

پهنه‌بندی شوری خاک با استفاده از شاخص‌های طیفی و داده‌های ماهواره‌ای لندست در مناطق خشک

علی اکبر نوروزی^{۱*}، علیجان آبکار^۲، محمود دمی‌زاده^۳ و بهروز ارسطو^۴

* نویسنده مسئول، دانشیار، پژوهشگرده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران،
پست الکترونیک: noroozi.aa@gmail.com

۲- عضو هیئت علمی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران

۳- عضو هیئت علمی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی هرمزگان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بندرعباس، ایران

۴- عضو هیئت علمی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی سمنان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سمنان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۱/۲۰ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۵/۲۲

چکیده

این پژوهش به منظور ارائه مدلی برای تهیه نقشه شوری با استفاده از چند شاخص طیفی و داده‌های ماهواره‌ای لندست پنج در مناطق خشک بوشهر، سمنان، فارس، کرمان و هرمزگان انجام شد. ابتدا نمونه‌برداری از افق شناسایی سطحی (۰-۳۰ سانتی‌متری) خاک به تفکیک هر منطقه در استان به تعداد ۵۰ تا ۱۰۰ نمونه برداشت و به آزمایشگاه ارسال شد. سپس به منظور شناسایی و ارزیابی شوری خاک، از تلفیق تصاویر ماهواره‌ای لندست پنج و پاره‌ای از شاخص‌های طیفی حاصل از آن شامل شاخص شوری نرمال شده خاک، رطوبت نرمال، پوشش گیاهی نرمال، پوشش گیاهی اصلاح شده خاک، انتقال طیفی و مدل‌های آماری استفاده شد. پس از ارزیابی دقت روابط آماری ارائه شده با استفاده از نقاط آزمون، بهترین رابطه برای منطقه مطالعاتی انتخاب گردید و نقشه شوری تهیه شد. نتایج نشان داد که به‌طور کلی بین EC خاک با شاخص‌های طیفی مشتق شده از تصاویر، رابطه معناداری وجود دارد. در مناطق مورد مطالعه استان فارس شاخص شوری نرمال شده بالاترین همبستگی با هدایت الکتریکی خاک را با ضریب رگرسیون ۶۶٪ داشت که میزان آماره‌های صحت‌سنجی RMSE و MBE برای این رابطه به ترتیب ۲/۵۸ و ۰/۶۶ می‌باشد. در مناطق مورد مطالعه استان کرمان، شاخص انتقال طیفی (رطوبتی) بیشترین همبستگی را با هدایت الکتریکی خاک با ضریب تبیین ۶۵٪ داشت که مقادیر آماره‌های صحت‌سنجی RMSE و MBE برای این روش به ترتیب ۳/۱۰ و ۰/۵۱ می‌باشد. در مناطق مورد مطالعه استان هرمزگان نتایج همبستگی بالای شوری خاک را با شاخص شوری (۲SI) در سطح ۷۲ درصد با ضریب تبیین ۵۱٪ برای این استان انتخاب شد که میزان آماره‌های RMSE و MBE نیز به ترتیب ۲/۵ و ۰/۳۵- گزارش شده است. همچنین در منطقه مورد مطالعه استان سمنان بیشترین همبستگی را باند ۵ و ۷ ماهواره لندست پنج با هدایت الکتریکی خاک داشتند (به ترتیب ۶۵٪ و ۷۵٪) و ضریب تبیین ۶٪ بدست آمده است که مقادیر آماره‌های صحت‌سنجی RMSE و MBE نیز به ترتیب ۲/۸ و ۰/۸۱- گزارش شده است. با توجه به روابط حاصل از این پژوهش با داده‌های ماهواره‌ای و شاخص‌های مستخرج از آنها، نشان می‌دهد که در هر یک از مناطق مورد بررسی شاخص‌های مختلفی قادر به تشخیص پهنه‌های شوری خاک می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: آمار مکانی، پهنه‌بندی شوری خاک، تصاویر لندست پنج، شاخص طیفی.

مقدمه

اراضی است. مشکل شوری به دلیل زیاد بودن تبخیر از سطح خاک، بارندگی کم، پستی و بلندی‌های زمین، کیفیت نامناسب

یکی از مهمترین مشکلات کشاورزی در ایران، شوری

لندست TM در منطقه حوض سلطان قم طبقه‌بندی نمودند. علوی‌پناه و همکاران، برای بررسی رابطه بین شوری خاک و بازتاب‌های آن، هفت باند لندست TM و چهار باند سنجنده MSS را در خاک‌های کویر مرکزی ایران مطالعه نمودند. نتایج آنان نشان داد که رفتار باند 6 TM در خاک‌های گچی نسبت به خاک‌های شور متفاوت می‌باشد؛ بنابراین 6 TM اطلاعات مفیدی را از خاک‌های شور در اختیار می‌گذارد. Zehtabian و همکاران (۲۰۰۶) علل شوری خاک در دشت کبوترخان استان کرمان را با استفاده از روش‌های آزمایشگاهی و میدانی مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنان نشان داد که در رخساره فرسایش آبراه‌ای دشت سر‌اپانداژ، آبیاری با آب شور همراه تأثیر بافت سنگین خاک باعث افزایش شوری و در رخساره جلگه‌رسی دشت سر پوشیده، آبیاری به علت بافت سبک خاک و وجود زهکش طبیعی باعث کاهش شوری خاک و در نتیجه آبخوبی خاک گردیده است. Dashtkian و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست نقشه‌های شوری خاک منطقه مروست یزد را تهیه کردند. بررسی و مقایسه روش‌های مختلف با نقشه شوری خاک حاصل از اطلاعات میدانی، مناسب‌ترین روش برای تهیه نقشه شوری خاک می‌باشد. روش میانگین رگرسیون‌ها با باندهای استاندارد شده ۲،۱ و ۳ تشخیص داده شد و روش شاخص شوری در مرتبه دوم قرار گرفت. Bouaziz و همکاران (۲۰۱۱) یک مطالعه برای تشخیص شوری خاک بر اساس تصاویر مودیس و رگرسیون خطی انجام دادند. آنان دریافتند که ترکیب شاخص شوری SI2 با باند مادون قرمز نزدیک (NIR) (باند ۳) و یک مدل آماری به محققان برای رسیدن به بینش بهتر گسترش شوری خاک کمک می‌کند. همچنین Judkins و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که باند ۷ ماهواره لندست، شاخص پوشش گیاهی تبدیل شده (TNDVI) و Tasseled Cap ۳ و ۵ همبستگی بالایی با تغییرات در شوری خاک دارند. ترکیب این متغیرها طیفی و یک مدل رگرسیون خطی چندگانه آنها را قادر به پیش‌بینی و نقشه سطح تنوع سطحی شوری خاک موثر است. Rahmatizadeh و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از تصاویر

