

## بررسی توزیع مکانی خصوصیات خاک در منطقه ورزنه اصفهان به کمک روش‌های پردازش تصویر

فرید محمودی<sup>1</sup> - رضا جعفری<sup>2\*</sup> - حمیدرضا کریم زاده<sup>3</sup> - نفیسه رضانی<sup>4</sup>

تاریخ دریافت: 1392/04/05

تاریخ پذیرش: 1394/03/17

### چکیده

نقشه‌های خاک نقش کلیدی در مدیریت کشاورزی و منابع طبیعی دارند. در این مطالعه تکنیک‌های پردازش تصویر شامل ترکیبات باندی، آنالیزهای مؤلفه اصلی و طبقه‌بندی بر تصویر سنجنده TM بمنظور تهیه نقشه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه ورزنه اصفهان اعمال شد. جهت برقراری ارتباط بین تصاویر حاصله و داده‌های میدانی با استفاده از روش نمونه‌برداری تصادفی-سیستماتیک، 53 نمونه خاک بکمک سامانه GPS برداشت و سپس نقشه‌های پیوسته هر خصوصیت خاک با استفاده از آنالیز رگرسیونی ساده و چند متغیره خطی با میانگین‌گیری از 9 پیکسل اطراف نقاط نمونه‌برداری تهیه شد. نتایج رگرسیون چند متغیره نشان داد که قوی‌ترین رابطه بین خاک شنی و باندهای 1، 2، 3، 4 و 5 سنجنده TM وجود دارد و مدل مربوطه بیش از 83% تغییرات این ویژگی را توجیه می‌کند. ضعیف‌ترین مدل رگرسیونی بین خصوصیت کربنات کلسیم خاک و باندهای 3، 5 و 7 مشاهده شد. در برخی موارد مدل‌های رگرسیونی چند متغیره پیش‌بینی‌کننده‌های مناسبی از ویژگی‌های خاک نبودند، در نتیجه باند TM یا مولفه اصلی که بیشترین همبستگی را با داده‌های زمینی بر مبنای آنالیز رگرسیونی ساده نشان داد (سطح اطمینان 99%)، جهت طبقه‌بندی نظارت شده با الگوریتم حداکثر احتمال، انتخاب گردید. با توجه به نتایج ماتریس خطا، صحت کلی نقشه‌ها بین 85 تا 93% به ترتیب برای کلر و سیلت خاک بدست آمد. همانطوری مشخص است نقشه‌های طبقه‌بندی شده صحت بالاتری را نسبت به مدل‌های رگرسیونی نشان دادند. بنابراین بمنظور داشتن یک دید کلی از خصوصیات خاک منطقه می‌توان گفت تکنیک‌های طبقه‌بندی کاربردی تر از مدل‌های رگرسیونی می‌باشند.

**واژه‌های کلیدی:** خصوصیات خاک، رگرسیون خطی چند متغیره، سنجش از دور، طبقه بندی تصویر

### مقدمه

خطر تخریب و فرسایش خاک را بالا برده که مدیریت پایدار کشاورزی در ایران را با تهدیدی جدی مواجه کرده است (14). شناسایی مناسب و صحیح خصوصیات مختلف فیزیکی و شیمیایی خاک نقش بسیار مهمی در تعیین درجه فرسایش‌پذیری، تخریب خاک و مدیریت طرح‌های کشاورزی و حفاظت خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک دارد. به طور مثال بافت خاک معیار بسیار مهمی از حفاظت خاک است؛ خاک‌ها با مقدار رس بیش از 15 درصد مستعد برای تشکیل خاکدانه‌ها طی فرایندهای مختلف فیزیکی و بیولوژیکی هستند. علاوه بر آن مواد آلی خاک، محتوای نمک و کربنات‌ها فاکتورهای بسیار مهمی در تعیین حاصلخیزی و فرسایش‌پذیری خاک می‌باشند. تغییرات محتوای مواد آلی خاک به شدت وابسته به فاکتورهایی همچون پایداری خاکدانه و سایر خصوصیات فیزیکی خاک می‌باشد و در طول زمان مقدار آن متغیر است. نفوذ کربنات‌ها در اطراف ذرات خاک همانند سیمان عمل کرده و آن‌ها را به یکدیگر متصل می‌کند. نمک، فولوکوله شدن ذرات رس را افزایش می‌دهد،

خاک یکی از منابع طبیعی و شاید مهمترین زیر بنای تمدن هر کشور است. در واقع مسیر پیشرفت هر جامعه را اصول و چگونگی بهره‌برداری از خاک تعیین می‌کند، به ویژه در منطقه آب و هوای مدیترانه‌ای که در طول تاریخ فرهنگ آن وابسته به تولیدات کشاورزی بر اساس خاک حاصلخیز بوده است (1 و 19). سطح وسیعی از اراضی کشور در مناطق خشک و نیمه خشک مدیترانه‌ای قرار گرفته است که دارای خاک‌هایی با مواد آلی کم، تجمع کربنات کلسیم، گچ، املاح محلول، بافت متغییر و با فعالیت بیولوژیکی کم می‌باشد. علاوه بر این فعالیت‌های مخرب انسانی در دهه‌های اخیر

1، 2، 3 و 4- به ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد، استادیاران و دانش آموختگان کارشناسی ارشد گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

(Email: reza.jafari@cc.iut.ac.ir)

\* - نویسنده مسئول:

مکانی عناصر غذایی کم مصرف و پر مصرف گیاهان با استفاده از تصاویر ماهواره لندست را مبنای علمی مناسبی در جهت مدیریت انواع کاربری اراضی معرفی کرد.

از مهمترین عوامل مؤثر در بیابان‌زایی مناطق مرکزی خشک ایران، شوری و محدودیت‌هایی چون شرایط آهکی و گچی بودن خاک‌های سطحی می‌باشد، دامنه وسیعی از مجموعه اطلاعات مکانی و زمانی از نقشه‌های خصوصیات خاک سطحی جهت شناسایی وضعیت کنونی از نظر میزان املاح، ساختمان، بافت و غیره در جهت مدیریت طرح‌های کشاورزی و بیابان‌زدایی مورد نیاز می‌باشد (31). ولی مطالعات زیادی در این رابطه انجام نشده است و به صورت موردی در کاشان، شیراز، قزوین، شمال شرق اصفهان با استفاده از تصاویر ماهواره ای مطالعه شده است. نتایج تمام این مطالعات مؤید این مطلب است که استفاده از روش‌های سنجش از دور جهت تشخیص و شناسایی خصوصیات خاک در مطالعات مربوط به ارزیابی و مدیریت خاک با توجه به قابلیت بالای تصاویر ماهواره‌ای نظیر به هنگام بودن، چند طیفی بودن، تکراری بودن، پوشش وسیع و افزایش روز افزون توان تفکیک طیفی و مکانی آن‌ها بسیار ارزشمند می‌باشد (5، 14، 26 و 31). بنابراین، هدف تحقیق حاضر پهنه‌بندی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک سطحی منطقه خشک جنوب شرقی استان اصفهان با استفاده از تصاویر سنجنده TM ماهواره لندست می‌باشد. با توجه به اینکه منطقه مطالعاتی از کانون‌های مهم بیابان‌زایی در شهرستان اصفهان می‌باشد، در نتیجه نقشه‌های تولیدی می‌تواند بعنوان ابزاری در جهت مبارزه با پدیده بیابان‌زایی مورد استفاده قرار گیرد.

