

شناسایی خاک‌های شور با تحلیل طیفی داده‌های سنجنده LISS-III و داده‌های میدانی مطالعه موردی: استان فارس (دریاچه طشک و بختگان)

هادی عبدالعظیمی^(۱*)، سید کاظم علوی پناه^۲، محمدحسین مهدیان^۳،
حمیدرضا متین فر^۴، ابراهیم پذیرا^۵ و محمدحسن مسیح‌آبادی

۱. دانشجوی دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران

۲. استاد دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران

۳. دانشیار سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران

۴. استادیار گروه مهندسی علوم خاک دانشگاه لرستان، خرم‌آباد

۵. دانشیار گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی - تهران

۶. هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران

تاریخ دریافت: ۸۹/۲/۵

تاریخ پذیرش: ۸۹/۹/۲۳

چکیده

با توجه به گسترش وسیع خاک‌های شور در ایران و تأثیر شوری آن بر عملکرد محصولات کشاورزی، شناسایی این زمین‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است. به منظور شناسایی و تحلیل طیفی طبقات مختلف شوری خاک‌های اطراف دریاچه طشک و بختگان، از تصاویر سنجنده LISS-III استفاده گردید. پس از انجام تصحیحات لازم بر روی تصاویر، نمونه‌های آموزشی و کنترل زمینی انتخاب و نمونه‌های خاک از عمق ۰-۵ سانتی‌متری، جمع‌آوری و جهت انجام تجزیه‌های لازم به آزمایشگاه ارسال گردید. سپس به منظور تهیه نقشه پوشش اراضی و شوری، طبقه‌بندی پیکسل‌های تصویر با انتخاب رویکردهای مختلف و با الگوریتم حداکثر مشابهت انجام شد. تحلیل نمودارهای دوبعدی و طیفی نشان داد؛ پوسته‌های نمکی سفیدرنگ در بالاترین بخش خط خاک و پوسته‌های نمکی تیره‌رنگ در بخش‌های پائین‌تر این خط قرار دارند. زبری، ناهمواری و همچنین حضور رطوبت از عوامل مؤثر در کاهش بازتاب پوسته‌های نمکی منطقه مورد مطالعه شناخته شد و در خاک‌های غیر شور نیز زبری حاصل از کلوخه‌های ناشی از عملیات خاکورزی، از عوامل تأثیرگذار در کاهش انعکاس بود. وجود پوشش گیاهی و کاه و کلش بر جای مانده از محصولات، در تشخیص خاک‌های شور منطقه مورد مطالعه ایجاد خطا نمود. ارزیابی نتایج دقت طبقه‌بندی رویکردهای تصویری مختلف، حاکی از آن بود؛ زمانی که از تمام باندهای سنجنده استفاده گردید صحت کل، کاربر و تولیدکننده افزایش یافت. در این تحقیق خاک‌های با شوری بیش از ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر از دقت‌های بالاتری برخوردار بودند و وجود تداخل طیفی در خاک‌های با شوری ۸-۴ و ۱۶-۸ دسی‌زیمنس بر متر منجر به کاهش دقت در این طبقه‌ها شد. ارزیابی نقشه شوری نشان داد که خاک‌های با شوری بیش از ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر، در نزدیکی دریاچه و عمدتاً در قسمت جنوب، جنوب غرب و جنوب شرق منطقه مورد مطالعه وجود داشت. در شمال منطقه نیز شوری‌های ۸ تا ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر در زمین‌های کشاورزی، نتیجه شد.

واژه‌های کلیدی: استان فارس، تحلیل طیفی، داده‌های شوری، سنجنده LISS-III

مقدمه

امروزه، محققین در تلاش هستند در راستای پایش نواحی متأثر از شوری، از روش‌های متفاوت برای شناسایی و نقشه‌برداری این خاک‌ها استفاده کنند. به طور مسلم، صرفه‌جویی در زمان و هزینه، ضمن در نظر گرفتن دقت نقشه‌های تولید شده، یکی از مهم‌ترین اهداف این پژوهشگران می‌باشد.

تحقیقات متعددی در رابطه با تشخیص پارامتر شوری به وسیله تصاویر ماهواره‌ای انجام شده است. پارامتر مذکور می‌تواند به طور مستقیم از خاک‌های بایر (به دلیل وجود پوسته‌های نمکی) و یا به صورت غیرمستقیم از نوع پوشش گیاهی، تشخیص داده شود. برای بررسی رابطه بین شوری خاک و بازتاب‌های آن، چهار باند سنجنده MSS و هفت باند سنجنده TM، در خاک‌های کویر مرکزی ایران مورد استفاده قرار گرفته است (Alavipanah and Gossens, 2000). نتایج حاصل نشان داد که وضعیت سطوح از جمله پوسته‌های بیابانی، سطوح سنگریزه‌ای و سطوح فرسایشی، نقش کاهشی در ضریب همبستگی بین شوری خاک و انعکاس دارند.

(Karvanava et al., 2000) از ترکیب PCA¹ و داده‌های فیزیوگرافی برای شناسایی و نقشه‌برداری خاک‌های شور از پاکستان استفاده نمودند. (Garsia et al., 2000) نقشه حاصل از داده‌های زمینی شوری را با نقشه بدست آمده از تصویر ماهواره ایکنوس مورد مقایسه قرار دادند. در نقشه حاصل از تصویر ماهواره‌ای، نواحی دارای مقادیر شوری زیاد، برآورد بالاتری از شوری را، ارائه نمودند. در نهایت سه کلاس شوری بر اساس هدایت الکتریکی عصاره اشباع، کم (۳/۸-۰ دسی زیمنس بر متر)، متوسط (۵/۸-۳/۸ دسی زیمنس بر متر) و زیاد، بیش از ۵/۸ دسی زیمنس بر متر، تشخیص داده شد.

(Khan et al., 2001) با استفاده از داده‌های سنجنده LISS-II، نقشه شوری منطقه فیصل آباد پاکستان، را تهیه نمودند که بهترین نتیجه در فصل خشک (مارچ، آوریل) به دست آمد. در این تحقیق مناطق مسکونی از عوامل مزاحم در تشخیص نواحی متأثر از نمک شناخته شدند.

انعکاس بالای شوری در طیف مرئی و مادون قرمز نزدیک به هم است. (Howari et al., 2002; Everit et al., 1988) این مطالعه نشان داد که سطوح شور دارای پوسته، معمولاً صاف‌تر از سطوح غیرشور هستند. تحلیل‌های طیفی نیز مبین آن است که پوسته‌های نمکی دارای هالیت، در ۱۴۳۲، ۱۸۵۱، ۱۹۵۸، ۲۲۲۶ نانومتر جذب مشخصی دارند. (Howari et al., 2002) همچنین، برخی مطالعات محدوده‌های ۱۰۰۰، ۱۴۰۰، ۱۹۰۰، ۲۲۰۰، ۲۳۰۰ نانومتر را برای تشخیص املاح مفید دانسته‌اند (Howari, 2003). روند تغییرات شوری با استفاده از تصویر سنجنده TM^۲ در طی ۱۳ سال (۱۹۸۷-۲۰۰۰) مورد مطالعه قرار گرفت

(Masoud and Koike, 2006). در این مطالعه دقت طبقه‌بندی براساس حداکثر احتمال، ۸۷/۴۵ درصد به دست آمد. نتایج نشان داد، ۴۷/۹۶ کیلومتر مربع از اراضی در طول این سال‌ها شور شده و ۷/۸ کیلومتر مربع از نواحی تحت کشت، دچار نابودی شده‌اند. در تحقیقی، حضور و فراوانی املاح موجود در خاک را با استفاده از فناوری اسپکتروسکوپی، مورد مطالعه قرار گرفت (Farifteh et al., 2008). در این تحقیق از محلول‌های کلرید منیزیم، کلرور سدیم، کلروپتاسیم، سولفات پتاسیم، سولفات منیزیم و سولفات سدیم استفاده شد. در بین املاح مورد بررسی، کلرید منیزیم و سولفات منیزیم بالاترین دقت تخمین زده شدند. در مورد کلرور سدیم نیز، تخمین شوری خاک دقت قابل قبولی (۰/۶۵= ضریب تبیین) را ارائه نمود. پژوهشگرانی نظیر، (Martinez-Rioss (2002) و (Zinck (2000)، (Dobos et al., (2001)، علوی‌پناه (۱۳۸۲) و متین‌فر (۱۳۸۴) هم نشان دادند که برای بهبود نتایج طبقه‌بندی داده‌های طیفی، دخالت اطلاعات جانبی مانند مدل رقومی ارتفاع^۳ و نقشه شیب می‌تواند نقش به‌سزایی داشته باشد.

با توجه به گسترش وسیع خاک‌های شور در ایران و تأثیر شوری آن‌ها بر عملکرد محصولات، شناسایی و پایش مکرر این زمین‌ها ضروری می‌باشد. بدیهی است، به منظور آگاهی از وضعیت تغییرپذیری مکانی، بسته به وسعت این نوع خاک‌ها، نمونه‌های زیادی نیاز می‌باشد که مستلزم صرف زمان و هزینه زیاد است. یکی از ابزارهای مؤثر در زمینه مطالعات پدیده‌های محیط زیست و از جمله شوری خاک سطحی، استفاده از فناوری‌های دورسنجی و بهره‌گیری از داده‌های ماهواره‌ای است که در کاهش هزینه‌ها نقش به‌سزایی دارد. در پژوهش حاضر، با استفاده از داده‌های سنجنده LISS-III، اهداف ذیل در عمق ۵-۰ سانتی‌متر خاک‌های اطراف دریاچه طشک و بختگان دنبال گردید:

- جداسازی سطوح مختلف شوری و شناسایی مناطق پرخطر
- ارزیابی نقش شاخص روشنایی^۴، تجزیه مؤلفه‌های اصلی و بهترین ترکیب باندی^۵ در افزایش دقت نقشه‌ها و کلاس‌های شوری طبقه‌بندی شده

مواد و روش‌ها

تشریح وضعیت عمومی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه (شکل ۱) دارای وسعتی در حدود ۸۰۶۲ هکتار است که در بین طول‌های جغرافیایی ۵۳ درجه و ۱۴ دقیقه تا ۵۳ درجه و ۲۴ دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۲۹ درجه و ۳۹ دقیقه تا ۲۹ درجه و ۴۴ دقیقه شمالی در نزدیکی شهرستان ارسنجان (شمال شرق استان فارس)، مجاور دریاچه طشک و بختگان، قرار دارد. ارتفاع از سطح دریای این منطقه از ۱۶۹۷ تا ۱۵۵۷ متر متغیر است. میانگین بارندگی سالیانه منطقه مورد مطالعه ۳۳۰ میلی‌متر، میانگین دمای سالیانه ۱۸/۴ درجه

1. Principle Component Analysis
2. Thematic Mapper
3. Digital Elevation Model
4. Brightness Index
5. Optimum Index Factor (OIF)

زمینی^۴، برداشت گردید. تمامی داده‌های برداشت شده به صورت فایل نقطه‌ای و با سیستم مختصات متریک به نرم‌افزار ایلویس وارد شد. ضمن در نظر گرفتن پراکنش مناسب نقاط، زمین مرجع نمودن تصویر^۵ با استفاده از روش Second Order Bilinear، با ۹ نقطه کنترلی انجام گردید. در این روش، سیگمای^۶ ۰/۱۶۵ نتیجه شد.