آب آبیاری و سنگ‌های مادری است. عوامل فوق باعث به وجود آمدن شوره‌زارهای زیادی شده است (Homaiy, Barzegar, 2000). جمعاً ۳۲ میلیون هکتار و یا ۲۰ درصد خاک‌های ایران را خاک‌های شور و سدیمی تشکیل می‌دهد (سیمای حوزه‌های آبخیز کشور، ۱۳۸۷). شوری خاک به تجمع نمک در لایه‌های سطحی و زیرسطحی خاک مربوط می‌شود. تمرکز این نمک‌های محلول به صورت هدایت الکتریکی قابل اندازه‌گیری می‌باشد (Homaiy et al., 2008; Zarei et al., 2009; Zarei et al., 2010).

فرایند شور شدن خاک به دو صورت اولیه و ثانویه رخ می‌دهد (Metternicht & Zinck., 2003). شور شدن اولیه با تجمع نمک، از طریق فرایندهای طبیعی ناشی از شوری زیاد مواد مادری و یا آب زیرزمینی به وجود می‌آید، در حالی که شوری ثانویه بر اثر فعالیت‌های انسانی به صورت آبیاری با آب نامناسب و یا زهکشی ضعیف خاک به وجود می‌آید (همایی، ۱۳۸۱). افزون بر آن، شور شدن ثانویه با انجام عملیات انسانی دیگری مانند تخریب مناطق جنگلی، عملیات نامناسب کشاورزی، احداث جاده و مخازن به مناطق دیگر و اراضی مجاور گسترش می‌یابد (Mitsoshi, 1989). مطالعات متعدد نشان داده است که باندهای طیفی مرئی، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز موج کوتاه از سنسورهای نوری برای تشخیص شوری سطحی استفاده می‌کند (Eldeiry et al., 1992; Dwivedi et al., 2008). دوویودی و سرنینی واس در سال ۱۹۹۶ با استفاده از داده‌های رقومی MSS در بخشی از اوتارپراداش هند دریافتند که واکنش طیفی خاک‌های مناطق خشک، تفکیک خاک‌های شور، خاک‌های غیرشور، جنگل‌ها، آب‌ها، شن‌های روان، گالی‌ها و مسیل‌ها را امکان‌پذیر می‌سازد. همچنین Karavanova (۲۰۰۰) با استفاده از سنجنش از دور بر روی داده‌های TM برای مطالعه و طبقه‌بندی خاک‌های شور منطقه ازبکستان استفاده نمود. باندهای مورد استفاده سبز، قرمز و مادون قرمز بود. وی با استفاده از این باندها، خاک‌های منطقه را در پنج طبقه شوری دسته‌بندی نمود که دارای ۷۰ درصد دقت بود. Darvish sefat و همکاران (۲۰۰۰) خاک‌های شور را با استفاده از داده‌های

سالانه در ایستگاه‌های هواشناسی استان مربوط به ایستگاه ده صوفیان به میزان ۲۸۴/۷ میلی‌متر و کمترین آن مربوط به ایستگاه حسین‌آباد میامی به میزان ۶۹/۴ میلی‌متر می‌باشد. همچنین پرباران‌ترین ماه‌های سال مربوط به اسفندماه تا اردیبهشت‌ماه می‌باشد. مقادیر سالانه حداقل مطلق دمای ایستگاه‌های بیارجمند (۱۵/۶-) و شاهرود (۱۸/۲-) درجه سانتی‌گراد می‌باشد، ضمن اینکه مقادیر سالانه حداقل مطلق دما در ایستگاه‌های جندق، حسین‌آباد، دامغان، خیرآباد و صوفیان نیز کمتر از (۸-) درجه سانتی‌گراد است. از سوی دیگر براساس مقادیر متوسط دمای سالانه در ایستگاه‌های ده صوفیان، دامغان و بسطام میزان این پارامتر کمتر از ۱۳ درجه سانتی‌گراد در سال بوده است. ۶۵ نمونه خاک از اراضی کشاورزی و زمین‌های اطراف آنها در تاریخ ۱۰ تا ۲۵ مهر سال ۱۳۸۷ و از شهرستان سمنان و بخش مرکزی سمنان برداشت شد. محدوده مورد مطالعه بعدی در شهرستان شیراز در استان فارس واقع شده است. این شهرستان در ۳۰ درجه و ۲۵ دقیقه عرض جغرافیایی و ۳۷ درجه و ۲۹ دقیقه طول جغرافیایی قرار گرفته است. ارتفاع آن از سطح دریا ۱۵۹۰ متر می‌باشد. مساحت این شهر ۱۲۹۹۰ کیلومتر مربع است که طول آن ۹۰ و عرض آن از ۲۰ تا ۳۰ کیلومتر متغیر است. این ناحیه در زمستان‌ها آب و هوای نسبتاً معتدل توأم با بارندگی و در تابستان‌ها، هوایی گرم و خشک دارد. نمونه‌های بعدی در شهر کرمان در استان کرمان واقع در جنوب شرق ایران بین مدارهای ۲۵ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۳۲ درجه شمالی و ۵۳ درجه و ۲۶ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۲۹ دقیقه شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته است. آب و هوای این منطقه خشک می‌باشد. نمونه‌های دیگر در شهرستان حاجی‌آباد در استان هرمزگان در جنوب ایران و در شمال تنگه هرمز قرار دارد. حاجی‌آباد یکی از شهرهای جنوب ایران و شمال استان هرمزگان است. حاجی‌آباد شمالی‌ترین شهر استان هرمزگان است و در نزدیکی استان کرمان واقع شده است. این شهر در بخش مرکزی شهرستان حاجی‌آباد قرار دارد. فاصله حاجی‌آباد تا بندرعباس ۱۶۵ کیلومتر است. نمونه‌های دیگر در شهرستان رودان در استان هرمزگان قرار دارند که رودان