## مواد و روش‌ها

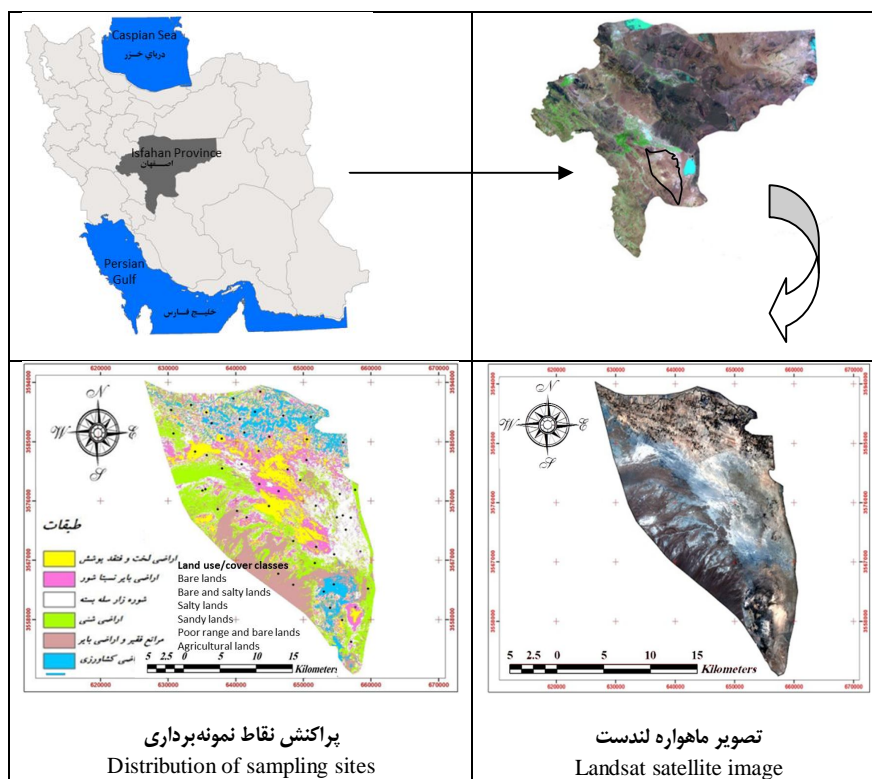
### منطقه مورد مطالعه

منطقه مطالعاتی جنوب شرقی استان اصفهان از بخش انتهایی اژه شروع شده و ورزنه و حسن آباد را شامل می‌شود. این منطقه بخش کوچکی از منطقه وسیع ایران مرکزی متعلق به زون سنجندج- سیرجان با مساحتی حدود هفتاد و پنج هزار هکتار می‌باشد. نوع اقلیم منطقه به روش اصلاح شده کوپن از نوع گرم و خشک بادی با تابستان‌های خشک و بسیار گرم و زمستانی سرد می‌باشد (9). به دلیل میزان بارندگی اندک با پراکنش نامناسب، تبخیر و تعرق بالا و نامناسب بودن شرایط خاک از نظر میزان شوری، منطقه دارای پوشش گیاهی فقیر می‌باشد به طوری که گونه‌های موجود اغلب از نوع گونه‌های مهاجم مانند *Alhaji camelorum* *Anabasis aphylla* و *Salsola turcomanica* می‌باشند. بنا به مطالعات انجام شده در منطقه، ساختار سنگ شناسی آن دارای ماسه سنگ، شیل و آهک کرتاسه می‌باشد (3). شکل شماره 1 تصویر منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

همچنین عامل شوری در خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک است (18). با توجه به پراکنش املاح در خاک و تغییر پذیری خصوصیات آن استفاده از روش‌های سریع و کم هزینه، با پوشش وسیع برای تشخیص خصوصیات مختلف خاک در ارزیابی و مدیریت خاک مورد نیاز می‌باشد. استفاده گسترده از تکنولوژی سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی دوران جدیدی را به مدیران و دانشمندان علوم خاکشناسی معرفی کرده است (18). پایه و اساس علم سنجش از دور اندازه‌گیری انرژی بازتابشی پدیده‌ها از راه دور می‌باشد. از آنجا که خواص فیزیکی و شیمیایی یک جسم خاص موجب جذب، انعکاس و انتشار متفاوت نور در بخش‌های مختلف طیف الکترو مغناطیس می‌شود، مقدار نسبی اندازه‌گیری شده در باندهای مختلف طیفی می‌تواند تا حدودی برای پی بردن به صفات جسم مورد نظر استفاده شود (29 و 30). نمودار بازتاب طیفی سطح خاک تکنیک ارزشمندی برای برآورد خصوصیات مختلف خاک است و دامنه گسترده‌ای از خصوصیات خاک از جمله محتوای مواد آلی، نیتروژن، هدایت الکتریکی، pH، آهن، رطوبت خاک و درصد سدیم قابل تبادل بر اساس آن در مطالعات قبلی برآورد شده است (18). هاواری و همکاران (12) با استفاده از طیف سنج طیفی محدوده‌های مرئی و مادون قرمز (محدوده‌های 1500 تا 1700 نانومتر) را جهت شناسایی شاخصه‌های سطح خاک که حاوی گچ می‌باشند، معرفی کردند. فاکس و متلا (10) با استفاده از سه روش آنالیز مؤلفه اصلی<sup>1</sup>، مدل‌های رگرسیونی و فاصله هندسی خط خاک<sup>2</sup> میزان ناهمگونی مکانی محتوای مواد آلی خاک و درصد سدیم قابل تبادل را برآورد کردند. نتایج مطالعه آنان استفاده از آنالیز مؤلفه اصلی را برای برآورد محتوای مواد آلی و درصد سدیم قابل تبادل خاک پیشنهاد کرده است. علی و کاب (2) با استفاده از تصاویر ماهواره لندست و آنالیزهای مکانی و همبستگی، نقشه‌های فاکتورهای خاک را در منطقه شرق دلتای نیل مصر تهیه کردند. نتایج نشان داد که در منطقه مورد مطالعه فاکتورهای شوری و قلیائیت، درصد کربنات کلسیم خاک، عمق خاک، بافت خاک و شرایط زهکشی عوامل اصلی محدود کننده کشاورزی می‌باشند. مونتویا و همکاران (17) تصاویر ماهواره‌ای لندست ETM+ را جهت نقشه‌بندی اراضی گچی سدرال مکزیک و بوجارالوز اسپانیا با روش طبقه‌بندی نظارت شده استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که باند حرارتی مادون قرمز هنگامی که اختلاف دمایی در بین کلاس‌های خاک مناسب باشد، در طبقه‌بندی اراضی گچی بهترین کاربرد را دارد. علی و مغنم (3) تغییرات خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک را در اطراف دریاچه Idku مصر با استفاده از داده‌های سنجش از دور مطالعه کردند. نتایج این مطالعه نقشه‌های پراکنش

1- Principal Components Analysis, PCA

2- Soil Line Euclidean Distance, SLED



شکل 1- منطقه مورد مطالعه  
Figure1 - The location of study area

سنگریزه خاک سطحی، pH، درصد کربنات کلسیم، کلسیم، منیزیم، گچ، سدیم، پتاسیم، بی کربنات، کلر، سولفات نمونه‌ها در آزمایشگاه با دستگاه‌های مختلف تعیین گردید (11 و 27). نسبت جذب سدیم نیز از رابطه شماره 1 محاسبه گردید.

$$SAR = Na / (Ca + Mg)^{0.5} \quad (1)$$

#### پردازش تصویر ماهواره‌ای

در این مطالعه از تصویر ماهواره لندست 5 سنجنده TM مربوط به تاریخ 2009/06/26 (5 خرداد 1388) از منطقه ورزنه اصفهان با شماره ردیف و مسیر 38، 163 که دارای 7 بانده مختلف در طول موج های مرئی، مادون قرمز نزدیک، میانی، حرارتی با قدرت تفکیک زمینی 30 متر است (به جزء بانده 6 حرارتی که قدرت تفکیک 120 متر دارد) استفاده گردید. تصویر مذکور ابتدا با استفاده از 40 نقطه کنترل زمینی به نقشه توپوگرافی 1:25000 به روش نزدیک ترین همسایه با به کارگیری معادله چند جمله‌ای درجه یک در سیستم مختصات

#### برداشت‌های صحرایی و آنالیزهای آزمایشگاهی

جهت برداشت نمونه خاک از روش نمونه برداری سیستماتیک - تصادفی استفاده شد. بدین منظور ابتدا با استفاده از روش طبقه بندی هیبرید، نقشه 6 نوع کلاس کاربری اراضی در منطقه شناسایی شد سپس در داخل هر کلاس کاربری مختصات نقطه مورد نظر توسط سامانه موقعیت یاب جهانی (Global Positioning System, GPS) مشخص گردید. این نقطه به عنوان مرکز یک دایره فرضی به شعاع 30 متر در نظر گرفته شد و در 8 جهت متفاوت به فاصله 30 متری از نقطه مرکزی (مرکز دایره فرضی) از عمق 0-10 سانتی متری خاک نمونه برداری انجام گرفت. این نمونه‌ها در 8 پیکسل اطراف نمونه اصلی بود. سپس 8 نمونه را با نمونه مرکزی مخلوط کرده که وزنی به اندازه 3-2/5 کیلوگرم از هر نقطه مورد نظر برداشت شد. به طور کلی تعداد 53 نمونه خاک در تاریخ 20 شهریور تا 10 مهر ماه 1388 با این روش برداشت و به آزمایشگاه منتقل گردید. در شکل 1 پراکنش نقاط نمونه برداری در منطقه نشان داده شده است. در آزمایشگاه پس از خشک کردن و کوبیدن نمونه‌ها و عبور از الک 2 میلی متری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی از جمله بافت خاک، درصد سنگ و

نظارت شده ابتدا میزان همبستگی متغیر مورد نظر با 7 باند سنجنده لندست TM، تصاویر 3 مؤلفه PC1، PC2 و PC3 در نرم‌افزار SPSS مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس 40 نقطه از نقاط نمونه‌برداری به عنوان مناطق آموزشی روی باندی که بیشترین همبستگی را با داده‌های زمینی پارامتر مورد نظر نشان داده بود انتخاب شد و اطراف 9 پیکسلی که در هر نقطه نمونه‌برداری شده بودند پلیگون بسته شد. سپس پلیگون حول هر محل نمونه‌برداری بر حسب مقدار پارامتر مورد نظر در نمونه خاک مربوط به آن نقطه، کدبندی مجدد شدند و به عنوان فایل نشانه<sup>5</sup> به نرم‌افزار معرفی شد. در مرحله بعد با استفاده از الگوریتم طبقه بندی کننده حداکثر احتمال در طبقه بندی نظارت شده، نقشه پارامتر مورد نظر تهیه گردید. صحت نقشه‌های تولیدی با استفاده از 40 نقطه برداشت شده به روش سیستماتیک - تصادفی و تشکیل ماتریس خطا برای طبقات ایجاد شده در نرم افزار Erdas Imagine صورت گرفت.

