

# تهیه نقشه خاک‌های تحت تاثیر شوری با استفاده از داده‌های سنجنده ETM<sup>+</sup> در بخشی از دشت قزوین

مارال خدادادی<sup>۱</sup>، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران  
 محمدصادق عسکری، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران  
 فریدون سرمدیان، دانشیار دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران  
 حسینقلی رفاهی، استاد دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران  
 علی‌اکبر نوروزی، مربی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری  
 احمد حیدری، استادیار دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران  
 حمیدرضا متین‌فر، استادیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان

پذیرش مقاله: ۱۳۸۸/۰۳/۱۶

دریافت مقاله: ۱۳۸۷/۱۱/۱۷

## چکیده

از فرآیندهای غالب تخریب خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک، شور شدن خاک‌ها است. تحقیق حاضر به منظور ارزیابی قابلیت داده‌های سنجنده ETM<sup>+</sup> در شناسایی و تفکیک خاک‌های شور با استفاده از مطالعات صحرایی و نتایج آزمایشگاهی خاک‌ها، در دشت قزوین صورت گرفت. در این تحقیق، ابتدا طبقه‌های طیفی منطقه مورد تحقیق در تصویر استخراج و آنگاه با کمک اطلاعات جانبی و مطالعات صحرایی به طبقه‌های شوری تبدیل شد و در نهایت نقشه هدایت الکتریکی (EC) بدست آمد. نمونه‌برداری صحرایی با روش نمونه برداری طبقه‌بندی شده تصادفی انجام گرفت. با استفاده از نقشه خاک موجود، در هر واحد نقشه خاک کمینه یک پروفیل به منظور بررسی تغییرات عمقی شوری مورد مطالعه قرار گرفت. پارامترهای هدایت الکتریکی، pH، Na<sup>+</sup>، Mg<sup>2+</sup>، Ca<sup>2+</sup> و بافت در نمونه‌های خاک اندازه‌گیری و از مدل رقومی ارتفاع، برای افزایش دقت طبقه‌بندی استفاده شد؛ همچنین شاخص‌های (NDVI، NDSI، BI، SI، SAVI، PVI، SRVI)، مولفه‌های اصلی و تبدیل تسلدکپ برای طبقه‌بندی استفاده شد. برای انتخاب بهترین ترکیب نواری طبقه‌بندی، شاخص مطلوبیت به کار گرفته شد. نتایج نشان داد الگوریتم بیشینه احتمال، دارای صحت بالاتری از کمینه فاصله از میانگین و Box Classifier است؛ لذا به منظور طبقه‌بندی، از این الگوریتم استفاده شد؛ همچنین تلفیق مدل رقومی ارتفاع و تمامی نوارهای سنجنده دارای بالاترین صحت بود. از طرفی مشاهده شد نوار حرارتی دقت طبقه‌بندی را افزایش داده که تاییدکننده نقش موثر این نوار در طبقه‌بندی خاک‌های شور است. در بین روش‌های پردازش تصویر، تبدیل تسلدکپ و شاخص‌ها دارای صحت بالایی بودند. شاخص‌های SI و BI، دارای بیش‌ترین همبستگی با (EC) بوده و بهتر توانستند خاک‌های شور را از خاک‌های غیرشور تفکیک کنند. شاخص مطلوبیت دارای صحت کلی کمی بود. پوسته‌های صاف با رنگ روشن، خصوصا پوسته‌های بدون درز و شکاف، موجب افزایش بازتاب‌ها در تمامی نوارهای سنجنده شد؛ به طوری که این اراضی در تصویر دارای بالاترین بازتاب‌ها بوده و با صحت بالایی از سایر طبقه‌ها جدا شدند.

واژه‌های کلیدی: تبدیل تسلدکپ، تخریب خاک، خاک شور، شاخص شوری، مدل رقومی ارتفاع

<sup>1</sup> m\_khodadadi@yahoo.com

## مقدمه

از آنجایی که حدود دو سوم از مساحت کشور در مناطق بیابانی واقع شده و شوری خاک از جمله مهم‌ترین معضلات چنین مناطقی است، تحقیق درباره خاک‌های شور از اهمیت فراوانی برخوردار است. دشت قزوین به تناسب وسعت و به دلیل برخورداری از فضاها هموار و وسیع، اقلیم خاص، حد فاصل فلات خشک مرکزی و قلمرو کوهستانی شمال و غرب کشور، دارا بودن از زیرساخت‌های مناسب کشاورزی و نزدیکی با بزرگ‌ترین بازار مصرف کشور، نقش و سهم به‌سزایی در اقتصاد کشاورزی کشور داشته و یکی از قطب‌های کشاورزی کشور به حساب می‌آید؛ از این رو گسترش اراضی شور، یکی از بزرگ‌ترین معضلات تهدیدکننده کشاورزی منطقه به‌شمار می‌آید؛ اصلاح و مدیریت مناطق شور نیاز به اطلاعات کمی، به‌هنگام و دقیق دارد. یکی از راه‌های دسترسی به این اطلاعات، استفاده از داده‌های ماهواره‌ای است که در مقایسه با تهیه نقشه‌های سنتی و معمول، توانایی تولید نقشه‌هایی با هزینه کم‌تر، مدت زمان کوتاه‌تر، به‌هنگام و با دقت بالاتر را دارد. تحقیق حاضر به‌منظور ارزیابی قابلیت داده‌های سنجنده  $ETM^+$  در شناسایی و تفکیک خاک‌های شور با استفاده از مطالعات صحرایی و نتایج آزمایشگاهی خاک‌ها، در دشت قزوین صورت گرفت. تفکیک‌پذیری خاک‌های شور به‌وسیله سنجش از دور به‌نحو عمده، به ویژگی‌های بازتاب طیفی این خاک‌ها برمی‌گردد. مطالعات صحرایی و اندازه‌گیری‌های رادیومتری نشان داد که در بیش‌تر موارد، خاک‌های شور بازتاب طیفی بیش‌تری در ناحیه مرئی و مادون قرمز طیف، نسبت به خاک‌های غیر شور، دارند. ناحیه مادون قرمز حرارتی، اغلب برای تعیین رطوبت و شوری به‌کار می‌رود. Pouyafar و Alavi Panah (۲۰۰۵)، در تحقیق خود به نقش کلیدی نوار حرارتی لندست در تشخیص خاک‌های شور از گچی اشاره نمودند. عوارض سطحی موجود در مناطق تحت‌تأثیر نمک، که موجب تغییر در بازتاب خاک می‌شود، به دو گروه اصلی تقسیم می‌گردند: پدیده‌های وابسته به خاک که عبارتند از: وجود پوسته‌های سفیدرنگ، خاک‌های Puffy، سطح تیره چرب خاک‌های قلیایی، شکاف‌های با عرض ۱-۲ سانتی‌متر و بافت سطحی درشت؛ پدیده‌های منفرد که شامل رشد لکه‌ای محصولات، درختان خشک شده، ته رنگ آبی-سبز و شرایط استرس رطوبتی هستند.

