

اثر مقایسه شاخص‌های مختلف استخراج شده از تصاویر ماهواره لندست برای پهنه‌بندی شوری خاک در مزرعه نمونه ارتش گرگان

* رحیم اژیرابی^۱، بهنام کامکار^۲ و امید عبدی^۳

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه کشاورزی اکولوژیک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، دانشیار گروه زراعت،

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، کارشناس ارشد اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۰/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۴/۱۱

چکیده

در چند دهه گذشته استفاده از روش‌های دورسنجی برای تهیه نقشه شوری خاک و پایش تغییرات آن توسعه پیدا کرده است. این پژوهش در راستای ارزیابی امکان استفاده از این تکنیک به منظور تهیه نقشه‌های شوری خاک در مزرعه نمونه ارتش گرگان انجام شد. در گام نخست، ۱۰۱ نمونه خاک در دو مقطع زمانی اواخر اسفند سال ۱۳۹۰ و اوایل خرداد سال ۱۳۹۱ از عمق ۳۰ سانتی متری مزرعه تهیه و هدایت الکتریکی به وسیله دستگاه هدایت سنج و اسیدیمتر با دستگاه pH متر، اندازه‌گیری گردید. در گام بعد، با استفاده از ۷ باند تصاویر ماهواره لندست ۷ (سنجنده ETM⁺) مربوط به سال ۲۰۱۲، شاخص‌های مختلفی از جمله SI₁، SI₂، SI₃، BI، NDSI، DVI، IPVI، PD₃₂₂ و شاخص‌های ترکیبی از باند حرارتی تهیه و سپس ارزش روشنایی مربوط به نقاط نمونه‌برداری استخراج گردید. با بررسی همبستگی بین داده‌های به دست آمده از تجزیه آزمایشگاهی نمونه‌های خاک و ارزش روشنایی تصاویر دقت شاخص‌های مورد مطالعه، نشان داد که شاخص‌های شوری (SI) بیش‌ترین همبستگی را با داده‌های زمینی دارند. در میان شاخص‌های مورد مطالعه شاخص‌های SI₁ و SI₂ به ترتیب با ضریب تبیین ۰/۵۷ و ۰/۶۴۶ بیش‌ترین قابلیت و شاخص DVI (با مجذور میانگین مربعات معادل ۱/۶۸) کم‌ترین قابلیت را در بارزسازی و تهیه نقشه‌های مقدار شوری خاک (دسی‌زیمنس بر متر) در دو مرحله نمونه‌برداری خاک (مرحله پنجه‌زنی گندم و بعد از برداشت گندم) نشان دادند.

واژه‌های کلیدی: ضریب همبستگی، شاخص شوری، ارزیابی دقت، سنجنده ETM⁺

مقدمه

جایگزین راحت و ارزان قیمت همواره مورد توجه پژوهشگران می‌باشد. امروزه پیشرفت علوم، قابلیت استفاده از فناوری‌های جدید در دریافت و پردازش داده‌ها از طریق سنجنده‌های سنجش از دور و به‌کارگیری نرم‌افزارها و سیستم‌های پردازش اطلاعات را فراهم آورده‌اند و نقش بارز استفاده از این تکنیک‌ها

بررسی تغییرات شوری خاک به شیوه‌های مرسوم به‌ویژه در مناطق با وسعت زیاد، گران و زمان‌بر است. بنابراین برای پایش و بررسی روند تغییرات شوری خاک در سطوح گسترده استفاده از روش‌های

* مسئول مکاتبه: r.azhirabi@yahoo.com

دوودی و سرینواس (۱۹۹۸)، خاک‌های تحت‌تأثیر نمک جلگه‌های آبرفتی ایندوگانجیتیک هندوستان را با استفاده از داده‌های به‌دست آمده از ماهواره لندست سال‌های ۱۹۷۵ و ۱۹۹۲ مطالعه کردند. عبدی‌نام (۲۰۰۴) با توجه به همبستگی خوب داده‌های زمینی شوری خاک با داده‌های رقومی باند ۷ سنجنده ETM^+ ماهواره لندست از این باند برای تهیه نقشه شوری خاک در دشت قزوین استفاده کرد. در مطالعه دیگری در منطقه آق‌قلای استان گلستان (۲۰۰۹)، نقشه شوری خاک با استفاده از داده‌های دورسنجی ETM^+ تهیه گردید. نتایج این مطالعه نشان داد که ارتباط معنی‌دار مثبت در سطح ۱ درصد بین مقادیر هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک با باند ۴ اصلی، بین مقادیر هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک با شاخص روشنایی، بین مقادیر هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک با شاخص سبزیگی به‌دست آمده از تبدیل تسلدکپ و بین مقادیر هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک با شاخص به‌دست آمده از ادغام باند پانکروماتیک با باند ۴ اصلی وجود دارد (تاج‌گردان و همکاران، ۲۰۰۹). چیت‌ساز (۲۰۰۰)، در تهیه نقشه شوری و قلیائیت خاک با استفاده از داده‌های سنجنده TM ماهواره لندست در شمال‌شرقی اصفهان با تجزیه و تحلیل رگرسیون نشان دادند که باندهای TM_4 ، TM_5 و TM_6 بهترین همبستگی را با مقادیر هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک نمونه‌های خاک سطحی منطقه مطالعاتی و تغییرات آن داشتند.

بررسی‌ها نشان می‌دهد که مطالعات زیادی در زمینه وجود همبستگی بین تصاویر ماهواره‌ای مختلف و شاخص‌های طیفی متعدد مربوط به خاک با داده‌های میدانی در سطح کشور و جهان

در مدیریت منابع طبیعی و به‌ویژه منابع خاک و آب به‌طور روزافزون در حال افزایش می‌باشد. استفاده از فناوری‌های جدید با هدف کاهش هزینه و افزایش دقت و سرعت در انجام پروژه‌ها صورت می‌پذیرد. داده‌های ماهواره‌ای شامل اطلاعات بسیار سودمند از ویژگی‌های خاک سطحی شامل بافت خاک، مواد معدنی خاک، ماده‌آلی، شوری و مانند آن می‌باشند (علوی‌پناه، ۱۹۹۷). در حال حاضر از این قابلیت داده‌های سنجنده از دور و انواع شاخص‌های به‌دست آمده از ترکیب باندهای مختلف ماهواره‌ها به‌نحو گسترده‌ای برای تهیه نقشه‌های شوری خاک استفاده می‌شود. اساس کاربرد این شاخص‌ها تغییرپذیری ویژگی‌های طیفی براساس تغییرپذیری ویژگی‌های خاک است.

