

بررسی امکان‌پذیری برآورد مواد آلی خاک با استفاده از تصاویر ابرطیفی هایپریون در مناطق ایوانکی و ارومیه

سینا ملاح نوکنده^۱، مهدی همایی^{۲*} و علی‌اکبر نوروزی^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، ^۲ استاد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس و ^۳ استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۹/۱۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۳/۰۱

چکیده

ماده آلی خاک یکی از حیاتی‌ترین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک است که میزان دی‌اکسیدکربن هوا و گرمایش جهانی را تعدیل و نقش مهمی را در تشکیل خاکدانه طی مرحله خاکدانه‌سازی خاک ایفا می‌کند. به علاوه، ماده آلی خاک به طرز چشمگیری شرایط فیزیکی خاک را طی مدت زمان طولانی بهبود می‌بخشد. هدف از انجام پژوهش حاضر، مقایسه چهار مدل آماری رایج، دستیابی به مدلی بهینه برای برآورد مواد آلی خاک در منطقه ایوانکی و صحت‌سنجی دقیق‌ترین مدل تخمینی مواد آلی خاک در منطقه نیمه‌خشک دیگری در دشت ارومیه می‌باشد که اطلاع از میزان آن تاثیر قابل توجهی بر مدیریت خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک به دلیل فقیر بودن از این ماده خواهد گذاشت. بدین منظور، از تصاویر ماهواره‌ای هایپریون منطقه ایوانکی برای ایجاد ارتباط بین تصاویر باندهای ماهواره و میزان مواد آلی مناطق نیمه‌خشک با مدل‌های SWR، MinR، PLS و PCA استفاده شد و سپس با ۲۳ نمونه دشت ارومیه صحت‌سنجی شد. نتایج پژوهش نشان داد که مدل‌های MinR و PCA از دقت کافی برخوردار نبوده و مدل‌های SWR و PLS بیشترین دقت را به ترتیب با R^2 ۰/۶۹، ۰/۶۶ و RMSE ۰/۱۸ در برآورد مواد آلی منطقه کسب نمودند. همچنین، نتایج نشان داد که ارتباط تنگاتنگی بین مواد آلی خاک و محدوده طیفی قرمز و مادون قرمز کوتاه وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: صحت‌سنجی، PCA، PLS، MinR، SWR

مقدمه

خصوصیات برای دستیابی به کشاورزی دقیق لازم و ضروری است (Hanquet و همکاران، ۲۰۰۴). علاوه بر اهمیت مواد آلی خاک از دیدگاه کشاورزی، بین مقدار ماده آلی خاک و میزان دی‌اکسیدکربن هوا، گرمایش جهانی زمین و بیابان‌زایی ارتباط عمیق و تنگاتنگی وجود دارد (Post و همکاران، ۲۰۰۱). برآورد دقیق مقدار ماده آلی خاک می‌تواند سبب برآورد دقیق نوع و

ماده آلی خاک یکی از مهم‌ترین خصوصیات فیزیکی خاک است که در تعیین رفتار و مدیریت خاک تأثیر بسزایی داشته (Blackmer و همکاران، ۱۹۹۸) و برخی عناصر غذایی را برای رشد گیاه فراهم و شرایط فیزیکی خاک را بهبود می‌بخشد. اطلاع از ویژگی‌های فیزیکی خاک و تغییرپذیری مکانی این

* مسئول مکاتبات: mhomaee@modares.ac.ir

قابلیت‌ها از جمله تعداد باندهای بیشتر در اختیار کاربران قرار بگیرد، بر کارایی و نقش آن‌ها در مطالعات می‌افزاید و می‌تواند به عنوان یک منبع جایگزین در تهیه اطلاعات در زمینه‌های مختلف مطرح شود. این روش این امکان را به کاربر می‌دهد تا با انتخاب هر نقطه از زمین، امکان برآورد ماده آلی خاک فراهم شود. بدین ترتیب هم تغییرات در توزیع مواد آلی در نظر گرفته می‌شود و هم تعداد نمونه مورد نیاز کاهش می‌یابد.