سطوح شور با دیگر پدیده‌های سطحی، ممکن است دارای اختلاط طیفی باشد، پدیده‌های کاملاً متفاوت، از نظر خصوصیات می‌توانند بازتاب طیفی بالایی را به‌وجود آورند؛ مانند بستر رودخانه‌های خشک، سطوح فرسایش یافته‌ای که خاک زیرین در آن‌ها ظاهر شده است و پوسته‌های غنی از سیلت خاک‌های غیر شور که به‌علت شباهت طیفی، موجب اختلاط طیفی آن با عوارض متأثر از شوری می‌شود. Metternicht (۱۹۹۹) دریافت تداخل طیفی بین سطوح شور و سیلت روشن در نواحی آبی و سبز طیف الکترومغناطیسی (۴۵۰ تا ۵۵۰ nm) اتفاق می‌افتد؛ در واقع روشنی سطوح ناشی از فراوانی سیلت باعث بازتاب بیش‌تر نسبت به سطوح پف کرده یا پوسته‌های نمکی صاف می‌شود. به‌طور کلی، بازتاب طیفی در پوسته‌های غیر شور کم‌تر و اندکی شکل منحنی طیفی آن‌ها از پوسته‌های شور متفاوت است.

پوشش گیاهی در بازتاب طیفی خاک‌های شور تأثیر زیادی می‌گذارد. در محدوده طیفی ۰/۶۸ تا ۱/۳ میکرومتر، خاک‌ها تحت‌تأثیر پوشش گیاهی سبز قرار می‌گیرند و بقایای پوشش گیاهی به‌علت وجود سلولز، لیگنین و آب اثرات معنی‌داری بر در محدوده طیفی مادون قرمز موج کوتاه، بقایای پوشش گیاهی به‌علت وجود سلولز، لیگنین و آب اثرات معنی‌داری بر بازتاب دارند. Zinck و Metternicht (۱۹۹۶) دریافتند که گیاهان هالوفیت، شاخص خوبی برای جدا کردن نواحی شور و قلیا از مناطقی غیر شور است؛ اما موجب اختلاط بازتاب طیفی طبقه‌های شور و قلیا می‌شود. با وجود تأثیر گیاهان در بازتاب شوری، آن‌ها می‌توانند به‌عنوان شاخص غیرمستقیم در سنجش از دور خاک مورد استفاده قرار گیرند؛ برای مثال، بین داده‌های NDVI و هدایت‌الکتریکی خاک، بیش‌ترین همبستگی وجود دارد که تفکیک خاک‌های شور و قلیا را از مناطق غیر شور ممکن می‌سازد؛ اما مشکل تفکیکی خاک‌های شور و قلیا از یکدیگر، همچنان باقی است.

تغییرات در ساختار درونی و بیرونی برگ در شرایط شور بازتاب این گیاهان، متفاوت از گیاهان سالم است؛ از طرفی، پاسخ گیاه ارزیابی بهتری از شوری را تأمین می‌کند؛ زیرا ریشه گیاه به عمق پروفیل خاک نفوذ کرده و اندازه‌گیری ویژگی‌های رشدی (تاج گیاه) در زمان مشخص تأثیر جمعی شوری را مشخص می‌کند (AL-khaier, Wang, ۲۰۰۳). همکاران (۲۰۰۲) تأثیر شوری را بر بازتاب تاج سویا با استفاده از رادیومتر در بخش مرئی و مادون

قرمز نزدیک طیف بررسی کرده و ارتباط ویژگی‌های بازتابی گیاهان تحت تاثیر سطوح مختلف شوری با کلروفیل برگ، توده ویژه برگ و بیومس بالای زمین را مورد بررسی قرار دادند؛ نتایج نشان داد بازتاب در NIR در تیمارهای شوری (به علت افزایش توده ویژه برگ)، به طور معنی داری کاهش می‌یابد و می‌تواند به وسیله‌ی شاخص SRVI تشخیص داده شود.

در تحقیقی Kike و Masoud (۲۰۰۶)، با استفاده از تغییرات پوشش گیاهی، از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۳ شور شدن اراضی منطقه خشک را مطالعه کرده و با به کارگیری شاخص مطلوبیت، OIF، PCA1، نوار پانکروماتیک، مدل رقومی ارتفاع، شیب، شاخص‌های گیاهی و تبدیل تسلدکپ، تغییرات را مورد بررسی قرار دادند. از بین این تبدیل‌ها، PCA1، تسلدکپ، نوار پانکروماتیک و مدل رقومی ارتفاع، بهتر توانستند تغییرات پوشش گیاهی بر اثر شوری را نشان دهند؛ به ویژه تبدیل تسلدکپ برای جدا کردن اراضی شور و مرطوب مناسب بود.

در تحقیق دیگری Farifteh و همکاران (۲۰۰۵)، ماهواره‌های لندست و ASTER را مناسب‌ترین ماهواره‌های منابع زمین برای تحقیق ویژگی‌های خاک، پدیده‌های تخریب خاک (مثل شور شدن) و تعیین رطوبت خاک معرفی کردند؛ آن‌ها داشتن تعداد نوارهای زیاد، محدوده طیفی وسیع از محدوده مرئی تا مادون قرمز حرارتی (۰/۴ تا ۱۴ میکرومتر) و قدرت تفکیک مکانی بالای سنجنده ASTER در محدوده مرئی و مادون قرمز نزدیک را دلایل این امر ذکر نمودند.

امواج دریافت شده به وسیله سنجنده‌های ماهواره‌ای، بازتاب سطح رویی پدیده‌های مختلف است؛ به عبارت دیگر، امواج منعکس شده، بیانگر خصوصیات سطحی پدیده‌هاست تا خصوصیات عمقی و درونی آن‌ها. لذا بهتر است نمونه‌های خاک مورد نظر، به صورت سطحی برداشت شود. Metternicht و Zinck (۱۹۹۷)، نمونه‌های تعلیمی خود را برای طبقه‌بندی، از عمق ۰-۵ سانتی‌متر برداشت کردند؛ طبقه‌های (EC) که در تحقیق آن‌ها گزارش شده، شامل ۰، ۴، ۸، ۱۶، ۳۲، ۶۴ و  $ds/m > 64$  و SAR در برگیرنده ۰، ۱۳، ۲۶، ۵۲ و  $> 52$  است.

شوری خاک‌ها تحت تاثیر پدیده‌های توپوگرافیکی و ژئومورفولوژیکی قرار دارد؛ به عنوان مثال، خاک‌های شور در مناطق مرتفع و بافت خیلی درشت، کم‌تر و برعکس در پلایا و مناطق پست، بیش‌تر مشاهده می‌شود. بنابراین از لایه‌های اطلاعاتی، از قبیل مدل رقومی ارتفاع و شیب، می‌توان برای بهبود صحت نقشه شوری استفاده کرد. Liu و همکاران (۲۰۰۵)، از DEM برای بهبود پیشگویی شوری خاک استفاده نمودند؛ نتایج نشان داد که دقت پیشگویی، به ویژه در مناطق با شوری بالا افزایش یافت.