ماهواره‌های لندست به شناسایی مناطق شور و گیاهان شورروی استان قم پرداختند. نتایج این بررسی نشان داد که نیمی از تیپ‌های گیاهی بررسی شده بر روی خاک‌های شور و نیمی دیگر بر روی خاک‌های غیرشور رویش نموده‌اند. خاک منطقه مورد بررسی در کلاس خاک‌های شور و قلیایی دسته‌بندی شد. با توجه به رشد روزافزون جمعیت و نیاز به تأمین بیشتر غذا و با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی ایران، افزایش سطح زیر کشت و افزایش حاصلخیزی خاک، دو راهکاری هستند که در حال حاضر برای دستیابی به این مهم مورد توجه می‌باشند. اما اجرای نادرست این راهکارها، تخریب اراضی را به همراه داشته است. یکی از عمده‌ترین پیامدهای آن، شور شدن خاک بر اثر عملیات نادرست کشاورزی است. شوری باعث تشکیل سخت لایه‌ها و جلوگیری از رشد ریشه گیاه (ایجاد مشکلات شیمیایی و سمیت)، کاهش نفوذپذیری و شرایط زهکشی خاک، محدود شدن فعالیت میکروارگانیسم‌ها و در نهایت کاهش حاصلخیزی خاک می‌شود (Homaiy, 2002). بررسی فرایند شور شدن خاک با استفاده از روش‌های صحرائی کاری زمان‌بر و پرهزینه بوده و استفاده از ابزار و روش‌هایی که بتواند این امر را تسهیل کند ضروری می‌باشد.

بدین منظور در این پژوهش تلاش می‌شود با کمک تصاویر ماهواره‌ای و شاخص‌های تولیدی از آنها و بهره‌گیری از مدل‌های آماری، اقدام به شناسایی و ارزیابی پهنه‌های شوری شود.

مواد و روش‌ها

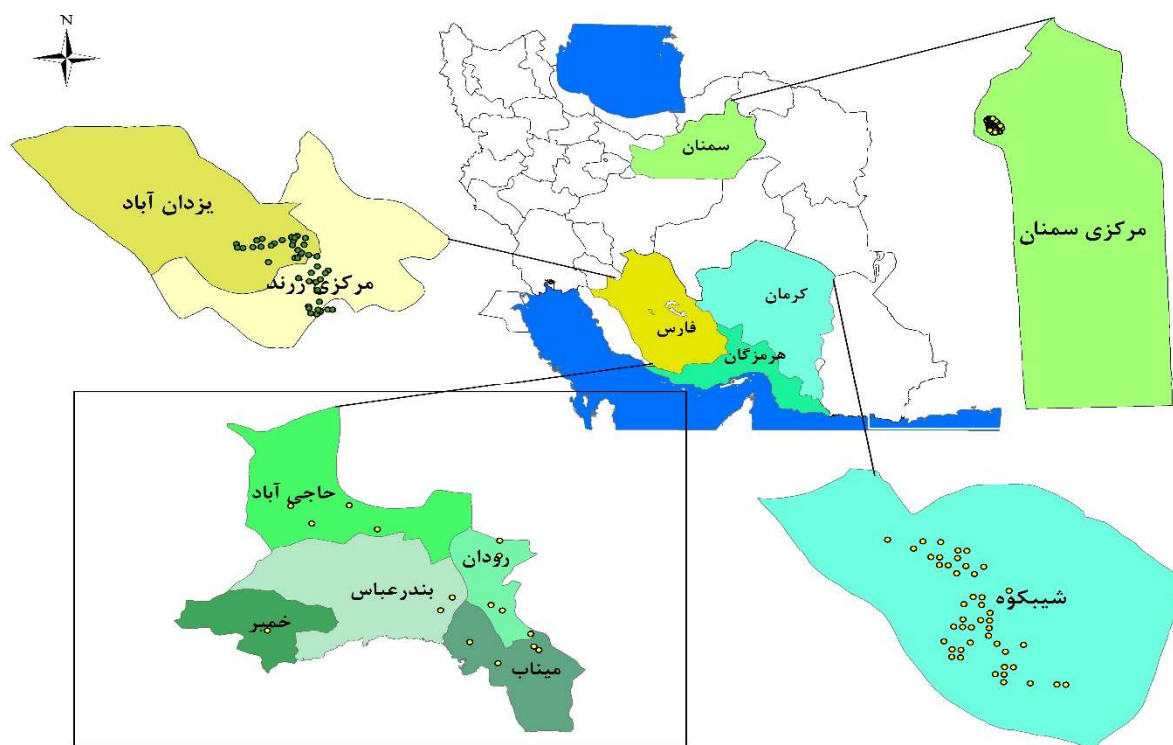
منطقه مورد مطالعه

برای ارزیابی قابلیت داده‌های سنجنش از دور این مطالعه در چند استان کشور انجام شد. یکی از مناطق مورد مطالعه شهر سمنان واقع در استان سمنان است. سمنان بین ۳۹۲۶۴۳۰ متر عرض شمالی و ۷۱۳۶۹۳ متر طول شرقی تا ۳۹۳۷۷۳۷ متر عرض شمالی و ۷۲۳۴۲۷ متر طول شرقی در زون ۳۹ سیستم مختصات UTM قرار گرفته است. براساس اطلاعات سازمان هواشناسی کشور، از وسعت ۹۷۴۸۷ کیلومتر مربعی استان سمنان، تنها ۰/۲۳ درصد از آن دارای بارندگی متوسط سالانه بیش از ۵۰۰ میلی‌متر است که بیشترین میزان بارش

استان هرمزگان در جنوب ایران است، واقع شده‌اند. این شهر در فاصله ۹۵ کیلومتری جنوب‌غربی بندرعباس و ۱۱۰ کیلومتری شرق بندرلنگه واقع شده و مرکز شهرستان خمیر است. بندر خمیر با مساحت قانونی ۴۳۱/۵ هکتار و وسعت حریم ۱۱۵ کیلومترمربع در موقعیت جغرافیایی ۲۶ درجه و ۵۷ دقیقه عرض شمالی و ۳۵ دقیقه طول شرقی نسبت به نصف‌النهار گرینویچ و در ارتفاع ۱۵ متری از سطح دریا واقع شده‌است.