## نتایج و بحث

### پراکنش مکانی خصوصیات شیمیایی خاک

پراکنش املاح شیمیایی خاک سطحی در 6 نوع کلاس کاربری شناسایی شده در منطقه توسط روش طبقه‌بندی هیبرید شامل اراضی لخت و فاقد پوشش، اراضی بایر نسبتاً شور، اراضی سله بسته، اراضی شنی، مراتع فقیر و اراضی بایر و اراضی کشاورزی به تفکیک به شرح ذیل آمده است (شکل 2). با توجه به اینکه پراکنش بعضی از املاح در ارتباط با تغییرات نمک خاک است لازم است پراکنش شوری خاک منطقه نیز ذکر گردد. نتایج مطالعات نشان داده است که به طور کلی میزان نمک منطقه بسیار بالا است، بیش از 50 درصد درصد سطح آن دارای غلظت نمک بیش از 60 دسی زیمنس بر متر می‌باشد؛ در بخش شمالی منطقه و در اکثر اراضی کشاورزی، هدایت الکتریکی 4-0 دسی زیمنس بر متر بوده و هر چه به سمت مناطق دشتی مرکز، حاشیه شرقی و جنوب شرقی منطقه پیش می‌رویم شوری افزایش می‌یابد. هدایت الکتریکی مربوط به اراضی کشاورزی تحت کشت پنبه در ورزنه به علت آبیاری نامناسب در محدوده 20-4 دسی زیمنس بر متر بوده و اراضی کشاورزی رها شده دارای 60-100 EC دسی زیمنس بر متر می‌باشد (16).

**1- اراضی لخت و فاقد پوشش:** این تیپ اراضی بخش میانی منطقه مورد مطالعه را در بر می‌گیرد؛ نتایج ترکیب خاک سطحی آن از نظر میزان املاح شیمیایی که با استفاده از دو روش مدل‌سازی رگرسیونی و طبقه‌بندی نظارت شده تهیه شده است نشان می‌دهد که در خاک منطقه از بین فاکتورهای مورد مطالعه یون سولفات با غلظت

UTM زون 39 شمالی با  $RMSE^1$  کمتر از 0/3 پیکسل زمین مرجع گردید. سپس منطقه‌ای به مساحت 75000 هکتار بر روی تصویر TM انتخاب و برای پردازش‌های مورد نظر جداسازی گردید (شکل 1)؛ در مرحله بعد به منظور تهیه نقشه خصوصیات مختلف فیزیکی و شیمیایی خاک سطحی از آنالیزهای ترکیب رنگی کاذب، آنالیز مؤلفه اصلی، روش‌های رگرسیونی و طبقه‌بندی نظارت شده استفاده گردید.

### تهیه نقشه خصوصیات خاک به روش برازش مدل‌های رگرسیونی

پس از تعیین نتایج آنالیز آزمایشگاهی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک، نقاط نمونه‌برداری بر روی تصویر ماهواره‌ای مشخص گردید و از ارزش عددی پیکسل مرکزی و 8 پیکسل اطراف آن میانگین‌گیری به عمل آمد. این عمل بر روی تصاویر 3 مؤلفه PC1، PC2 و PC3 حاصل از آنالیز مؤلفه اصلی نیز انجام گرفت. اعداد میانگین پیکسل‌ها برای مطالعه همبستگی و مدل‌سازی به عنوان متغیر (X) و اعداد مربوط به آنالیزهای آزمایشگاهی نمونه‌ها شامل pH، درصد کربنات کلسیم، میزان سولفات کلسیم (گچ)، میزان بیکربنات، اجزای بافت خاک (درصد رس، شن و سیلت)، درصد رطوبت اشباع، نسبت جذب سدیم و میزان آنیون‌ها و کاتیون‌هایی از قبیل  $SO_4^{2-}$ ،  $Na^+$ ،  $Ca^{2+}$ ،  $Mg^{2+}$ ،  $Cl^-$  و  $K^+$  به عنوان متغیر وابسته (Y) در نظر گرفته شد. علاوه بر این لگاریتم طبیعی، توان دوم و جذر متغیرهای مستقل و وابسته نیز به عنوان متغیرهای تغییر شکل یافته به منظور دستیابی به مدل‌هایی با ضریب همبستگی بالاتر محاسبه و وارد نرم‌افزار SPSS گردید. در مرحله مدل‌سازی، روش‌های رگرسیون Enter، پله به پله<sup>2</sup>، پیش‌رونده<sup>3</sup> و پس‌رونده<sup>4</sup> بر روی داده‌ها اعمال شده تا بهترین مدل برازش یافته با بالاترین ضریب همبستگی و کمترین خطا انتخاب شود. مدل‌های انتخابی از لحاظ اعتبار رگرسیونی، ضرایب رگرسیونی و ثابت بودن واریانس و نرمال بودن توزیع باقی‌مانده‌ها نیز مورد بررسی قرار گرفتند. در نهایت مدل‌های رگرسیونی به دست آمده برای هر پارامتر خاک بر روی تصاویر اعمال شد و تصاویر ساخته شده در کلاس‌های در نظر گرفته شده برای هر پارامتر طبقه‌بندی شدند.

### تهیه نقشه خصوصیات خاک به روش طبقه‌بندی نظارت شده

به منظور تهیه نقشه پارامترهای مختلف خاک با روش طبقه‌بندی

- 1- Root Mean Square Error
- 2- Stepwise
- 3- Forward
- 4- Backward

صحت میزان زیاد آهک آن است. سدیم با غلظت 500-1000 meq/l در منطقه وجود دارد. یون بی کربنات همانند شن زارهای بخش شرقی در طبقات 1 و 2 (0-5 meq/l و 5-10 meq/l) قرار دارد و یون پتاسیم با غلظت 2-6 meq/l در این منطقه پراکنده است. همچنین بر اساس نقشه یون‌های کلسیم و منیزیم، اراضی مرتعی با پوشش اندک در طبقات دوم و سوم (50-150 meq/l) قرار می‌گیرند.

**6- اراضی کشاورزی:** اراضی کشاورزی منطقه که به کشت گندم و پنبه اختصاص دارد با رنگ آبی در حاشیه شمالی منطقه و در جنوب آن در بخش ورزنه قرار گرفته‌اند. از لحاظ شوری بر اساس نتایج مطالعات قبلی دارای طبقه بدون شوری یا با شوری اندک گزارش شده است (5). بر اساس نتایج این مطالعه کمترین میزان املاح کربنات کلسیم، گچ (0-5 درصد) مربوط به این تیپ اراضی می‌باشد. اراضی کشاورزی رها شده در ورزنه دارای کربنات کلسیم 5-25 درصد است. بخش‌هایی از مناطق کشاورزی موجود در شمال در طبقه بدون گچ (0-5 درصد) قرار می‌گیرند اما در اراضی کشاورزی ورزنه طبقات متوسط و نسبتاً زیاد گچ (5-10 و 10-25 درصد) از نتایج این مطالعه بدست آمده است. بر اساس نقشه یون بی کربنات بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر، در بخش‌های کشاورزی شمال منطقه و جنوب ورزنه، غلظت آن در طبقه سوم (10-25 meq/l) قرار می‌گیرد اما اراضی کشاورزی رها شده بی کربنات کمتری در محدوده طبقات 1 و 2 (0-5 meq/l و 5-10 meq/l) دارند. مطابق شکل (شماره 2، ت و ث) پراکنش یون سدیم و کلر خاک سطحی در این طبقه نیز مشابه یکدیگر است که دارای میزان سدیم و کلر 0-100 meq/l بوده که با نقشه شوری مطابقت دارد. بخش‌هایی از این تیپ اراضی همراه با اراضی کشاورزی رها شده ورزنه سدیم بیشتر در طبقه 2 (meq/l 100-500) دارند. بر اساس نقشه تولیدی یون پتاسیم، بخش اعظم اراضی کشاورزی شمال و جنوب منطقه در طبقه اول (0-2 meq/l) قرار می‌گیرند. همچنین این تیپ اراضی دارای سولفات به میزان 0-5 meq/l می‌باشد؛ کلسیم و منیزیم نیز با غلظت 10-50 meq/l پراکنده شده‌اند.