## مواد و روش‌ها

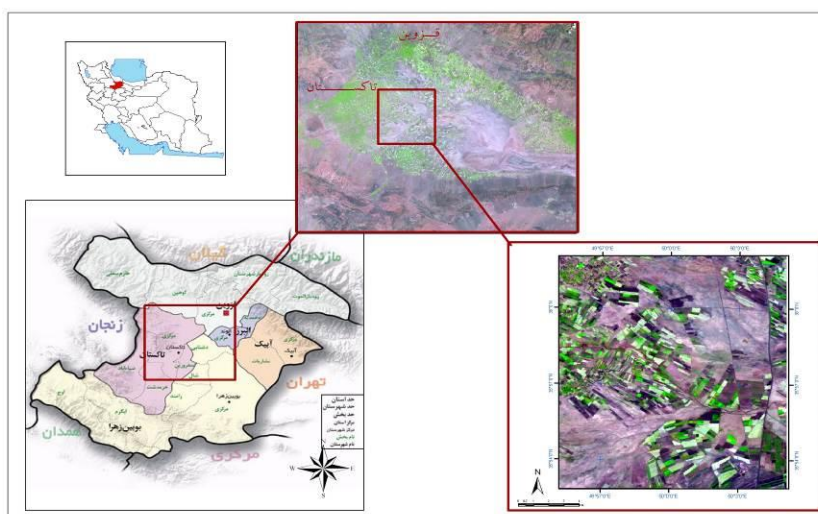
منطقه مورد تحقیق با مساحت ۲۶۰۰۰ هکتار، در دشت قزوین در عرض‌های جغرافیایی  $35^{\circ}53'$  و  $36^{\circ}22'$  شمالی و طول‌های  $49^{\circ}55'33''$  و  $50^{\circ}5'$  شرقی واقع شده است (شکل ۱). ارتفاع متوسط منطقه از سطح دریا، ۱۱۹۲ متر، مقدار بارندگی متوسط سالیانه بر اساس آمار ۳۰ ساله ۲۳۸ میلی‌متر، متوسط دمای سالیانه ۱۴، متوسط کمینه دمای سالیانه ۶/۹ و متوسط بیشینه دمای سالیانه ۲۱/۱۹ درجه سانتیگراد است. با توجه به نقشه رژیم‌های حرارتی و رطوبتی ایران، رژیم حرارتی خاک منطقه مورد تحقیق، ترمیک (Thermic) و رژیم رطوبتی آن Weak Aridic است.

تصویر سنجنده ETM<sup>+</sup>، در ماه جولای ۲۰۰۲ از بین تصاویر موجود، به علت مساعد بودن شرایط جوی و عدم وجود پوشش ابر، انتخاب شد. بر اساس آمار هواشناسی، کمینه دو هفته قبل از تاریخ اخذ تصاویر هیچ‌گونه بارشی در منطقه رخ نداده است. برای تهیه مدل رقومی ارتفاع، از خطوط توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ استفاده و تصویر به روش تصویر به نقشه (نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰)، با انتخاب ۳۸ نقطه کنترل زمینی و RMS کمتر از ۰/۵ پیکسل، تصحیح هندسی شد.

انتخاب محل نمونه‌ها به روش نمونه‌برداری طبقه‌بندی شده تصادفی<sup>۱</sup> انجام گرفت؛ به طوری که مناطق همگن، با توجه به واحدهای نقشه شوری موجود منطقه و تصاویر ماهواره تعیین شد، و در داخل طبقات مختلف به صورت

<sup>۱</sup> Stratified random sampling

تصادفی نمونه برداری انجام گرفت. به منظور افزایش دقت، علاوه بر نمونه برداری از نقطه اصلی، نمونه‌های کمکی در سه جهت متفاوت با زاویه ۱۲۰ درجه و با فاصله ۳۰ متر از نقطه اصلی بر داشته و با نمونه اصلی مخلوط شد تا نتایج قابل تعمیم به نه پیکسل بر روی تصاویر باشند؛ آنگاه نمونه‌های خاک سطحی، به عمق تقریبی ۰-۱۰ سانتی‌متر برداشت شد. در شکل ۲، پراکنش نمونه‌های سطحی در منطقه مورد تحقیق، با توجه به واحدهای نقشه خاک نشان داده شده، پارامترهای هدایت الکتریکی (EC)، pH، بافت و SAR اندازه‌گیری و با استفاده از نقشه خاک موجود، در هر واحد نقشه خاک، کمینه یک پروفیل به منظور بررسی تغییرات عمقی شوری مطالعه شد؛ پس از آن قرار گرفت. نتایج آزمایشگاهی نقاط مطالعاتی در صحرا تجزیه و تحلیل و طبقه‌های شوری ۰، ۴، ۸، ۱۶، ۳۲، ۶۴،  $ds/m > 64$  تعریف شده، هریک از نقاط در یک طبقه شوری قرار گرفت و سپس نقشه واقعیت زمینی شامل ۱۱۲ نقطه، که هر نقطه با توجه به روش نمونه برداری به نه پیکسل تعمیم داده شد، ایجاد شد. تعداد نمونه‌ها با  $EC > 2$  کم و مناطق کوچکی در قسمت‌های شمال غربی منطقه مطالعاتی را در برمی‌گرفت؛ از این رو با توجه به مقیاس نقشه، طبقه ۰-۲ در نظر گرفته نشد و این نواحی جز طبقه ۰-۴ قرار گرفتند.



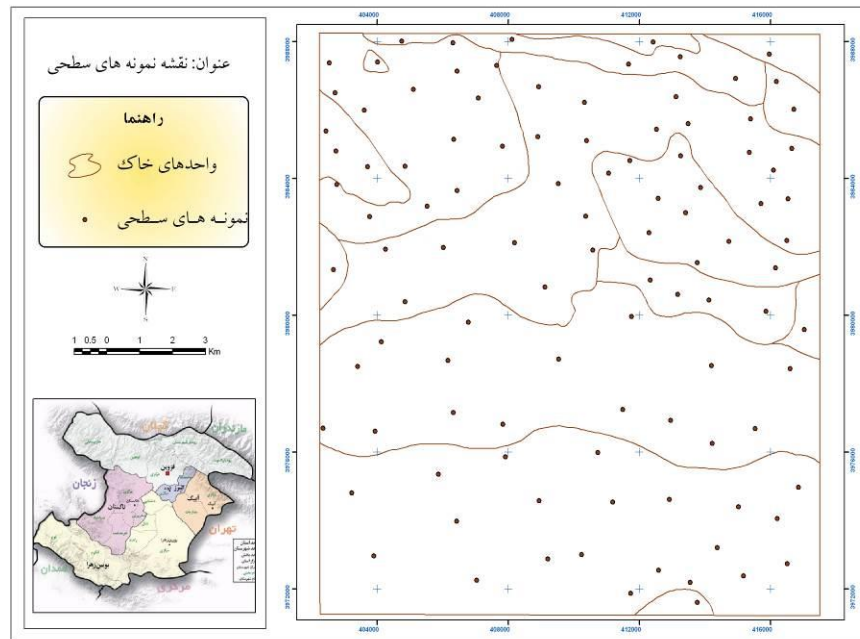
شکل ۱ - موقعیت منطقه مورد پژوهش

به منظور شناخت کافی از نحوه توزیع طبقه‌های طیفی، یک طبقه‌بندی نظارت نشده بر روی تصویر انجام گرفت؛ همچنین نسبت‌های نواری مختلف ایجاد و به‌عنوان نوارهای مستقل به صورت نظارت نشده طبقه‌بندی شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. با کمک ماتریس همبستگی نوارها، ایجاد کنتراست، شاخص مطلوبیت و ایجاد تصاویر رنگی متعدد، بهترین ترکیب رنگی که دارای بیشینه آشکارسازی بر روی پدیده‌های مختلف است، ترکیب نواری<sup>۱</sup> (NIR, R, G) یعنی 4,3,2 انتخاب شد. طبقه‌های تعلیمی انتخابی، بر اساس تفسیر تصویر ماهواره برای طبقه‌بندی تصاویر، شامل پنج طبقه خاک و ۱۲ طبقه زراعت است. بر روی تصویر، نمونه‌های همگن و در عین حال دارای پراکنش مناسب در سراسر تصویر انتخاب، و سپس برای کنترل میزان تفکیک‌پذیری طبقه‌ها، نمودار طیفی<sup>۳</sup> آن‌ها ترسیم شده، مورد ارزیابی قرار گرفت و با بررسی میانگین، انحراف معیار و نمودار دو بعدی، اقدام به اصلاح نمونه برداری شد.