خان و همکاران (۲۰۰۱) به‌منظور بررسی رابطه شوری خاک و انواع ترکیب باندهای به‌دست آمده از سنجنده‌های ماهواره‌ها در پاکستان به‌ویژه در خاک‌های شور و قلیا از شاخص‌هایی مانند شاخص تفاوت شوری، شاخص‌های پوشش گیاهی، آنالیزهای PCA و شاخص آب استفاده نمودند. این پژوهشگران با استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی نشان دادند که شاخص‌های BI^1 ، SI^2 و $NDSI^3$ بیش‌ترین همبستگی را با درجات شوری در خاک‌های متأثر از نمک دارند. محمدی و شتایی (۲۰۰۹) در ارزیابی حساسیت شاخص‌های طیفی نشان دادند که شاخص‌های $NDWI^4$ و $Greenness$ در کل محدوده حجم سرپا، به‌ترتیب دارای حساسیت بیش‌تری در مقایسه با شاخص‌های DVI^5 ، RAI^6 و $GEMI^7$ نسبت به حجم سرپا در منطقه مورد مطالعه می‌باشند.

- 1- Brightness index
- 2- Saline Index
- 3- Normalized Difference Salinity Index
- 4- Normalized Difference Water Index
- 5- Difference Vegetation Index
- 6- Reflectance Absorption Index
- 7- Global Environmental Monitoring Index

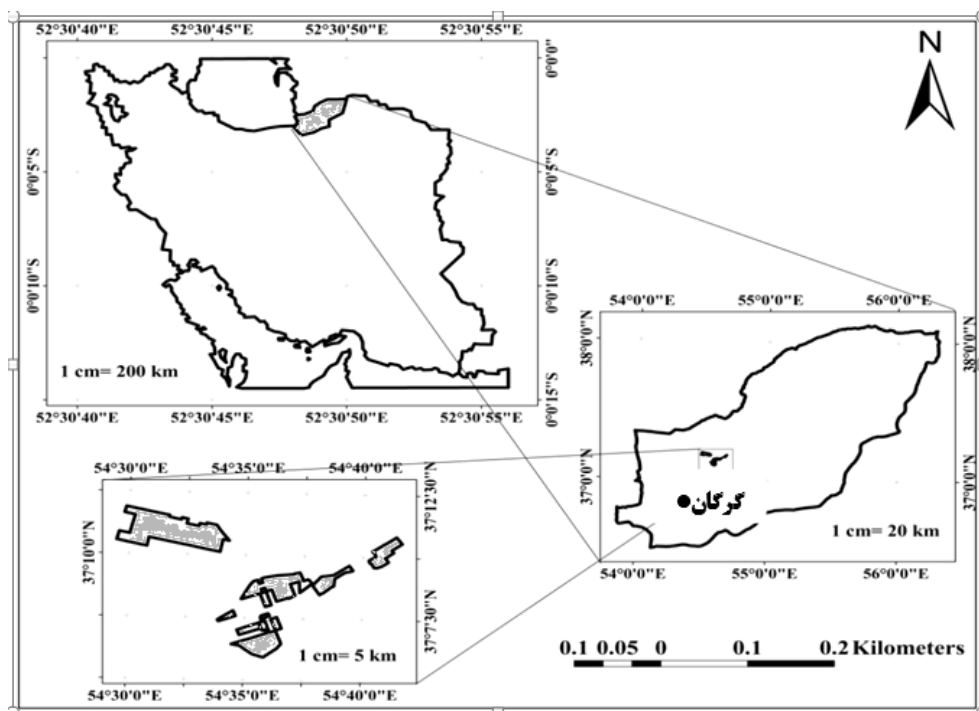
مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ در مزارع نمونه ارتش واقع در شمال استان گلستان و شهرستان آق‌قلا اجرا گردید. محدوده مورد نظر در مختصات جغرافیایی ۳۷ درجه و ۵ دقیقه عرض شمالی و ۵۴ درجه و ۴۱ دقیقه طول شرقی در ارتفاع ۱۳ متر از سطح دریا قرار دارد (شکل ۱). اقلیم منطقه براساس طبقه‌بندی اقلیمی آمبروزه، دارای اقلیم نوع نیمه‌خشک معتدل می‌باشد.

همچنین بافت خاک مزارع آزمایشی از نوع سیلتی رسی و وسعت اراضی این مزرعه حدود ۴ هزار هکتار می‌باشد. در سطح مزرعه علاوه بر گندم، قطعاتی به گیاهان مختلف از جمله جو، کلزا و تربیتکاله اختصاص یافته بود.

انجام گرفته است (فریفته و همکاران، ۲۰۰۶؛ ساکسنا و همکاران، ۲۰۰۳). مطالعات صحرایی و اندازه‌گیری‌های رادیومتری نشان داده است که خاک‌های شور و قلیایی در مقایسه با خاک‌های غیرشور در ناحیه مرئی و مادون قرمز طیف امواج الکترومغناطیس دارای بازتاب طیفی مشخصی هستند که غالباً از آن می‌توان برای تعیین رطوبت و شوری خاک استفاده کرد (رائو و همکاران، ۱۹۹۵).

این مطالعه با هدف مقایسه شاخص‌های مختلف به‌دست آمده از تصاویر ماهواره از جمله SI_1 ، SI_2 ، SI_3 ، BI ، $NDSI$ ، DVI ، $IPVI$ ، PD_{322} و شاخص‌های ترکیبی از باند حرارتی در بارزسازی اراضی شور و تعیین دقت این شاخص‌ها در تعیین روند تغییرات شوری در طی زمان در مزارع گندم مزرعه نمونه ارتش گرگان صورت پذیرفت.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی مزارع گندم و نمونه‌های برداشت شده در مزرعه نمونه ارتش گرگان.

روش کار

عملیات میدانی و نمونه برداری: پس از انتخاب منطقه مورد مطالعه بر اساس تصاویر ماهواره‌ای و بازدید زمینی، برای نمونه‌گیری از خاک سطحی یک شبکه نمونه‌برداری به روش، خوشه‌ای/سیستماتیک که هر نمونه ۹ پیکسل مجاور را پوشش می‌داد طراحی و پیاده گردید. از محل هر نقطه توسط اوگر تا عمق ۳۰ سانتی‌متری از سطح خاک نمونه‌گیری شد. نمونه‌برداری خاک در دو مرحله انجام گرفت. نمونه‌برداری اول در تاریخ ۹۰/۱۲/۲۲ تا ۹۰/۱۲/۲۹ و نمونه‌برداری دوم در تاریخ ۹۱/۳/۲۸ تا ۹۱/۴/۴ انجام شد. دلیل دو مرحله‌ای بودن نمونه‌برداری برای تعیین مقدار تفاوت شوری خاک این بود که تفاوت میزان شوری در مرحله‌ای که گیاه در زمین است و آبیاری صورت می‌پذیرد با وقتی که گیاه نیست و آبیاری هم انجام نمی‌گیرد مشخص شود (تغییرات میزان شوری در طی فصل رشد).

