر نمای تجربی شوری خاک

جدول ۵: مشخصات مدل برازش شده به نیم تغییر نما

متغیر	مدل	اثر قطعه‌ای (C ₀)	حد آستانه (C ₀ +C)	دامنه تأثیر (m)	C/C ₀ +C	R ²
شوری خاک	کروی	۲۰/۳۰	۲۰۹/۹۰	۲۳۴۱۰	۰/۹۰	۰/۹۶

جدول ۶: نتایج ارزیابی متقابل روش‌های درون‌یابی

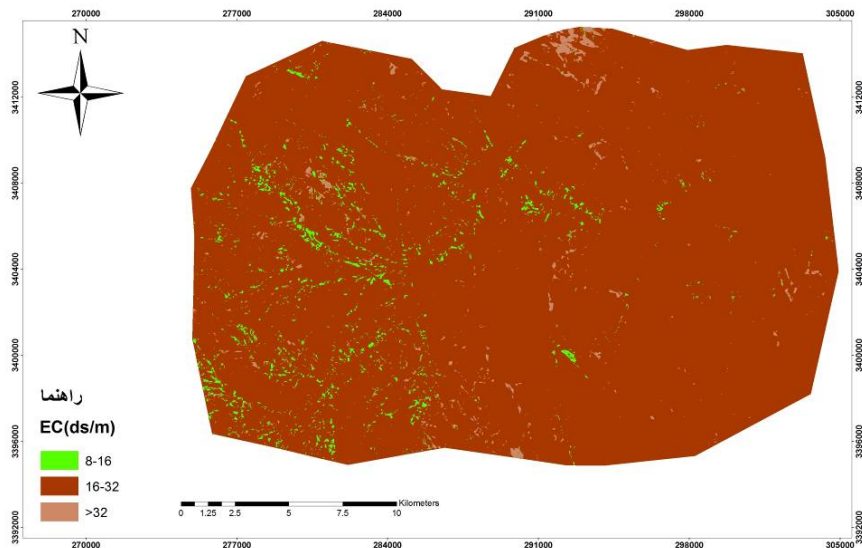
روش‌های درون‌یابی	RMSE	MBE	MAE
عکس فاصله وزن‌دار	۱۲/۵۶	-۰/۰۱۴	۹/۰۸
توابع پایه شعاعی	۱۲/۱۴	-۰/۴	۸/۵۹
چند جمله‌ای سراسری	۱۳	-۰/۰۴	۸/۴۸
کریجینگ معمولی	۱۱/۵	-۰/۱۷	۷/۹۸
کریجینگ ساده	۱۱/۳	-۰/۲۲	۷/۹۵



شکل ۳: نقشه‌ی شوری خاک سال ۲۰۰۶ با استفاده از روش کریجینگ ساده

۲-۴- تهیه‌ی نقشه‌ی شوری واقعی خاک با روش حداکثر احتمال

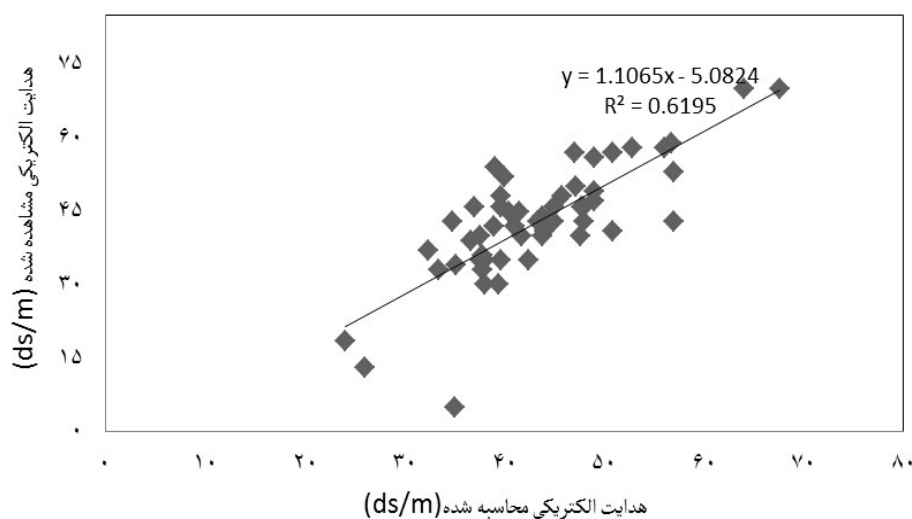
با استفاده از روش حداکثر احتمال، نقشه‌ی شوری واقعی خاک با ضریب کاپای ۷۳ درصد و دقت کلی ۹۷ درصد برای سال ۲۰۰۶ تهیه شد. با توجه به شکل ۴، بیشترین مساحت منطقه‌ی مورد مطالعه مربوط به کلاس شوری شدید است که در تمام منطقه گسترش دارد. همچنین در قسمت‌های غربی منطقه، کلاس شوری زیاد بیشتر دیده می‌شود، اما میزان شوری بسیار زیاد به صورت خیلی کمی در قسمت‌های جنوبی و شمالی منطقه قرار گرفته است.