بقیه نمونه‌ها در شهرستان میناب در استان هرمزگان قرار دارند که میناب یکی از شهرستان‌های شرقی استان هرمزگان واقع در جنوب ایران است. شهرستان میناب در سال ۱۳۳۹ تأسیس شده و کد تقسیماتی شهرستان ۱۳۴ می‌باشد. مرکز این شهرستان، شهر میناب است.

با مساحتی حدود ۳۰۴۴٫۵ کیلومترمربع، در فاصله ۱۰۰ کیلومتری بندرعباس قرار دارد. شهر رودان مرکز این شهرستان در ۲۷ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۷ درجه و ۱۱ دقیقه طول شرقی واقع شده است. شهرستان رودان که در شرق هرمزگان قرار گرفته، از شمال به حاجی‌آباد، از شمال‌شرقی به فاریاب (گلاشکرد)، از شرق به کهنوج و منوجان، از جنوب‌شرقی و جنوب به میناب و از غرب به بندرعباس محدود می‌شود. بعضی نمونه‌ها نیز در شهرستان بندرعباس واقع شده‌اند که شهرستان بندرعباس یکی از شهرستان‌های استان هرمزگان در جنوب ایران است. مرکز این شهرستان، شهر بندرعباس است. شهرستان بندرعباس در شمال تنگه هرمز قرار دارد و گستردگی آن ۲۷۳۱۶ کیلومتر مربع است. تعدادی از نمونه‌ها نیز در بندر خمیر که یکی از شهرهای



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور، استان و شهرستان

شبکه‌های ۱×۱ کیلومتری)، از منطقه مورد مطالعه انجام شد؛ مختصات دقیق پروفیل‌ها به کمک GPS در طی عملیات صحرائی ثبت شد. آنگاه برای تجزیه و تحلیل و تعیین

روش تحقیق

نمونه‌برداری و آنالیز آزمایشگاهی

نمونه‌برداری خاک به روش نمونه‌گیری تصادفی (در داخل

تحقیق، همچنین جامع و گام به گام بودن آن برای طبقه‌بندی شدت بیابان‌زایی منطقه دشت مهران، مدل مذکور برای ارزیابی بیابان‌زایی انتخاب گردید.

آماده‌سازی تصاویر ماهواره‌ای و شاخص‌های طیفی در نرم‌افزار ERDAS، شاخص‌های پوشش گیاهی، شوری و مؤلفه‌های اصلی (PCA) و انتقال طیفی (Tasseled cap) به صورت یک مدل گرافیکی (gmd) ساخته شده و مورد آزمون قرار گرفتند. شاخص‌های ایجاد شده شامل شاخص پوشش گیاهی (NDVI)، ۴ شاخص شوری (SI1, SI2, SI3, NDSI)، ۳ مؤلفه اصلی (PCA1, 2, 3) و ۳ شاخص انتقال طیفی (Tasseledcap1, 2, 3) بود که با توجه به روابط موجود در جدول‌های ۱، ۲ و ۳ محاسبه شدند، به اضافه ۷ باند ماهواره‌ای که در مجموع ۱۷ متغیر برای تجزیه و تحلیل آماری و تعیین ارتباط با شوری خاک بود مورد استفاده قرار گرفتند.

خصوصیات شیمیایی و فیزیکی به آزمایشگاه ارسال شدند. پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، میانگین EC و pH افق شناسایی سطحی و خاک تا عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری اندازه‌گیری و ثبت گردید. نقشه پراکنش نقاط نمونه‌برداری در محیط GIS تهیه شد. سپس توزیع مکانی نقاط با استفاده از شاخص مورانتز (Morans) بررسی گردید. مقدار مطلوب این شاخص زمانی است که پراکنش نقاط در قسمت کاملاً تصادفی نمودار باشد. اگر توزیع خوشه‌ای یا پخش شده باشد حالت مناسبی نیست، چون با استفاده از الگوی پراکنش نقاط شاخص مکانی مورانتز داده‌هایی که بیش از حد خوشه‌ای یا پخش شده هستند، تعیین شده و حذف شدند. تصاویر اخذ شده که دارای تصحیحات اتمسفری، رادیومتری و هندسی بودند پس از کنترل با نقشه‌های توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰ و تأیید مختصاتی مورد استفاده قرار گرفتند. توجه به مطابقت این مدل با شرایط محیط طبیعی کشور ایران و به‌ویژه منطقه مورد

جدول ۱- شاخص‌های انتقال طیفی

تشریح شاخص	شاخص‌های انتقال طیفی
شاخص انتقال طیفی (روشنایی)	(Brightness) TAS1
شاخص انتقال طیفی (سبزی‌نگی)	(Greenness) TAS2
شاخص انتقال طیفی (رطوبتی)	(Wetness) TAS3

جدول ۲- شاخص‌های شوری

تشریح شاخص	شاخص‌های شوری خاک
$(\sqrt{G \times R})$ شاخص شوری ۱	(Salinity index) SI1
$(\sqrt{G2+R2+NIR2})$ شاخص شوری ۲	(Salinity index) SI2
$(\sqrt{G2+R2})$ شاخص شوری ۳	(Salinity index) SI3
$(R-NIR / R+NIR)$ شاخص شوری نرمال شده	(Normalised NDSI difference index)

جدول ۳- شاخص پوشش گیاهی

تشریح شاخص	شاخص پوشش گیاهی
$(NIR-R / NIR+R)$ شاخص تفاضل پوشش گیاهی	(Normalised difference NDVI vegetation index)