تجزیه‌های آزمایشگاهی: تعداد ۱۰۱ نمونه خاک مربوط به نقاط نمونه‌برداری شده در منطقه مورد مطالعه، پس از خشک شدن در هوای آزاد کوبیده شده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. در مرحله بعد، هدایت الکتریکی به وسیله دستگاه هدایت‌سنج و اسیدیته با دستگاه pH متر، اندازه‌گیری گردید (فرناندز و همکاران، ۲۰۰۶).

پردازش داده‌ها: برای تهیه نقشه شوری خاک از قابلیت نرم‌افزار آرک/جی‌آی‌اس نسخه ۹٫۳ استفاده شد. در ابتدا خصوصیات آماری داده‌ها شامل فراوانی، میانگین، میانه، واریانس، انحراف معیار، چولگی و

کشیدگی محاسبه گردید. پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها و تبدیل داده‌های غیرنرمال به نرمال، الگوهای تغییرنا برای خصوصیات مورد نظر ترسیم و بهترین الگوی تغییرنا انتخاب گردید. ناهمسانگردی داده‌ها در منطقه مورد بررسی قرار گرفت (حسینی‌پاک، ۱۹۹۸). برای بازسازی خاک‌های شور به روش دورسنجی از تصاویر ماهواره لندست ۷ (سنجنده ETM^+) مربوط به دو تاریخ نوزدهم مارس (۲۸ اسفند) و هجدهم جون (۲۸ خرداد) سال ۲۰۱۱ استفاده شد. تصاویر ماهواره‌ای منطقه از نظر خطای تصویر مورد بررسی قرار گرفت و تصاویر با بهره‌گیری از توابع ریاضی چند جمله‌ای و استفاده از ۱۰۱ نقطه کنترل زمینی زمین مرجع گردید. به کمک روش‌های تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی و نسبت‌گیری، اقدام به ساخت تصاویر جدید از ۴ باند ماهواره لندست ۷ گردید. به منظور رفع خطای پیکسل‌های بدون ارزش در برخی از نواحی تصویر، از تلفیق سنسجش از دور و نمونه‌های زمینی استفاده شد، به شکلی که در جاهایی که DN تصاویر واجد ارزش بود، از رابطه مقدار EC و DN پیکسل‌ها و در مواردی که DN ها بدون ارزش بود از درون‌یابی زمین‌آمار با استفاده از نقاط کنترل زمینی بهره برده شد. در جدول ۱ نحوه ترکیب باندهای مختلف برای ایجاد شاخص‌های مورد نیاز در این پژوهش ارائه شده است. هدف از ترکیب باندها بازسازی سطح خاک‌های شور از دیگر مناطق بود.

جدول ۱- ترکیب باندها و شاخص‌های مورد استفاده در پژوهش.

شاخص	منبع	فرمول	شماره	شاخص‌های باند حرارتی (علوی پناه، ۱۹۹۸)
SI ₁	زارکوتزادا و همکاران، (۲۰۰۵)	$\sqrt{B_7 * B_3}$	۱	$\frac{(B_7 - B_1)}{(B_7 + B_1)}$
SI ₂	(زارکوتزادا و همکاران، ۲۰۰۵)	$\sqrt{B_7^2 + B_3^2 + B_5^2}$	۲	$\frac{(B_7 - B_1)}{(B_7 + B_1)} + 0.5$
SI ₃	زارکوتزادا و همکاران، (۲۰۰۵)	$\sqrt{B_7^2 + B_3^2}$	۳	$\frac{B_1}{(B_7 + B_5)}$
BI	(گائو، ۱۹۹۶)	$\sqrt{B_7^2 + B_5^2}$	۴	$\frac{B_1}{(B_5 + B_7)}$
NDSI	(رونس و همکاران، ۱۹۷۴)	$\frac{(B_3 - B_5)}{(B_3 + B_5)}$	۵	$\frac{(B_3 - B_1)}{(B_3 + B_1)}$
PD ₃₂₂	(بارنس، ۱۹۹۲)	$\frac{B_3 - B_7}{B_3 + B_7}$		
IPVI	(وایگند و ریچاردسون، ۱۹۹۷)	$\frac{B_5}{B_5 + B_3}$		
DVI	(رنوگن و برون، ۱۹۹۵)	$B_5 - B_3$		

B_۱ و B_۵ به ترتیب، دومین، سومین، چهارمین، پنجمین و ششمین باندهای طیفی ماهواره لندست ۷ هستند.

محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی آرک/ جی آی اس فراخوانی و روی هم‌اندازی^۵ شد. بر روی تصاویر ترکیبات بانندی میانگین ارزش رقومی ۹ پیکسل اطراف هر نقطه نمونه برداری شده در عملیات میدانی استخراج گردید. داده‌های استخراج شده از باندهای اصلی و شاخص‌ها به همراه داده‌های مربوط به شوری نمونه‌های خاک به محیط نرم‌افزار SAS نسخه ۹,۳,۱ وارد و همبستگی بین آن‌ها بررسی شد. تجزیه تحلیل‌های آماری ضروری انجام شد و دقت برآوردها با استفاده از آماره‌های ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE)^۶، میانگین مطلق خطا (MAE)^۷ و میانگین اریب خطا (MBE)^۸ مورد ارزیابی صورت گرفت. در نهایت ارزش پیکسلی داده شده از رابطه رگرسیونی به دست آمده بین شاخص‌های استحصالی از تصویر ماهواره و مقادیر اندازه‌گیری شده در هر ۱۰۱ نقطه به

با توجه به جدول ۱ شاخص‌های در نظر گرفته شده برای دستیابی به اهداف این پژوهش شامل شاخص‌های شوری SI₁، SI₂، SI₃، BI، NDSI، DVI، IPVI، PD₃₂₂^۱ و ۵ شاخص دیگر که از ترکیب یک باند حرارتی با دیگر باندهای ماهواره لندست تشکیل شده‌اند، می‌باشد.

به منظور پردازش تصاویر در مرحله اول، اقدام به تصحیح هندسی باندهای مختلف تصویر ماهواره لندست گردید. در تجزیه و تحلیل و پردازش داده‌ها در این پژوهش از نرم‌افزارهای ArcGIS نسخه ۹,۳، MS. Excel نسخه ۲۰۰۷ و SAS استفاده شد. میزان خطای کلی ناشی از نقاط کنترل زمینی (RMSE) در این پژوهش بسیار پایین و حدود ۰/۵ سلول می‌باشد. لایه برداری^۳ نقاط کنترل زمینی شامل اطلاعات توصیفی مربوط به شوری نمونه‌های خاک همراه با تصاویر شطرنجی^۴ ترکیبات بانندی ساخته شده در

5- Overlay
6- Root Mean Square Error
7- Mean Absolute Error
8- Mean Bias Error

1- Infrared Percentage Vegetation Index
2- Potential Different
3- Vector
4- Raster

در مرحله اول معادل (۲/۶۸ دسی‌زیمنس بر متر) و در مرحله دوم حدود (۲۶/۰۵ دسی‌زیمنس بر متر) است که تفاوت زیادی با یکدیگر دارند. به نظر می‌رسد این اختلاف از میزان نزولات جوی و مدیریت آبیاری مزرعه باشد. میانگین داده‌های pH نیز در مرحله اول حدود ۷/۷۴ و در مرحله دوم حدود ۷/۶۵ است که تغییر چندانی زیاد نیست. این امر احتمالاً به علت توانایی زیاد مقاومت خاک در برابر تغییرات pH است.