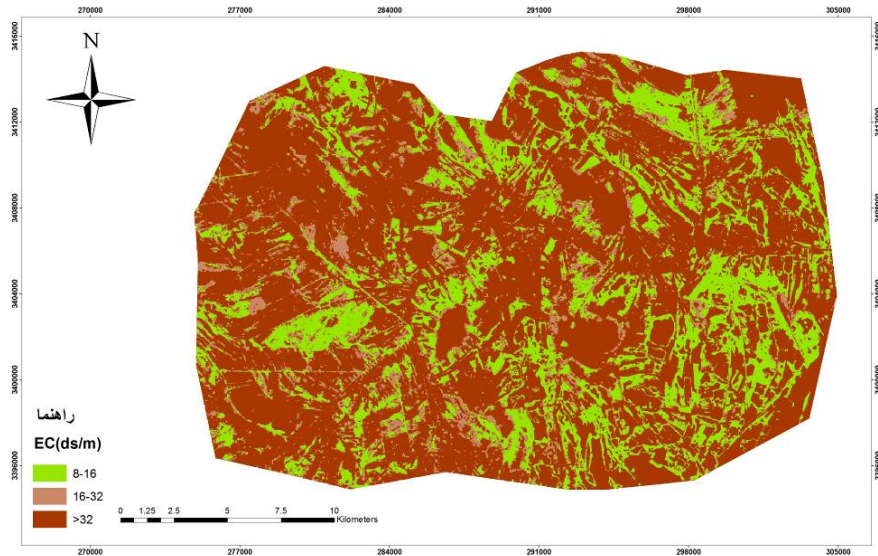
شکل ۷: نقشه‌ی شوری خاک سال ۲۰۰۶ با استفاده از روش حداکثر احتمال

۳-۴- تعیین بهترین روش برای تهیه نقشه‌ی شوری خاک با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای

با استفاده از همبستگی پیرسون بین هدایت الکتریکی نمونه‌های خاک سال ۱۳۸۵ و باندهای تصاویر ماهواره‌ای، شاخص‌های شوری و روش‌های مختلف تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی سال ۲۰۰۶، مشخص شد که مؤلفه‌ی اول روش PCA234 و PCA123 از دقت تقریباً مشابهی برخوردار هستند، ولی مؤلفه‌ی اول روش PCA123 با ضریب همبستگی ۷۸ درصد، نسبت به سایر روش‌های ذکر شده دقت بالاتری دارد (جدول ۶). سپس با استفاده از مؤلفه‌ی اول روش PCA123 و هدایت الکتریکی نمونه‌های خاک، رابطه‌ی رگرسیونی با میزان $(R^2=61\%)$ به دست آمد (شکل ۵). سپس نقشه‌ی شوری خاک با استفاده از اعمال معادله‌ی رگرسیونی و روش‌های طبقه‌بندی تهیه شد. نقشه‌ی ایجاد شده، ضریب کاپای ۸۷ درصد، دقت کلی ۹۸ درصد و دقت قابل قبولی دارد. با توجه به شکل ۶، بیشترین مساحت منطقه در طبقه‌ی شوری بیشتر از 32 ds/m است که در تمام منطقه پراکنش دارد و کمترین وسعت نیز مربوط به میزان شوری $16-8 \text{ ds/m}$ است. کلاس شوری شدید در تمام منطقه پراکنش داشته، ولی شوری زیاد در قسمت‌های غربی و جنوب غرب منطقه غالب است. همچنین میزان شوری بسیار زیاد در قسمت‌های جنوبی و شمالی منطقه متمرکز شده است. با تفسیر چشمی می‌توان گفت که روش حداکثر احتمال، با نقشه‌ی حاصل از روش PCA123 تطابق دارد.