<sup>1</sup> False color composite

<sup>2</sup> NIR (Near Infrared), R(Red), G(Green)

<sup>3</sup> Feature space



شکل ۲- پراکنش نمونه های سطحی در منطقه مورد پژوهش با توجه به واحدهای نقشه خاک

برای طبقه بندی نظارت شده از مجموعه نوارهای (روی کردها) مختلفی استفاده شد (جدول ۱)؛ سه روی کرد اول الگوریتم های طبقه بندی عبارتند از: کمینه فاصله از میانگین<sup>۱</sup>، روش متوازی السطوح<sup>۲</sup> و روش بیشینه احتمال<sup>۳</sup>؛ پس از بررسی صحت، برای طبقه بندی سایر روی کردها، از الگوریتمی که دارای بالاترین صحت بود، استفاده شد. از آنجایی که انتخاب نوارهای مناسب برای طبقه بندی یکی از مراحل اساسی پیش از طبقه بندی است، در روی کرد چهارم، شاخص مطلوبیت محاسبه شد و نوارهای شاخص مطلوبیت اول و دوم، به عنوان یک مجموعه نوارهای طبقه بندی شدند. در روی کرد پنجم از نقشه DEM برای افزایش دقت طبقه بندی (با توجه به اینکه شوری خاکها تحت تأثیر پدیده های توپوگرافیکی هستند)، استفاده شد (Liu و همکاران، ۲۰۰۵؛ متین فر، ۱۳۸۵). مجلی (۱۳۷۳)، به تأثیر توپوگرافی در شور شدن خاکها اشاره کرده و اظهار می دارد، خاکها در نواحی پست، حتی در مناطق خشک، ممکن است سفره آب زیرزمینی بالایی داشته باشند. آب موجود در مخازن زیرزمینی واقع در چند متری از سطح خاک، قادر است با جریان موئینگی به سطح خاک رسیده، در آنجا تبخیر و نمکهای خود را بر جای گذارد؛ برای مثال، نمکها معمولاً از نواحی زیاد آبیاری شده حمل می شده، و در نواحی پست با زهکشی ضعیف تجمع یافته و با تبخیر زه آبها، غلظت زیاد نمک باقی می ماند.

در روی کرد هفتم، مولفه های اصلی تجزیه و تحلیل شده. و در روی کرد هشتم، شاخص های NDVI<sup>۴</sup>، SRVI<sup>۵</sup>، PVI<sup>۶</sup>، SAVI<sup>۷</sup>، SI<sup>۸</sup>، NDSI<sup>۹</sup> و BI<sup>۱۰</sup> محاسبه، طبقه بندی و ارزیابی شدند (جدول ۲). در روی کرد نهم، تبدیل تسلدکپ تجزیه و تحلیل شد.

<sup>1</sup> Minimum distance to mean

<sup>2</sup> Parallelepiped (PPD) or Box classifier

<sup>3</sup> Maximum likelihood

<sup>4</sup> Normalized Differential Vegetation Index (Rouse et al., 1974)

<sup>5</sup> Simple Ratio Vegetation Index

<sup>6</sup> Perpendicular Vegetation Index

<sup>7</sup> Soil Adjusted Vegetation Index

<sup>8</sup> Salinity Index

<sup>9</sup> Normalized Differential Salinity Index

<sup>10</sup> Brightness Index

طبقه‌های پوشش/ کاربری اراضی استخراج شده، با کمک نتایج آزمایشگاه نمونه‌های سطحی، به طبقه‌های شوری تبدیل شدند؛ برای این منظور، نقشه واقعیت زمینی با نقشه طبقه‌بندی شده تلاقی<sup>۱</sup> و نتایج آن در ماتریسی (جدول ۳) آورده شد و با توجه به این که کدام طبقه شوری بیش‌ترین درصد را در یک طبقه طیفی- اطلاعاتی داراست، در آن طبقه شوری قرار گرفت؛ در صورتی که این مقدار کم‌تر از ۷۰٪ بود، آن طبقه به‌عنوان طبقه مخلوط در نظر گرفته شد. پس از تعیین طبقه شوری هر یک از طبقات، نقشه شوری مربوط به هر روی کرد (مجموعه نوارها) تهیه و سپس با نقشه واقعیت زمینی تلاقی و ماتریس خطا تهیه شد.

جدول ۱- مجموعه باندهای مورد استفاده در طبقه‌بندی نظارت شده

مجموعه باندها	روی کرد
هفت نوار سنجنده الگوریتم طبقه‌بندی حداقل فاصله از میانگین	۱
هفت نوار سنجنده الگوریتم طبقه‌بندی Box Classifier	۲
هفت نوار سنجنده الگوریتم طبقه‌بندی حداکثر احتمال	۳
نوارهای ۳، ۴، ۵ و ۶	۴
هفت نوار و DEM	۵
همه نوارها به استثنای باند حرارتی (۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۷).	۶
مولفه‌های اصلی	۷
شاخص‌ها	۸
تبدیل تسلدکپ	۹

جدول ۲- شاخص‌های به‌کار رفته در تحقیق و میزان همبستگی آن‌ها با ECE

شاخص	رابطه	میزان همبستگی
SI <sub>1</sub>	$\sqrt{G \times R}$	0.574**
SI <sub>2</sub>	$\sqrt{G^2 + R^2 + NIR^2}$	0.576**
SI <sub>3</sub>	$\sqrt{G^2 + R^2}$	0.570**
BI	$\sqrt{R^2 + NIR^2}$	0.412**
NDVI	$\frac{NIR - R}{NIR + R}$	-0.363**
SAVI	$(L=0.5) \frac{NIR - R}{NIR + R + L} (L+1)$	-0.257**
PVI	$\frac{NIR - aR - b}{\sqrt{1 + a^2}}$ , (a=0.9, b=0.1)	-0.287**
NDSI	$\frac{R - NIR}{R + NIR}$	0.363**
SRVI	$\frac{NIR}{R}$	-0.333**

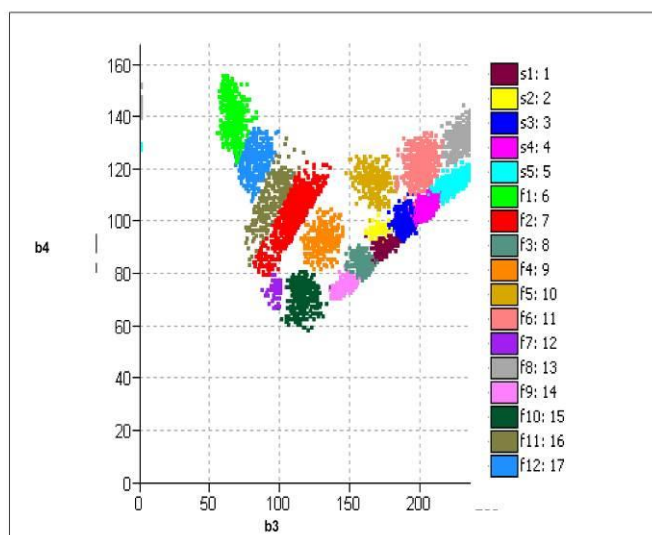
NIR, R و G به ترتیب مقادیر پیکسل در نوارهای مادون قرمز نزدیک، قرمز و سبز هستند.