در ۳۰ سال گذشته از مدل‌ها و تصاویر هوایی، ماهواره‌ای و اطلاعات طیف‌سنج آزمایشگاهی زیادی به منظور برآورد مواد آلی خاک استفاده شده که در اکثر آن‌ها توجه زیادی به روش‌های نمونه‌برداری زمینی نشده است. همچنین، اغلب تحقیقات در مناطقی صورت گرفته است که یا میزان مواد آلی خاک بالا بوده و یا محدوده میزان مواد آلی خاک گسترده بوده است. در تحقیقاتی که از طیف‌سنج آزمایشگاهی استفاده شد، به ترتیب مدل‌های PLSR (Udelhoven و همکاران، ۲۰۰۳؛ Van Waes و همکاران، ۲۰۰۵)، PCR (Chen و همکاران، ۲۰۰۰) و MLR (Ingleby و Crowe، ۲۰۰۰؛ Hummel و همکاران، ۲۰۰۱) توانستند دقت بالایی را در برآورد مواد آلی خاک کسب نمایند. البته وجود رطوبت، دقت مدل PLSR را در پژوهش Udelhoven و همکارانش پایین آورد. تحقیقاتی که با تصاویر ابرطیفی هوایی صورت گرفته، حاکی از دقت نسبی این تصاویر دارد (Bajwa و Tian، ۲۰۰۵؛ Uno و همکاران، ۲۰۰۵؛ Stevens و همکاران، ۲۰۰۶) و در این تصاویر نیز مدل‌های PLSR از دقت بالاتری نسبت به سایر مدل‌ها برخوردار بودند، اما دقت آن‌ها نسبت به مدل SVMR (Stevens و همکاران، ۲۰۰۹) تقریباً کمی کمتر به دست آمده است. تحقیقات اندکی نیز با تصاویر چندطیفی صورت گرفته است و همان‌طور که انتظار می‌رفت به دلیل قدرت تفکیک طیفی کم، این تصاویر نتوانستند دقت مناسبی را حاصل آورند (Ray و همکاران، ۲۰۰۴؛ Demattê و همکاران، ۲۰۰۷).

علی‌رغم پوشش وسیع تصاویر ماهواره‌ای، تحقیقات بسیار کمی با تصاویر ابرطیفی هایپریون (Zheng، ۲۰۰۸؛ Wang و همکاران، ۲۰۱۰) صورت گرفته است.

مقدار ورودی‌های شیمیایی، بهینه‌سازی تولید مزرعه-ای، تعیین مقدار دقیق نیاز کودی، حفاظت از خاک در مقابل فرسایش، اصلاح شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک، مدیریت کاربرد آفت‌کش و در نهایت به حداقل رساندن آلودگی آب‌های زیرزمینی شود (Sudduth و Hummel، ۱۹۹۱؛ Ingleby و Crowe، ۲۰۰۰). در مدیریت سنتی خاک استفاده از مواد شیمیایی نظیر کودها با فرض یکنواخت بودن شرایط خاک در تمامی مزرعه صورت می‌گیرد که با توجه به تغییرات خصوصیات خاک این نحوه مدیریت می‌تواند موجب استفاده بیشتر و یا کمتر از حد نیاز در برخی نقاط شود (Ping و Dobermann، ۲۰۰۶). اطلاع از غلظت ماده آلی در خاک به خصوص هنگامی که توزیع مکانی آن به دقت تعیین شده و هزینه آن پایین باشد، می‌تواند مفید واقع شود (Blackmer و White، ۱۹۹۸؛ Wolf و Buttel، ۱۹۹۷).