شکل ۵: معادله‌ی رگرسیونی بین مقادیر هدایت الکتریکی محاسبه شده (روش PCA123) و مشاهده شده



شکل ۶: نقشه‌ی شوری خاک سال ۲۰۰۶ تهیه شده بر اساس روش PCA123

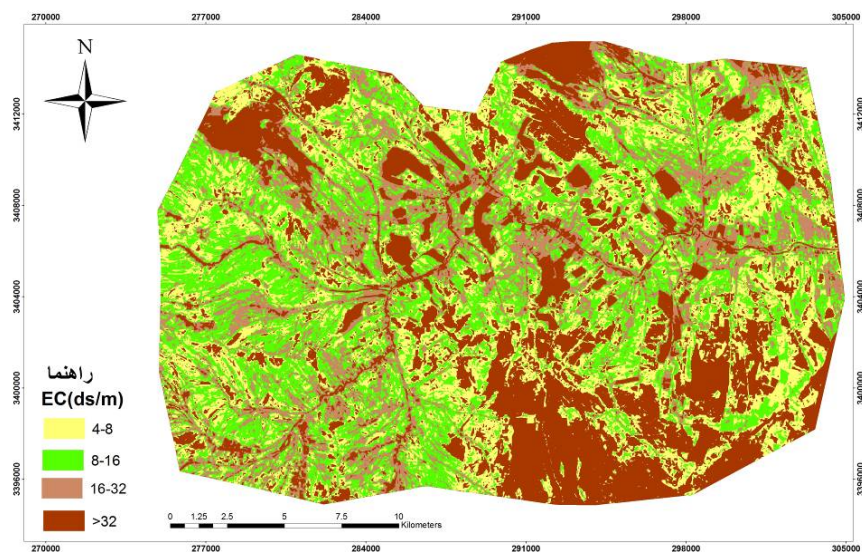
۴-۴- بررسی روند شوری خاک از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۵

برای تهیه‌ی نقشه شوری خاک در سال ۱۹۹۰، از معادله‌ی به‌دست‌آمده در شکل ۵ استفاده شده‌است. در این معادله به جای PCA123 تصویر ۲۰۰۶، PCA123 سال ۱۹۹۰ جای‌گذاری شد. شکل ۷، نقشه‌ی شوری سال ۱۹۹۰ را نشان می‌دهد که دارای ضریب کاپای ۹۰ درصد و دقت کلی ۹۷ درصد است. براساس این شکل، میزان شوری بسیار زیاد در قسمت‌های جنوب غربی بیشتر از سایر قسمت‌ها مشاهده می‌شود و دارای کمترین وسعت است، ولی میزان شوری شدید بیشترین وسعت را در منطقه دارد. برای تهیه‌ی نقشه‌ی شوری خاک در سال ۲۰۱۵ نیز از معادله‌ی به دست آمده (شکل ۵) در سال ۲۰۰۶ استفاده شد؛ با این تفاوت که به جای PCA123 تصویر ۲۰۰۶، PCA234 تصویر ۲۰۱۵ جای‌گذاری شد.

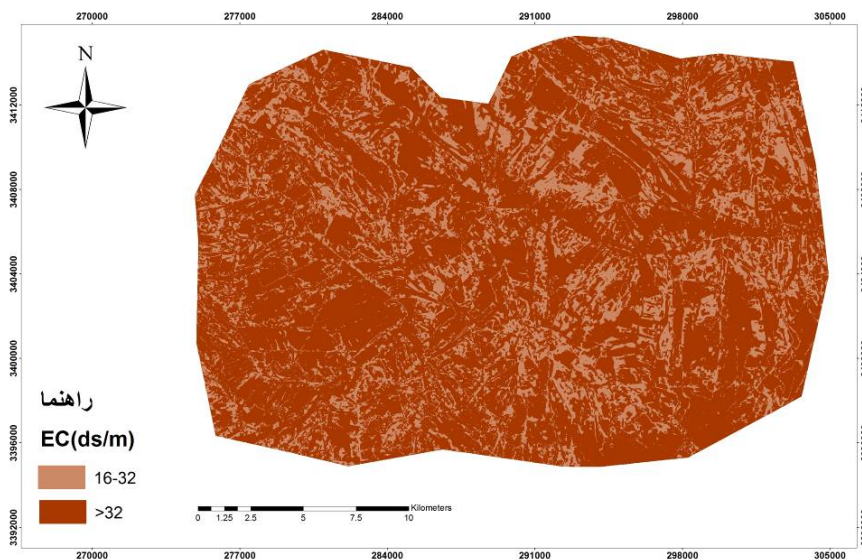
ذکر این امر لازم است که محدوده‌ی طیفی باندهای ۱۲۳ در تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷، معادل باندهای ۲۳۴ در تصاویر ماهواره‌ای ۲۰۱۵ - که مربوط به لندست ۸ می‌باشند - استفاده شد؛ به همین دلیل، از PCA234 در سال ۲۰۱۵ استفاده شد. آن گاه معادله‌ی به‌دست‌آمده؛ بر تصویر ۲۰۱۵ اعمال و طبقه‌بندی انجام شد. نقشه‌ی ایجادشده، ضریب کاپای ۸۵ درصد و دقت کلی ۹۸ درصد دارد و از دقت بالایی برخوردار است.