## نتایج و بحث

بررسی نحوه توزیع طبقه‌های طیفی نشان داد که مناطق مسکونی، دارای اختلاط طیفی با خاک‌های شور بودند، این اراضی قبل از طبقه‌بندی ماسک شدند و سپس عمل طبقه‌بندی نظارت شده بر روی تصویر انجام گرفت. شکل ۳، نمودار دوبعدی نوارهای B3 و B4 و نمونه‌های تعلیمی را نمایش می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، نمونه‌های تعلیمی سه گروه بوده، به نحوی که یک مثلث را می‌دهند؛ تشکیل نمونه‌های مربوط به خاک لخت، در فضای دو بعدی بر روی خط خاک واقع شده‌اند و در فضای نزدیک به مبدا، مختصات خاک‌های غیر شور تیره (اراضی آیش)

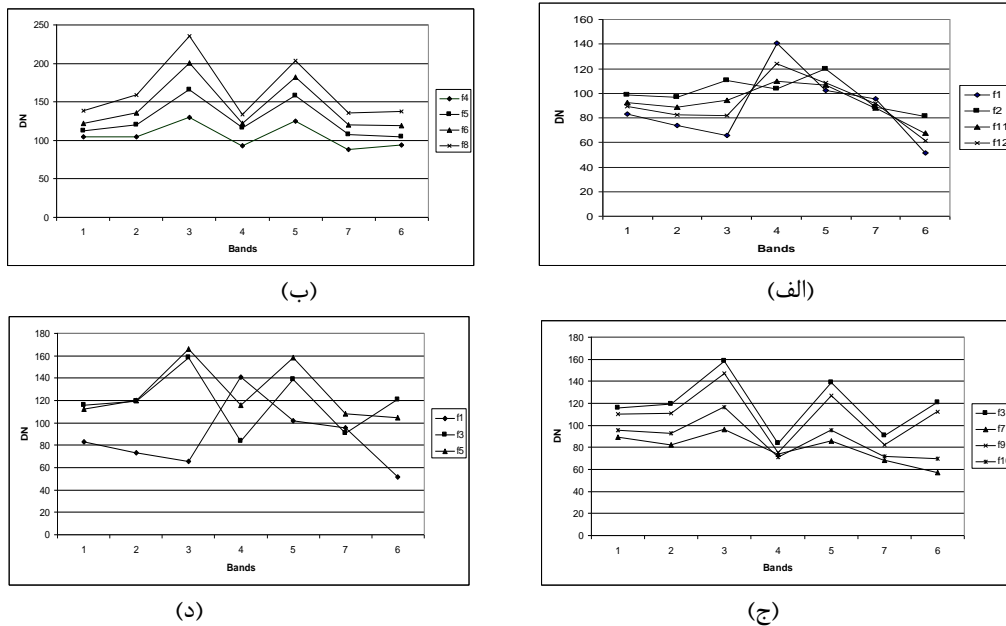
<sup>1</sup> Cross

F9, F10 و F3 و کمی بالاتر از خاک‌های شور مرطوب، خاک S1 و S2 قرار دارند و در انتهای خط خاک، خاک‌های شور (S3, S4, S5) واقع شده‌اند؛ در بین خط خاک و راس نمودار دو بعدی، نمونه‌های مربوط به مخلوط خاک و گیاه، یعنی طبقه‌های F4, F5, F6 و F8 قرار دارند؛ در راس مثلث نمونه‌های مربوط به پوشش‌های سبز و شاداب، یعنی طبقه‌های F1, F2, F11 و F12 واقع شده‌اند. بررسی نمودار دو بعدی نوار ۳ در برابر نوار ۴، نشان می‌دهد طبقه‌های زراعت‌های شاداب و مخلوط خاک و گیاه و اراضی آیش، به صورت مجموعه‌های منفرد، به خوبی از یکدیگر تفکیک شده‌اند.



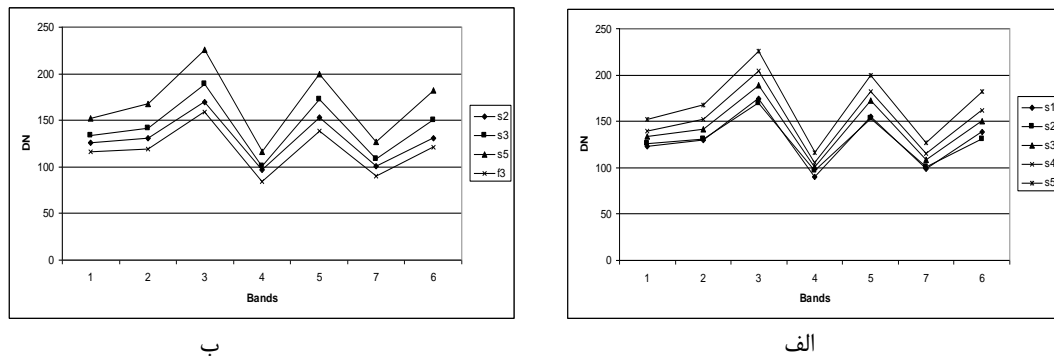
شکل ۳- نمودار دو بعدی B3 و B4 و نمونه‌های تعلیمی سنجنده ETM<sup>+</sup>

نمودارهای طیفی طبقه‌های تعلیمی در شکل ۴ نشان داده شده است. پوشش‌های سبز و شاداب، در محدوده طول موج قرمز (نوار ۳) دارای جذب بیش‌تری هستند؛ زیرا کلروفیل انرژی دریافتی را جذب کرده، از میزان بازتاب کاسته و در محدوده مادون قرمز نزدیک (نوار ۴) جذب و عبور شدیداً کاهش یافته و در نتیجه، میزان انعکاس به میزان بسیار زیادی افزایش می‌یابد (شکل ۴- الف). در ناحیه مادون قرمز میانی، میزان انعکاس متأثر از آب درون سلولی است و با افزایش مقدار آب درون سلولی، مقدار جذب افزایش یافته و در محدوده نوار سبز، انعکاس می‌یابد که به رنگ سبز دیده می‌شود. اما نمودار طیفی طبقه‌های مخلوط خاک و گیاه، دارای بازتاب بالا در محدوده طول موج قرمز (نوار ۳) هستند که موجب تفکیک طبقه‌های پوشش سبز و مخلوط خاک و گیاه می‌شوند (شکل ۴- ب). نمودار طیفی طبقه‌های آیش، در شکل ۴- ج نمایش داده شده است. انعکاس بالا در محدوده طول موج قرمز، و انعکاس پایین در محدوده مادون قرمز نزدیک، نشان‌دهنده وجود پوشش بسیار کم در این طبقه‌ها است. طبقه F7 خاک مرطوب و دارای کم‌ترین بازتاب، به ویژه در محدوده مادون قرمز میانی است. شکل ۴- د، نمودار طیفی پوشش شاداب (F1)، مخلوط خاک و گیاه (F5) و اراضی آیش (F3) را با یکدیگر مقایسه می‌نماید. بازتاب مخلوط خاک و گیاه، تا حدودی با اراضی آیش هماهنگ است که این امر، به علت تاثیر خاک بر بازتاب بقایای گیاهی و پوشش‌های پراکنده بوده و موجب کاهش بازتاب آن در محدوده مادون قرمز نزدیک می‌شود. در هر صورت، مخلوط خاک و گیاه نسبت به اراضی آیش، دارای بازتاب بیش‌تری در محدوده مادون قرمز نزدیک (نوار ۴)، و نشان‌دهنده وجود پوشش گیاهی با تراکم بسیار کم در طبقه F5 است. طبقه‌های آیش و مخلوط خاک و گیاه، در محدوده مادون قرمز میانی و حرارتی، به خوبی از یکدیگر قابل تفکیک‌اند.