پژوهشگران و محققان از تکنیک‌ها و روش‌های مختلفی از جمله نمونه‌برداری شبکه‌ای و منطقه‌ای برای تعیین توزیع مواد آلی خاک استفاده می‌کنند. اما این روش‌ها دارای مشکلاتی هستند، از جمله این‌که عموماً هزینه نمونه‌برداری و تجزیه نمونه‌ها، تعیین‌کننده مقیاس نقشه‌برداری است و این در حالی است که خصوصیات خاک ممکن است در مقیاس کوچک‌تری نسبت به مقیاس نقشه تغییر کند و مناطقی با میزان مواد آلی کم یا زیاد نادیده گرفته شوند (Hummel و همکاران، ۲۰۰۱).

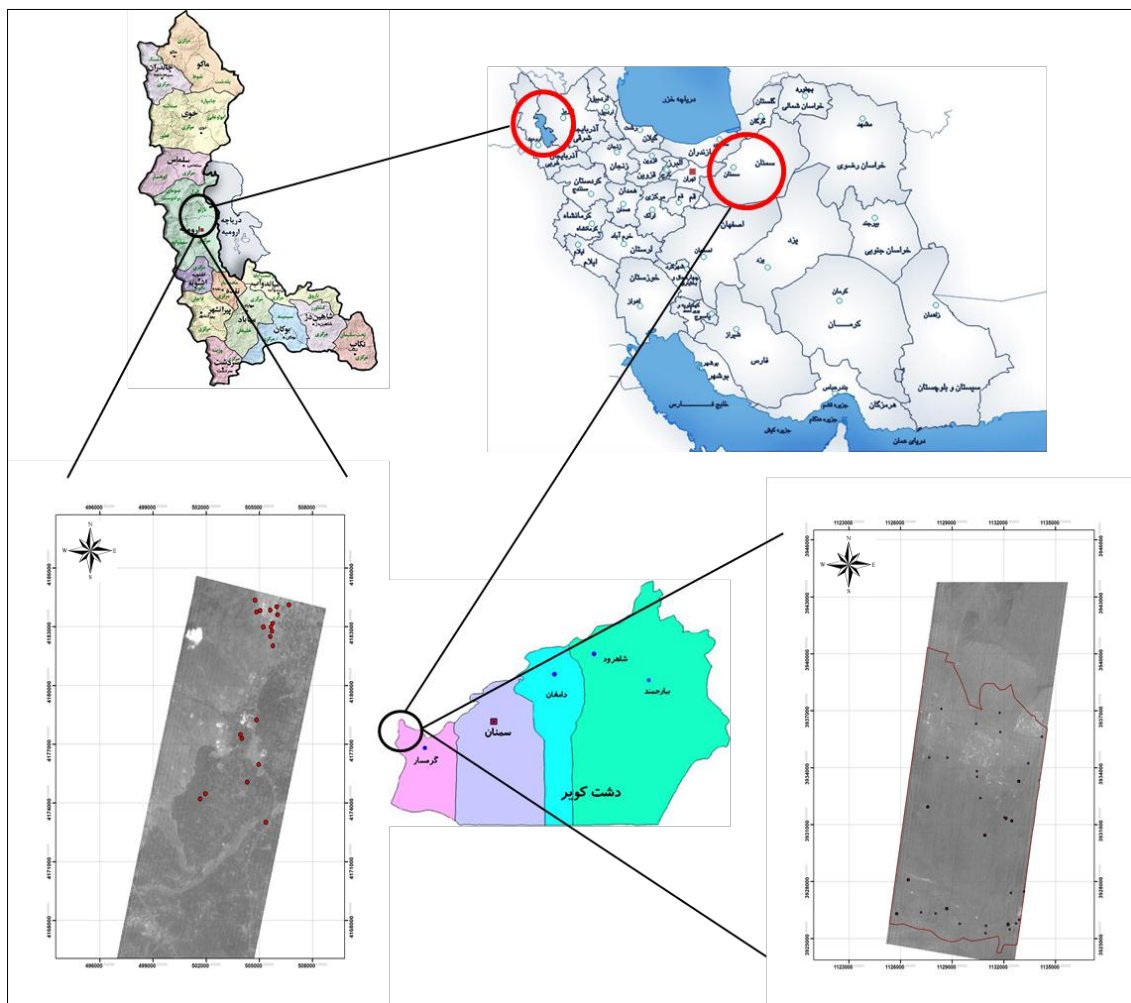
با توجه به مسئله مطرح شده، نیاز به روش‌های کم‌هزینه و سریع برای آنالیز خاک احساس می‌شود. با بررسی قابلیت داده‌های طیفی ماهواره‌ای در این زمینه و اثبات کارایی این داده‌ها، مشکلات فوق تا حدودی برطرف می‌شود. برآورد خصوصیات خاک با تصاویر ماهواره‌ای و سنسج از دور به عنوان تکنیکی ارزنده برای تعیین خصوصیات سطحی خاک شناخته شده است (Lopez-Granados و همکاران، ۲۰۰۵؛ Simbahan و همکاران، ۲۰۰۶). تصاویر ماهواره‌ای دارای قابلیت‌های متمایزی نظیر تولید اطلاعات چندگانه در ابعاد، مقیاس‌ها و طیف‌های مختلف، پوشش تکراری، چند طیفی بودن، دید وسیع و تنوع فرم اطلاعاتی می‌باشند به نحوی که هر چه از این