براساس شکل ۸، کلاس شوری ۴-۸ ds/m و ۱۶-۸ ds/m در منطقه‌ی مورد مطالعه وجود نداشته‌است و میزان شوری زیاد، بیشتر در قسمت‌های شرقی منطقه مشاهده می‌شود و میزان شوری شدید نیز تقریباً تمام وسعت منطقه مورد مطالعه را در برمی‌گیرد. نتایج بررسی روند شوری خاک که در جدول ۷ آمده است، نشان می‌دهد که میزان شوری متوسط و زیاد در مجموع از ۲۷۶ کیلومترمربع در سال ۱۹۹۰ به ۷۲/۲۵ کیلومترمربع در سال ۲۰۰۶ رسید که در طی ۱۶ سال، کاهش ۳۸/۵۷ درصدی داشت و در سال ۲۰۱۵ به صفر رسید. همچنین میزان شوری بسیار زیاد از ۹۳/۶ کیلومترمربع در سال ۱۹۹۰ به ۸۳/۳۲ کیلومترمربع در سال ۲۰۰۶ رسید، سپس از این میزان در سال ۲۰۰۶ به ۱۳۲/۹۴ کیلومترمربع در سال ۲۰۱۵ بالغ گشت که حدود ۹/۴ درصد رشد یافت. از طرفی، میزان اراضی با شوری شدید از

۱۵۸/۳۳ کیلومترمربع در سال ۱۹۹۰ به ۳۷۲/۵ کیلومترمربع در سال ۲۰۰۶ رشد یافت، سپس به ۳۹۵/۱ کیلومترمربع در سال ۲۰۱۵ رسید که تقریباً از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۵ با رشد ۴۴/۸۳ درصدی مواجه شد.



شکل ۶: نقشه‌ی شوری خاک سال ۱۹۹۰ تهیه شده بر اساس روش PCA123



شکل ۷: نقشه‌ی شوری خاک سال ۲۰۱۵ تهیه شده بر اساس روش PCA234

جدول ۶: همبستگی پیرسون بین هدایت الکتریکی خاک و روش‌های مختلف مورد استفاده

	BAND1	BAND2	BAND3	BAND4	BAND5	BAND7	BI	NDSI	SI	SHI	SI2	SI3	PCA 123	PCA 234	PCA 123 457	PCA 457
EC																
Pearson correlation	-.0/007	0/19	0/78	0/12	0/21	0/35	0/02	-.0/14	0/21	0/25	0/04	0/16	0/78	0/76	0/1	0/13
Sig (2-tailed)	0/95	0/16	*0/03	0/36	0/11	**0/009	0/87	0/3	0/11	0/06	0/75	0/25	**0/000	**0/000	0/21	0/3

سطح معنی‌داری 0/01**

سطح معنی‌داری 0/05*

جدول ۷: روند شوری خاک از سال ۲۰۱۵ - ۱۹۹۰

کلاس شوری خاک		طبقات شوری خاک		مساحت ۱۹۹۰		مساحت ۲۰۰۶		مساحت ۲۰۱۵	
				%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²
شوری متوسط	۴-۸	۲۴/۴۷	۲۳/۵۷	-	-	-	-	-	-
شوری زیاد	۸-۱۶	۱۵۱/۶	۲۸/۷۱	۷۲/۲۵	۱۳/۷	-	-	-	-
بسیار زیاد	۱۶-۳۲	۹۳/۶	۱۷/۷۲	۸۳/۳۲	۱۵/۷۶	۱۳۲/۹۲	۲۵/۱۷	-	-
شوری شدید	>۳۲	۱۵۸/۳۳	۳۰	۳۷۲/۵	۷۰/۵۴	۳۹۵/۱	۷۴/۸۳	-	-