تعیین نمونه‌های آموزشی و آزمایشی

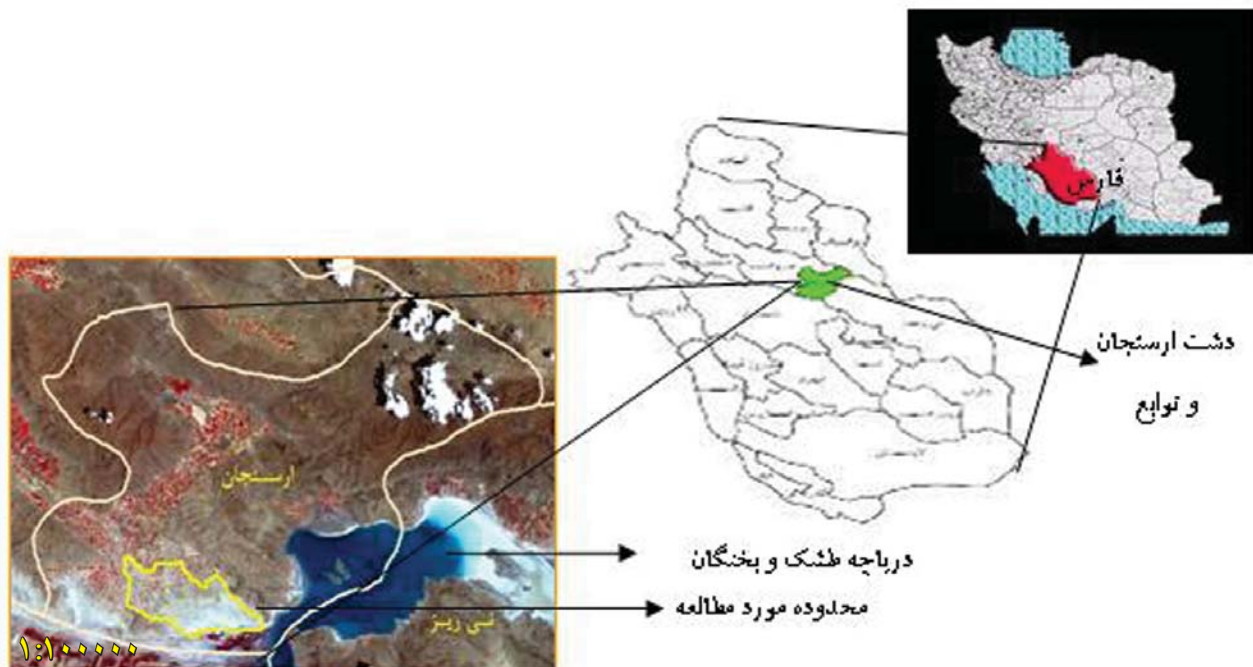
ابتدا به کمک شاخص بهترین ترکیب بانندی (OIF) و ایجاد تصاویر رنگی متعدد، بهترین ترکیب رنگی^۷ (۲-۳-۴) که پدیده‌ها را با حداکثر وضوح نمایش می‌داد انتخاب گردید. سپس بر روی این تصویر، واحدهای فتومورفیک شناسایی و تفکیک شد. این واحدها به عنوان نواحی آموزشی (شکل ۲)، به منظور نمونه‌گیری از پیکسل‌ها و سپس طبقه‌بندی رقومی، استفاده گردید. در حین نمونه‌برداری از پیکسل‌ها، تعداد نمونه (جدول-۴)، نمودارهای دوبعدی و شاخص‌های آماری میانگین و انحراف معیار، مورد توجه قرار گرفت. انتخاب نمونه‌های آزمایشی نیز در واحدهای فتومورفیک شناسایی شده انجام شد. سپس نمونه خاک‌های جمع‌آوری شده از عمق ۰-۵ سانتی‌متر به منظور اندازه‌گیری شوری عصاره اشباع، به آزمایشگاه ارسال گردید. در رابطه با پوسته‌های نمکی و برخی نمونه‌ها، نسبت جذبی سدیم، آهک، گچ و سیلت نیز اندازه‌گیری شد.

سانتی‌گراد و رژیم رطوبتی و حرارتی خاک به ترتیب زیریک^۱ و ترمیک^۲ می‌باشد (حسن‌شاهی، ۱۳۷۰). مهمترین محصولات محدوده مورد مطالعه، جو، گندم و یونجه می‌باشد و در حاشیه کوه‌ها نیز درختان انار و انگور وجود دارند.

پردازش تصویر ماهواره‌ای

تصویر مورد استفاده در این تحقیق شامل اطلاعات رقومی چهار باند سنجنده LISS-III مستقر بر ماهواره IRS-P6 (به تاریخ ۸ مرداد ماه ۱۳۸۶) می‌باشد. سنجنده LISS-III دارای چهار باند در محدوده طیفی ۰/۵۹-۰/۵۲ (سبز)، ۰/۶۸-۰/۶۲ (قرمز)، ۰/۷۷-۰/۸۶ (مادون قرمز نزدیک) و ۱/۷۰-۱/۵۵ میکرون (مادون قرمز میانی) با قدرت تفکیکی مکانی ۲۳/۵ متر بوده که عرض تصویربرداری آن ۱۴۰ کیلومتر می‌باشد. معمولاً تصاویر رقومی دارای انحراف‌هایی هستند، به طوری که این‌گونه تصاویر نمی‌توانند به عنوان نقشه مورد استفاده قرار گیرند (علوی پناه، ۱۳۸۲).

در این تحقیق از تصحیح هندسی^۳ برای جبران انحراف‌ها استفاده شد، به نحوی که تصویر تصحیح شده قابلیت انطباق با نقشه راه‌ها را پیدا نمود. بدین منظور در نرم افزار ایلویس نقشه راه‌های محدوده مورد مطالعه با تصویر رنگی مجازی ۲-۳-۴ هم‌پوشانی داده شد و مشخص گردید که انطباق لازم بین تصویر و نقشه وجود ندارد. با استفاده از GPS و با حضور در منطقه، مختصات ۲۴ نقطه (تقاطع جاده‌های فرعی با اصلی، میادین و پیچ جاده‌ها) به عنوان نقاط کنترل



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه

1. Xeric
2. Thermic
3. Geometric Correction
4. Ground Control Points
5. Image Georeferencing
6. Root Mean Square Error (RMSE)
7. False Color Composite (FCC)

نقشه‌های حاصل از طبقه‌بندی رویکردهای تصویری مختلف، مورد ارزیابی قرار گرفت.

نتایج و بحث

نتایج نشان می‌دهد بیشترین همبستگی بین مقادیر شوری و باندها، در باند ۲ (۰/۴۵) و کمترین آن در باند ۵ (۰/۰۶)، وجود دارد. این موضوع بیان‌گر آن است که باند ۲ سنجنده LISS-III در مقایسه با باندهای دیگر، حاوی اطلاعات بیشتری در رابطه با پدیده شوری است (جدول ۳). نیز در تحقیقی پی‌بردند که انعکاس بالای شوری در طیف مرئی و مادون قرمز نزدیک اتفاق می‌افتد. (Howari et al., 2002) همچنین با استفاده از تصویر ماهواره‌ای SPOT XS، همبستگی خوبی در محدوده طیف مرئی و پانکروماتیک با مقادیر شوری اندازه‌گیری‌شده مشاهده شده است (Douaoui et al., 2006).

کلاس‌های اطلاعاتی انتخاب‌شده

منطقه مورد مطالعه از لحاظ واحدهای فتومورفیک، به ۱۰ کلاس اطلاعاتی بر روی تصویر ۲-۳-۴ تقسیم گردید که در جدول (۱) به کلاس‌های مربوطه، اشاره شده است:

رویکردهای تصویری

در این تحقیق، به منظور اجرای طبقه‌بندی (به روش حداکثر احتمال مشابهت^۱ و با آستانه ۲۰) از رویکردهای تصویری مختلف، استفاده شد. این رویکردها، در جدول (۲) آورده شده است. در این تحقیق، پس از تعیین نمونه‌های آزمایشی برای برآورد دقت طبقه‌بندی، از ماتریس خطا^۲ استفاده گردید. هدف از ایجاد ماتریس خطا ارائه صحت نقشه حاصل از طبقه‌بندی داده‌های ماهواره‌ای است. بنابراین به منظور ارزیابی صحت نتایج طبقه‌بندی، پارامترهای دقت کلی^۳، دقت کاربر^۴، دقت نقشه‌بردار^۵ یا تولیدکننده، ضریب کاپا^۶ و خطاهای امیسیون^۷ و کمیسون^۸