تمام سطح مزارع تعمیم داده شد و نتایج ارزش روشنایی بازتابی هر شاخص به صورت خروجی تصویر مشخص شد.

نتایج و بحث

برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

بررسی وضعیت داده‌ها: ویژگی‌های آماری شوری، pH و عملکرد نمونه‌های مورد مطالعه در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به جدول ۲، میانگین شوری

جدول ۲- آماره‌های توصیفی متغیرهای مورد بررسی (عملکرد گندم، شوری خاک در دو مرحله و pH خاک در دو مرحله).

متغیر	تعداد	واحد	میانگین	کمینه	بیشینه	چولگی	کشیدگی	میانه	انحراف معیار
شوری خاک (مرحله اول)	۱۰۱	دسی‌زیمنس بر متر	۴/۶۸	۱/۱۱	۸/۴۳	۰/۰۸۹	۲/۵۲	۴/۷۲	۱/۷۲
شوری خاک (مرحله دوم)	۱۰۱	دسی‌زیمنس بر متر	۲۶/۰۵	۷/۲۱	۴۸/۳۳	۰/۳۴	۲/۱۸	۲۴/۸۶	۱۰/۶۷
pH ₁	۱۰۱	*	۷/۷۴	۷/۳۴	۸/۰۸	-۰/۲۶	۲/۴۹	۷/۷۶	۰/۱۷
pH ₂	۱۰۱	*	۷/۶۵	۷/۰۵	۸/۰۲	-۰/۵۵	۲/۵۹	۷/۷۲	۰/۲۲

جدول ۳ نتایج بررسی نرمال بودن توزیع داده‌های مربوط به شوری و pH خاک به روش‌های کولموگروف-اسمیرنوف، کرامر-ون‌میسز و اندرسون-دارلین ارائه شده است.

بررسی هیستوگرام فراوانی داده‌های نتایج آزمایشگاهی نمونه‌های خاک نشان داد که متغیر شوری خاک دارای ویژگی چولگی به راست مثبت و متغیر pH دارای چولگی به چپ منفی است. در

جدول ۳- نتایج بررسی توزیع نرمال داده‌های مربوط به شوری و pH خاک در مراحل اول و دوم نمونه‌برداری با روش‌های مختلف.

آزمون	pH	EC ₁	EC ₂
کولموگروف-اسمیرنوف	۰/۰۲	۰/۱۵	۰/۱۴
کرامر-ون‌میسز	۰/۰۸	۰/۲۵	۰/۰۶
اندرسون-دارلین	۰/۰۵	۰/۲۵	۰/۰۵

نرمال هستند. نزدیک بودن مقدار میانه به میانگین نیز دلیل دیگری بر نرمال بودن داده‌های متغیرهای شوری و pH خاک است. بنابراین برای تجزیه و

با توجه به جدول از آنجایی که اعداد مندرج در جدول از مقدار ۰/۰۵ بیش تر است بنابراین داده‌های هر دو مرحله نمونه‌برداری از خاک دارای توزیع

تحلیل داده‌ها نیازی به انجام عملیات تبدیل نبود و همه تجزیه و تحلیل داده‌ها بر روی داده‌های اصلی انجام گرفت.

پردازش طیفی روی داده‌های شوری خاک در مرحله اول و دوم نمونه‌برداری: در جدول ۴ آماره‌های ارزش‌های عددی ۹ واحد سلولی تصاویر شطرنجی باندهای مختلف آماده شده برای دست‌یابی به اهداف این پژوهش ارایه شده است. داده‌های شوری خاک همراه با ارزش‌های عددی هر شاخص و ترکیب باندی در ۱۰۱ نقطه انتخابی به نرم‌افزار Excel نسخه ۲۰۰۷ انتقال و منحنی رگرسیونی هر یک رسم گردید.

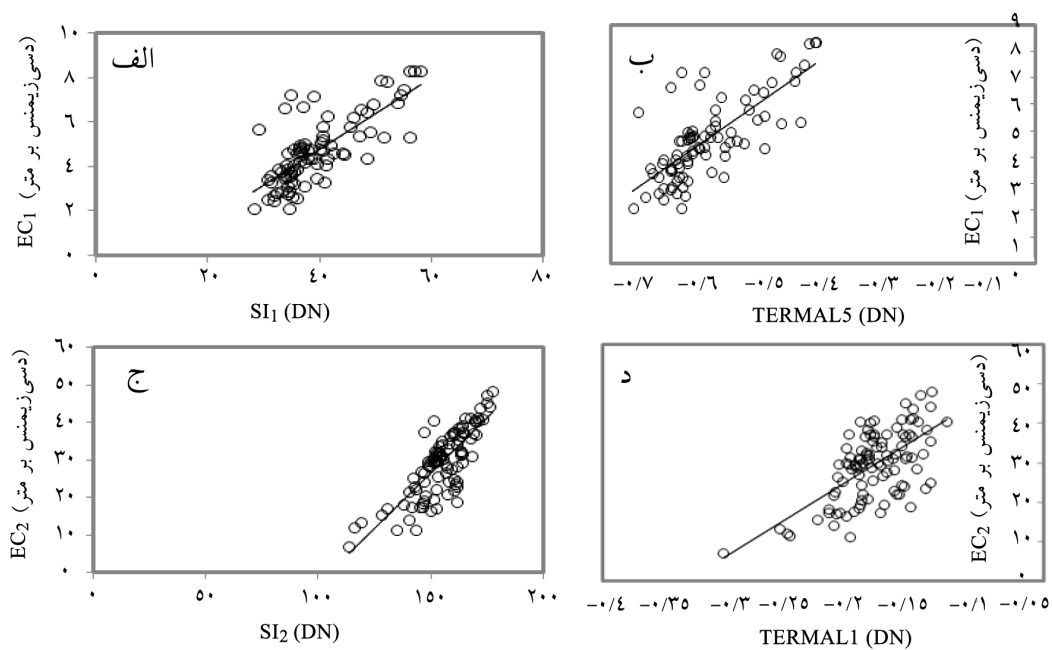
با توجه به شکل ۲ در مدل‌های برازش شده ارزش‌های رقومی بازتاب‌ها در تصاویر به‌دست آمده از ترکیب باندهای مختلف مورد نظر در این پژوهش به‌عنوان متغیر وابسته و مقدار شوری اندازه‌گیری شده در نمونه‌های خاک به‌عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که براساس ضرایب a و b (به‌ترتیب عرض از مبدأ و شیب خط) به‌ازای افزایش هر ۱ واحد شوری بر حسب دسی‌زیمنس بر متر، ارزش هر شاخص با شیب مشخصی تغییرات نشان می‌دهد. مقدار ارزش‌های ذخیره‌شده در هر سلول تصاویر شطرنجی معمولاً تحت‌تأثیر مقدار رطوبت، تغییرات صافی و زبری، سایه، مقدار مواد آلی خاک و نوع پوشش گیاهی قرار دارد. تداخل این عوامل و سخت بودن امکان تفکیک اثرات مستقل هر یک از آن‌ها غالباً مشکلاتی را در این گونه مطالعات ایجاد می‌کند. از بین ۸ رابطه رگرسیونی داده‌های شوری با شاخص‌های SI_1 , SI_2 , SI_3 , BI , $NDSI$, DVI , $IPVI$ و PD_{322} سه شاخص $NDSI$, $IPVI$ و DVI دارای ضریب b منفی و بقیه شاخص‌ها دارای