شکل ۴- نمودار بازتابندگی طیفی: (الف) پوشش‌های سبز و شاداب، (ب) طبقه‌های مخلوط خاک و گیاه، (ج) طبقه‌های آیش، (د) مقایسه نمودار طیفی پوشش شاداب (F1)، مخلوط خاک و گیاه (F5) و اراضی آیش (F3)

شکل ۵- الف، بازتاب خاک‌های شور و شور مرطوب را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل الف ملاحظه می‌شود، خاک‌های شور خشک (S3، S4 و S5)، نسبت به خاک‌های شور مرطوب (S1 و S2)، دارای بازتاب بیش‌تری بوده که این رفتار به‌علت اثر کاهندگی بازتاب‌ها به‌وسیله رطوبت است؛ خاک ۵، که دارای پوسته نمک در سطح است، بیش‌ترین بازتاب را در تمامی نوارها داراست و طبقه‌های خاک ۱ و ۲، دارای اختلاط طیفی در اغلب نوارها هستند، اما نوار حرارتی به خوبی این دو را از یکدیگر تفکیک می‌نماید.



شکل ۵- (الف) نمودار طیفی خاک‌های شور و شور مرطوب، (ب) مقایسه نمودار طیفی خاک‌های شور خشک (S5)، خاک‌های شور با پوسته‌های پلی‌گونی (S3)، خاک‌های شور مرطوب (S2) و اراضی آیش (F3)

در شکل ۵- ب خاک‌های شور با پوسته‌های پلی‌گونی (S3)، خاک‌های شور مرطوب (S2) و اراضی آیش (F3) با یکدیگر مقایسه شده‌اند. S5، که دارای پوسته نمک در سطح بوده بیش‌ترین بازتاب را در تمامی نوارها داراست. خاک غیر شور تحت آیش (F3)، دارای کم‌ترین بازتاب در تمامی نوارها و خاک شور با پوسته‌های پلی‌گونی (S3)، دارای بازتاب بیش‌تر از خاک شور مرطوب (S2) در نوارهای مرئی و مادون قرمز میانی است. خاک‌های شور مرطوب و خاک‌های غیر شور، روند بازتاب طیفی مشابهی در نوارهای مختلف دارند، اما به‌دلیل بازتاب کم‌تر خاک‌های غیرشور تحت آیش، در تمامی نوارها از یکدیگر قابل تفکیک‌اند. نوار حرارتی، قابلیت تفکیک خاک‌های شور خشک، خاک‌های



شور با پوسته‌های پلی‌گونی، خاک‌های شور مرطوب و اراضی آیش را از یکدیگر دارا است. بررسی نمودار طیفی خاک‌های شور، نشان می‌دهد حضور بلورهای نمک بدون رطوبت باعث افزایش بازتاب و رطوبت و پوسته‌های پلی‌گونی، موجب کاهش بازتاب‌ها می‌شود. پس از طبقه‌بندی تصویر  $ETM^+$  در نقشه طبقه‌بندی شده، روی کرد پنجم (هفت نوار و DEM) با نقشه واقعیت زمینی تلاقی و نتایج آن در ماتریسی آورده شد (جدول ۳). پس از تعیین طبقه شوری، نقشه شوری مربوط به هر روی کرد تهیه و سپس با نقشه واقعیت زمینی تلاقی و ماتریس خطا تهیه شد.

نتایج طبقه‌بندی تصویر  $ETM^+$  در جدول ۴ آورده شده است. روی کرد دوم (Box Classifier) تنها ۵۹٪ از منطقه را طبقه‌بندی و بقیه را جزو طبقه Undefined قرار داد. همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، الگوریتم بیشینه احتمال (روی کرد سوم) دارای صحت بالاتری از الگوریتم کمینه فاصله از میانگین (روی کرد اول) است؛ بنابراین برای طبقه‌بندی تمامی روی کردها از الگوریتم بیشینه احتمال استفاده شد. بر اساس نتایج طبقه‌بندی، روی کرد پنجم، یعنی هفت نوار و DEM، دارای بالاترین و روی کرد ششم یعنی همه نوارها به استثنای نوار حرارتی، دارای کم‌ترین صحت کلی، صحت کاربر، صحت تولیدکننده و ضریب کاپا هستند. صحت کلی؛ ۸۱/۲۵٪، صحت کاربر ۸۲/۳۶٪، صحت تولیدکننده ۷۱/۳۸٪ و ضریب کاپا ۰/۷۶ بالای روی کرد پنجم، نسبت به روی کرد سوم (هفت نوار)، نشان‌دهنده اهمیت DEM در تفکیک طبقه‌های مختلف به‌ویژه اراضی شور است.

مقایسه صحت کلی روی کرد ۳ و ۶ (همه نوارها به استثنای باند حرارتی)، بیانگر اهمیت نوار حرارتی در شناسایی و تفکیک طبقه‌های شوری از یکدیگر است. روی کرد چهارم دارای بالاترین شاخص مطلوبیت بوده، اما صحت کلی کمی دارد. به نظر می‌رسد استفاده از تمامی اطلاعات طیفی و مکانی، نسبت به استفاده از شاخص مطلوبیت برای انتخاب بهترین ترکیب نواری در منطقه مورد مطالعاتی، عامل مهم‌تری در صحت طبقه‌بندی است بنابراین روی کرد هفتم (PCA) دارای صحت قابل قبولی بوده و می‌توان از این تبدیل برای طبقه‌بندی تصاویر در این گونه مطالعات استفاده نمود؛ اما استفاده از DEM، به‌ویژه در طبقه‌بندی خاک‌های شور، کمک زیادی در افزایش طبقه‌بندی دارد. روی کرد هشتم (شاخص‌ها) نیز دقت خوبی در طبقه‌بندی داشته و نشان‌دهنده اهمیت شاخص‌ها در شناسایی و طبقه‌بندی شوری است. روی کرد نهم (تسلدکپ)، دارای بالاترین صحت پس از روی کرد پنجم و نشان‌دهنده مناسب بودن این تبدیل برای تفکیک خاک‌های شور است. شکل ۶ نتیجه طبقه‌بندی روی کرد پنجم است.

در جدول ۵، ماتریس خطای طبقه‌بندی روی کرد هفتم آورده شده است. بررسی ماتریس خطا نشان می‌دهد طبقه شوری S1 دارای کم‌ترین صحت بوده و بیش‌ترین تداخل طیفی را با طبقه‌های S0 و S2، به‌ویژه با طبقه S0 دارد؛ به طوری که، نسبت به سایر طبقه‌ها، دارای کم‌ترین صحت کاربر است. طبقه S0، دارای کم‌ترین صحت تولیدکننده و تداخل طیفی با طبقه‌های S0 و S5، دارای بالاترین صحت تولیدکننده و کاربر است؛ این طبقه، وضعیت متفاوتی از سایر طبقه‌ها داشته، دارای پوسته نمک در سطح بوده و در تصاویر بیش‌ترین بازتاب را دارد؛ از طرفی، از لحاظ موقعیت مکانی در مناطق پست قرار گرفته که این عوامل موجب تفکیک خوب این اراضی از سایر طبقه‌های شوری شده است؛ همچنین طبقه‌های شوری S4 و S3، دارای صحت کاربر و تولیدکننده بالایی هستند که این امر به دلیل بازتاب متفاوت و موقعیت مکانی این طبقه‌ها است.