۵-۴- رابطه‌ی روند تغییرات کاربری ارضی با شوری خاک

نتایج ناشی از تغییرات کاربری ارضی با روند شوری خاک در دوره‌ی زمانی مورد مطالعه، در جدول ۸ ذکر شده است. طبق نتایج به دست آمده، هر بخشی از منطقه که در آن تخریب و تغییر کاربری صورت گرفته و پوشش گیاهی از بین رفته، در مقدار شوری خاک آن تغییراتی به وقوع پیوسته است. در سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۶، میانگین شوری در اراضی کشاورزی که بیش از ۱۳٪ مساحت آن کاهش یافته است، به ترتیب ۳/۷، ۲ و ۱/۹ و برای اراضی غیر کشاورزی که مساحت آن بیش از سه درصد افزایش یافته به ترتیب ۱/۹، ۲/۱ و ۳/۴ به دست آمده است. این امر نشان می‌دهد که هر جایی تخریب پوشش طبیعی زمین وجود داشته باشد، تغییر در مقدار شوری خاک نیز مورد انتظار خواهد بود. بیشترین مقدار شوری خاک در سال ۲۰۱۵ مربوط به اراضی غیر کشاورزی است.

جدول ۸: نتایج حاصل از روند تغییرات کاربری اراضی با شوری خاک در دوره‌ی زمانی مورد مطالعه

سال	کاربری	مساحت (Km ²)	مساحت (%)	میانگین	ضریب تغییرات
۱۹۹۰	اراضی کشاورزی	۲۳۸/۳۲	۴۵/۱۴	۲/۷	۱/۴
	اراضی غیر کشاورزی	۲۳۶/۳	۴۴/۷۵	۱/۹	۰/۸
	منابع آب سطحی	۵۳/۴	۱۰/۱۱	۲/۶	۱/۱
۲۰۰۶	اراضی کشاورزی	۲۰۱/۶۵	۳۸/۱۹	۲	۰/۲
	اراضی غیر کشاورزی	۲۵۶/۲۴	۴۸/۵۳	۲/۱	۰/۷
	منابع آب سطحی	۷۰/۲۶	۱۳/۳	۱/۹	۰/۴
۲۰۱۵	اراضی کشاورزی	۱۶۲/۴۸	۳۱/۷۷	۱/۹	۰/۳
	اراضی غیر کشاورزی	۳۹۴/۴۸	۶۶/۱۹	۳/۴	۰/۷
	منابع آب سطحی	۱۶/۱۹	۳	۲	۰/۲

۵- بحث و نتیجه‌گیری

یکی از ویژگی‌هایی که سبب شد روش کریجینگ ساده نسبت به سایر روش‌ها دقت بالاتری داشته باشد، روند ثابت در پراکنش داده‌ها و فقدان تکرار فراوان متغیر زیاد و کم در منطقه است. با بررسی باندهای تصاویر ماهواره‌ای، شاخص‌های شوری خاک و روش تجزیه و تحلیل مؤلفه‌ی اصلی مشخص شد که روش PCA123 نسبت به سایر روش‌ها از دقت بالاتری برخوردار است. دلیل برتری روش PCA123 نسبت به سایر روش‌ها، این است که هدایت الکتریکی سطحی خاک بیشترین بازتاب را در ناحیه‌ی طیفی مرئی و مادون قرمز نزدیک (۱، ۲، ۳ و ۴) دارد. معمولاً خاک‌های شور مناطق خشک به ویژه زمانی که پوسته‌ی نمکی در سطح خاک تشکیل می‌شود، بازتاب طیفی بالایی را نشان می‌دهد. مطالعات اجرا شده بر روی کانی‌های گچ، نمک طعام و کاکائولینیت، در شرایط کنترل‌پذیر آزمایشگاهی نشان می‌دهد، گچ در ناحیه‌ی حدود ۲/۲ میکرومتر منطبق با مرکز باند ۷ ماهواره‌ی لندست، دارای ناحیه‌ی جذب قوی قابل تشخیص است. نمک طعام در مقایسه با گچ، در محدوده‌ی منطبق با باندهای ماهواره‌ی لندست بازتاب بیشتری نشان می‌دهد. همچنین می‌توان عنوان کرد که در باند مادون قرمز نزدیک (باند ۴)، پوشش گیاهی بازتاب بالایی دارد و این بازتاب بالا نشان‌دهنده‌ی شوری کم است. نتایج این قسمت از تحقیق، با مطالعات دیگر (Daempanah et al, 2011 & Albed et al, 2014 & Khodadadi et al, 2008 & Shrestha, 2006 & Dashtekian et al, 2008) و لی با برخی مطالعات دیگر (Rafiei Emam and Alavipanah, 2006) - که بر روی PCA های مختلف مطالعه‌ی انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که تجزیه‌ی مؤلفه‌های اصلی نقش مهمی در جداسازی خاک‌هایی با خصوصیات مختلف دارد - منطبق است.