ارزیابی شوری خاک

نتایج

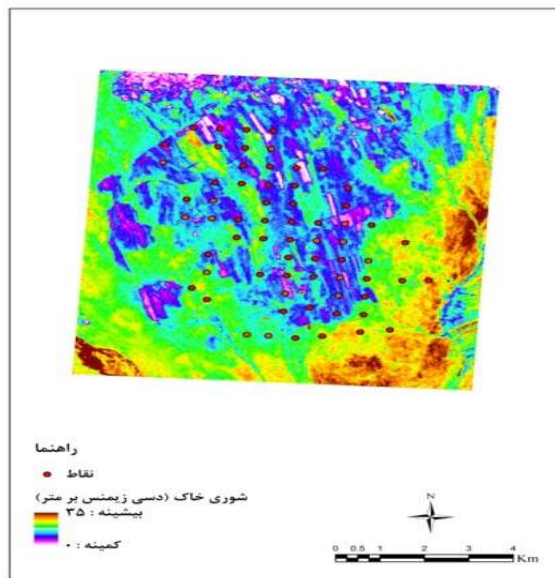
نتایج نشان داد که بین شوری خاک حاصل از آنالیز آزمایشگاهی با شاخص‌های مشتق شده از تصاویر، رابطه معناداری وجود دارد. در استان سمنان شوری اندازه‌گیری شده بین ۰ تا ۲۰ است. نمونه خاک در اراضی کشاورزی و زمین‌های اطراف آن از افق شناسایی سطحی خاک برداشت شد؛ در بین این شاخص‌ها، باند ۵ (۰/۶۵) و ۷ (۰/۷۵) ماهواره لندست پنچ (سنجنده TM) بیشترین همبستگی را با هدایت الکتریکی خاک داشتند. همچنین برای استان سمنان با استفاده از رگرسیون گام به گام رابطه خطی زیر به دست آمد، این رابطه دارای ضریب تبیین ۰/۶ است که حدود ۶۰٪ از تغییرات EC را می‌تواند پیش‌بینی نماید و نقشه پراکنش شوری خاک منطقه با استفاده از رابطه مذکور تهیه شد. میزان آماره‌های صحت‌سنجی RMSE و MBE نیز به ترتیب ۲/۸۳۳۰۷۸۹ و ۰/۸۰۸۸۶۷- گزارش شده است.

$$EC = (0.852 * \text{Band}7) + (-0.368 * \text{Band}5) - 22.006$$

پس از تعیین نتیجه نهایی آنالیز آزمایشگاه برای ارزیابی شوری خاک با استفاده از تصویر ماهواره‌ای، از مدل رگرسیونی استفاده گردید. برای برازش مدل رگرسیونی ابتدا اطلاعات EC افق سطحی خاک در داخل نرم‌افزار ArcGIS نسخه ۱۰،۲ بر روی تک تک ۱۷ متغیر همپوشانی (Overlay) شد؛ آنگاه پس از تلاقی (Cross)، مقادیر طیفی هریک از شاخص‌ها بر اساس مختصات هر نقطه در قالب جدول توصیفی استخراج و ذخیره گردید. داده‌های حاصل به نرم‌افزار آماری SPSS وارد شد. پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها و حذف داده‌های پرت، همبستگی بین شوری خاک با هریک از شاخص‌های به دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای بررسی شد. سپس با استفاده از روش‌های مختلف رگرسیونی شامل روش‌های رگرسیون اجباری، پله به پله، پیشرونده و پسرونده بر روی داده‌ها اعمال شده تا بهترین رابطه بین شاخص‌ها و شوری برآورد شود. در این روابط EC مربوط به آنالیز آزمایشگاهی به عنوان متغیر وابسته (X) و باندها و شاخص‌های طیفی به دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای به عنوان متغیر مستقل (Y) در نظر گرفته شد.

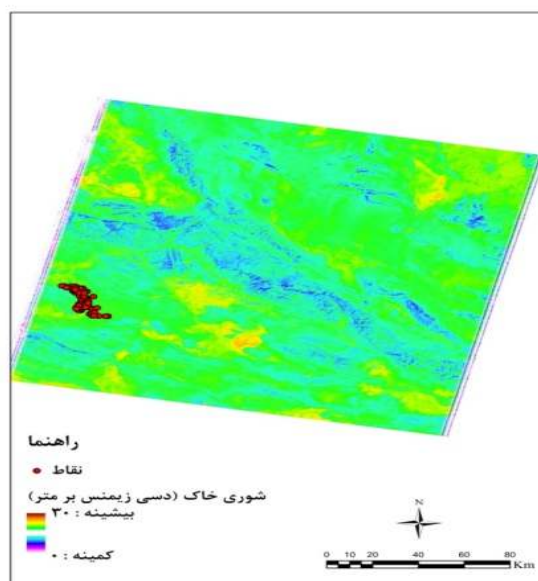
جدول ۴- مدل رگرسیون گام به گام استان سمنان

مدل	ضریب رگرسیونی استاندارد نشده	خطای استاندارد	ضریب رگرسیونی استاندارد شده	t	سطح معناداری	ضریب همبستگی	ضریب تعیین	خطای استاندارد	خطای استاندارد شده
	B								
ثابت	-۲۲/۰۰۶	۴/۹۴	-۴/۴۴۹	۰	۰	۰/۷۷۷ ^b	۰/۶۰۴	۰/۵۸۵	۳/۶۱۹۴۵
باند ۷	۰/۸۵۲	۰/۱۹۱	۱/۴۳۳	۴/۴۵۶	۰				
باند ۵	-۰/۳۶۵	۰/۱۶۳	-۰/۷۲۰	-۲/۲۳۹	۰/۳۰				



شکل ۲- نقشه شوری برآورد شده استان سمنان
 جدول ۵- مدل رگرسیون گام به گام استان فارس