سنجنده  $ETM^+$  به علت داشتن تعداد نوارهای زیاد، محدوده طیفی وسیع از محدوده مرئی تا مادون قرمز حرارتی (۱۴ تا ۰/۴ میکرومتر)، و به‌ویژه داشتن نوار حرارتی، به خوبی قابلیت تفکیک طبقه‌های شوری را از یکدیگر دارد. نتایج نشان داد الگوریتم بیشینه احتمال، دارای صحت بالاتری از الگوریتم‌های کمینه فاصله از میانگین و Box Classifier است؛ لذا برای طبقه‌بندی تمامی مجموعه‌های نواری (روی کردها) از این الگوریتم استفاده شد. نتایج طبقه‌بندی نشان می‌دهد که تلفیق DEM با همه نوارها، موجب افزایش صحت طبقه‌بندی، نسبت به سایر روی کردها، شده است؛ زیرا خاک‌های شور و غیر شور از لحاظ موقعیت ارتفاعی متفاوت هستند؛ خاک‌های شور در مناطق مرتفع و بافت خیلی درشت کم‌تر، و در مناطق پست بیش‌تر مشاهده می‌شوند. نتایج مطالعات Liu و همکاران (۲۰۰۵) نشان داد که استفاده از DEM دقت پیشگویی، به‌ویژه در مناطق با شوری بالا را افزایش می‌دهد که این تأیید کننده نتایج پژوهش حاضر است؛ همچنین با نتایج مطالعات Masoud و Kike (۲۰۰۶)، Liu و همکاران (۲۰۰۵) و متین‌فر (۱۳۸۵)

مطابقت دارد؛ نتایج، اهمیت نوار حرارتی را در تفکیک خاک‌های شور نشان داد؛ به طوری که با حذف این نوار، صحت طبقه‌بندی به طور قابل توجهی کاهش یافت. که با نتایج مطالعات متین‌فر (۱۳۸۵)، Margate و Shrestha (۲۰۰۱)، Zinck (۲۰۰۰)، Alavi Panah و Pouyafar (۲۰۰۵) و Verma و همکاران (۱۹۹۴) مطابقت دارد.

جدول ۳- ماتریس حاصل از تلاقی روی کرد پنجم سنجنده  $ETM^+$  با نقشه واقعیت زمینی EC

نام Class	کد Class	EC class	شماره	تعداد	S0	S1	S2	S3	S4	S5	EC نهایی class
					(% )						
S1	1	S3	45	45				100.00			S3
S2	2	S3	45	54				83.33	16.77		S3
S2	2	S4	9								
S3	3	S3	9	63				14.29	85.71		S4
S3	3	S4	54								
S4	4	S4	126	126					100.00		S4
S5	5	S4	9	63					14.28	85.72	S5
S5	5	S5	54								
F1	6	S0	18	18	100.00						S0
F2	7	S0	27	36	75.00	25.00					S0
F2	7	S1	9								
F3	8	S0	9	126	7.14	35.71	57.14				S1.S2
F3	8	S1	45								
F3	8	S2	72								
F4	9	S0	9	63	14.29	14.28	71.43				S2
F4	9	S1	9								
F4	9	S2	45								
F5	10	S0	27	36	75.00	25.00					S0
F5	10	S1	9								
F6	11	S0	72	117	61.54	23.08	15.38				S1.S0
F6	11	S1	27								
F6	11	S2	18								
F7	12	S0	9	27	33.33	66.66					S0.S1
F7	12	S1	18								
F8	13	S0	63	90	70.00	20.00	10.00				S0
F8	13	S1	18								
F8	13	S2	9								
F9	14	S0	45	54	83.33	16.67					S0
F9	14	S1	9								
F10	15	S0	9	36	25.00	75.00					S1
F10	15	S1	27								
F11	16	S0	27	27	100.00						S0
F12	17	S0	27	27	100.00						S0

در بین روش‌های پردازش تصاویر بررسی شده در این تحقیق، تبدیل PCA، تبدیل تسلدکپ و شاخص‌ها دارای صحت بالایی بودند و می‌توان از این پردازش‌ها در مطالعات شوری استفاده کرد (Masoud و Kike، ۲۰۰۶ و Dwivedi و Sreenivas، ۱۹۹۸). شاخص‌های SI و BI، دارای بیش‌ترین همبستگی با EC بوده و بهتر توانستند خاک‌های شور را از خاک‌های غیرشور تفکیک نمایند. شاخص مطلوبیت، دارای کلی نسبتا پایینی در تمامی تصاویر بود. چنین استنباط می‌شود که استفاده از تمامی اطلاعات طیفی و مکانی، عامل مهم‌تری در افزایش صحت طبقه‌بندی در منطقه مورد مطالعاتی است (Masoud و Kike، ۲۰۰۶ و متین‌فر، ۱۳۸۵). نتایج نشان می‌دهد که

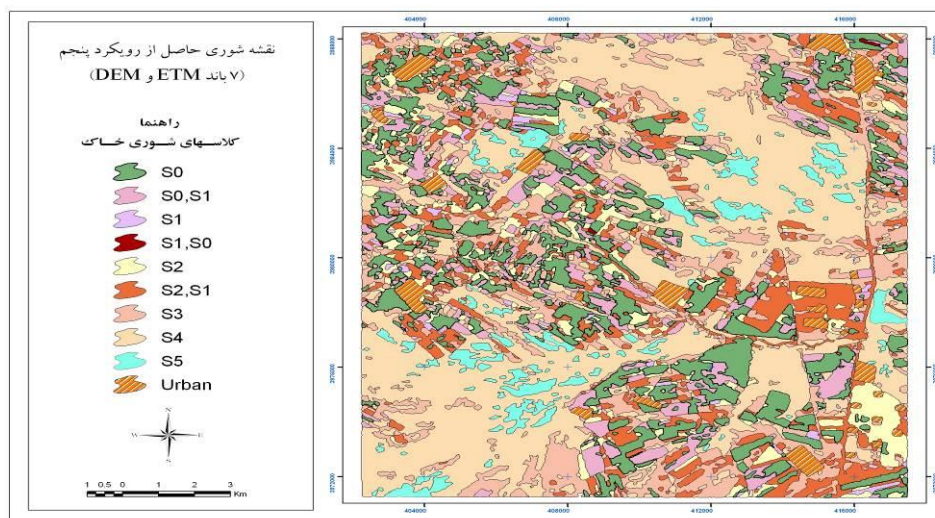
پوسته‌های صاف و با رنگ روشن، خصوصا پوسته‌های بدون درز و شکاف، موجب افزایش بازتاب‌ها می‌شود؛ به طوری که این اراضی دارای بالاترین بازتاب‌ها بوده و با صحت بالایی تفکیک شدند. به طور کلی، مناطق با شوری بالا و متوسط، نسبت به مناطق با شوری پایین، با دقت بالاتری تفکیک شدند (Mallyon و McGowen، ۱۹۹۶).