جدول ۱- کلاس‌های اطلاعاتی بر روی تصویر ۲-۳-۴

مختصات پیکسل معرف		کلاس
Y	X	
۳۲۸۸۳۱۸	۷۲۷۹۸۴	خاک‌های با شوری کمتر از ۴ دسی زیمنس بر متر و با تن سبز رنگ (N1) ^۹
۳۲۹۰۰۷۳	۷۲۴۲۱۳	خاک‌های با شوری کمتر از ۴ دسی زیمنس بر متر و دارای کلوخه‌های ناشی از عملیات خاکورزی (N2) ^{۱۰}
۳۲۸۷۱۶۹	۷۲۴۳۵۹	خاک‌های با شوری کمتر از ۴ دسی زیمنس بر متر و با تن خاکستری رنگ (N3) ^{۱۱}
۳۲۹۲۶۳۱	۷۱۶۳۹۲	خاک‌های با شوری ۴-۸ دسی زیمنس بر متر (L) ^{۱۲}
۳۲۸۷۳۲۳	۷۱۷۹۸۷	خاک‌های با شوری ۸-۱۶ دسی زیمنس بر متر و دارای کاه و کلش (M) ^{۱۳}
۳۲۸۵۶۱۸	۷۲۲۴۰۸	خاک‌های با شوری ۱۶-۳۲ دسی زیمنس بر متر (H) ^{۱۴}
۳۲۸۵۱۶۳	۷۲۹۸۲۸	خاک‌های دارای پوسته‌های نمکی تیره‌رنگ و شوری بیشتر از ۳۲ دسی زیمنس بر متر (Sb) ^{۱۵}
۳۲۸۵۹۴۱	۷۲۷۵۰۶	خاک‌های دارای پوسته‌های نمکی سفیدرنگ با شوری بیشتر از ۳۲ دسی زیمنس بر متر (Sw) ^{۱۶}
۳۲۹۰۱۰۰	۷۱۹۷۸۹	پوشش گیاهی (P) ^{۱۷}
۳۲۹۱۷۸۷	۷۲۰۴۴۵	کوه (m) ^{۱۸}

1. Maximum Likelihood
2. Error Matrix
3. Overall Accuracy (ACC)
4. User Accuracy
5. Procedure Accuracy
6. Kappa Index
7. Omission of Error
8. Comission of Error
9. EC <4 dS/m: Non Saline Soils (Green)
10. EC <4 dS/m: Soils with large Clods in Ploughed Areas
11. EC <4 dS/m: Non Saline Soils (Gray)
12. EC = 4-8 dS/m: Low Saline Soils
13. EC = 8-16 dS/m: Soils with Residual of the Straw
14. EC = 16-32dS/m: High Saline Soils
15. EC > 32dS/m: Severe Saline Soils with Black Crusts
16. EC > 32dS/m: Severe Saline Soils with White Crusts
17. Plant Cover
18. Mountains

جدول ۲- رویکردهای تصویری

نام رویکرد	رویکرد
باند های ۵-۴-۳-۲	۱
باند های ۵-۴-۳-۲ و مؤلفه اصلی اول (PC1)	۲
باند های ۵-۴-۳-۲ و شاخص روشنایی	۳
باند های ۵-۴-۳-۲ و شاخص روشنایی و مؤلفه اصلی اول	۴
بهترین ترکیب باندی (OIF)	۵
OIF و BI	۶
OIF و PC1	۷
OIF, BI و PC1	۸

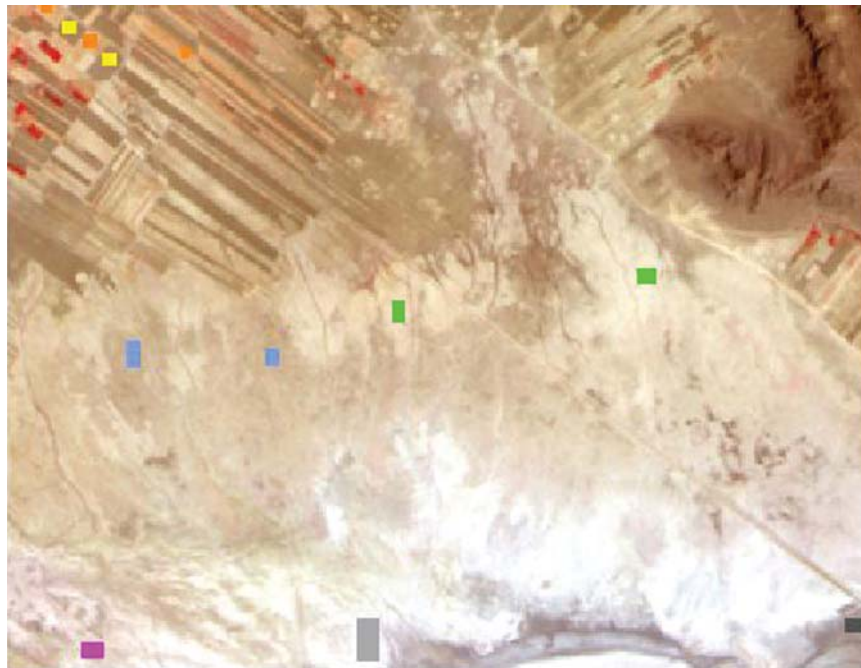
کلوخه های بزرگ در سطح خاک می باشند. علی رغم همجوار بودن این خاکها با کلاس خاک های با شوری ۱۶-۸ دسی زیمنس بر متر، غیر شور طبقه بندی شده اند. عملیات خاکورزی و به تبع آن حضور کلوخه ها و ناهمواری در سطح، موجب کاهش بازتاب می گردد. در این رابطه، مترنیخ و زینک (۲۰۰۳) نیز به نتایج مشابه در زمین های شخم خورده اشاره نموده اند.

در رابطه با نمودار طیفی پوشش گیاهی (شکل ۳) نیز می توان به صورت مجزا، سه ناحیه را تشخیص داد. ناحیه جذب به وسیله رنگدانه ها که در این محدوده رنگدانه های موجود در گیاه باعث جذب مقداری از انرژی الکترومغناطیسی در محدوده طیف مرئی شده و در نتیجه مقدار انعکاس در این ناحیه کم می شود. در

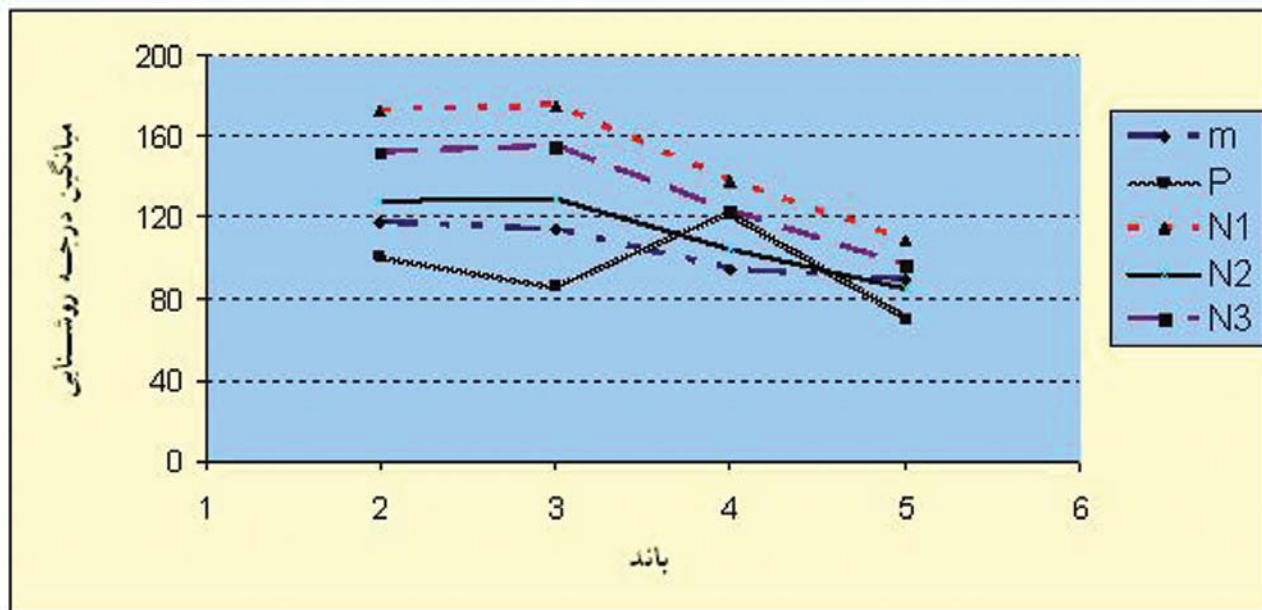
جدول ۳- ضرایب همبستگی بین مقادیر شوری عصاره اشباع عمق ۵-۰ سانتی متر و درجه روشنایی باندها

عمق (سانتی متر)	باند ۲	باند ۳	باند ۴	باند ۵
۰-۵	۰/۴۵	۰/۲۸	۰/۱۳	۰/۰۶

تفسیر نمودارهای طیفی می تواند کمک شایانی به تشخیص پدیده های طبیعی، از جمله شوری نماید. همان طور که در شکل (۳) نشان داده شده است، کلاس N1 و N3 بالاتر از کلاس N2 قرار گرفته اند که به دلیل برخورداری بودن از مواد با بازتاب بالاتر (آهک و سیلت) در سطح خاک است. نکته دیگر این که، خاک های موجود در کلاس N2، تحت عملیات خاکورزی قرار گرفته و دارای



شکل ۲- نمای کلی از نمونه برداری تعدادی پیکسل آموزشی بر روی برخی واحدهای فتومورفیک و کلاس های اطلاعاتی انتخاب شده