خطای استاندارد برآورد شده	ضریب تعیین تعدیل شده	ضریب تعیین	ضریب همبستگی	سطح معناداری	t	ضریب رگرسیونی استاندارد شده	ضریب رگرسیونی استاندارد نشده	مدل
						خطای استاندارد B		
				۰/۰۹۳	-۱/۷۲۷		۱۹/۷ -۳۳/۶۹	ثابت
				۰/۰۲۲	۱/۳۹۴	۲/۰۷۱	۰/۱۴۷ -۰/۳۵۲	باند ۱
				۰/۳۳۳	-۰/۹۸۲	-۱/۶۰۲	۰/۳۷۰ -۳۶۳	باند ۲
				۰/۷۲۳	۰/۳۵۸	۱/۳۵۲	۰/۵۱۵ -۰/۱۸۴	باند ۳
				۰/۰۴۹	۲/۰۳۸	۴/۵۱۲	۰/۴۷۶ -۰/۹۷۰	باند ۴
				۰/۰۳۱	۲/۲۵۲	۰/۴۹۴	۰/۱۲۸ -۰/۲۸۹	باند ۶
				۰/۱۹۵	۱/۳۲۱	۰/۹۷۴	۰/۰۹۱ -۰/۱۲۰	باند ۷
۲/۱۰۷۱۹۰۷	۰/۲۸۲	۰/۴۴۱	۰/۶۶۴					شاخص شوری ۲
				۰/۱۲۰	-۱/۵۹۴	-۶/۳۰۹	۰/۴۹۰ -۰/۷۸۲	شاخص شوری نرمال شده
				۰/۱۷۲	-۱/۳۹۵	-۰/۳۶۷	۱/۵۱ -۲/۱۱۵	شاخص تفاضل پوشش گیاهی
				۰/۴۰۴	-۰/۸۴۴	-۲/۰۶۶	۵۶/۱ -۴۷/۴۳	شاخص انتقال طیفی (رطوبتی)
				۰/۲۱۲	۱/۲۷۲	۰/۸۷۱	۰/۱۳۸ -۰/۱۷۵	



شکل ۳- نقشه شوری برآورد شده استان فارس

ماهواره لندست پنچ (سنجنده TM) بیشترین همبستگی (۰,۴۷) را با هدایت الکتریکی خاک دارد. پس از ارزیابی دقت روابط رگرسیونی ارائه شده با استفاده از نقاط آزمون، روش رگرسیونی اجباری با ضریب تبیین ۶۵۲٪ برای منطقه مورد مطالعه انتخاب گردید که نتیجه حاصل از آن در شکل ۴ نشان داده شده است. مقادیر RMSE و MBE برای این روش به ترتیب ۱۰/۳ و ۰/۵۱ می‌باشد.

$$EC = 1697.205 + (5.467 * B1) + (-2.812 * B2) + (-4.968 * B3) + (-2.507 * B4) + (3.170 * B6) + (-5.120 * B7) + (3.976 * PCAB1) + (-1.896 * PCAB2) + (-7.851 * PCAB3) + (7.7 * TasseledcapB3) + (.439 * NDSI) + (87.562 * NDVI)$$

در استان فارس شاخص شوری و شاخص شوری نرمال شده ماهواره لندست بیشترین همبستگی (۰/۳۵) را با هدایت الکتریکی مشاهده‌ای خاک داشته است. پس از ارزیابی دقت روابط آماری ارائه شده، روش رگرسیونی اجباری (Enter) برای منطقه مورد مطالعه انتخاب گردید (R=66%) که میزان آماره‌های RMSE و MBE برای این رابطه به ترتیب ۲/۵۸ و ۰/۶۶۴۷۵ بود.

$$EC = -33.699 + (.352 * B1) + (-.363 * B2) + (.184 * B3) + (.970 * B4) + (.289 * B6) + (.120 * B7) + (-.782 * SI2) + (.175 * TasseledcapB3) + (-2.115 * NDSI) + (-47.438 * NDVI)$$

در استان کرمان شوری اندازه‌گیری شده بین ۰ تا ۴۰ است که نمونه خاک در اراضی با کاربری‌های مختلف گرفته شده است. در بین این شاخص‌ها، شاخص انتقال طیفی (رطوبتی)