جدول ۴- صحت کلی، صحت کاربر، صحت تولید کننده و ضریب کاپا روی کردهای مختلف نقشه EC

روی کرد	صحت کلی	صحت کاربر	صحت تولید کننده	ضریب کاپا
	(/)			
1	68.32	73.04	70.51	0.63
3	72.49	72.14	71.7	0.67
4	72.89	71.02	73.84	0.67
5	81.25	82.36	81.38	0.76
6	62.67	60.21	65.2	0.57
7	73.57	75.98	73.81	0.69
8	73.87	74.41	74.96	0.69
9	74.68	77.69	76.05	0.70

جدول ۵- ماتریس خطای روی کرد پنجم سنجنده ETM<sup>+</sup>

خطای اضافه	صحت کاربر	مجموع	S5	S4	S3	S2	S1	S0	
5.56	94.44	324	0	0	0	0	18	306	S0
72.22	27.78	162	0	0	0	45	45	72	S1
15.79	84.21	171	0	0	0	144	0	27	S2
9.09	90.91	99	0	9	90	0	0	0	S3
9.09	90.91	198	9	180	9	0	0	0	S4
0.00	100.00	54	54	0	0	0	0	0	S5
		1008	63	189	99	189	63	405	مجموع
			85.71	95.24	90.91	76.19	71.43	75.56	صحت تولید کننده
			14.29	4.76	9.09	23.81	28.57	24.44	خطای حذف



شکل ۶- نقشه شوری حاصل از طبقه‌بندی روی کرد پنجم سنجنده ETM<sup>+</sup>

## تشکر و قدردانی

بدین وسیله از گروه مهندسی علوم خاک دانشکده آب و خاک پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، که امکانات لازم را برای این طرح فراهم کردند، همچنین از کلیه دوستان و همکارانی که در انجام این پژوهش ما را یاری نمودند، کمال تشکر و امتنان را دارد.

## منابع مورد استفاده

۱. مجلی، ح. ۱۳۷۳. شیمی خاک. مرکز نشر دانشگاهی، تهران.
۲. متین فر، ح.ر. ۱۳۸۵. بررسی داده‌های سنجنده‌های ASTER، LISS\_III، ETM، TM و MSS به منظور شناسایی خاک‌ها بر اساس مطالعات میدانی به کمک سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) در منطقه کاشان. پایان‌نامه دکتری دانشگاه تهران.
3. Alavi Panah, S.K. and A.M. Pouyafar. 2005. Potentials and constraints of soil salinity in two different conditions of Iran using Landsat TM data. 31th Int. Symposium on Remote Sensing of Environment, Saunt Peterzburg, Russian Federation.
4. AL-Khaier, F. 2003. Soil Salinity Detection Using Satellite Remote Sensing. Ms.C. Thesis, the International Institute for Geo-information Science and Earth Observation in Master of Science in ITC.
5. Dwivedi, R.S. and K. Sreenivas. 1998. Image transforms as a tool for the study of soil salinity and alkalinity dynamics. International Journal of Remote Sensing, 19:605-619.
6. Farifteh, J., A. Farshad, R.J. George. 2005. Assessing salt-affected soils using remote sensing. Solute Modeling and Geophysics, Geoderma.
7. Liu, X., J. Peterson, Z. Zhang and S. Chandra. 2005. Improving soil salinity prediction with high resolution DEM derived from LIDAR data. The 9th International Symposium on Physical Measurements and Signature in Remote Sensing, China.
8. Margate, D.E. and D.P. Shrestha. 2001. The use of hyperspectral data in identifying desert-like soil surface features in Tabernas area, Southeast Spain. The 22nd Asian Conference on Remote Sensing.
9. Masoud, A.A. and K. Kike. 2006. Arid land salinization detected by remotely-sensed landcover changes. A case study in the Siwa region, NW Egypt, Journal of Arid Environments, 66:151-167.
10. McGowen, I. and S. Mallyon. 1996. Detection of Dryland salinity using single and multi-temporal Landsat imagery. Proceedings of the 8th Australasian Remote Sensing Conference, Canberra pp. 26-34.
11. Metternicht, G. 1999. Current status and future prospective of radar remote sensing for cartographic applications, Cartography, 28:1-16.
12. Metternicht, G. and J.A. Zinck. 1997. Spatial discrimination of salt and sodium affected soil surfaces. International Journal of Remote Sensing, 18:2571-2586.
13. Metternicht, G.I. and J.A. Zinck. 1996. Modeling salinity - alkalinity classes for mapping salt-affected topsoils in the semi-arid valleys of Cochabamba (Bolivia). ITC Journal, 2:125-135.
14. Verma, K., A. Saxena, A. Barthwal and S. Deshmukh. 1994. Remote sensing technique for mapping salt affected soils. International Journal of Remote Sensing, 15:1901-1914.
15. Wang, D., C. Wilson and C. Shannon. 2002. Interpretation of salinity and irrigation effects on soybean canopy reflectance in visible and near-infrared spectrum domain. International Journal of Remote Sensing, 23(5):485-492.
16. Zinck, J.A. 2000. Monitoring salinity from remote sensing data. In R. Goossens and B.M. De Vlieghe (Eds.), Proceedings of the 1st Workshop of the EARSeL Special Interest Group on Remote Sensing for Developing Countries, Ghent University, Belgium, pp. 359- 368.

## Saline soil mapping using ETM<sup>+</sup> data in the Qazvin plain

Maral Khodadadi<sup>1</sup>, MSc Student, Faculty of Agricultural Engineering, Tehran University, Iran

Mohammad Sadegh Askari, MSc Student, Faculty of Agricultural Engineering, Tehran University, Iran

Fereydoon Sarmadian, Associate Professor, Faculty of Agricultural Engineering, Tehran University, Iran

Hossein Gholi Refahi, Professor, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, Tehran University, Iran

Ali Akbar Norouzi, Scientific Board, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Iran

Ahmad Heidari, Assistant Professor, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, Tehran University, Iran

Hamid Reza Matinfar, Assistant Professor, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Iran

Received: 05 February 2009

Accepted: 05 June 2009

### Abstract

Salinity is the major factors of soil degradation in semi arid and arid regions. The main aim of this study was to evaluate the capability of Landsat ETM<sup>+</sup> data for soil Salinity mapping in the selected part of the Qazvin plain, an area of arid environment. In this study spectral classes carried out on remotely sensed data and with the help of field observation and soil analysis were regrouped to soil salinity classes to prepare soil salinity map.. Soil sampling was implemented using stratified random sampling method, depending on landscape complexity and homogeneity as well as on the representativeness of Landsat ETM<sup>+</sup> data. Also in each soil map unit at least one profile was studied for subsoil salinity variations. Field samples taken by using augur and profiles were analyzed in laboratory for Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> cations, as well as soil texture, EC<sub>e</sub> and pH. We have analyzed the effectiveness of additional data such as digital elevation model to improve the accuracy of classification. Also NDVI, SRVI, PVI, SAVI, SI, BI and NDSI indices, PCA and Tasseled cap were analyzed. Soil salinity map of each selected bands produced and with ground truth map crossed. The results indicated that combination of DEM with ETM<sup>+</sup> bands has highest accuracy. This study addressed that thermal band of ETM<sup>+</sup> can increase the classification accuracy which illustrated its effective role to classify the soil salinity. Tasseled cap and other indices had almost high accuracy among studied image processing techniques. The SI and BI indices had the highest correlation with EC and could distinguish the saline and non saline soils while the optimum index factor had overall low accuracy.

**Key words:** DEM, Salinity index, Saline soil, Soil degradation, Tasseled cap

---

<sup>1</sup> m\_khodadadi@yahoo.com