ضریب b مثبت هستند. در مدل‌هایی که ضرایب خط رگرسیون آن‌ها مثبت است نقاط شورتر دارای ارزش سلولی بزرگ‌تر بوده و در مدل‌هایی که ضرایب خط رگرسیون آن‌ها منفی است با افزایش مقدار شوری خاک از ارزش سلولی کاسته شده است. مطالعات نشان داده است که داده‌های حرارتی به‌دست آمده از سنجنده‌ها می‌تواند کاربرد فراوانی در مطالعه پدیده‌های زمین و از جمله تعیین بازتاب شوری خاک داشته باشد. دما عامل مهمی در درک خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک است که می‌تواند برای بیان وضعیت ماده استفاده شود. از این‌رو لازم است که اطلاعات باندهای حرارتی و کاربردهای آن ارزیابی شود.

از بین ۵ شاخص ترکیبی باند حرارتی، ۲ شاخص دارای ضریب b منفی و ۳ شاخص دیگر دارای ضریب b مثبت بودند. رابطه معکوس برخی شاخص‌ها با EC به این دلیل است که در تمامی این شاخص‌ها از باند مادون قرمز نزدیک (باند B_4) استفاده شده است. با افزایش شوری، ارزش طیفی این باند کاهش پیدا کرده است (تاج‌گردان و همکاران، ۲۰۰۹). در جدول ۵ ضرایب تبیین برای پیش‌بینی مقدار شوری خاک به کمک اطلاعات طیفی باندها و شاخص‌های مختلف تعیین ارایه شده است. با توجه به جدول ۵ در مرحله اول شاخص‌های SI_1 و SI_3 با $R^2=0/57$ و در مرحله دوم شاخص SI_2 با $R^2=0/6467$ دارای بالاترین ضریب تبیین برای پیش‌بینی تغییرات شوری خاک در ۱۰۱ نقطه کنترل زمینی بودند. نتایج روابط رگرسیونی شاخص‌های باند حرارتی در مرحله اول و دوم نیز نشان داد که تفاوت محسوسی بین شاخص‌ها وجود دارد و تمامی شاخص‌ها رابطه مناسبی با داده‌های شوری خاک دارند.

جدول ۴- مقادیر ارزش‌های طیفی باندهای مورد استفاده در تاریخ‌های اول و دوم مربوط به ماهواره لندست (سنجنده ETM^+).

نام باند	شماره باند	قدرت تفکیک مکانی (متر)	میانگین	کمینه	بیشینه	مجموع	انحراف معیار	تاریخ اول
آبی	۱	۳۰	۴۹/۱۱	۴۴	۶۲	۴۱۷۵	۴/۰۳	
سبز	۲	۳۰	۴۲/۲	۳۳	۵۸	۳۵۸۷	۵/۶۹	
قرمز	۳	۳۰	۳۷/۰۷	۲۴	۶۰	۳۱۵۱	۸/۶۲	
مادون قرمز نزدیک	۴	۳۰	۸۸/۴۷	۷۳	۱۰۶	۷۵۲۰	۶/۸	
مادون قرمز میانی	۵	۳۰	۵۱/۱۷	۳۵	۷۷	۴۳۵۰	۹/۶۷	
مادون قرمز حرارتی ۱	۱/۶	۳۰	۱۲۲/۷	۱۱۹	۱۲۹	۱۰۴۳۰	۲/۲۷	
مادون قرمز حرارتی ۲	۲/۶	۳۰	۱۳۴/۵۷	۱۲۸	۱۴۷	۱۱۴۳۹	۴/۰۵	
مادون قرمز میانی	۷	۳۰	۳۱/۴۹	۱۸	۶۱	۲۶۷۷	۹/۶۹	
پانکروماتیک	۸	۱۵	۶۵/۸	۵۵	۷۴	۵۵۹۳	۳/۳۳	
تاریخ دوم								
آبی	۱	۳۰	۶۲/۹۲	۵۸	۶۹	۴۴۶۸	۲/۶۳	
سبز	۲	۳۰	۵۸/۳۲	۵۰	۷۰	۴۱۴۱	۴/۶	
قرمز	۳	۳۰	۷۳/۷	۶۰	۹۹	۵۲۳۳	۸/۰۱	
مادون قرمز نزدیک	۴	۳۰	۷۳/۷	۵۹	۹۷	۵۲۳۳	۸/۱۱	
مادون قرمز میانی	۵	۳۰	۷۲/۹	۵۸	۹۷	۵۱۷۶	۷/۳۹	
مادون قرمز حرارتی ۱	۱/۶	۳۰	۱۳۸/۹	۰	۱۴۶	۹۸۶۲	۱۶/۸	
مادون قرمز حرارتی ۲	۲/۶	۳۰	۱۶۴/۷۷	۰	۱۷۶	۱۱۶۹۹	۲۰/۰۲	
مادون قرمز میانی	۷	۳۰	۴۷/۳۳	۳۸	۶۳	۳۳۶۱	۵/۰۷	
پانکروماتیک	۸	۱۵	۷۰/۰۸	۰	۹۴	۴۹۷۶	۱۱/۰۱	



شکل ۲- نمودارهای رگرسیونی داده‌های شوری خاک با شاخص‌های برتر. (الف) شاخص شوری SI_1 و (ب) شاخص ۵ باند حرارتی در مرحله اول نمونه‌برداری. (ج) شاخص شوری SI_2 و (د) شاخص حرارتی ۱ در مرحله دوم نمونه‌برداری.

جدول ۵- معادله رگرسیونی داده‌های شوری خاک با شاخص‌های برتر.

شاخص	معادله
EC ₁	۳/۵۱۷ (SI ₁) + ۲۲/۹۴
EC ₁ *	۰/۰۳۵ (TERMAL ₅) - ۰/۷۰۷
EC ₂	۱۲۲/۵ (SI ₂) + ۱/۰۹۷
EC ₂ *	۰/۰۰۲ (TERMAL ₁) - ۰/۲۲۳

* این علامت معادله به دست آمده از ترکیب با باند حرارتی را نشان می‌دهد.