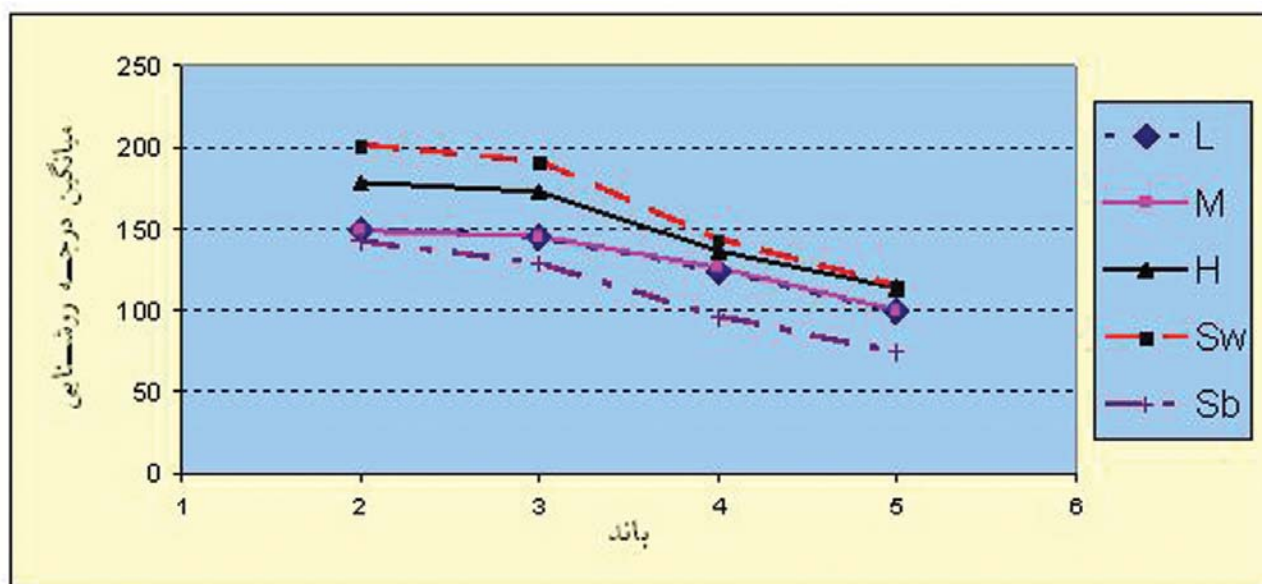


شکل ۳- نمودار طیفی خاک‌های غیر شور و پوشش گیاهی

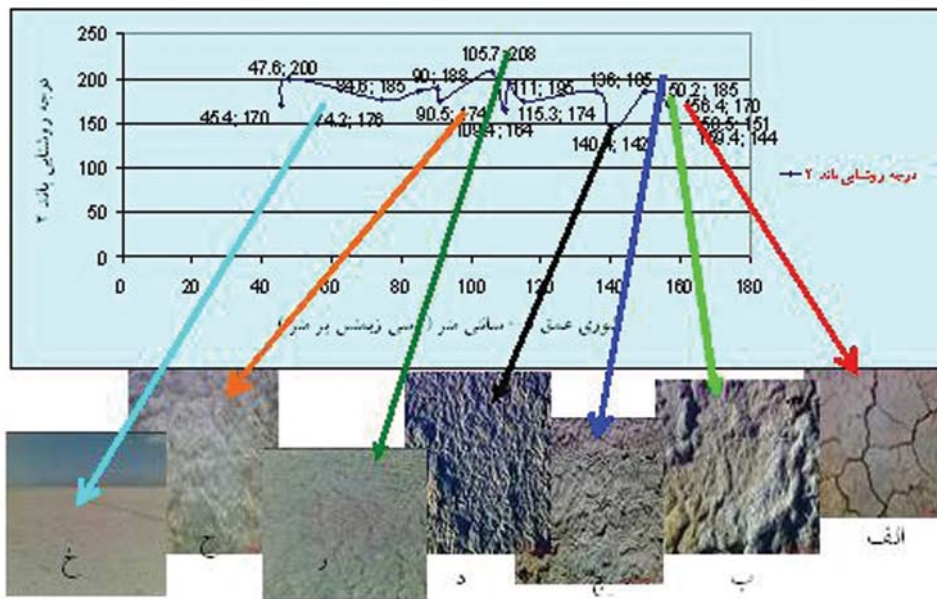
نمکی در سطح خاک تشکیل می‌شود (پوسته سفیدرنگ نمکی)، بازتاب طیفی بالایی را نشان می‌دهند. بدیهی است نوع و مقدار نمک، رطوبت خاک، رنگ خاک و زبری و صافی سطح خاک در میزان بازتاب مؤثر است. نکته قابل توجه این است که در خاک‌های غیرشور (هدایت الکتریکی کمتر از ۴ دسی زیمنس بر متر) هم، روند نمودار طیفی، مشابه با نواحی شور می‌باشد که در واقع به دلیل حضور سیلت (۲۹ تا ۴۶ درصد) و آهک فراوان (۳۷/۵ تا ۶۶ درصد) موجود در این خاک‌ها است که علی‌رغم فقدان شوری، میزان انعکاس بالایی در آن‌ها مشاهده می‌شود. وجود کاه و کلش بعد از برداشت گندم و جو در زمین‌های با شوری ۱۶-۸ دسی زیمنس بر متر (کلاس M)، موجب شد

گیاهان سبز به دلیل وجود کلروفیل، طول موج‌های آبی و قرمز به وسیله گیاه جذب و طول موج سبز منعکس می‌گردد. ناحیه دوم، طیف مادون قرمز نزدیک است (۰/۷۷-۰/۸۶ میکرومتر) که در این قسمت عمل جذب ناچیز و میزان بازتاب شدید می‌باشد. ناحیه سوم، معادل با محدوده طیف مادون قرمز میانی می‌باشد و طول موج‌های ۱/۴، ۱/۹ و ۲/۶ میکرومتر، شدیداً به وسیله مولکول‌های آب موجود در گیاه جذب شده و در نتیجه، در طول موج‌های یاد شده، میزان انعکاس افت شدیدی می‌یابد.

نمودار طیفی ارائه شده در شکل (۴) نشان می‌دهد، تشخیص شوری خاک در طیف مرئی (باند سبز و قرمز)، امکان‌پذیر است. معمولاً خاک‌های شور مناطق خشک، به‌ویژه زمانی که پوسته



شکل ۴- نمودار طیفی خاک‌های شور

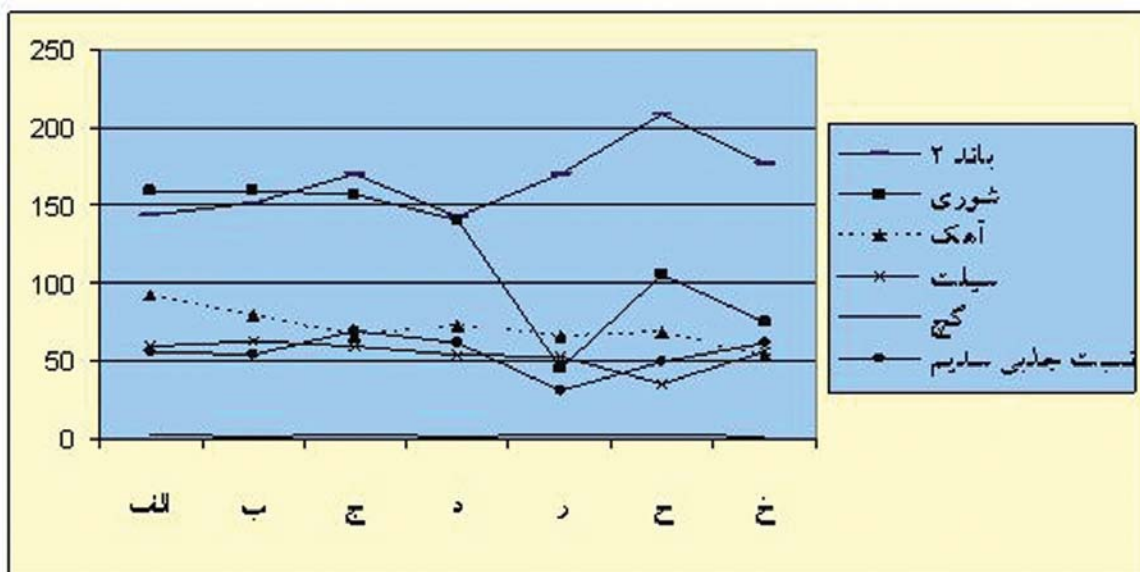


شکل ۵- پوسته‌های نمکی منطقه مورد مطالعه

هستند. به طور کلی در منطقه مورد مطالعه، پوشش گیاهی، کاه و کلش باقی مانده از محصولات، رطوبت، سیلت و آهک فراوان، از مشکلات عمده در تشخیص خاک‌های شور بودند.

خاک‌های خیلی شور و شورزارهای مناطق خشک و بیابانی و حاشیه پلایاها، از تنوع مورفولوژیکی و شیمیایی بالایی برخوردارند، همین مسئله موجب می‌شود بازتاب‌های طیفی مختلفی از شورزارها حاصل گردد. این موضوع ممکن است مشکلات مطالعه شوری با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای را افزایش دهد. از این رو شناخت وضعیت شورزارها و اشکال مختلف آن‌ها کمک زیادی به بهبود طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای می‌کند. تجمع موضعی نمک در نقاط مختلف منطقه مورد مطالعه

که بازتاب این خاک‌ها صرفاً به دلیل شوری نباشد. (Khan et al 2001) نیز در تحقیقی که در منطقه فیصل آباد پاکستان انجام دادند به این موضوع اشاره داشتند که وجود کاه و کلش بعد از برداشت، طبقه‌بندی غلطی را به وجود می‌آورد، زیرا کاه و کلش انعکاس مشابهی با املاح دارد. تفکیک خاک‌های با شوری کم (۸-۴) و متوسط (۱۶-۸ دسی زیمنس بر متر) نیز به سختی امکان‌پذیر بود (شکل ۴) و منجر به تداخل طیفی و کاهش دقت طبقه‌بندی این کلاس‌ها گردید. در این رابطه (Metternicht and Zinck, 2003) بیان داشته‌اند، سطوحی که از شوری بالا و متوسط برخوردارند، به آسانی قابل تشخیص می‌باشند اما سطوح با شوری کم و دارای مراحل ابتدایی از شوری، با مشکل تشخیص روبرو



شکل ۶- نمودار طیفی پوسته‌های نمکی منطقه مورد مطالعه و خصوصیات فیزیکوشیمیایی آن‌ها

زبری سطوح می‌شود و مینرالوژی نمک‌ها مورفولوژی مشخصی را در سطح خاک‌ها بوجود می‌آورد. به عنوان مثال پوسته‌های پفی، به دلیل فراوانی سولفات سدیم و پوسته‌های نمکی صاف به علت وجود کلریدها تشکیل می‌شوند (Metternich and Zinck, 2008). در خاک‌های شور، ویژگی‌های طیفی به مقدار زیاد وابسته به شرایط رطوبتی است، هر چه خاک رطوبتش را بیشتر از دست می‌دهد، رسوب کریستال‌های نمک در سطح خاک بیشتر شده، لذا انعکاس سطحی هم افزایش می‌یابد و برعکس افزایش رطوبت خاک موجب انحلال املاح و نهایتاً کاهش انعکاس طیفی خاک و تیره‌تر شدن تصویر می‌شود.