نقشه نسبت جذب سدیم در این مطالعه در 3 طبقه با روش مدل‌سازی رگرسیون با حضور باندهای 4 و 5 سنجنده TM و PC1، و PC3 بدست آمد. در این نقشه اراضی کشاورزی بخش شمال و جنوب منطقه در طبقه اول نسبت جذب سدیم (0-13) قرار می‌گیرند. نسبت جذب سدیم در اراضی شور، تراس رودخانه زاینده‌رود در مرز شمالی منطقه و قسمت‌هایی از شن‌زارهای بخش جنوب شرقی منطقه بیشترین مقدار (70-200) می‌باشد. نقشه نسبت جذب سدیم که از فاکتورهای مؤثر در شناخت شوری محسوب می‌شود، با نقشه EC و سدیم خاک سطحی منطقه نیز مطابقت دارد (5). با افزایش میزان سدیم در خاک سطحی، بازتاب در محدوده مادون قرمز افزایش می‌یابد (15). همچنین خاک‌های حاوی نمک‌های سدیمی در محدوده

کم در محدوده 0-5 میلی اکی‌والانت در لیتر پراکنش دارد اما میزان املاح کلر و سدیم در این بخش از منطقه مورد مطالعه بالاترین مقدار را دارد (بیشتر از 1000 meq/l).

**2- اراضی بایر نسبتاً شور:** این تیپ اراضی مطابق شکل 1 در محدوده میانی منطقه مورد مطالعه پراکنش دارد. با توجه به اینکه خاک آن شور می‌باشد پراکنش نمک و املاح سدیم و پتاسیم در این منطقه بیشتر از سایر عناصر گزارش شده است.

**3- شوره‌زار سله بسته:** این بخش از منطقه مورد مطالعه در شکل 1 با رنگ سفید بیشتر بخش شرقی منطقه مورد مطالعه را اشغال کرده است و مطابق نقشه‌ها میزان املاح کربنات کلسیم و گچ در این طبقه به میزان متوسط (25-5 درصد) هستند؛ غلظت یون سولفات در این منطقه در طبقه 4 و بیش از 35 meq/l می‌باشد که انطباق مناسبی با نقشه شوری، گچ و کربنات کلسیم منطقه مورد مطالعه دارد. یون بی کربنات در این قسمت با غلظت متغییر در محدوده‌های طبقات 1 و 2 کد‌گذاری شده برای این املاح (meq/l 0-5 و 5-10 meq/l) نشان داده شده است. بر اساس نقشه‌ها پراکنش یون‌های سدیم و کلر خاک سطحی مشابه یکدیگر است، هر چه از شمال منطقه به سمت مرکز و جنوب شرقی پیش می‌رویم بر میزان سدیم و کلر افزوده می‌شود و در اراضی شوره‌زار سله بسته و اراضی شور مرکزی این میزان به بیش از 1000 meq/l می‌رسد. یون پتاسیم با غلظت 6-10 meq/l مساحت کمی از منطقه مورد مطالعه را تنها در این تیپ پوشش می‌دهد. میزان یون‌های کلسیم و منیزیم در اراضی شوره‌زار بیش از 250 meq/l می‌باشد که با توجه به مقادیر متوسط و زیاد کربنات کلسیم و گچ در این اراضی، این مقدار نیز قابل توجیه می‌باشد.

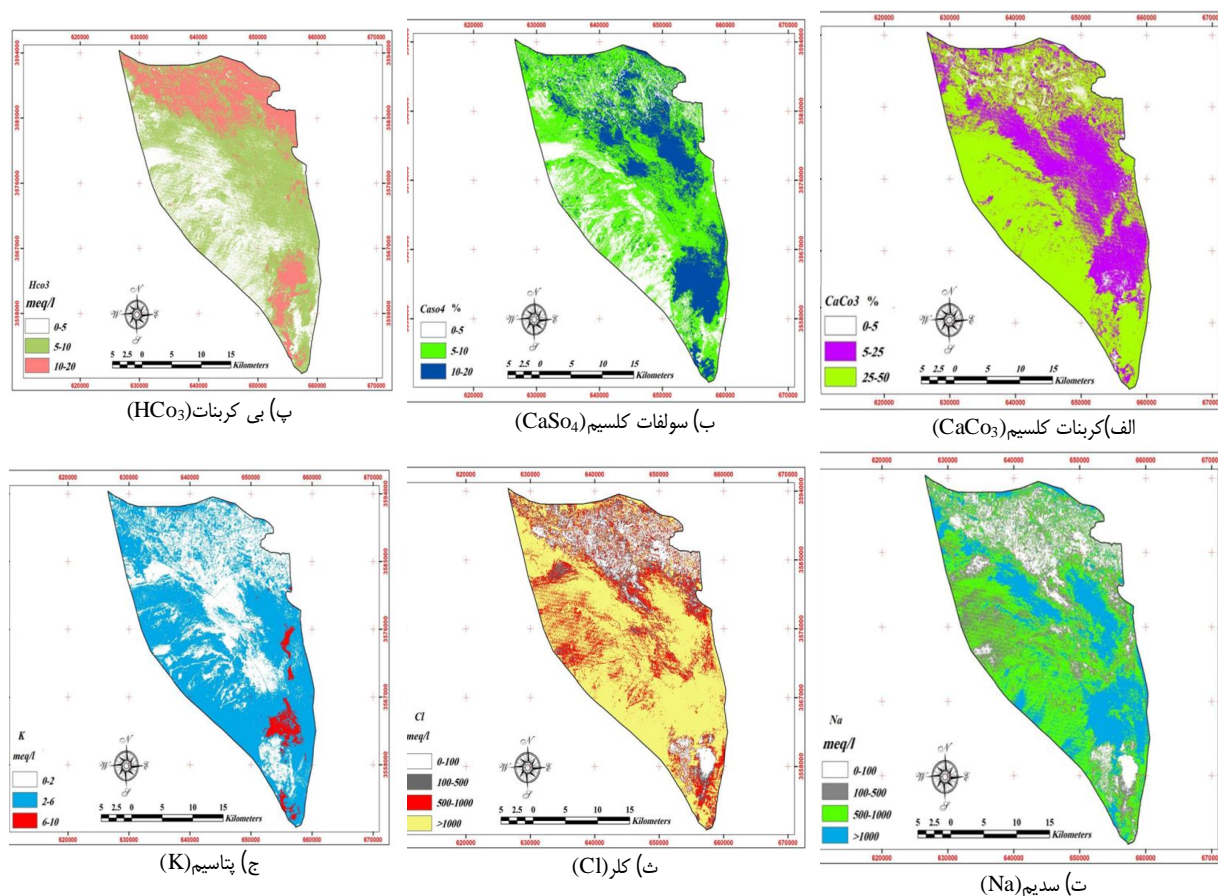
**4- اراضی شنی:** همانطور که در شکل 1 ملاحظه می‌شود اراضی شنی با اشکال متنوعی چون بارخان با رنگ سبز از شمال غربی منطقه به سمت جنوب شرقی و شرق پراکنده شده‌اند. پراکنش املاح در اراضی شنی مطابق نتایج این مطالعه به این صورت است که کربنات کلسیم و گچ به غلظت متوسط (25-5 درصد) پراکنده است. غلظت یون بی کربنات در محدوده طبقات 1 و 2 (0-5 meq/l و 5-10 meq/l) قرار گرفته است. از لحاظ یون پتاسیم شن‌زارهای بخش شرقی در طبقه دوم 2-6 meq/l قرار می‌گیرند. این شن‌زارها دارای سولفات قابل توجهی بوده و در طبقه سوم (10-35 meq/l) قرار می‌گیرند. بر اساس نقشه غلظت یون‌های کلسیم و منیزیم، شن‌زارهای بخش شرقی در طبقه سوم (150-250 meq/l) قرار می‌گیرند (5).

**5- مراتع فقیر و اراضی بایر:** این تیپ اراضی در جنوب غربی منطقه که جز مناطقی با شوری متوسط مشخص شده است (5)، دارای کلر و کربنات کلسیم نسبتاً زیادی است. در این ارتباط وجود سازندهای کربنات آهکی و ساختار خاک‌شناسی منطقه شاهدهی بر

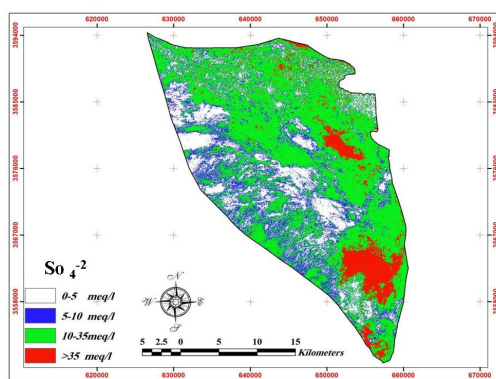
کودهای شیمیایی و آبیاری با پساب‌ها می‌باشد. نقشه pH یکی از فاکتورهای مؤثر در تعیین میزان قلیائیت خاک سطحی به شمار می‌رود؛ در منطقه مورد مطالعه pH دارای میانگینی در حدود 7/7 بوده که امکان مطالعه قلیائیت خاک را ضعیف ارزیابی می‌کند. محدوده‌های طیفی جهت تفکیک فرایند شوری و قلیائیت شامل 0/55-0/75 میکرومتر، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز میانی می‌باشد. این محدوده‌ها از نظر طول موج، باندهای 3 و 5 سنجنده TM را شامل می‌شوند که در مدل‌سازی pH مورد استفاده قرار گرفته‌اند. همچنین باند مادون قرمز حرارتی در تفکیک اراضی قلیایی قابلیت فراوانی دارد (21، 22، 24).