نتایج این ارزیابی نشان داد که هر سه شاخص شوری (SI₁، SI₂، SI₃) نسبت به بقیه شاخص‌ها دقت بالاتری را نشان داده‌اند و از این بین در مرحله اول نمونه‌برداری شاخص SI₁ و SI₃ با توجه به RMSE کم‌تر (۱/۲۲) نسبت به شاخص‌های دیگر مناسب‌تر بوده و در مرحله دوم نمونه‌برداری، شاخص SI₂ به‌عنوان شاخص برتر انتخاب شد که با نتایج دشتکیان و همکاران (۲۰۰۸) مطابقت دارد.

در مرحله اول شاخص حرارتی ۵ با $R^2=0/56$ و در مرحله دوم شاخص حرارتی ۱ با $R^2=0/56$ ، بالاترین ضریب تبیین را دارا بودند. پژوهشگران مانند چیت‌ساز (۲۰۰۰)، درویش‌صفت (۲۰۰۲)، عبدی‌نام (۲۰۰۴) و فرناندز-بوسس و همکاران (۲۰۰۶) با استفاده از ضرایب همبستگی ارزش‌های طیفی تصاویر، EC و مدل‌های رگرسیونی مناسب، نقشه‌های شوری و قلیائیت را تهیه کرده‌اند. در جدول ۶، آماره‌های ارزیابی دقت شاخص‌ها ارایه شده است.

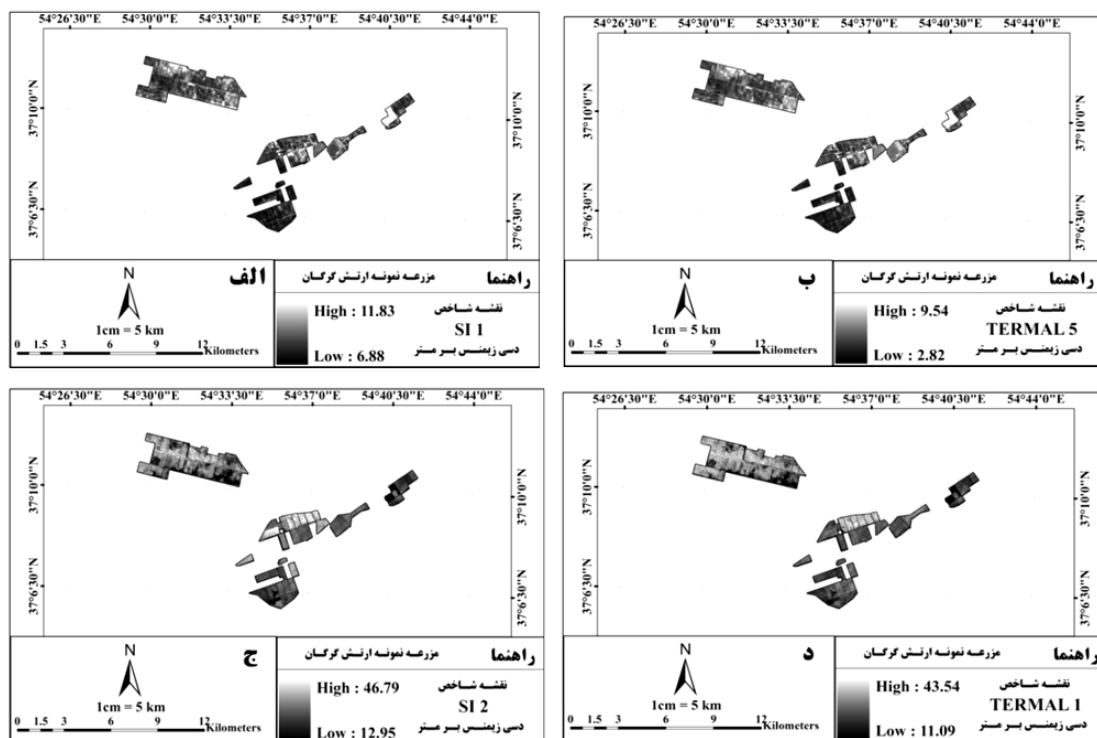
جدول ۶- نتایج معیارهای ارزیابی و ضرایب تبیین شاخص‌های شوری مورد مطالعه در مرحله اول و دوم نمونه‌برداری.

شاخص	MAE	MBE	RMSE	R ²	مرحله اول
					شاخص
SI ₁	۹/۴	-۰/۵	۱/۲۵	۰/۵۷	SI ₁
SI ₂	۱۰/۳	-۴/۶	۱/۳۸	۰/۳۶۳	SI ₂
SI ₃	۹	-۳	۱/۲۲	۰/۵۷	SI ₃
BI	۱۱/۱	۰/۵	۱/۴۶	۰/۴۳۲	BI
NDSI	۱۳	-۰/۰۶	۱/۵۹	۰/۵۰۱	NDSI
PD ₃₂₂	۱۲/۶	-۰/۰۷	۱/۵۵	۰/۴۸۳	PD ₃₂₂
DVI	۱۳/۴	-۱	۱/۶۸	۰/۰۰۳	DVI
IPVI	۱۳	۰/۰۲	۱/۶	۰/۵	IPVI
					مرحله دوم
SI ₁	۴/۵۲	-۳/۷۲	۰/۵۳۹	۰/۶۲۱	SI ₁
SI ₂	۴/۳۴	-۱۱	۰/۵۲۱	۰/۶۴۶	SI ₂
SI ₃	۴/۵۸	-۸/۹۴	۰/۵۴۵	۰/۶۱۳	SI ₃
BI	۴/۳۲	۰/۷	۰/۵۲۳	۰/۶۴۳	BI
NDSI	۵/۶۴	-۰/۷۳	۰/۶۷۵	۰/۲۵۲	NDSI
PD ₃₂₂	۶/۰۶	-۰/۲۶	۰/۷۲۵	۰/۳۱۶	PD ₃₂₂
DVI	۶/۶۸	۰/۳۸	۰/۷۸۸	۰/۱۹	DVI
IPVI	۵/۶۵	-۶/۷۹	۰/۶۷۶	۰/۲۵	IPVI

الف- SI₁، SI₂ و SI₃ (شاخص‌های شوری)، BI (شاخص درخشندگی)، NDSI (شاخص تفاوت شوری)، DVI (شاخص تفاوت سبزی‌نگی)، PD₃₂₂ (شاخص ظرفیت تفاوت)، IPVI (شاخص درصد پوشش گیاهی مادون قرمز).