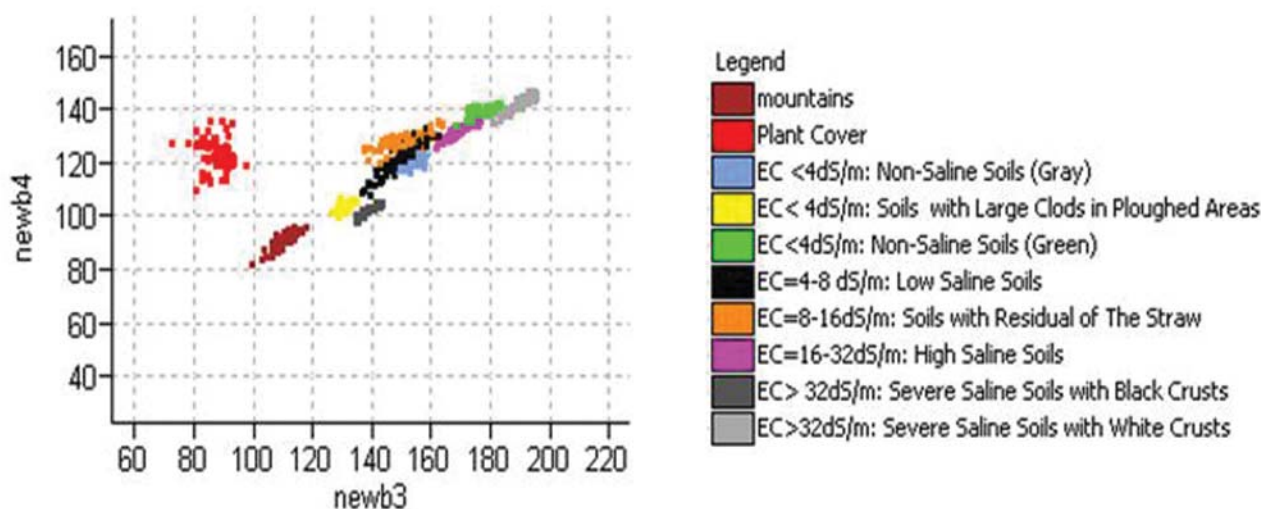
جذب آب در پوسته‌های نمکی، باعث تیره‌رنگ شدن آن‌ها می‌گردد که سبب کاهش انعکاس می‌شود. همان‌طور که در شکل (۷) نشان داده شده است، اراضی لخت با پوسته‌های نمکی سفیدرنگ (Sw)، در مقایسه با اراضی لخت با پوسته‌های

و وجود پوسته‌های نمکی با ساختمان‌های صاف تا زبر و خشن (ناهموار) و از نظر رنگ از سفید تا تیره، باعث ایجاد حالت‌های مختلف و تنوع زیاد در بازتاب شده است (Escadafal and Girard, 1989; Epema, 1992).

همان‌طور که در شکل (۵ و ۶) و جدول (۴)، نشان داده شده است؛ خاک‌های با پوسته‌های نمکی و مقادیر شوری مختلف، انعکاس‌های متفاوتی دارند. خاک (الف)، (ب) و (ج)، هر سه دارای مقادیر شوری تقریباً یکسان (۱۵۹/۴، ۱۵۸/۵ و ۱۵۶/۴ دسی زیمنس بر متر) اما بازتاب متفاوتند (مقادیر درجات روشنایی به ترتیب ۱۴۴، ۱۵۱ و ۱۷۰). در خاک (الف) که دارای درز، ترک و سطح تقریباً تیره می‌باشد، میزان بازتاب پائین‌تر است. در خاک (ب) که پوسته‌های پفی شکل تیره و تاول مانند وجود دارد، نسبت به خاک (ج) که سطح نسبتاً صاف و روشن‌تری دارد، درجه روشنایی کمتر می‌باشد. نوع نمک، موجب تغییرات در

جدول ۴- درجات روشنایی پوسته‌های نمکی و خصوصیات فیزیکوشیمیایی آن‌ها

خاک	باند ۵	باند ۴	باند ۳	باند ۲	شوری (dS/m)	نسبت جذبی سدیم	گچ (درصد)	آهک (درصد)	سیلت (درصد)
الف	۷۹	۱۳۶	۱۳۲	۱۴۴	۱۵۹/۴	۵۶	۱/۸۴	۹۲/۵	۵۹/۴
ب	۸۴	۹۷	۱۳۷	۱۵۱	۱۵۸/۵	۵۳/۵	۰/۹۹	۷۸/۷۵	۶۲/۶
ج	۹۶	۱۰۴	۱۵۸	۱۷۰	۱۵۶/۴	۶۹/۴	۱/۸۶	۶۵/۵	۵۹/۴
د	۷۶	۱۳۹	۱۳۳	۱۴۲	۱۴۰/۴	۶۱	۰/۹۸	۷۲/۵	۵۳/۴
ر	۱۰۸	۱۴۵	۱۶۸	۱۷۰	۴۵/۴	۳۰/۵	۲/۶	۶۵/۵	۵۲/۵
ح	۱۱۸	۱۱۵	۱۹۵	۲۰۸	۱۰۵/۷	۴۹/۵	۲/۱	۶۸	۳۴/۶
خ	۱۰۵	۱۳۷	۱۷۶	۱۷۶	۷۴/۲	۶۱	۱/۳	۵۲/۷	۵۶/۴



شکل ۷- نمودار دو بعدی نمونه‌های آموزشی

ارزیابی نتایج طبقه‌بندی

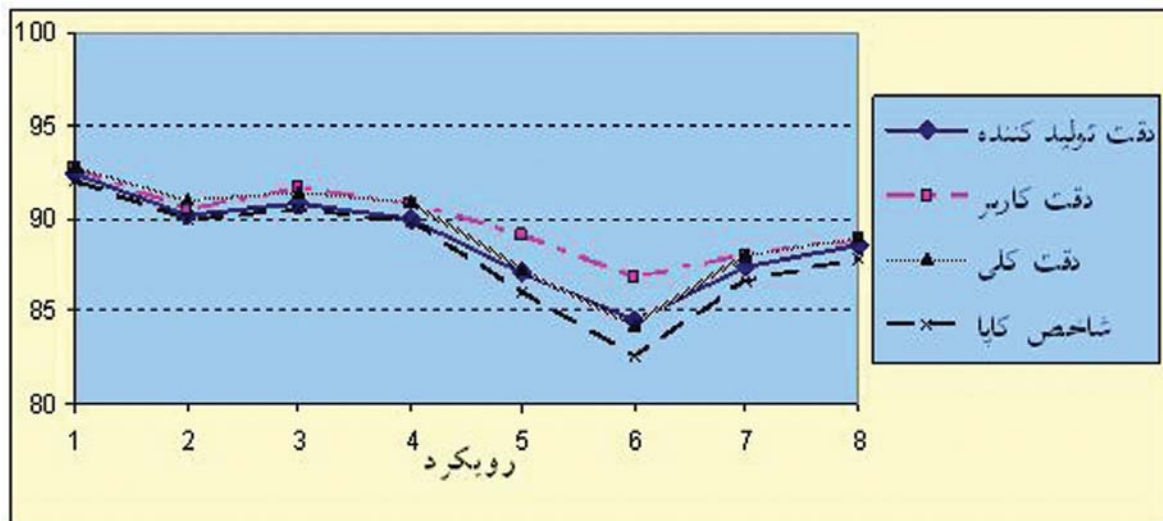
نقشه‌های حاصل از طبقه‌بندی رویکردهای مختلف با نقشه واقعیت زمینی تلاقی داده شد. بر اساس نتایج این تلاقی، ماتریس خطای طبقه‌بندی تصاویر محاسبه گردید. پس از آن، دقت کاربر، دقت تولیدکننده، دقت کلی و ضریب توافق کاپا با استفاده از پیکسل‌های قطری و غیرقطری جداول مربوطه استخراج و مورد ارزیابی قرار گرفت. در رویکرد اول (CI2345)، دقت کلی طبقه‌بندی^۱، ۹۲/۸۳، دقت کاربر^۲، ۹۲/۷۲، دقت تولیدکننده^۳، ۹۲/۳۷ و شاخص کاپا^۴ ۹۲ درصد، نتیجه شد (جدول ۶ و شکل ۸). نتایج ماتریس خطای طبقه‌بندی رویکرد اول در جدول (۵) ارائه شده است. در این رویکرد (اول)، کمترین دقت تولیدکننده در کلاس‌های M (۰/۷۸) و L (۰/۶۱)، مشاهده گردید. کلاس L، دارای بیشترین تداخل با کلاس M بوده، به طوری که ۲۵ پیکسل از آن حذف شده و در کلاس M قرار گرفته است (جدول ۵). پیکسل‌های واقع در مرز این کلاس‌ها (پیکسل‌های مخلوط) دارای شباهت بوده و با تداخل در کلاس‌های همدیگر موجب خطای طبقه‌بندی گشته‌اند و در نتیجه دقت طبقه‌بندی کاهش یافته است. کمترین دقت کاربر نیز در کلاس M (۰/۷۱) و L (۰/۶۵) مشاهده گردید (شکل ۹). یعنی فقط ۷۱ درصد از نواحی که به نام خاک M طبقه بندی شده است، در روی زمین نیز کلاس M می‌باشد و ۲۹ درصد پیکسل‌هایی که به عنوان خاک M طبقه بندی شده‌اند

نمکی تیره‌رنگ (Sb) دارای انعکاس بسیار بالایی می‌باشند. با افزایش رطوبت، انعکاس خاک کاهش یافته و در باندهای جذب آب (مادون قرمز میانی)، افت شدید انعکاس مشاهده می‌گردد. بنابراین، رطوبت یکی از عواملی است که باعث کاهش بازتاب می‌شود. همچنین در شرایطی که رطوبت خاک کم باشد املاح، انعکاس بالایی را به‌ویژه در باند آبی طیف مرئی نشان می‌دهند (Cslillage et al., 1993). خاک (د) که از کمترین میزان بازتاب در بین تمامی پوسته‌ها برخوردار است (۱۴۲) سطحی زبر و تیره دارد. این بدین معنی است که زبری و تیرگی دو عامل مهم در کاهش بازتاب می‌باشند. معمولاً، پوسته‌های نمکی هموارتر و صاف‌تر بازتاب بالاتری دارند. خاک (ر) (جدول ۴) علی‌رغم شوری پائین‌تر نسبت به سایر خاک‌ها، به دلیل روشنی پوسته‌ها، دارای بازتاب نسبتاً بالا می‌باشد (۱۹۵). به منظور ارزیابی پیکسل‌های انتخاب شده و نحوه پراکنش آن‌ها، نمودار دوبعدی باندهای مختلف نیز ترسیم گردید. همان‌طور که در شکل (۷)، مشاهده می‌شود؛ خاک‌های با پوسته‌های نمکی سفیدرنگ، در بالاترین قسمت خط خاک و خاک‌های با پوسته‌های نمکی تیره‌رنگ و کوه‌ها در قسمت‌های پایین‌تر (به دلیل درجه‌های روشنایی کمتر) قرار دارند. انحراف کم خاک‌های با شوری ۱۶-۸ دسی زیمنس بر متر از خط خاک و تمایل آن‌ها به سمت پوشش گیاهی، وجود کاه و کلش را در این خاک‌ها تأیید می‌کند.