در جدول 1 بهترین روش مورد استفاده جهت طبقه‌بندی هر یک از فاکتورها، نشان داده شده است.

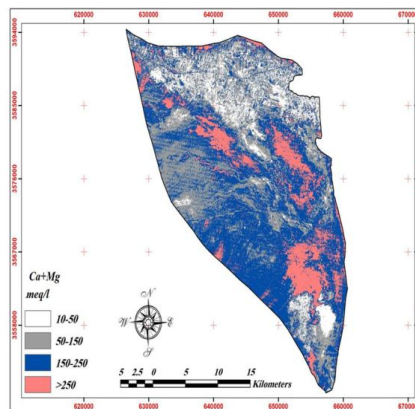
مادون قرمز میانی (1/55-1/75) میکرومتر، کاهش بازتاب و در محدوده مادون قرمز نزدیک افزایش بازتاب دارند (20 و 22). با توجه به مطالب بالا و باندهای مورد استفاده مدل رگرسیونی به دست آمده می‌تواند در تعیین نسبت جذب سدیم منطقه کارایی مناسبی داشته باشد (4). مطابق نقشه تولید شده pH خاک سطحی به روش مدل‌سازی رگرسیونی با استفاده از باندهای 3، 5 و 6 سنجنده TM و PC<sub>2</sub> بیشترین سطح منطقه دارای pH در محدوده 7/5-7/75 است و کمترین سطح منطقه pH بین 7-7/5 دارد که بخش‌هایی از اراضی کشاورزی رها شده و شوره‌زارها در این محدوده واقع شده‌اند. شن‌زارهای بخش شرقی منطقه مورد مطالعه و اراضی مرتعی با پوشش اندک نیز در طبقه دوم قرار می‌گیرند. میزان pH بخش اعظم اراضی کشاورزی در طبقه سوم، دارای محدوده 8-7/75 بوده که میزان بالای آن نسبت به اراضی مجاور، احتمالاً به خاطر استفاده از



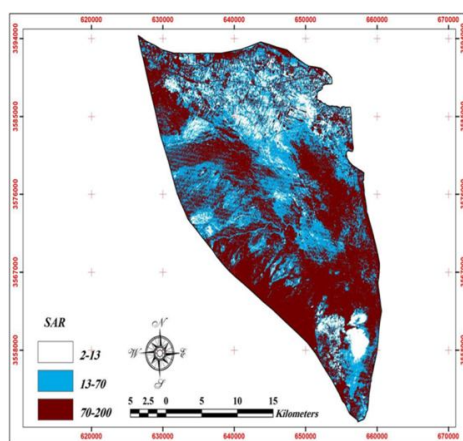
شکل 2- نقشه خصوصیات شیمیایی خاک سطحی در منطقه مطالعاتی  
Figure 2- Map of chemical properties of soil surface in the study area



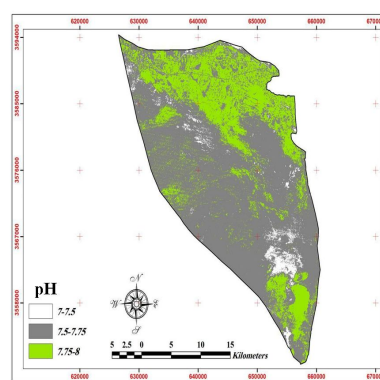
(ج) سولفات ( $So_4^{2-}$ )



(ج) کلسیم و منیزیم ( $Ca+Mg$ )



(د) نسبت جذب سدیم (SAR)



(ه) pH

ادامه شکل 2- نقشه خصوصیات شیمیایی خاک سطحی در منطقه مطالعاتی  
Continue Figure 2- Map of chemical properties of soil surface in the study area

دهنده دقت بالای نقشه تولیدی در میزان کربنات کلسیم دارد (6، 7، 20 و 22). برای تشخیص خاک‌های دارای سولفات محدوده 10/2 میکرومتر مهم ارزیابی می‌شود چرا که ناحیه جذبی مولکول‌های آب همراه با سولفات‌هاست و با محدوده طیفی باند 6 سنجنده TM (باند حرارتی) مطابقت دارد. علاوه بر این محدوده طیفی 1500-1700 نانومتر برای شناخت سطوح خاک‌های حاوی گچ (سولفات کلسیم) کاربرد فراوان دارد که حضور باند 5 (مادون قرمز میانی) را در معادله گچ سطحی توجیه می‌نماید. منحنی بازتاب سولفات کلسیم یک کاهش بازتاب در طول موج 2 میکرومتر دارد و در محدوده طیفی 0/6-0/7 میکرومتر دارای بالاترین سطح بازتاب می‌باشد که این محدوده‌ها با باندهای 7 و 3 سنجنده TM مطابقت کامل دارد (8، 17، 21، 22). از آن جایی که در مدل به کار رفته جهت تعیین نقشه گچ سطحی منطقه از باندهای 3، 5، 6 و 7 سنجنده استفاده شده است، می‌توان نقش هر یک از این باندها و محدوده‌های طیفی را در تعیین صحیح سولفات کلسیم منطقه مورد مطالعه ملاحظه نمود.

همچنان که در جدول 1 مشخص است مشخصات لایه سطحی خاک از جمله رطوبت خاک، ترکیبات معدنی، مقدار هوموس، نوع خاک و بافت خاک تعیین کننده چگونگی بازتاب آن در محدوده‌های مختلف طیف الکترو مغناطیس می‌باشد. به طور کلی با افزایش طول موج در محدوده طیفی 0/4-2/5 میکرومتر میزان بازتاب خاک خشک به تدریج افزایش می‌یابد (13، 14، 20 و 28). خاک‌های آهکی و کلسیم‌دار، باندهای جذبی متفاوتی در طول موج‌های 2250 و 2350 نانومتر دارند که این محدوده با محدوده باند 7 سنجنده TM مطابقت دارد، همان‌طور که در جدول 1 ملاحظه می‌شود در مدل رگرسیونی مربوط به درصد آهک باند 7 سنجنده نقش دارد. علاوه بر این منحنی بازتاب کربنات کلسیم یک کاهش بازتاب در محدوده 1/5 میکرومتر و افزایش بازتاب در محدوده 0/6 میکرومتر دارد که با توجه به طول موج‌های فوق این کاهش و افزایش بازتاب مربوط به محدوده‌های باند 5 و 3 سنجنده TM می‌باشد. در حالی که مدل رگرسیونی کربنات کلسیم سطحی از ترکیبات باندهای 3، 5 و 7 به دست آمده، نشان

جدول 1- بهترین روش طبقه‌بندی خصوصیات مختلف خاک سطحی و میزان صحت آن در جنوب شرقی اصفهان

Table 1- The best method for classifying different soil properties and its accuracy in southeastern Isfahan