همچنین شاخص DVI در هر دو مرحله با توجه به RMSE بالا (۱/۶۸) ضعیف‌ترین شاخص می‌باشد که با نتایج محمدی و شتابی (۱۳۸۸) مطابقت دارد. میانگین اریب خطا نیز نشان داد که برای شاخص‌های (SI₁، SI₂، SI₃، NDSI، PD₃₂₂ و DVI) میزان برآورد کم‌تر از مقدار واقعی و برای شاخص‌های (BI و IPVI) میزان برآورد بیش‌تر از مقدار واقعی بود.

همچنین شاخص DVI در هر دو مرحله با توجه به RMSE بالا (۱/۶۸) ضعیف‌ترین شاخص می‌باشد که با نتایج محمدی و شتابی (۱۳۸۸) مطابقت دارد. میانگین اریب خطا نیز نشان داد که برای شاخص‌های



شکل ۳- نقشه طیفی شوری خاک. (الف) شاخص SI₁، (ب) شاخص حرارتی ۵ در مرحله اول نمونه برداری. (ج) شاخص SI₂، (د) شاخص حرارتی ۱ در مرحله دوم نمونه برداری.

در مرحله دوم نمونه‌برداری زمین بدون پوشش گیاهی بود، در مرحله اول نمونه‌برداری شاخص‌های SI₁ و TERMAL₅ در واحدهای A، B و D شوری خاک بالاتری را نسبت به واحد C نشان دادند و در مرحله دوم نمونه‌برداری شاخص‌های SI₂ و TERMAL₁ در واحدهای B، C و D شوری خاک بیش‌تری را نسبت به واحد A نشان دادند. همچنین نتایج نشان داد که شاخص‌های باند حرارتی با شاخص‌های BI، NDSI، PD₃₂₂ همبستگی بالایی دارد، در صورتی‌که با بقیه شاخص‌های مورد مطالعه این همبستگی ضعیف بود.

ارزش رقومی بازتابی برای هر شاخص با توجه به معادله هر منحنی محاسبه و از رابطه رگرسیونی به‌دست آمده بین شاخص‌های استحصال از تصویر ماهواره و مقادیر اندازه‌گیری شده EC برای کل سطح مزرعه درونیایی شد. با تعمیم ارزش رقومی بازتابی از نقطه به سطح، نقشه‌های پیش‌بینی توزیع جغرافیایی شوری خاک به‌صورت طیفی تهیه شد (شکل ۳). بر روی نقشه‌ها مناطق دارای شوری زیاد با رنگ روشن و مناطق با شوری کم به رنگ تیره نشان داده شدند. با توجه به شاخص‌های برتر و در شرایطی که در مرحله اول نمونه‌برداری، گندم در مرحله پنجه‌زنی و

نتیجه‌گیری کلی

در کل نتایج این پژوهش نشان داد که در سطح مزارع مورد مطالعه، شاخص‌های شوری خاک (SI) در بارزسازی سطح شوری از دیگر شاخص‌ها مطلوب‌تر می‌باشند. از بین این شاخص‌ها، شاخص SI_1 در مرحله اول نمونه‌برداری از سطح خاک و مقارن با مرحله پنجه‌زنی گندم و شاخص SI_2 در مرحله دوم نمونه‌برداری بعد از برداشت گندم در اواخر خرداد مناسب‌تر تشخیص داده شدند و در تهیه نقشه‌های شوری خاک از نظر دقت نسبت به سایر روش‌ها برتری داشتند. مشخص شد که کارایی شاخص‌هایی که کم‌ترین دقت را در بارزسازی شوری داشته‌اند (IPVI و DVI)، در تعیین پوشش گیاهی مناطق دارای پوشش گیاهی بیش از سایرین است. علت این امر به دلیل وجود باند مادون قرمز در معادله این شاخص‌ها می‌باشد، زیرا گیاهان سبز دارای بیش‌ترین بازتاب در این محدوده طیفی می‌باشند. از بین ۵ شاخص باند حرارتی نیز با اختلاف ناچیزی تمام شاخص‌ها رابطه بالایی با داده‌های شوری خاک نشان دادند. یک دلیل کمی ضریب تبیین در روابط شاخص‌ها و داده‌های زمینی وجود جاده‌ها و مرغ‌داری‌هایی بود که داخل مزارع وجود داشت. همچنین به علت تغییرپذیری بازتاب سطح در طول سال، پایش شوری و الگوی کشت دچار برخی مشکلات می‌شد که در این ارتباط عواملی مانند رطوبت خاک، زمان آبیاری یا بارندگی، نوع و سن محصولات از همه مهم‌تر بودند. همچنین در منطقه مورد مطالعه pH نمونه‌ها دارای نوسان بسیار کم بوده و به‌طور عموم مقدار آن بین ۷-۸ بود. به همین دلیل ضریب همبستگی آن با شوری و سدیمی بودن خاک

معنی‌دار نبوده، و امکان‌پذیری مطالعه pH خاک با استفاده از دورسنجی در محدوده مورد مطالعه ضعیف ارزیابی شد.

اختلاف قابل‌توجه در میزان شوری خاک در دو مرحله نمونه‌برداری نشان داد که مدیریت مطلوب اراضی به‌ویژه بعد از برداشت محصول برای کاستن از اثرات شوری الزامی است. ایجاد شبکه زهکشی مناسب برای اراضی و کاشت گیاهان مقاوم به شوری و پوششی جزء ضروریات به‌شمار می‌رود. با توجه به بالا بودن سطح ایستابی سفره آب زیرزمینی و زیاد بودن مقدار تبخیر و تعرق از سطح خاک، لازم است پس از برداشت محصول راهکارهایی برای کاستن از مقدار تبخیر و تعرق از خاک در نظر گرفته شده و از تجمع و افزایش غلظت نمک در خاک کاسته شود. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که می‌توان از سنجش از دور در تهیه نقشه‌های شوری و سدیمی خاک به‌عنوان ابزاری بسیار قوی استفاده کرد و در صورت موجود بودن تصاویر می‌توان با تعداد نقاط محدود و صرف هزینه کم نقشه‌های به‌نسبت دقیق تهیه نمود و از آن‌ها به‌نحو مطلوب در مدیریت مزارع استفاده کرد.

سپاسگزاری

حمایت مالی این پژوهش در قالب پایان‌نامه دانشجویان کارشناسی‌ارشد از سوی حوزه معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان و از محل اعتبار پژوهشی اعضای هیأت علمی تأمین گردیده که بدین‌وسیله مراتب سپاس تقدیم می‌گردد.