جدول ۵- ماتریس خطای طبقه‌بندی رویکرد اول

Ground Truth	Classification Results												
	m	P	N1	N2	N3	L	M	H	Sw	Sb	Total	ACC	OM.E
m	۸۵										۸۵	۱	۰
P		۷۶									۷۶	۱	۰
N1			۱۱۲								۱۱۲	۱	۰
N2				۸۷		۲					۸۹	۰/۹۸	۰/۰۲
N3					۱۰۲	۱	۷				۱۱۰	۰/۹۳	۰/۰۷
L			۱	۱	۳	۴۶	۲۵				۷۶	۰/۶۱	۰/۳۹
M					۱	۲۲	۸۰				۱۰۳	۰/۷۸	۰/۲۲
H			۳				۱	۷۶			۸۰	۰/۹۵	۰/۰۵
Sw									۹۸		۹۸	۱	۰
Sb										۱۰۵	۱۰۵	۱	۰
Total	۸۵	۷۶	۱۱۶	۸۸	۱۰۶	۷۱	۱۱۳	۷۶	۹۸	۱۰۵	۹۳۴		
Rel	۱	۱	۰/۹۷	۰/۹۹	۰/۹۶	۰/۶۵	۰/۷۱	۱	۱	۱			
CO.E	۰	۰	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۳۵	۰/۲۹	۰	۰	۰			

- 1 - Overall Accuracy
- 2 - User Accuracy (Rel)
- 3 - Procedure Accuracy (ACC)
- 4 - Kappa Index



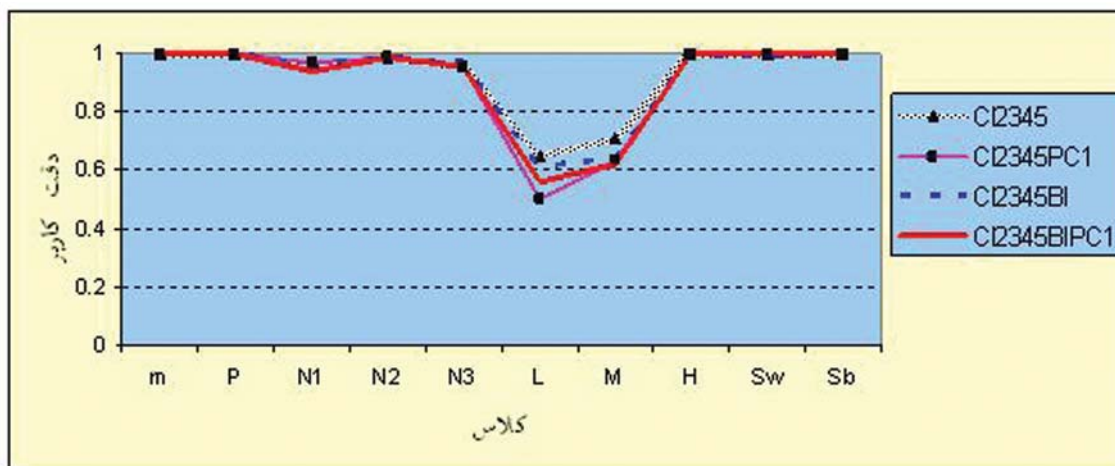
شکل ۸- دقت تولید کننده، کاربر، کلی و شاخص کاپای رویکردها

کاربر، دقت تولیدکننده و ضریب کاپا، به ترتیب، ۹۱/۰۱، ۹۰/۴۷، ۹۰/۲۱ و ۹۰ درصد، می‌باشد (جدول ۶). مقایسه پارامترهای این رویکرد با رویکرد اول، بیانگر آن است که بهره‌گیری از مؤلفه اول به عنوان پارامتر کمکی، تأثیری در افزایش دقت نداشته و بلکه دقت‌های مذکور را کاهش داده است. این موضوع بدین معنی است که چهار باند سنجنده، خود کارایی مؤثرتری در افزایش دقت داشته‌اند. در این رویکرد، بالاترین دقت تولیدکننده و کاربر مربوط به کلاس m, P, Sw, Sb می‌باشد.

در این طبقه‌بندی، کمترین دقت تولیدکننده، مربوط به کلاس L (۰/۴۲) و M (۰/۷۱) و پائین‌ترین دقت کاربر نیز در کلاس‌های L (۰/۵۰) و M (۰/۶۳) مشاهده شد. بالاترین خطای کمسیون در کلاس‌های L (۰/۵۰) و M (۰/۳۷) و بالاترین خطای امیسیون نیز در این کلاس‌ها، L (۰/۵۸) و M (۰/۲۹)، وجود داشت. عدم وجود تشابه کلاس‌های

از دیگر کلاس‌های اطلاعاتی و به‌طور عمده از خاک L می‌باشند. بالاترین دقت تولیدکننده و دقت کاربر (۱) نیز به کلاس‌های m, P, Sw, Sb, H مربوط گردید که علت آن عدم تداخل طیفی این کلاس‌ها با کلاس‌های دیگر است.

خاک‌های غیرشور N1, N2, N3 نیز از این قاعده مستثنی نبوده و به دلیل عدم تداخل طیفی کم با سایر کلاس‌ها، توانسته‌اند دقت‌های خوبی را ارائه نمایند. بررسی خطای کمسیون (COE) نشان داد، کلاس L دارای بالاترین مقدار می‌باشد (۰/۳۵)، همچنین بالاترین خطای امیسیون (OME) نیز به ترتیب در کلاس M (۰/۲۲) و L (۰/۲۹) مشاهده گردید. در این رویکرد، تفکیک خاک‌های با شوری بالا (بیش از ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر) و خاک‌های غیرشور، با دقت‌های بالا صورت گرفت. در رویکرد دوم (CI2345PC1)، از مؤلفه اصلی اول (PC1) به عنوان اطلاعات کمکی در طبقه‌بندی استفاده شد. نتایج نشان داد، دقت کلی، دقت



شکل ۹- دقت کاربر در کلاس‌های اطلاعاتی منتج از طبقه‌بندی رویکردهای ۱، ۲، ۳ و ۴

1 - Commission of Error
2 - Omission of Error

جدول ۶- نتایج دقت طبقه‌بندی رویکردها

رویکرد (درصد)	دقت تولیدکننده (درصد)	دقت کاربر (درصد)	کلی (درصد)	شاخص کاپا (درصد)
۱	۹۲/۳۷	۹۲/۷۲	۹۲/۸۳	۹۲
۲	۹۰/۲۱	۹۰/۴۷	۹۰/۰۱	۹۰
۳	۹۰/۸۴	۹۱/۶۲	۹۱/۴	۹۰/۵
۴	۸۹/۹۵	۹۰/۷۷	۹۰/۸۶	۸۹/۸۵
۵	۸۷/۰۳	۸۹/۱۲	۸۷/۲۶	۸۵/۹۷
۶	۸۴/۵۳	۸۶/۸۹	۸۴/۳۰	۸۲/۶
۷	۸۷/۴۲	۸۸/۰۱	۸۸/۰۱	۸۶/۶۴
۸	۸۸/۵۸	۸۸/۹۲	۸۹/۰۳	۸۷/۸۴

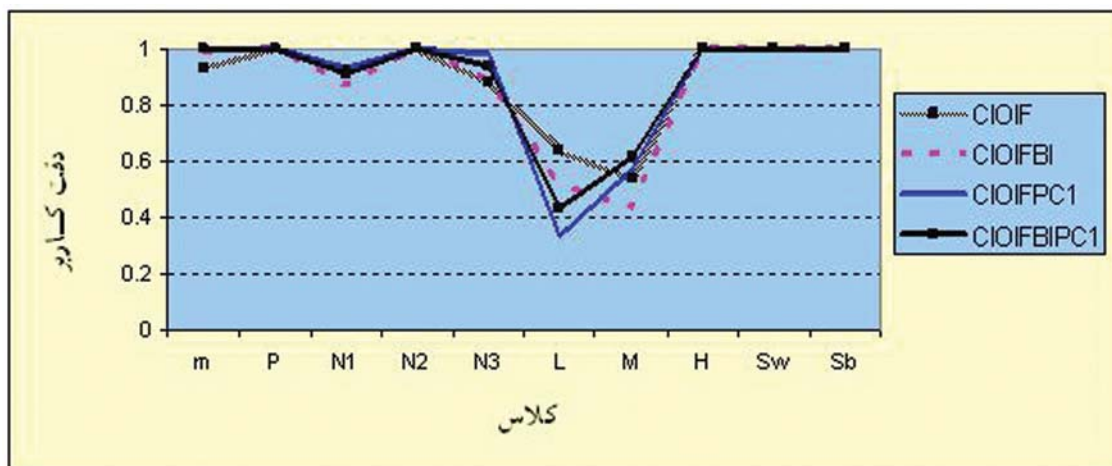
و H, Sw) بالاتر (N3 و N1, N2)، از خاک‌های با شوری‌های بالاتر (H, Sw) و (Sb)، به خوبی تفکیک شده‌اند و از دقت بالایی نیز برخوردارند. همان‌طور که در نمودار دوبعدی حاصل از بازتاب پدیده‌ها نیز مشاهده گردید (شکل ۷)، تداخل طیفی دو کلاس با شوری کم و متوسط، به دلیل سطوح تقریباً مشابه این خاک‌ها، امکان تفکیک‌پذیری مناسب این دو کلاس را در هیچ کدام از رویکردها به‌وجود نیاورده است. در رویکرد چهارم (CI2345BIPC1)، از شاخص روشنایی و مؤلفه اصلی اول به همراه باندهای چهارگانه سنجنده استفاده گردید.