فاکتور مورد بررسی	بهترین روش طبقه‌بندی	درصد کاپای کلی	درصد صحت کلی	ضریب همبستگی (R)	بهترین باندهای پیشنهادی سنجنده جهت بررسی فاکتور مورد نظر
(Studied Parameter)	(Selected classification method)	(Overall Kappa %)	(Overall Accuracy %)	Correlation Coefficient)	TM (Selected TM band)
(الف) خصوصیات شیمیایی (Chemical characteristics)					
کربنات کلسیم	مدلسازی رگرسیون (Regression modelling)	80	90	0.73	7 و 5 3
معادله رگرسیونی (Regression equation)		$\%CaCO_3 = 10.076 - (0.514 \times Band3^{**}) + (0.18 \times Band5^{**}) - (0.379 \times Band7^{**})$			
سولفات کلسیم	مدلسازی رگرسیونی	80	88	0.76	7 و 6 5 3
معادله رگرسیونی	%	$+ (0.358 \times Band3^*) - (0.255 \times Band5^{**}) + (0.388 \times Band6^*) - (0.357 \times Band7^*)$ $CaSO_4 = -44.128$			
بی کربنات (HCO <sub>3</sub> )	طبقه‌بندی نظارت شده (Supervised classification)	80	بی کربنات	-	5**
سدیم	مدلسازی رگرسیونی	79	سدیم	0.77	PC <sub>3</sub> و 7 5 3
معادله رگرسیونی		$+ (0.066 \times Band3^{**}) - (0.068 \times Band5^{**}) + (0.043 \times Band6^{**}) + (1.623^{***} PC_3)$ $Log Na^+ = 0.128$			
کلر (Cl)	طبقه‌بندی نظارت شده	79	کلر	-	5**
نسبت جذب سدیم	مدلسازی رگرسیونی	81	نسبت جذب سدیم	0.79	PC <sub>3</sub> و PC <sub>1</sub> 5 4
معادله رگرسیونی		$- (3.13 \times Band4^*) - (10.105 \times Band5^{**}) + (145.872 \times PC_1^{**}) + (177.667 \times PC_3^*)$ $SAR = 2324.676$			
پتاسیم (K)	طبقه‌بندی نظارت شده	79	پتاسیم	-	5**
pH	مدلسازی رگرسیونی	75	pH	0.75	PC <sub>2</sub> و 6 5 3
معادله رگرسیونی		$- (0.053 \times Band3^{**}) + (0.027 \times Band5^{**}) + (0.119 \times Band6^{**}) - (2.485 \times PC_2^{**})$ $pH = -13.412$			
سولفات	مدلسازی رگرسیونی	79	سولفات	0.80	6 و 5 3
معادله رگرسیونی		$Log So_4^{-2} = -1.546 + (0.0240 \times Band3^{**}) - (0.023 \times Band5^{**}) + (0.023 \times Band6^*)$			
کلسیم و منیزیم (Ca+Mg)	طبقه‌بندی نظارت شده	77	کلسیم و منیزیم	-	5**
(ب) خصوصیات فیزیکی (Physical characteristics)					
درصد رس	مدلسازی رگرسیونی	88	94	0.78	PC <sub>2</sub> و 4 3 2
معادله رگرسیونی		$82.283 - (2.27 \times Band2^*) + (1.95 \times Band3^*) - (0.788 \times Band4^{**}) - (22.002 \times PC_2^*)$ $\%Clay =$			
درصد سیلت (Silt)	طبقه‌بندی نظارت شده	90	93	-	4**
درصد شن	مدلسازی رگرسیونی	89	95	0.83	5 4 3 2 1
		$- (4.23 \times Band1^*) + (14.95 \times Band2^{**}) - (7.23 \times Band3^{**}) - (0.83 \times Band4^*) + (0.80 \times Band5^*)$ $\%Sand = 133.29$			
رطوبت اشباع (Sp)	طبقه‌بندی نظارت شده	86	93	-	5**

\* معنی‌داری در سطح 95 درصد

\*\* معنی‌داری در سطح 99 درصد

Significant at the 95 confidence level  
Significant at the 99 confidence level



محدوده طیفی، امکان مطالعه این یون‌ها در این محدوده را آشکار می‌سازد (20). لذا باند 5 سنجنده TM که بیشترین همبستگی را با کلسیم و منیزیم خاک سطحی منطقه داشت، جهت تهیه نقشه مورد استفاده قرار گرفت.

#### پراکنش مکانی خصوصیات فیزیکی خاک

شکل 4 پراکنش مکانی درصد رس، شن، سیلت و رطوبت اشباع منطقه را نشان می‌دهد. بر اساس این نقشه‌ها بخش اعظم منطقه دارای 20-40 درصد رس و سیلت است، در صورتی که بیشترین میزان شن مربوط به مرز شرقی منطقه مورد مطالعه می‌باشد که شامل تپه‌های ماسه‌ای است، همچنین مناطق تحت کشت تاغ در بخش جنوب شرقی در طبقه بیش از 40 درصد شن قرار می‌گیرند؛ بخش‌هایی از اراضی کشاورزی و اراضی شور منطقه بیش از 40 درصد رس و سیلت دارند اما بر اساس نقشه درصد شن خاک سطحی، اکثر اراضی کشاورزی موجود دارای میزان شن 0-20 درصد است؛ اراضی شن‌زار بخش شرقی منطقه کمترین میزان رس و سیلت در محدوده 0-20 را دارد. در قسمت‌هایی از جنوب غربی منطقه و اراضی مرتعی با پوشش بسیار کم، میزان شن در طبقه 20-40 و بیشتر از 40 درصد قرار می‌گیرند.

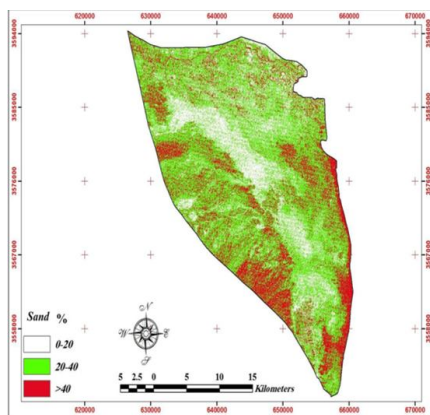
مدلی که برای تعیین میزان درصد رس به روش رگرسیون استفاده شد مطابق جدول 1 ترکیبی از باندهای 2، 3، 4 و PC2 است. منحنی بازتاب طیفی سطوح رسی در محدوده طیفی 0/4-0/9 رو به افزایش می‌باشد که شامل محدوده طیفی مرئی و مادون قرمز نزدیک می‌باشد که امکان مطالعه سطوح دارای رس را فراهم می‌آورد (19)، 22 و 24). با توجه به نمودار بازتاب طیفی سطح خاک در شرایط شبه بافتی با پوسته‌های متفاوت و محتوی نمک و دارای سیلت، محدوده طیفی 0/7 تا 0/9 میکرومتر برای شناخت سطوح دارای سیلت با شرایط متفاوت دارای کارایی بالایی است (19 و 22). لذا باند 4 سنجنده TM که بیشترین همبستگی را با میزان درصد سیلت خاک سطحی منطقه داشت، جهت تهیه نقشه مورد استفاده قرار گرفت. مدل به کار رفته جهت تهیه نقشه درصد شن خاک سطحی مطابق با جدول 1 ترکیبی از باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک (1، 9، 11 و 31) و باند 5 سنجنده TM است. اراضی ماسه‌ای به دلیل قابلیت پایین نگهداری آب نسبت به اراضی رسی بازتاب بیشتری در محدوده طیفی مرئی و مادون قرمز نزدیک دارند بنابراین استفاده از این باندها در مطالعه اراضی ماسه‌ای دارای قابلیت بالایی است (6).

با توجه به نقشه درصد رطوبت اشباع خاک سطحی، مناطق کشاورزی شمال و جنوب منطقه و بخش‌های از جنوب غربی دارای درصد رطوبت اشباع بیش از 40 درصد بوده که با توجه به میزان زیاد رس در این مناطق این میزان رطوبت قابل انتظار می‌باشد. مناطقی