حدود ۱۰۰ کیلومتر مربع و میزان میانگین بارش و دمای سالیانه به ترتیب ۷۸/۲ میلی‌متر و ۲۰/۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. خاک‌های غالب منطقه بر اساس سیستم طبقه‌بندی FAO در سال ۱۹۷۴ شامل Calcaric و Orthic Solonchak, Haplic Yermosol است. فیزیوگرافی منطقه را نیز می‌توان به سه طبقه الف) مخروط افکنه در شمال منطقه، ب) واریزه‌های بادبزی شکل در قسمت مرکزی و ج) اراضی پست مناطق جنوبی دسته‌بندی نمود. همچنین، منطقه مورد پژوهش از شمال و جنوب به کوه‌های تخت رستم و سرخ محدود شده و میانگین ارتفاع از سطح دریا نیز حدود ۱۱۰۰ متر می‌باشد. محصولات کشاورزی منطقه نیز عموماً گندم زمستانه، ذرت، صیفی و پسته می‌باشند.

همچنین، اغلب مطالعات در مناطق با میزان بالای مواد آلی خاک انجام شده که به دلیل غنی بودن از مواد آلی نیاز به اطلاع از میزان دقیق آن احساس نمی‌شود. واقع شدن اکثر مناطق ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک سبب شده است که بیش از ۶۰ درصد خاک‌های زیرکشت در ایران، دارای مواد آلی کمتر از ۰/۵ درصد باشد. هدف اصلی این پژوهش، برآورد مواد آلی خاک مناطق نیمه‌خشک به کمک تصاویر ابرطیفی هایپریون است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش: این منطقه در ایوانکی در شمال غربی استان سمنان با مختصات جغرافیایی ۵۴' شمالی تا ۵۱° ۵۶' شرقی و ۳۵° ۲۴' تا ۳۵° ۲۴' شمالی واقع شده است (شکل ۱). وسعت منطقه در