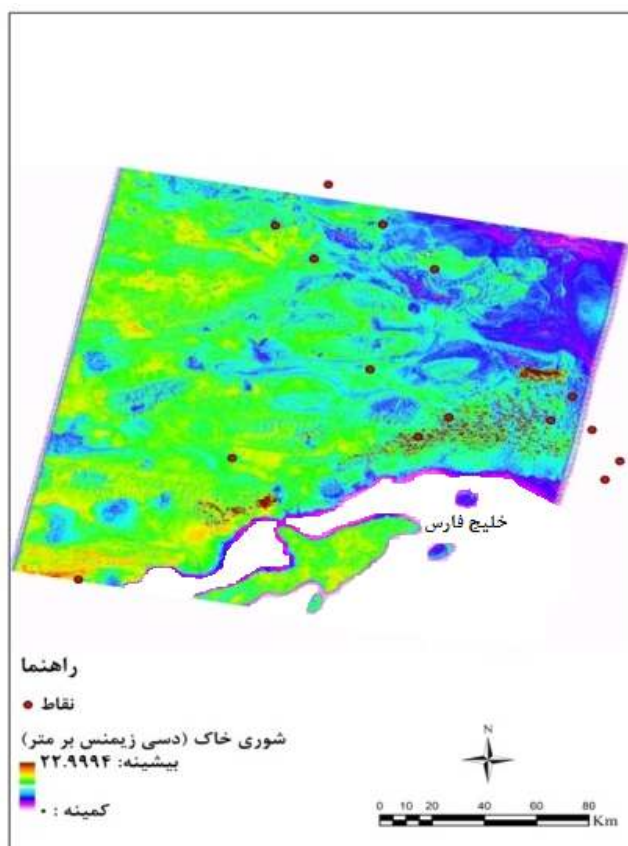
جدول ۶- مدل رگرسیون اجباری استان کرمان

خطای استاندارد برآورد شده	ضریب تعیین تعدیل شده	ضریب تعیین	ضریب همبستگی	سطح معناداری	t	ضریب رگرسیونی	ضریب رگرسیونی	مدل
						استاندارد شده	استاندارد نشده	
						خطای استاندارد		
						B		
				۰/۴۳۲	۰/۸۰۷	۲۱۰۳/۹۴	۱۶۹۷/۲۰	ثابت
				۰/۲۶۵	۱/۱۵۶	۴/۳۴۹	۴/۷۲۹	باند ۱
۸/۶۶۸۹۲۹	۰/۳۹۲	۰/۶۵۲	۰/۸۰۸a	۰/۵۹۴	-۰/۵۴۴	-۱/۵۵۸	۵/۱۶۷	باند ۲
				۰/۶۴۳	-۰/۴۷۲	-۴/۱۶۵	۱۰/۵۲۲	باند ۳
				۰/۵۸۶	-۰/۵۵۶	-۱/۷۵۸	۴/۵۱۱	باند ۴
				۰/۵۵۷	۰/۶۰۰	۱/۲۵۱	۵/۲۸۴	باند ۵
				۰/۳۱۳	-۱/۰۴۱	-۴/۴۷۶	۴/۹۱۷	باند ۷
				۰/۶۶۱	۰/۴۴۷	۶/۲۵۴	۸/۸۹۹	مؤلفه اصلی ۱
				۰/۶۷۰	-۰/۴۳۴	-۲/۳۸۱	۴/۳۶۵	مؤلفه اصلی ۲
				۰/۳۸۰	-۰/۹۰۲	-۳/۳۲۴	۸/۷۰۳	مؤلفه اصلی ۳
				۰/۵۴۴	۰/۶۲۱	۱/۹۵۵	۱۲/۴۰۶	شاخص انتقال طیفی (رطوبتی)
				۰/۹۶۹	۰/۰۴۰	-۰/۰۱۷	۱۰/۹۷۲	شاخص شوری نرمال شده
				۰/۹۱۵	۰/۱۰۸	-۰/۲۹۷	۸۰۹/۴۵۶	شاخص شوری نرمال شده

مختلف استفاده شد. روش گام به گام با ضریب تبیین ۰/۵۱۸ انتخاب گردید. میزان آماره‌های صحت‌سنجی RMSE و MBE نیز به ترتیب ۲/۵۰۳۸۹ و ۰/۳۵۴۹- گزارش شده است. نقشه شوری خاک در شکل ۵ آورده شده است.

$$EC = -7.476 + (0.069 * SI2)$$

در استان هرمزگان شوری اندازه‌گیری شده بین ۰ تا ۱۰ است که به صورت پراکنده در کل استان برداشت شده است. در بین این شاخص‌ها، شاخص شوری دو (SI2) ماهواره لندست پنچ (سنجنده TM) بیشترین همبستگی (۰,۷۲) را با هدایت الکتریکی خاک دارد. در نرم‌افزار آماری SPSS برای بررسی روابط بین شاخص‌ها و شوری خاک از رگرسیون‌های



شکل ۵- نقشه شوری برآورد شده استان هرمزگان

مختلفی می‌توانند تغییرات شوری و سطحی منطقه را توصیف نمایند.

بحث

خاک‌های شور و سدیمی دارای مقادیر زیادی کلسیم، سدیم یا هر دو هستند. در آنهایی که سدیم زیاد است pH، ۵/۸ یا بیشتر می‌باشد. وقتی pH خاک ۸/۵ باشد، کمبود برخی از عناصر کم مصرف مانند Fe, Mn, Cu و Zn بروز می‌کند و بر رشد گیاه اثر منفی می‌گذارد. همچنین غلظت بالای سدیم به ریشه‌های گیاه صدمه می‌زند و تأثیر سوئی بر رشد گیاه دارد، بعلاوه اینکه خاک‌های سدیمی با بیش از ۲۰ درصد رس به دلیل تخریب خاکدانه‌های ناشی از جذب یونهای سدیم هیدراته بر روی سطح رس دارای ساختمان فیزیکی نامناسب می‌باشند. این خاک‌ها دارای

مطابق نتایج به دست آمده در این پژوهش و بررسی ارتباط شوری با باندها و شاخص‌های طیفی استان‌های مختلف، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای ارزیابی شوری به زمان و مکان منطقه مورد مطالعه بستگی دارد. اگرچه ممکن است یک باند یا شاخص طیفی در منطقه‌ای اهمیت نداشته باشد، اما می‌تواند در مناطق دیگر کارآمد باشد. به عنوان مثال در استان فارس میزان شوری خاک زمین‌های کشاورزی و اراضی اطراف آن با شاخص شوری نرمال شده بالاترین همبستگی را دارد، در صورتی که در استان سمنان باندهای ۵ و ۷ بیشترین همبستگی را با میزان شوری خاک دارند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در مناطق مختلف، با درجات متفاوت شوری و نسبت‌های متنوع از نمک‌ها، شرایط اقلیمی مختلف و درصد رطوبت متفاوت باندها و شاخص‌های طیفی

- form remotely sensed data and geographic information system. FIGXXII. International Congress, Washington, D.C. USA.
- Barzegar, A., 2000. Sodic & saline soils. Chamran university Publication, Iran, 237p.
 - Bouaziz, M., Matschullat, J. and Gloaguen, R., 2011. Improved remote sensing detection of soil salinity from a semi-arid climate in Northeast Brazil. *Comptes Rendus Geoscience*, 343(11), 795-803.
 - Darvish sefat, M., Damavandi, A. A., Jafari, M. and Zehtabian, Gh., 2000. Study of Saline Soil Classification using Landsat TM. *Desert Journal*, 5(2):30-42.
 - Dashtekian, K., Pakparvar, M., and Abdollahi, J., 2008. Study of soil salinity preparing methods by using landsat images in Marvast. *Iranian journal of Range and Desert Reseach*, 15(2), 139-157.
 - Dwivedi, R. S. and Rao, B. R. M., 1992. The selection of the best possible Landsat TM band combination for delineating salt-affected soils. *International Journal of Remote Sensing*, 13(11), 2051-2058.
 - Eldeiry, A. A. and Garcia, L. A., 2008. Detecting soil salinity in alfalfa fields using spatial modeling and remote sensing. *Soil Science Society of America Journal*, 72(1), 201-211.
 - Homae, M. and Schmidhalter, U., 2008. Water integration by plants root under non-uniform soil salinity. *Journal of Irrigation Science*, 27:83-95.
 - Homaiy, M., 2002. Response of Plants to Salinity. Draining and Irrigation National Committee. Tehran, Iran, p. 98.
 - Homaiy, M., 2010. Modeling Function in soil Physic, Lecture of soil science, Division in Tarbiat Modarres, Agriculture Collage.
 - Judkins, G. and Myint, S., 2012. Spatial variation of soil salinity in the Mexicali valley, Mexico: Application of a practical method for agricultural monitoring. *Journal of Environmental management*, 50(3), 478-489.
 - Karavanova, E. I., 2000. Application of remote sensing techniques for the study of soil salinity in semi-arid Uzbekistan.
 - Metternicht, G. I. and Zinck, J. A., 2003. Remote sensing of soil salinity potentials and constraints. *Journal of Remote Sensing of Environment*, 85:1-20.
 - Mitsuchi, M., Wichaidit, P. and Jeungnijirund, S., 1989. Soils of the northeast plateau, Thailand. *Technical Bulletin of the Tropical Agriculture Research Center*, 25-55.
 - Noroozi, A. A., 2011. A new model for predicting soil salinization based on integrated multi temporal-spatial satellite imagery. A Thesis Present for Degree of Ph.D. Division in Tarbiat Modarres, Agriculture