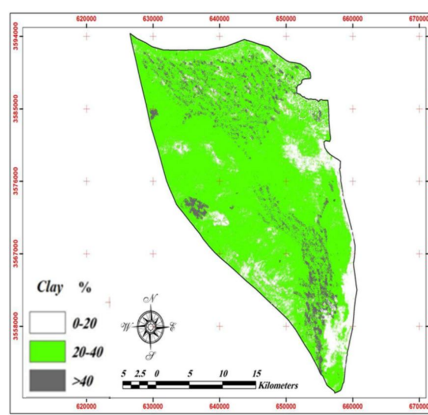
در نقشه تولید شده برای یون بی کربنات باند 5 سنجنده TM نقش مهمی داشته است که از نظر طول موج در محدوده طیفی 1750-1550 نانومتر قرار دارد و از طرفی منحنی بازتاب طیفی یون بی کربنات در این محدوده یک افزایش و کاهش بازتاب دارد که نشان از قابلیت مناسب این باند در شناسایی و تشخیص یون بی کربنات در منطقه داشته است (12، 20 و 22). با افزایش میزان سدیم در سطح خاک، بازتاب در محدوده مادون قرمز نزدیک نیز افزایش می‌یابد ولی بازتاب نور قرمز با افزایش سدیم در سطح خاک کاهش چشمگیری دارد (15). همچنین خاک‌های سدیمی دارای بالاترین بازتاب در محدوده باندهای 4 و 5 سنجنده TM می‌باشند (23). منحنی بازتاب کلریدها (کلر و سدیم) در محدوده طیفی مادون قرمز حرارتی نیز افزایش می‌یابد (22 و 28). در مدل رگرسیونی به کار رفته جهت تولید نقشه سدیم در این مطالعه، باندهای 3، 5 و 6 سنجنده TM استفاده شده است. با توجه به مطالب فوق حضور این باندها در تولید نقشه سدیم خاک سطحی قابل توجه می‌باشند. بنابراین روش مدل‌سازی رگرسیونی برای تشخیص و شناسایی خاک‌های حاوی سدیم در منطقه کارایی مناسبی دارد. جهت تولید نقشه یون کلر به روش طبقه‌بندی نظارت شده از باند 5 سنجنده TM استفاده شد؛ منحنی بازتاب طیفی کلریدها در محدوده مادون قرمز میانی دارای بالاترین بازتاب می‌باشد. باند مادون قرمز میانی به دلیل بازتاب آب و جذب OH توانایی بالایی در تفکیک و شناسایی کلریدهایی چون هالیت از سولفات، هنگامی که هر دو آن‌ها خشک باشند، دارد (20، 22 و 25). برای تشخیص خاک‌های دارای سولفات، محدوده طیفی 10/2 میکرومتر ناحیه جذبی مولکول‌های آب همراه با سولفات‌هاست. بنابراین باند حرارتی TM6 سهم مهمی در جداسازی زمین‌های حاوی نمک‌های سولفات‌ها ایفا می‌کند (11، 14 و 20). همچنین خاک‌های دارای نمک‌های سولفات‌ها در محدوده طیفی 1/5-1/73 میکرومتر (مادون قرمز میانی) دارای دامنه جذب مناسبی بوده که از نظر طول موج با باند 5 سنجنده TM مطابقت دارد (15، 20 و 25). در مدل به کار رفته جهت تهیه نقشه یون سولفات در این مطالعه از باندهای 3، 5 و 6 سنجنده TM استفاده شده است که اهمیت این باندها را در تعیین میزان سولفات خاک سطحی منطقه آشکار می‌سازد. همچنین بازتاب طیفی نمک‌های حاوی یون پتاسیم در خاک سطحی در محدوده مادون قرمز میانی بالا بوده و افزایش و کاهش بازتاب پتاسیم در این محدوده طیفی، امکان مطالعه یون پتاسیم در این محدوده را آشکار می‌سازد (20 و 22). لذا همان‌طور که گفته شد باند 5 سنجنده TM که بیشترین همبستگی را با پتاسیم سطحی منطقه داشت، جهت تهیه نقشه پتاسیم خاک سطحی مورد استفاده قرار گرفت. بازتاب طیفی نمک‌های حاوی یون‌های کلسیم و منیزیم در خاک سطحی در محدوده مادون قرمز میانی بالا بوده و افزایش و کاهش بازتاب در این

می گیرند و بازتاب در این طول موج ها دارای افت محسوس است (14، 15 و 19). این محدوده از نظر طول موج با باند 5 سنجنده TM منطبق بوده لذا در تعیین میزان رطوبت اشباع و تهیه نقشه مربوطه با روش طبقه بندی نظارت شده از باند 5 سنجنده TM استفاده گردید. نتیجه دیگر بدست آمده از این مطالعه مطابق با جدول 1 نتایج محاسبه ماتریس خطا است، صحت کلی و ضریب کاپای بالای 80 درصد نشان دهنده صحت بالای نقشه های تولیدی می باشد.

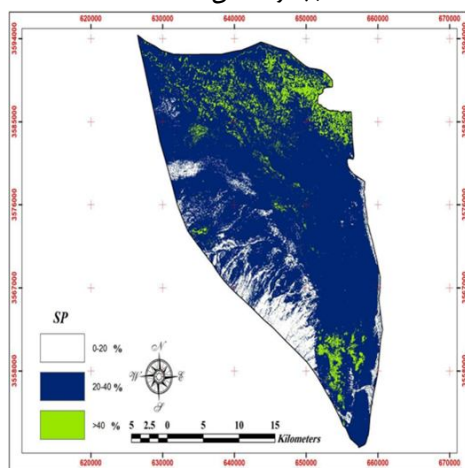
که شن زیادی دارند در طبقه کمترین میزان رطوبت و دارای 0-20 درصد رطوبت قرار گرفته اند. این مناطق در قسمت مرز شرقی منطقه به رنگ سفید قابل تشخیص می باشد. درصد رطوبت اشباع در اکثر بخش های میانی منطقه و اراضی شور در طبقه دوم، 20-40 درصد قرار گرفته است. با افزایش طول موج در محدوده 0/4-2/5 میکرومتر، میزان بازتاب خاک خشک به تدریج افزایش می یابد و در این محدوده طیفی، رطوبت خاک باعث کاهش بازتاب می گردد. باندهای جذب آب در محدوده های 1/4، 1/9 و 2/4 میکرومتر قرار



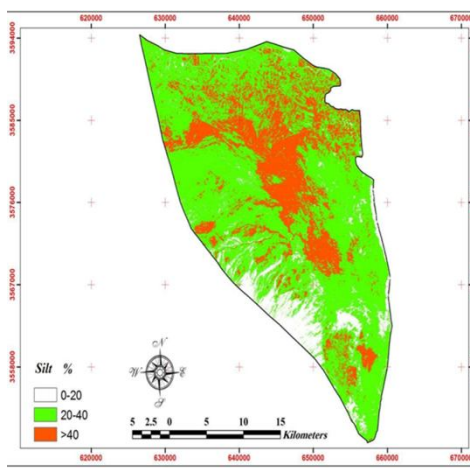
(ب) درصد شن (Sand)



(الف) درصد رس (Clay)



(ت) رطوبت اشباع (SP)



(پ) درصد سیلت (Silt)

شکل 3- نقشه خصوصیات فیزیکی خاک سطحی در منطقه مطالعاتی  
Figure 3- Map of physical properties of soil surface in the study area

شرقی استان اصفهان انجام گردید. بدین منظور نقشه تغییرات و توزیع مکانی کربنات کلسیم، گچ، کلر، سولفات، بی کربنات، پتاسیم، کلسیم و منیزیم، نسبت جذب سدیم، pH، درصد رطوبت اشباع و بافت خاک برای خاک سطحی در 6 نوع تیپ اراضی مختلف با استفاده از تصویر

### نتیجه گیری کلی

شناسایی توزیع مکانی خصوصیات خاک در هر منطقه کلید مهمی برای مدیریت صحیح اراضی می باشد. این مطالعه با هدف پهنه بندی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک سطحی منطقه خشک جنوب

به مشخص شدن غلظت املاح مختلف و پراکنش مکانی آن‌ها در سراسر منطقه، نتایج حاضر می‌تواند مبنای علمی و همچنین پایگاه اطلاعاتی و داده مناسبی جهت اجرای هر گونه عملیات صحرائی، طرح‌های بیابان‌زدایی و احیا، کشاورزی، برآورد میزان فرسایش بادی، مکانیابی کانون‌های گرد و غبار، معرفی گونه‌های مناسب و سازگار با شرایط طبیعی اکوسیستم و هر گونه مطالعه دیگر مرتبط به خصوصیات خاک در این منطقه باشد.

سنجنده TM ماهواره لندست و دو روش مدل‌سازی رگرسیونی و طبقه‌بندی نظارت شده تهیه شد. با توجه صحت بالای 95-85 درصدی نقشه‌های بدست آمده می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که داده‌های ماهواره‌ای سنجنده TM قابلیت بالایی در کمک به مدیران اجرایی و خاکشناسان در پروژه‌ها و مطالعات خاکشناسی دارد که علاوه بر صحت بالا نسبت به نقشه‌هایی که با روش سنتی ایجاد می‌شوند، از لحاظ اقتصادی و زمان به صرفه‌تر نیز می‌باشند. با توجه