شکل ۱ - موقعیت منطقه مورد پژوهش و نقاط نمونه‌برداری

مدل سازی مواد آلی خاک: به منظور مدل سازی مواد آلی خاک منطقه از پنج مدل استفاده شد. اولین مدل مورد استفاده رگرسیون گام به گام (SWR) می باشد که تمامی آنالیزهای مربوط به این مدل در نرم افزار SAS صورت گرفت. مدل دوم، روش MinR می باشد که تمامی عملیات این روش نیز در قسمت PROC REG نرم افزار SAS و طبق دستورالعمل (Ingleby و Crowe، ۲۰۰۰) انجام گرفت. مدل سوم نیز مدل آنالیز اجزاء اصلی (PCA) می باشد که در ابتدا امتیازات مربوط به هر فاکتور از نرم افزار SPSS استخراج و سپس وزن ها با ضرب ماتریسی در اعداد دیجیتالی چهارم، مدل حداقل مربعات جزئی می باشد که تفاوت آن با روش PCA در دسته بندی متغیرها با در نظر گرفتن متغیر وابسته می باشد. تمامی عملیات مربوط به این روش در دو نرم افزار SPSS و MATLAB، بر طبق دستور (Farifteh و همکاران، ۲۰۰۷؛ Zheng، ۲۰۰۸) صورت گرفت. به منظور صحت سنجی مدل ها نیز از دو معیار $RMSE$ و R^2 استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج آنالیزهای آزمایشگاهی: جدول ۱، نتایج آنالیز آزمایشگاهی خصوصیات مختلف خاک که در آزمایشگاه اندازه گیری شده را نشان می دهد.

جدول ۱- نتایج آنالیزهای آزمایشگاهی

خصوصیات خاک	واریانس	میانگین	دامنه	بیشینه	کمینه
مواد آلی	۰/۱۳	۰/۴۳۲	۱/۳۵۹	۱/۳۸۴	۰/۰۲۵
pH	۰/۱۲۸	۸/۰۴	۱/۳۹	۸/۸۷	۷/۴۸
درصد آهک	۲۸/۸۵	۱۹/۵۴	۲۲/۵	۳۱/۲۵	۸/۷۵
درصد گچ	۵۶۶/۳۴	۱۶/۳۳	۶۸/۸۷	۶۸/۸۷	۰

نتایج تست همبستگی پیرسون: آزمون همبستگی پیرسون برای بررسی ارتباط مواد آلی با باندهایی که بیشترین همبستگی را با مواد آلی دارند، صورت گرفت و نتایج نشان دادند که باندهای سنجنده ابرطیفی هایپریون در محدوده طول موج های ۵۹۹، ۶۲۰، ۶۳۰، ۲۱۶۳، ۲۳۰۴، ۲۳۱۴ و ۲۳۴۵ نانومتر همبستگی منفی معنی داری در سطح پنج درصد با مواد آلی خاک را داراست.

جداسازی واحدهای همگن: جداسازی واحدهای همگن مزیتی نسبت به روش های پیشین نمونه برداری چون شبکه بندی و نمونه برداری تصادفی به همراه دارد که تعداد نمونه برداری را به حداقل رسانده و از نمونه برداری اضافی که موجب صرف هزینه و زمان می شود، جلوگیری می نماید. بدین منظور، ابتدا نقشه های طبقه بندی خاک منطقه، کاربری اراضی، زمین شناسی و فیزیوگرافی در اندازه تصویر هایپریون برش داده و بر روی یکدیگر همپوشانی شد تا واحدهای همگن منطقه مجزا شوند. نتیجه این همپوشانی ۳۱ واحد همگن را در منطقه مشخص نمود. تعداد ۳۱ نمونه درون این واحدها به صورت دقیق مکان یابی شد و نمونه برداری از این نقطه در منطقه صورت گرفت.

اطلاعات تصویر ابرطیفی هایپریون: در پژوهش حاضر، از دو تصویر هایپریون استفاده شد. تصویر اول مربوط به منطقه ایوانکی در تاریخ سوم مارس ۲۰۰۷ و تصویر دوم نیز مربوط به منطقه ارومیه در تاریخ سی ام می ۲۰۱۱ می باشد. سنجنده بر روی ماهواره EO-1 سوار می باشد که بازتاب ها را در محدوده ۴۰۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر و با پهنای باند ۱۰ نانومتر اندازه گیری می نماید. این تصاویر به دلیل نسبت سیگنال به نویز پایین (تقریباً ۱:۵۰) و جابه جایی سنجنده نیاز به تصحیحات اتمسفری، رادیومتریک و هندسی دارند که این تصحیحات به ترتیب با استفاده از الگوریتم FLAASH (Beck، ۲۰۰۳) و روش نزدیک ترین همسایگی صورت پذیرفت. از سویی، به دلیل تأثیراتی که عواملی چون جاده، پوشش گیاهی و آب در مرحله پردازش تصاویر می گذارند، اقدام به جداسازی مناطق حاوی خاک لخت از مناطق غیرخاکی با روش طیف خطی غیرمختلط شده است.