استفاده از مؤلفه اصلی اول در رویکرد دوم و چهارم، منجر به کاهش دقت طبقه‌بندی در کلاس L شده است. به نظر می‌رسد نقش شاخص روشنایی، زمانی که با چهار باند سنجنده در عمل طبقه‌بندی وارد گردید پرننگ‌تر از مؤلفه اصلی اول است. مقایسه درصد دقت کلی در رویکرد دوم، (۹۱/۰۱)، سوم، (۹۱/۴) و چهارم (۹۰/۸۶)، نیز مؤید این مطلب است. رویکرد پنجم این تحقیق به‌نام OIF بوده که از ترکیب سه باند ۲-۳-۴ ایجاد شد.

Sw و P, m, Sb با سایر کلاس‌ها، بهترین حالت تفکیک‌پذیری و در واقع کمترین تداخل طیفی را در این کلاس‌ها به وجود آورد. در رابطه با کلاس H نیز، دقت تولیدکننده و دقت کاربر به ترتیب ۰/۹۵ و ۱ نتیجه شد.

استفاده از شاخص روشنایی (CI2345BI)، ممکن است در افزایش دقت طبقه‌بندی تأثیرگذار باشد. بدین منظور شاخص روشنایی در فهرست طبقه‌بندی قرار داده شد (رویکرد سوم) و نتایج آن مورد ارزیابی قرار گرفت (جدول ۶). در این رویکرد (CI2345BI)، افزایش دقت به صورت کلی مشاهده نگردید (دقت کلی، ۹۱/۴، دقت تولیدکننده ۹۰/۸۴، دقت کاربر، ۹۱/۶۲ و شاخص کاپا، ۹۰/۵) اما در کلاس L، افزایش ۱۱ درصدی دقت (۰/۵۰) در رویکرد دوم و ۰/۶۱ (در رویکرد سوم) مشاهده شد.

این افزایش، بیانگر آن است که شاخص روشنایی توانسته به عنوان یک پارامتر کمکی، این کلاس را متفاوت‌تر از کلاس‌های دیگر، نسبت به رویکرد دوم جلوه دهد که این عمل موجب تفکیک بهتر آن شده است. در این رویکرد نیز خاک‌های غیرشور

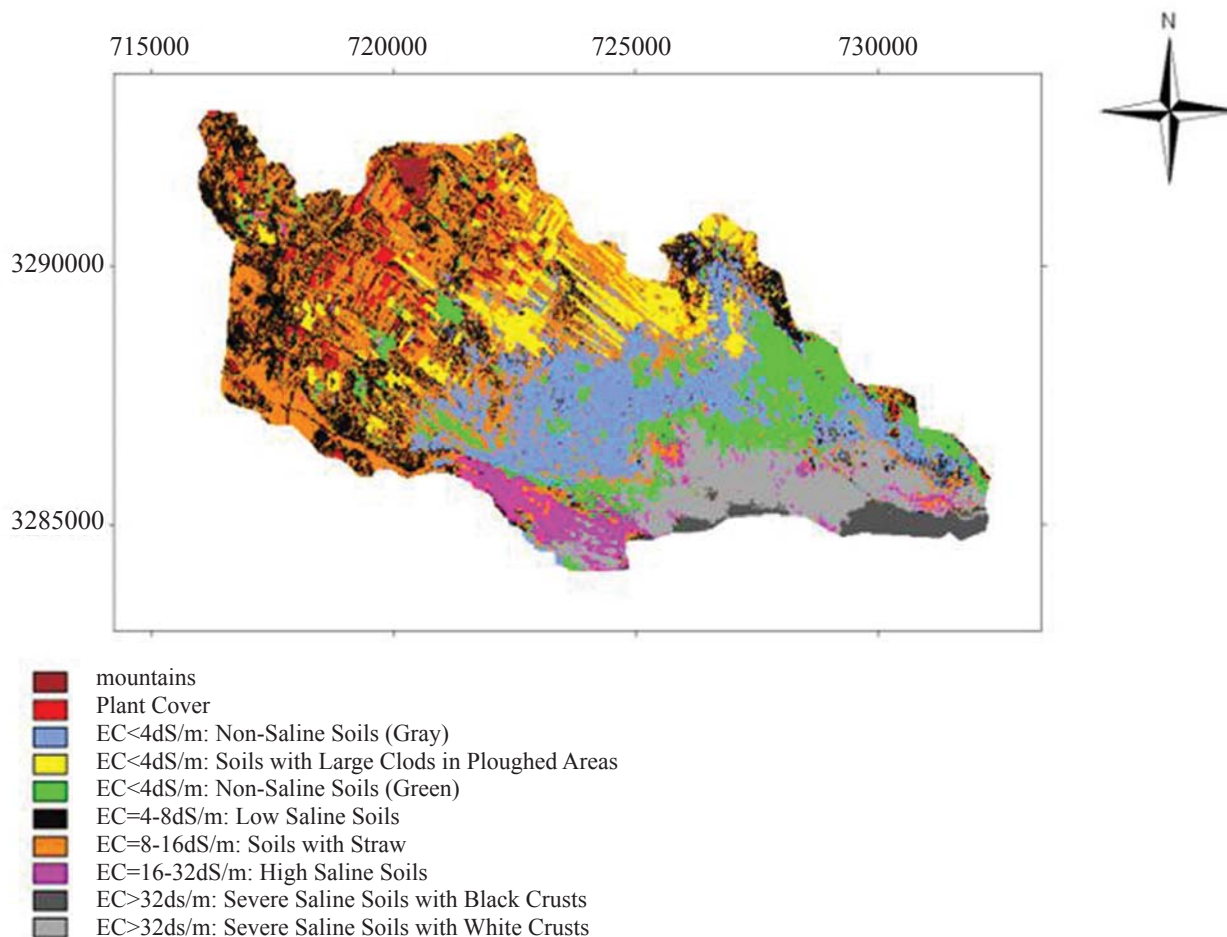


شکل ۱۰- دقت کاربر در کلاس‌های اطلاعاتی منتج از طبقه‌بندی رویکردهای ۵، ۶، ۷ و ۸

۴ و ۳ استفاده می‌شود که این اطلاعات در شاخص OIF نیز وجود داشت. در این رویکرد، دقت کلی، تولیدکننده، کاربر و شاخص کاپا به ترتیب، ۸۸/۰۱، ۸۷/۴۲، ۸۸/۰۱ و ۸۶/۶۴ نتیجه شد. استفاده از مؤلفه اصلی اول، شاخص روشنایی و OIF در رویکرد ۸ (CIOIFBIP1) باعث افزایش دقت‌های مذکور نسبت به رویکرد ۵، ۶ و ۷ گردید (جدول ۶).

نتایج دقت نقشه‌های منتج از رویکردهای مختلف در جدول (۶) نشان می‌دهد که دقت تولیدکننده، کاربر، کلی و شاخص کاپا، در رویکردی که از تمامی باندها استفاده شده است (رویکرد ۱)، بیشتر از سایرین می‌باشد. برتری دقت کلی رویکرد ۳، نسبت به رویکرد ۴ و ۲، نشان می‌دهد؛ بهره‌گیری از شاخص روشنایی مفیدتر از استفاده از مؤلفه اصلی اول در تلفیق باندهای چهارگانه سنجنده می‌باشد. مقایسه دقت کلی رویکردهای ۵، ۶، ۷ و ۸ بیانگر آن است که بهره‌گیری از شاخص ترکیب باندی به تنهایی و یا حتی با پارامترهای کمکی، مقادیر دقت کمتری را نسبت به باندهای چهارگانه سنجنده، ارائه نموده است. بنابراین

دقت کلی، دقت تولیدکننده، دقت کاربر (شکل ۱۰) و شاخص کاپا در این رویکرد به ترتیب، ۸۷/۲۶، ۸۷/۰۳، ۸۹/۱۲ و ۸۵/۹۷ نتیجه گردید. پایین‌تر بودن دقت‌های مذکور نسبت به رویکردهای قبلی، به دلیل فقدان باند ۵ است. بنابراین تلفیق باندهای چهارگانه سنجنده LISS III، در افزایش دقت طبقه‌بندی مؤثر می‌باشد. در رویکرد ششم (CIOIFBI)، از شاخص روشنایی به عنوان اطلاعات کمکی در طبقه‌بندی استفاده شد. دقت کلی، تولیدکننده، کاربر و شاخص کاپا، به ترتیب، ۸۴/۳۰، ۸۴/۵۳، ۸۶/۸۹ و ۸۲/۶ بوده که نشان داد استفاده از شاخص روشنایی باعث افزایش دقت، نسبت به رویکرد پنجم نگردد. عدم حضور باند ۵ در این رویکرد نیز موجب کاهش دقت کاربر در کلاس‌های N1 و N3 شده است. استفاده از مؤلفه اصلی اول در رویکرد هفتم (CIOIFPC1)، باعث افزایش دقت، نسبت به زمانی که از شاخص روشنایی بهره گرفته شد، گردید. بهره‌گیری از مؤلفه اصلی اول به عنوان پارامتر کمکی، موجب شد تا اطلاعات باند ۵ نیز به گونه‌ای در طبقه‌بندی دخیل گردد. اما در محاسبه شاخص روشنایی، از اطلاعات باند