## منابع

- 1- Alavi Panah K. 2003. Application of remote sensing in geosciences, Tehran University, Tehran (In Persian).
- 2- Ali R.R., and Kotb M.M. 2010. Use of satellite data and GIS for soil mapping and capability assessment. *Nature and Science*, 8 (8): 104-115.
- 3- Ali R.R., and Moghanm F.S. 2013. Variation of soil properties over the landforms around Idku Lake, Egypt. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 16 (1): 91-101.
- 4- Eldeiry A., Garcia L.A., and Reich R.M. 2005. Estimating soil salinity from remote sensing data in Corn fields. *Hydrology Days*, 49: 31-42.
- 5- Emadi, M., Baghernejad M., Emadi M., and Maftoun M. 2008. Assessment of some soil properties by spatial variability in saline and sodic soils in Arsanjan plain, Southern Iran. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 11 (2): 238-243.
- 6- Farifteh J. 2007. Imaging spectroscopy of salt-affected soils: Model-based integrated method, in ITC dissertation, Utrecht University: the Netherlands.
- 7- Farifteh J., Farshad A., and George R. 2006. Assessing salt-affected soils using remote sensing, solute modelling and geophysics, *Geoderma* 130: 191-206.
- 8- Fernandez-Bucesa N., Siebea C., Cramb 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. *Journal of Arid Environments*, 65: 644-667.
- 9- Forest range watershed organization Isfahan province, 1994, Segzi plain dedesertification project, frw organization (In Persian).
- 10- Fox G.A., and Metla R. 2005. Soil property analysis using principal components analysis, soil Line, and regression models. *Soil Science Society of America Journal*, 69: 1782-1788.
- 11- Jafari Haghighi, M. 2003. Methods of soil analysis sampling and important physical & chemical analysis, Neda Zoha, Tehran (In Persian).
- 12- Howari F., Goodell P., and Miyamoto S. 2002. Spectral properties of salt crusts formed on saline soils. *Journal of Environmental Quality*, 31: 1453-1461.
- 13- Kappa M., Shawan A., and Erasmi S. 2005. Remote sensing based classification of salt affected soils as an indicator for landscape degradation in the south of Aleppo, Syria, in UN convention to combat desertification, Trier, Germany.
- 14- Keshavarzi A., and Sarmadian F. 2012. Mapping of spatial distribution of soil salinity and alkalinity in a semi-arid region. *Annals of Warsaw University of Life Sciences-SGGW. Land Reclamation*, 44 (1): 3-14.
- 15- Khajeddine S.J.A. 1995. Survey of the plant communities of Jazmorian Iran using landsat Mss Data, in Department of Botany, PhD thesis, University of Reading.
- 16- Mahmoodi F. 2011. Investigating the Potential of Remote Sensing Data in Producing Soil Salinity and Alkalinity Map in Southeastern Isfahan, MSc. Thesis, Isfahan University of Technology (In Persian with English abstract).
- 17- Martinez-Montoya J.F., Herrero J., and Casterad M.A. 2010. Mapping categories of gypseous lands in Mexico and Spain using Landsat imagery. *Journal of Arid Environments*, 74 (8): 978-986.
- 18- Melendez-Pastor I., Navarro-Pedreño J., Gómez I., and Koch M. 2008. Identifying optimal spectral bands to assess soil properties with VNIR radiometry in semi-arid soils. *Geoderma*: 147 (3-4): 126-132.
- 19- Metternicht G., and Zinck J.A. 2008. PART I: Soil Salinity and Remote Sensing: The Object and the Tool, Chapter

- 1: Soil Salinity and Salinization Hazard, in Remote sensing of soil salinization impact on land management, G. Metternicht and J.A. Zinck, Editors. 2008, CRC Press: London, New York.
- 20- Metternicht G., and Zinck J.A. 2008. PART I: Soil Salinity and Remote Sensing: The Object and the Tool, Chapter 2: Soil Salinity and Salinization Hazard, in Remote sensing of soil salinization impact on land management, G. Metternicht and J.A. Zinck, Editors. 2008, CRC Press: London, New York.
- 21- Metternicht G.I., and Zinck J.A. 1996. Modelling salinity-alkalinity classes for mapping salt-affected topsoils in the semi-arid valleys of Cochabamba (Bolivia). *Interdenominational Theological Center Journal*, 2: 125-135.
- 22- Metternicht G.I., and Zinck J.A. 2003. Remote sensing of soil salinity: Potentials and constraints. *Remote Sensing of Environment*, 85: 1-20 .
- 23- Moreau S.S. 1996. Application of remote sensing and GIS to the mapping of saline/sodic soils and evaluation of villarroel, central Altiplano, Bolivia. In *The 4th international symposium on High Mountain remote sensing cartography*, Karlstad, Kiruna.
- 24- Mougnot B., Epema G., and Pouget M. 1993. Remote sensing of salt affected soils. *Remote Sensing Reviews*, 7: 241-259.
- 25- Mulders M., 1987. *Remote Sensing in Soil Science*. Elsevier.
- 26- Naiej Noori, R. 2002. Feasibility study of analysis of saline and chalky lands in Kashan plain using TM data. MSc. Thesis, Isfahan University of Technology (In Persian with English abstract).
- 27- Robbins M.A. and Wiegard C.L. 1990. Field and laboratory measurements. In, Tanji K.K. (Ed). *Agricultural Salinity Assesment and Manegement*, American Society of civil Engineers: New York.
- 28- Salisbury J.W., and Aria D.N. 1992. Infrared (8-14 $\mu$ m) remote sensing of soil particle size. *Remote Sensing of Environment*, 42:157-165.
- 29- Schott J.R. 1997. *Remote sensing: The image chain approach*. Oxford University.
- 30- Tutorial. 2010. *Fundamentals of Remote Sensing Satellites and Sensors Spatial Resolution, Pixel Size, and Scale*, Internet, Available at <http://www.ccrs.nrcan.gc.ca>. (Visited 27 October 2010).
- 31- Ziaie D. 2008. Investigating soil proprties using remote sensing in Isfahan, MSc. Thesis, Isfahan Universty of Technology (In Persian with English abstract).



## Spatial Distribution Analysis of Soil Properties in Varzaneh Region of Isfahan Using Image Processing Techniques

F. Mahmoodi<sup>1</sup> - R. Jafari<sup>2\*</sup> - H. Karimzadeh<sup>3</sup> - N. Ramezani<sup>4</sup>

Received: 26-06-2013

Accepted: 07-06-2015

**Introduction:** Use of remote sensing for soil assessment and monitoring started with the launch of the first Landsat satellite. Since then many other polar orbiting Earth-observation satellites such as the Landsat series, have been launched and their imagery have been used for a wide range of soil mapping. The broad swaths and regular revisit frequencies of these multispectral satellites mean that they can be used to rapidly detect changes in soil properties. Arid and semi-arid lands cover more than 70 percent of Iran and are very prone to desertification. Due to the broadness, remoteness, and harsh condition of these lands, soil studies using ground-based techniques appear to be limited. Remote sensing imagery with its cost and time-effectiveness has been suggested and used as an alternative approach for more than four decades. Flood irrigation is one of the most common techniques in Isfahan province in which 70% of water is lost through evaporation. This system has increased soil salinization and desert-like conditions in the region. For principled decision making on agricultural product management, combating desertification and its consequences and better use of production resources to achieve sustainable development; understanding and knowledge of the origin, amount and area of salinity, the percentage of calcite, gypsum and other mineral of soil in each region is essential. Therefore, this study aimed to map the physical and chemical characteristics of soils in *Vazaneh* region of *Isfahan* province, *Iran*.

**Materials and Methods :** Varzaneh region with 75000 ha located in central *Iran* and lies between latitudes 3550234 N and 3594309 N and longitudes 626530 E to 658338 E. The climate in the study area is characterized by hot summers and cold winters. The mean daily maximum temperature ranges from 35°C in summer to approximately 17°C in winter and mean daily minimum temperature ranges from 5°C in summer to about -24.5°C in winter. The mean annual evaporation rate is 3265 mm. In this study, image processing techniques including band combinations, Principal Component Analysis (PC1, PC2 and PC3), and classification were applied to a TM image to map different soil properties. In order to prepare the satellite image, geometric correction was performed. A 1:25,000 map (UTM 39) was used as a base to georegister the Landsat image. 40 Ground Control Points (GCPs) were selected throughout the map and image. Road intersections or other man-made features were appropriate targets for this purpose. The raw image was transformed to the georectified image using a first order polynomial, and then resampled using the nearest neighbour method to preserve radiometry. The final Root Mean Square (RMS) error for the selected points was 0.3 pixels. To establish relationships between image and field data, stratified random sampling techniques were used to collect 53 soil samples at the GPS (Global Positioning System) points. The continuous map of soil properties was achieved using simple and multiple linear regression models by averaging 9 image pixels around sampling sites. Different image spectral indices were used as independent variables and the dependent variables were field- based data.

**Results and Discussion:** The results of multiple regression analysis showed that the strongest relationships was between sandy soil and TM bands 1, 2, 3, 4, and 5, explaining up to 83% of variation in this component. The weakest relationship was found between CaCo<sub>3</sub> and 3, 5, and 7 TM bands. In some cases, the multiple regressions was not an appropriate predicting model of soil properties, therefore, the TM and PC bands that had the highest relationship with field data (confidence level, 99%) based on simple regression were classified by the maximum likelihood algorithm. According to error matrix, the overall accuracy of classified maps was between 85 and 93% for chlorine (Cl) and silt components, respectively.

**Conclusions:** The results indicated that the discretely classified maps had higher accuracy than regression models. Therefore, to have an overview of soil properties in the region, classification techniques appears to be more applicable than regression models. The findings of this study shows that the extracted maps of the physical and chemical characteristics of soils can be used as a suitable tool for field operations, combating desertification and rehabilitation purposes and compared to maps that are created by traditional methods, our final maps have

1, 2, 3, 4- MSc Graduated, Assistant Professors and MSc Graduated, Department of Watershed, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Respectively  
(\* - Corresponding Author Email: reza.jafari@cc.iut.ac.ir)

more economically and time saving advantages. Therefore, they can be used as an adjunct to field methods to aid the assessment and monitoring of soil condition in the arid regions of *Isfahan* province.

**Keywords:** Image classification, Multiple linear Regressions, remote sensing, Soil properties