با بررسی روند شوری خاک در طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۵، مشخص شد که تغییرات کلاس اراضی شور به گونه‌ای بود که اکثر این اراضی در طی این ۲۵ سال به اراضی غیر شور تبدیل نشد و از وسعت کلاس‌های شوری متوسط و زیاد به تدریج کاسته و به مساحت اراضی با شوری بسیار زیاد و شدید افزوده شد. بر اساس نقشه‌های شوری در سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۵، می‌توان گفت که میزان شوری شدید در قسمت‌های جنوبی به تدریج به سمت قسمت‌های شمالی منطقه پیشروی داشت و هم‌زمان وسعت شوری در کلاس‌های متوسط و زیاد کاهش یافت و از طرف دیگر، وسعت

شوری در کلاس بسیار زیاد در سال ۱۹۹۰ به تدریج از قسمت‌های شمالی و جنوبی منطقه افزایش و در سال ۲۰۱۵ در تمام منطقه‌ی مورد مطالعه پراکنش یافت. شهرستان‌های آبادان و بندرماهشهر از جمله مناطقی ساحلی استان خوزستان به شمار می‌آیند که در بخش‌های جنوبی شهرستان شادگان قرار دارد. در مناطق ساحلی، شیب کمتر و میزان شوری بیشتر است. با توجه به این مهم می‌توان به این نتیجه رسید که با نزدیک شدن به مناطق ساحلی، میزان شوری خاک افزایش می‌یابد. نتایج این قسمت از تحقیق با برخی مطالعات (Pakparvar et al, 1999 & Ahmadian et al, 2010) - که به این نتیجه رسیدند که با گذر زمان میزان شوری افزایش یافته‌است - همخوانی دارد، ولی با برخی مطالعات دیگر (Dadrasi et al, 2006) - که به این نتیجه رسیدند که در طی زمان، از مساحت با شوری بالا کاسته و اراضی با شوری کم افزوده شده‌است - همخوانی ندارد.

با توجه به نتایج این تحقیق می‌توان به این نتیجه رسید که استفاده از روش سنجش از دور و تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی، برای تهیه نقشه‌های شوری خاک در مناطقی که دارای وسعت زیاد هستند و تحت تأثیر شوری قرار دارند، کاربرد محسوسی دارد. از سوی دیگر، با بهره‌گیری از روش تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی و با اعمال مدل رگرسیونی، تمام مناطقی که نمونه‌گیری در آن انجام نشده‌است نیز میزان شوری آنها براساس میزان ارزش رقومی پیکسل‌ها برآورد می‌شود.

فهرست منابع

1. Ahmadian, M.; Pakparvar, M.; & D. Ashourloo, 2010. Evaluation variations of soil salinity using digital processing landsat data in plain Ghahavand, Hamadan, *Journal of Soil Research (Soil & Water)*, 179-191. (in Persian)
2. Akramkhanov, A.; Martius, C.; Park, S. J.; & J. M. H. Hendrickx, 2011. Environmental factors of spatial distribution of soil salinity on flat irrigated terrain, *Geoderma*, 163, 55-62.
3. Alavipanah, S.K., 2003. Application of remote sensing in earth science, *Thehran Univ Press*. (in Persian)
4. Albed, A.; Kumar, L.; & P. Sinha, 2014. Mapping and modlling spatial variation in soil salinity in the AL Hassa Oasis Based on remote sensing indicators and regression techniques, *Journal of Remote Sensing*.
5. Anyamba, A.J.; & R. Estman, (1996). Interannual variability of NDVI over Africa and its relation to EI Niro/southern Oscillation. *International Journal of Remote Sensing*. 2533.
6. Aref, M., 2014. Shapefile of the country's climate files. <http://www.noandishaan.com>. (in Persian)
7. Dadrasi, A.; Yamani, M.; Pakparvar, M.; & Z. Davarzani, 2006. Investigation of path soil salinity using of remote sensing data and geographic information system in dry and hot area Southeast Sabzevar Township, *Journal of Geography and Development*, 16, 69-79. (in Persian)
8. Daempanah, R.; Haghnia, G.H.; Alizadeh, A.; & A. Karimi Karveh, 2011. Mapping salinity and sodicy of surface soil by remote sensing and geostatistic methods in southern Ma Valat County, *Journal of Soil and Water (Food Science and Technology)*, pages 498-508. (in Persian)
9. Dashtekian, K.; Pakparvar, M.; & J. Abdollahi, 2008. Study of soil salinity preparing methods by using landsat images in Marvast, *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 139-157. (in Persian)
10. Douaoui, A.E.K.; Nicolas, H.; & Ch. Walteer, 2006. Detecting salinity hazards within a semiarid context by means of combining soil and remote sensing data, *Geoderma*, 134, 217-223.