منابع

1. Abdinam, A. 2004. An investigation on preparing of the soil salinity map using correlation method between imagery and soil salinity data in the Qazvin plain. *J. Pazhouhesh and Sazandegi*. 64: 33-38.
2. Alavipanah, S.K. 2004. Application of remote sensing in geosciences. Tehran University Press, 478p. (In Persian)
3. Alavipanah, S.K. 2005. The application of thermal remote sensing in environmental studies. *J. Environ*. 58: 54-64. (In Persian)
4. Alavipanah, S.K. 1997. Study of soil salinity in the Ardakan (Iran) based upon field observation, remote sensing and GIS. Ph.D. Thesis, Gent University, 237p.
5. Alavipanah, S.K., and Pouafar, A. 1998. Potentials and constraints of soil salinity studies in two different conditions of Iran using landsat TM data. Pp: 27-32.
6. Barnes, J.D. 1992. Evaluation hand-held radiometer derived vegetation indices for estimating above- ground biomass. *Geocarto Int*. 7: 71-78.
7. Chitsaz, V. 2000. Investigation of possibility of soil salinity & alkalinity map producing using TM data in eastern Isfahan, M.Sc. Thesis, Isfahan University of Technology, Faculty of Natural Resources, 135p. (In Persian)
8. Daempanah, R., Haqnia, Q., Alizade, A., and Karimi A. 2011. Mapping Salinity and Sodicty of Surface Soil by Remote Sensing and Geostatistic Methods in South Side of Mahvalat County. *J. Water Soil*. 25: 3. 498-508.
9. Darvishsefat, A. 2002. Incorporating of remotely sensed data. Proceeding of Geomatic Congress. National Cartographic Center, Tehran, 221p. (In Persian)
10. Dashtakian, K., Pakparvar, M., and Abdollahi, J. 2008. Study of soil salinity preparing methods by using landsat images in Marvast. Iran. *J. Range Des. Res*. 15: 2. 139-157. (In Persian)
11. Dwivedi, R.S., and Sreenivas, K. 1998. Image transforms as a tool for the study of soil salinity and alkalinity dynamics. *Inter. J. Rem. Sens*. 19: 605-619.
12. Farifteh, J., Farshad, A., and George, R.J. 2006. Assessing salt affected soils using remote sensing solute modeling and geophysics. *Geoderma*. 130: 191-206.
13. Fernandez-Buces, N., Siebe, C., Cram, S., and Palacio, J.L. 2006. Mapping soil salinity using a combined spectral response index for bare soil and vegetation: (a case study in the former lake Texcoco, Mexico). *J. Arid Environ*. 65: 644-667.
14. Gao, J.A. 1996. Modified soil adjusted vegetation index. *Remote Sensing of Environment*. 82: 303-310.
15. Hasanipak, A.E. 1998. Geostatistics. Tehran University Press, 314p. (In Persian)
16. Jafari Gorzin, B. 2002. Study of landsat ETM⁺ capability in detecting salt affected lands (a case study in Gorgan Plain. M.Sc. Thesis, Gorgan University of Agriculture Science and Natural Resources, college of Range and Watershed Management, 127p. (In Persian)
17. Khan, N.M., Rastoskuev, V.V., Shilina, E.V., and Yohei, S. 2001. Mapping salt affected soils using remote sensing indicators-A simple approach with the use of GIS IDRIST. 22th Asian conference on remote sensing, 5-9 November 2001, Singapore, 8: 183-257.
18. Zarco-Tejada, P.J., Ustin, S.L., and Whiting, M.L. 2005. Temporal and spatial relationships between within-field yield variability in cotton and high-spatial hyperspectral remote sensing imagery. *Agron. J*. 97: 641-653.
19. Mohammadi, J., and Shatai, Sh. 2009. Sensitivity Evaluation of Spectral Vegetation Indices Using Sensitivity Functions for Stand Volume Estimation. *J. Wood For. Sci. Technol*. 16: 2. 5-13. (In Persian)
20. Qaemi, M., Sanainejad, H., Astarai, A., and Mirhosseini, P. 2010. Evaluation and comparison of different plant indices using ETM⁺ satellite images for plant vegetation studies in Neyshabur Plains, Khorasan Razavi. Iran. *J. Field Crops Res*. 8: 1. 128-137. (In Persian)

21. Rao, B., Sankar, T., Dwivedi, R., Thammappa, S., Venkataratnam, L., Sharma, R., and Das, S. 1995. Spectral behaviour of salt-affected soils. *Inter. J. Rem. Sens.* 16: 2125-2136.
22. Rougean, Y., and Breon, D. 1995. Vegetation and soil lines in visible spectral space: a concept and technique for remote estimation of vegetation fraction. *J. Rem. Sens.* 23: 13. 2537-2562.
23. Rouse, A., Danilo, M., Hans-Jurgen, S., and Dmitry, A. 1974. Areas of rapid forest-cover change in boreal Eurasia. *Forest Ecology and Management*. Pp: 322-334.
24. Saxena, R.K., Verma, R., Srivastava, J.Y., Patel, N.K., Nasre, R.A., Barthwal, A.K., Shiwalkar, A.A., and Londhe, S.L. 2003. Spectral reflectance properties of some dominant soils occurring on different altitudinal zones in Uttaraanchal Himalayas. *Agropedology*. 13: 2. 35-43.
25. Tajgardan, T., Aubi, Sh., Shatai, Sh., and Khormali, F. 2009. Mapping soil surface salinity using remote sensing data of ETM⁺. (Case study: North of Agh Ghala, Golestan Province). *Journal of Water and Soil Conservation*. 88: 9-15. (In Persian)
26. Wiegand, C.L., Richardson, A.J., Escobar, D.E., and Gerbermann, A.H. 1997. Vegetation indices in crop assessments remote sensing of environment. *Remote Sens. Environ.* 35: 105-119.



Comparison of different indices adopted from Landsat images to map soil salinity in the army field of Gorgan

***R. Azhirabi¹, B. Kamkar² and O. Abdi³**

¹M.Sc. Graduate, Dept. of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources,

²Associate Prof., Dept. of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources,

³M.Sc., Department of Natural Resources and Watershed Management of Golestan Province

Received: 01/08/2014; Accepted: 07/02/2014

Abstract

In the past few decades, the use of remote sensing techniques for mapping and monitoring salinity changes in soils has been developed. This research was done in the army field of Gorgan in 2011-2012 to assess possibility of application of this technique. In the first step, 101 soil samples were taken from the soil (30 cm depth) during two stages (end of March and the start of May) and Electrical Conductivity (EC) and pH were measured by EC- and pH- meter. Then in the next step, different vegetation-based indices such as SI_1 , SI_2 , SI_3 , BI, NDSI, PD_{322} , IPVI and DVI were extracted from ETM^+ (Landsat 7, 7 band, 2012) along with thermal base-compound bands. Then brightness value was determined. Data correlation between samples was taken and brightness index and accuracy tests on studied indices revealed that SIs had the correlation with ground control points. Among SIs, SI_1 and SI_2 had the highest capability to provide salinity maps for dataset 1 (wheat tillering stage, $R^2=0.57$) and dataset 2 (after wheat harvesting, $R^2=0.646$), respectively. DVI also was the weakest index for salinity enhancement using both sampling data (RMSE=1.68).

Keywords: Correlation, Salinity Index, Accuracy assessment, Landsat ETM^+

* Corresponding Authors; Email: r.azhirabi@yahoo.com