1:100000

شکل ۱۱- نقشه تهیه شده بر اساس طبقه‌بندی ترکیب ۴ باند و فیلتر اکثریت

جدول ۷- درصد کلاس‌های شوری و پوشش زمین

Sb	Sw	H	M	L	N3	N2	N1	P	m
۲/۸۱	۱۰/۷	۳	۳۰	۱۶	۱۸/۱۵	۷/۴۲	۸/۷۸	۲/۳۴	۰/۸

پایین‌تر این خط قرار دارند. وجود تیرگی، ناهمواری و رطوبت از عوامل کاهش‌دهنده بازتاب و روشنی و سفید بودن و صافی برخی از پوسته‌های نمکی جزء عوامل افزایش انعکاس تلقی گردید. عملیات خاکورزی و به تبع آن حضور کلوخه‌ها و ناهمواری در سطح، به عنوان عامل کاهش بازتاب برخی از خاک‌های غیرشور شناخته شد. در خاک‌های غیرشور (هدایت الکتریکی کمتر از ۴ دسی زیمنس بر متر) روند نمودار طیفی، مشابه با نواحی شور بود. این مسئله مبین حضور سیلت (۲۹ تا ۴۶ درصد) و آهک فراوان (۳۷/۵ تا ۶۶ درصد) این خاک‌ها است که علی‌رغم فقدان شوری، انعکاس بالایی در آن‌ها مشاهده گردید. وجود کاه و کلش بعد از برداشت گندم و جو در زمین‌های با شوری ۱۶-۸ دسی زیمنس بر متر موجب شد که بازتاب این خاک‌ها صرفاً به دلیل شوری نباشد. تفکیک خاک‌های با شوری کم (۸-۴) و متوسط (۱۶-۸ دسی زیمنس بر متر) نیز به‌سختی امکان‌پذیر بود و منجر به تداخل طیفی و کاهش دقت طبقه‌بندی در این کلاس‌ها گردید. نتایج دقت طبقه‌بندی رویکردهای مختلف در این تحقیق، نشان داد که حذف یک باند در سنجنده‌ای نظیر LISS-III که چهار باند بیشتر ندارد؛ نتیجه‌بخش نمی‌باشد و بهترین دقت‌ها زمانی حاصل گردید که از هر چهار باند تصویر استفاده شد. پیشنهاد می‌گردد در تحقیقات آتی، خصوصیات فیزیکوشیمیایی، کانی‌شناسی و طیفی پوسته‌های نمکی با بهره‌گیری از تصاویر حاصل از سنجنده‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گیرد. همچنین پیشنهاد می‌شود در تحقیقات بعدی به منظور شناسایی خاک‌های شور کشور، از تصاویر سایر سنجنده‌ها استفاده و پتانسیل آن‌ها مورد ارزیابی قرار گیرد. لازم به ذکر است که در این رابطه می‌بایست از اطلاعات کمکی مختلف نیز بهره گرفت.

سپاسگزاری

تصاویر ماهواره‌ای این پژوهش از سازمان جغرافیایی ارتش جمهوری اسلامی ایران تأمین شده است که مؤلفین از کارشناسان و مسئولین این مرکز به دلیل مساعدت و همکاری، کمال تشکر و قدردانی را دارند.

منابع

- حسن شاهی، ح.، ۱۳۷۰. مطالعات خاکشناسی نیمه تفصیلی دشت های سعادت شهر، سیوند، سیدان و توابع ارسنجان (استان فارس)، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، نشریه فنی ۷۸۱.
- علوی پناه، س.ک.، ۱۳۸۲. کاربرد سنجنش از دور در علوم زمین (علوم خاک)، دانشگاه تهران.
- متین‌فر، ح.ر.، ۱۳۸۴. ارزیابی داده‌های سنجنده‌های ASTER, TM, ETM+, LISS-III و MSS به منظور شناسایی خاک‌ها

به نظر می‌رسد، حذف یک باند در سنجنده‌ای نظیر LISS-III که دارای چهار باند بیشتر نیست، نتیجه‌بخش نباشد. پس از انتخاب بهترین رویکرد (تلفیق باندهای ۵-۳-۲)، نقشه شوری خاک سطحی (عمق ۰-۵ سانتی‌متر) و درصد کلاس‌های اطلاعاتی منطقه مورد مطالعه، محاسبه گردید که نتایج آن در جدول (۷)، ارائه شده است. سپس به منظور یکنواخت شدن تصویر، از فیلتر اکثریت، به عنوان یکی از روش‌های پس از طبقه‌بندی و بهبود آن استفاده گردید.

نتایج نشان می‌دهد بیشترین درصد مربوط به خاک‌های با شوری ۱۶-۸ دسی زیمنس بر متر و دارای کاه و کلش^۱ بوده که در جدول (۷)، به نام کلاس M ارائه شده است. شباهت بازتاب کاه و کلش با پدیده شوری، باعث افزایش درصد کلاس M شده که بخشی از این درصد نیز دارای خطا می‌باشد. بر اساس نقشه شوری تهیه شده با داده‌های سنجنده LISS-III (شکل ۱۱)، وضعیت شوری خاک سطحی (برحسب دسی‌زیمنس بر متر) محدوده مورد مطالعه، به صورت ذیل، نتیجه گردید؛

- ۳۲ <، جنوب و جنوب شرق منطقه مورد مطالعه
- ۱۶-۳۲، جنوب و جنوب غرب
- ۸-۱۶، شمال، شمال شرق و شمال غرب
- ۴-۸، شمال غرب، غرب و شرق
- ۰-۴، در وسط دشت، شرق و غرب

مقدار شوری در مجاورت دریاچه، از مقادیر بالایی برخوردار می‌باشد. این موضوع عمدتاً به دلیل پسروی دریاچه و برجای ماندن نمک‌های تبخیری است. با توجه به این‌که در شمال منطقه، کشاورزی آبی محصولات نظیر یونجه، گندم و جو وجود دارد لذا به نظر می‌رسد، استفاده از آب با کیفیت نامطلوب، باعث گرایش خاک‌ها به معضل شوری گشته است. بیم آن می‌رود که در چند سال آینده در صورت عدم کنترل منابع آبی و خاکی، محدوده مورد مطالعه و زمین‌های مجاور به سمت بیابان‌زایی سوق پیدا کرده و مشکلات اقتصادی و اجتماعی عدیده‌ای را برای مردم این منطقه ایجاد نماید.

نتیجه‌گیری

انعکاس امواج الکترومغناطیس از سطح خاک‌ها تابع عوامل متعددی از جمله فراوانی و اندازه ذرات رس، شن، سیلت، سنگ و سنگریزه‌ها، درصد نمک، رنگ مواد سطحی، مقدار رطوبت، میزان بقایای آلی، فراوانی و نوع گونه‌های گیاهی و مرحله رشد گیاهان است. در این رابطه، تفسیر نمودارهای طیفی می‌تواند کمک شایانی به تشخیص پدیده‌های طبیعی از جمله شوری نماید. تحلیل طیفی پوسته‌های نمکی بیانگر آن بود که پوسته‌های سفیدرنگ در بخش بالاتر خط خاک و پوسته‌های تیره‌رنگ در قسمت‌های

براساس مطالعات میدانی و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) در منطقه کاشان، رساله دکتری علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.

- Alavi Panah, S.K., and Gossens, R., 2000. Contribution of soil salinity to the surface reflectance recorded by Landsat MSS and TM sensors, 1st workshop EARSEL, Gent University.

- Csililage, F., Pasztor, L., and Biehl, L., 1993. Spectral band selection for the characterization of salinity status of soils. *Remote Sensing of Environment*, 43, 231-242.

- Dobos, E., Montanarella, L., Negre, T., and Micheli, E., 2001. A regional scale soil mapping approach using integrated AVHRR and DEM data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 3, 30-41.

- Douaoui, A.E.K., Nicolas, H., and Walter, C.H., 2006. Detecting salinity hazards within a semiarid context by means of combining soil and remote sensing data. *Geoderma*, 134, 217-230.

- Escadafal, R. and Girard, M.C., 1989. Munsell soil color and soil reflectance in the visible spectral bands of Landsat MSS and TM data, *Remote Sensing of Environment*, 27, 37-46.

- Epema, G. F., 1992. Mapping surface characteristics and their dynamics in a desert area in southern Tunisia with Landsat Thematic Mapper. In G. F. Epema, 1992. *Spectral reflectance in the Tunisian desert*. PhD thesis, Wageningen Agricultural University, the Netherlands.

- Everit, J.H., Escoabar, D.E., Gerbermann, A.H., and Alaniz, M.A., 1988. Detecting saline soils with video imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing of Environment*, 54, 1283-1287.

- Farifteh, J., Vander Meer, F., Vander Meijde, M., and Atzberger, C., 2008. Spectral characteristics of salt-affected Soil: A laboratory experiment. *Geoderma*, 145, 196-

206.

- Garsia, L., Eldiery, A., and Ellhaddad, A., 2000. Estimating soil salinity using remote sensing data, www.elsevier.com.

- Howari, F.M., P.C., Goodell, and Miyamoto, S., 2002. Spectral properties of salt crusts formed on saline soils. *Journal of Environmental Quality*, 31, 1453-1461.

- Howari, F.M. 2003., The use of remote sensing data to extract information from agricultural land with emphasis on soil salinity. *Australian Journal of Soil Research*, 41, 1243-1253.

- Karvanava E. I, Shrestha, D.P., and Orlov, B.F., 2000. Application of remote sensing techniques for the study of soil salinity in semi-arid Uzbekistan, www.elsevier.com.

- Khan, N., Rastokuev, V., Shalina, E., and Sato, Y., 2001. Mapping salt-affected soils using remote sensing indicators- A simple approach with the use of GIS IDRISI. 22nd Asian Congress on Remote Sensing, 5-9 November, Singapore.

- Martinez-Rioss, J.J. and Monger, H.C., 2002. Soil classification in arid lands with thematic mapper data. *Terra*, 20, 89-100.

- Masoud, A.A. and Koike, K., 2006. Aerial land salinization detected by remotely-sensed land cover changes: A case study in the Siwa region, NW Egypt. *Journal of Arid Environments*, 66, 151-167.

- Metternicht, G. I. and Zinck, J.A., 2003. Remote sensing of soil salinity: Potentials and Constraints. *Remote Sensing of Environment*, 85, 1-20.

- Metternicht, G., Zinck, J.A., 2008. *Remote Sensing of Soil Salinization, (Impact on Land Management)*. CRC Press.

- Zinck, J.A., 2000. Monitoring soil salinity from remote sensing data. 1st workshop of the EARSEL, Gent University.