نفوذپذیری کمی بوده و سله می‌بندند و محیط نامناسبی برای رشد گیاه به حساب می‌آیند. البته کل نمک‌های محلول در خاک‌های سدیمی ممکن است زیاد باشد. در خاک‌های شور غلظت نمک‌های محلول بالا است و اگر کاتیون‌های غالب Mg یا Na باشند قلیایی هستند، مع‌ذالك ممکن است در خاک‌های شور H+ تبادل‌پذیری زیاد شده و pH کمتر از ۴ باشد که در چنین خاک‌هایی که به شدت اسیدی هستند، قابلیت دسترسی عناصر غذایی تحت تأثیر قرار می‌گیرد.

یکی از مهمترین مشکلات کشاورزی در ایران، شوری اراضی است. بنابراین ارزیابی و شناسایی پهنه‌های شوری در مدیریت طرح‌های کشاورزی حائز اهمیت می‌باشد. در این راستا استفاده و بهره‌گیری از قابلیت داده‌های ماهواره‌ای با توجه به دقت قابل قبول در تهیه نقشه پهنه‌های شوری مورد نظر این پژوهش بود. نتایج نشان داد که بین شوری خاک حاصل از آنالیز آزمایشگاهی با شاخص‌های مشتق شده از تصاویر، رابطه معناداری وجود دارد. همچنین درصد همبستگی میزان شوری با باندها و شاخص‌های طیفی مختلف، با توجه به درجه شوری و نسبت‌های متنوع از نمک‌ها، شرایط اقلیمی و جغرافیایی متفاوت است. همان‌گونه که در استان‌های سمنان و هرمزگان روابط ساده با باندهای ماهواره‌ای (باند ۵ و ۷) و شاخص شوری (SI2) و در استان فارس و کرمان مجموعه‌ای از شاخص‌های شوری نرمال، انتقال طیفی (رطوبتی) و مؤلفه اصلی (PCA) برقرار شد. روابط ارائه شده برای هر استان با توجه به میزان ضریب تبیین و میانگین مربعات خطا از دقت مناسبی برخوردار بود. البته استفاده از این روابط برای مناطقی با شرایط مشابه هر استان توصیه می‌شود.

منابع مورد استفاده

- Alavi Panah, S. K., 2000. Investigation and evaluation of the use of the soil salinity map. *Journal of Desert*, 5:1-15.
- Alavi Panah, S. K., Zehtabian, G. R., 2002. A data base approach for soil salinity mapping and generalization

- 380:356-361.
- Zarei, G., Homaei, M. and Liaghat, A. M., 2009. Modeling transient evaporation from descending shallow groundwater table based on brooks–corey retention function. *Water Resources Management*, 23:2867-2876.
 - Zehtabian, Gh., Tayeb, M. and Souri, M., 2006. Studying the salinization factors in kerman province (case study: kabootarkhan plain). *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 13(4): 318-384.
 - Collage.
 - Rahmatizadeh, A., Jafari, M. and Karimian Eghbal, M., 2014. Identifying saline lands and halophytes of Qom province, *Iranian journal of Range and Desert Research*, 21(4), 580-590.
 - Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, 2008. *National Atlas of Iran Watershed*.
 - Zarei, G., Homaei, M., Liaghat, A. M. and Hoorfar, A. H., 2010. A model for soil surface evaporation based on Campbell's retention curve. *Journal of hydrology*,

Soil salinity mapping using spectral index and Landsat 8 in arid zones

A.A. Noroozi^{1*}, A. Abkar², M. Damizadeh³ and B. Arasto⁴

1*- Corresponding author, Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Range Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran, Email: noroozi.aa@gmail.com

2- Academic Member, Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Kerman, Iran

3- Academic Member, Hormozgan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Bandarabbas, Iran

4- Academic Member, Semnan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Semnan, Iran

Received:04/09/2018

Accepted:08/13/2018

Abstract

This study was implemented to prepare a model for soil salinity mapping using Landsat5 images in several provinces including Bushehr, Semnan, Fars, Kerman and Hormozgan. At the beginning, 50-100 samples from soil surface were taken and sent to the Laboratory. Then in order to evaluate and identify soil salinity, TM Landsat satellite images and statistical models combined with satellite's spectral indices were used. After evaluating the accuracy of statistical models using test points, the best model for the study area was selected and the salinity maps were developed based on the regression model. The results showed a significant relationship between soil salinity and spectral index. In Fars province, NDSI salinity index had the highest correlation with soil electrical conductivity (0.35) with a regression coefficient of 66% and RMSE and MBE statistics of 2.58 and 0.66, respectively. In Kerman province, the tasseled cap three index had the highest correlation with soil electrical conductivity (0.47) with a regression method coefficient of 65%, and RMSE and MBE of 10.3 and 0.51, respectively. In Hormozgan province, the results showed high correlation with soil salinity indicators SI2 level of 72 percent. Stepwise method with R-square of 0.518 was selected for the Hormozgan province where the RMSE and MBE were reported to be 2.5 and -0.35, respectively. Also in Semnan province, 5 and 7 bands of Landsat showed the highest correlation with soil electrical conductivity (respectively 0.65 and 0.75). By using stepwise regression, the linear relation with R-square of 0.6 was obtained, and RMSE and MBE values were reported to be 2.83 and -0.81, respectively.

Keywords: Landsat, soil salinity prediction, spatial statistical mode, spectral indexes.