11. Frazier, B.E., & Y. Cheng., (1989). Remote sensing of soils in eastern palouse region with land sat thematic mapper, *Remote Sens. Environment*. 28, 317-325.
12. Gabriel, J., & M. Soe., (2012). Spatial variation of soil salinity in the Mexicali valley, Mexico: application of a practical method for agricultural monitoring. *environmental management*. 50, 478-489.
13. Habashi, E.; Hosseini, S, M.; & M. Shattai, 2006. Evaluation of the accuracy of interpolation methods to estimate soil nitrogen using GIS, *GIS Conference, Qeshm*, page 1-5. (in Persian)
14. Jian – li, D.; Man – Chun, W.; & T. Tiyip, 2011. Study on soil salinization information in arid region using remote sensing technique, *Journal of Agriculture Sciences in Chine*, 404.
15. Joker, N.; Bakhtiari, R.; & H. Howliaie, 2013. Investigation of ASTER data capabilities for soil salinity mapping (Case study: Maharlo plain-fars provinc), *first international conference on environmental hazards*.
16. Khan, N. M.; Rastoskuev, V. V.; Sato, Y.; & S. Shiozawa, 2005. Assessment of Hydrosaline Land Degradation by Using a Simple Approach of Remote Sensing Indicators, *Agri- cultural Water Management*, Vol. 77, NO 1, 96-109.
17. Khodadadi, M.; Askary, M.S.; Sarmadian F.; & A. Heidari, 2008. Saline and alkaline soil mapping using ETM⁺ data in Qazvin plain, *Journal Pajouesh & Sazandegi*, 77-90. (in Persian)
18. Lin, C.Y., 1997. A study on the width and placement of vegetated buffer strips in a mudstone-distributed watershed , J.china, *Soil water conserves*, 29 (3), 250-266. (in Chinese with English abstract).
19. Major, D.; Baret F.; & G. Guyot, 1990. A Ratio Vegetation Index Adjusted for Soil Brightness, *International Journal of Remote Sensing*, 11, 5, 727-740.
20. Matinfar, H. R.; Alavi Panah, S. K.; Zand, F.; & K. Khodaei, 2011. Detection of soil salinity changes and mapping land cover types based upon remotely sensed data, *Arab J Geosci*, 6, 913–919. (in Persian)
21. Meteorological Organization of Khuzestan Province. 2013. Meteorological Report. (in Persian)
22. Momeni, A., 2010. Geographical distribution and levels of soil salinity, *Journal of Soil Research (water and soil)*, 3, 203-215. (in Persian)
23. Mushtak, T. J.; & J. Zhou, (2012). Assessment of soil salinity risk on the agricultural area in Basrah Province, Iraq: using remote sensing and GIS techniques. *Journal of Earth Science*. Vol. 23, 6, 881–891.
24. Natural Resources Organization of Khuzestan Province, 2006. *Report of Shadegan Soil Science*. (in Persian)
25. Noori, S., 2004. Determination of the best vegetation indexes for assessing Mazandaran rangeland, Master thesis, *Tarbiat Modarres University*, 128 pp. (in Persian)
26. Pakparvar, M.; Abtahi, M.; Shakuie, M.; & M. Khorasani, 1999. The use of satellite data and GIS to determine the areas affected by desertification, *Final Report of the Research Project, The Institute of Forest and Rangelands*. (in Persian)
27. Rafiei Emam, A., & S. K. Alavipanah, (2006). Study of various soils spectral variability using remotely sensed imagery, case study: Varamin region. *Iranian Journal of Range and Desert Research*. 1, 1-9. (in Persian)
28. Said, N.; Henning, B.; & H. Joachim, 2014. Estimation of soil salinity using three quantitative methods basedon visible and near-infrared reflectance spectroscopy: a case study from Egypt, *Arab J Geosci*. 8 (7), 5127–5140.
29. Sedighi, M., 2004. Evaluate the GIS application in science documents available at the Center for Information and Documentation Iran, *Journal of Information Sciences*, 1(2), 29-49. (in Persian)

30. Shrestha, R.P., 2006. Relating soil electrical conductivity to remote sensing and other soil properties for assessing soil salinity in Northeast Thailand, *Land Degradation and Development*, 17, 677.
31. Sokoti oskooei, R.; Mahdian, M.; & Sh. Mahmoodi, 2007. Comparision the applicability of some geostatistics methods of predicts the spatial soil salinity (case study: urmia plain), *Journal of pajuhesh & sazandegi*, 74. 90-98. (in Persian)

Mapping Spatial Variability of Soil Salinity Using Remote Sensing Data and Geostatistical Analysis: A Case of Shadegan, Khuzestan

Donya Amini: *Graduated student in combating desertification, Ilam university, Ilam*
Mohsen Tavakoli*: *Assistant Professor of Range and Watershed Management Dept., Ilam University, Ilam*
Mahmoud Rostaminy: *Assistant Professor of Soil Sciences Dept., Ilam University, Ilam*

Article History (Received: 2017/07/01

Accepted: 2018/01/17)

Extended abstract

1- Introduction

Soil salinity is one of the most important desertification parameters in many parts of the world. Thus, preparing soil salinity maps in macro scales is necessary. Water and soil salinity as one of the contributing parameters in desertification, cause soil and vegetation degradation. Soil salinization represents many negative effects on the earth systems such as water and wind erosion, increasing dust storms, removing vegetation, reducing production capacity of the soils, etc. Most of the saline soils are located in the regions with hot and dry climates like Iran. One of the ways to combat desertification phenomenon is understanding effective factors in intensification. On the other hand, soil salinity measurement in laboratory is costly and time-consuming, especially in the large-scale regions. Spatial interpolation methods and satellite images interpretation can be used to map soil salinity with high accuracy in both temporal and spatial resolution. Remote sensing and geostatistics can play an important role in identifying the phenomena, mapping, time monitoring changes, controlling, modifying and finally managing soils salinity. The purpose of this study is soil salinity zonation and its trend investigation using remote sensing data and geostatistical techniques in Shadegan area.

2- Methodology

Geostatistical techniques are generally used for spatial changes and they are useful for soil salinity investigation and results can be more valuable when they are coupled to remote sensing data. Interpolation methods can be done by many GIS programs and also remote sensing can be a useful tool for collecting the earth data of a broad area in a short time. These applications are more useful for impassable, dangerous and wide areas. Electromagnetic wave reflections are different in various lands and this is the basic principle of using satellite images for landscape interpretation. For mapping the soil salinity in the study area, 54 soil samples were used which have been sampled in 2006 using interpolation methods with the maximum likelihood of mapping the soil salinity. Some descriptive statistical analyses (e.g. mean, mode, variance, standard deviation, kurtosis, skewness) and the normality of the data were conducted using SPSS software. The interpolation methods including deterministic methods and geostatistical methods were used for mapping the soil salinity in ArcGIS software. In this study, deterministic statistical methods such as inverse distance weighted, global polynomial, radial basis functions and geostatistical methods (ordinary kriging and simple kriging) for soil salinity mapping were evaluated for the region. For this goal, the remote sensing data (bands, salinity indices and principal component analysis) were used for the satellite image of ETM⁺ from the nearest time to the sampling time, namely 2006. For studying the correlation between brightness of the pixel values and soil samples, the regression with the highest correlation with the sample points, was selected as the suitable method between the fit method and soil samples to establish the regression equation. Finally, regarding to the sampling points, supervised classification was used. Then, regression obtained equation was used for salinity map in 1990 and 2015 for soil salinity trend analysis investigation.

3- Results

The results showed that the simple Kriging interpolation has the higher accuracy than the other methods for mapping the soil salinity. Among the geostatistical methods, simple kriging and ordinary kriging are similar in terms of accuracy, but the simple Kriging with spherical semivariogram model, compared to the other methods of soil salinity zonation is more appropriate in the study area. Study of the methods of salinity map showed that

* Corresponding Author: tmohsen2010@hotmail.com

in 2006, the PCA123 method has the highest correlation with the sampling point compared to the real map of soil salinity. Trend analysis of soil salinity in 1990, 2006 and 2015 showed that the area of average and high salinity are reduced but the area of very high salinity increased sharply from 1990 to 2015. On the other hand, the area with medium and high salinity classes has decreased and closed to zero in 2015, but the extreme salinity class has increased about 2.5 times more.

4- Discussion & Conclusions

It can be concluded that satellite images, remote sensing data and geostatistical techniques are reliable tools for soil salinity studies. Increased soil salinity in the study area shows that the intense salinity of the southern part to the northern parts has slowly been moved. Abadan and Mahshahr in Khuzestan province are considered coastal areas except Shadegan city located in the southern part. In the coastal areas with low slope, transition of salt from the sea to the coastal area is acceptable but for other regions, other reasons are needed. Finally, it is suggested to use these methods and techniques for soil salinity investigation for the similar areas.

Key Words: Soil salinity, Remote sensing, Geostatistic, Interpolation, Shadegan.