نمونه برداری: نمونه برداری درون هر یک از واحدهای همگن در تاریخ چهارم و پنجم آوریل ۲۰۰۷ صورت گرفت (۳۱ نمونه) و نه نمونه نیز به منظور اعتبارسنجی از اعماق ۱۰-۰ سانتی متری خاک برداشت شد. سپس میزان مواد آلی نمونه ها با روش والکلی-بلک (Walkley و Black، ۱۹۳۴) مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین، تعداد ۲۳ نمونه از دشت ارومیه در اوایل جولای ۲۰۱۱ برداشت شدند تا بررسی شود، آیا مدل ها در مناطق نیمه خشک دیگر نیز جوابگو می باشند؟

جدول ۲- همبستگی بین ماده آلی با باندهای سنجنده هایپریون

همبستگی	همبستگی	باند
-۰/۳۸۳	SWIR*	۲۱۹
-۰/۳۷۸	SWIR	۲۱۶
-۰/۳۶۶	SWIR	۲۱۵
-۰/۳۷۵	SWIR	۲۰۱
-۰/۳۷۰	R**	۲۸
-۰/۳۵۷	R	۲۷
-۰/۳۵۷	G***	۲۵

* مادون قرمز دور موج کوتاه، ** سبز و *** قرمز می‌باشد.

داشته و پس از آن دوباره روندی کاهشی به خود می‌گیرد.

نتایج مدل‌های رگرسیونی

SWR یا رگرسیون گام به گام: از میان ۲۱ مدل رگرسیونی گام به گام سه مدل بهترین RMSE و R² را در منطقه ایوانکی دارا بودند که در جدول ۳ به صورت کامل به نمایش در آمده است.

جدول ۳- نتایج مدل‌های رگرسیونی گام به گام منطقه ایوانکی

مدل	RMSE	R ²	طول موج (نانومتر)
SWR ₁	۰/۱۸	۰/۶۹	۱۰۲۳، ۱۰۱۳، ۷۹۳، ۷۲۱، ۷۰۱، ۱۲۶۵، ۱۲۴۵، ۱۱۰۴، ۱۰۶۳، ۲۳۴۵
SWR ₂	۰/۱۳	۰/۶۶	۱۰۲۳، ۱۰۱۳، ۷۲۱، ۷۰۱، ۲۳۴۵، ۱۲۶۵، ۱۰۷۳
SWR ₃	۰/۱۴	۰/۶۳	۲۳۴۵، ۱۰۲۳، ۱۰۱۳، ۷۲۱

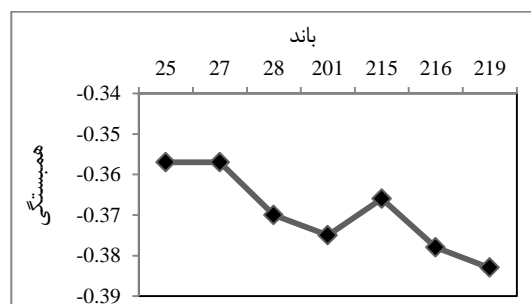
همان‌گونه که در جدول ۳ نیز ملاحظه می‌شود، تمامی مدل‌ها دربرگیرنده دو محدوده طیفی مادون قرمز نزدیک تا میانی می‌باشند و دقیقاً در مرز شروع مادون قرمز نزدیک، حساسیت به مواد آلی خاک در مناطق نیمه‌خشک بالاست. در مدل SWR₁ تعداد نه باند از ۱۰ باند در محدوده طیفی مادون قرمز نزدیک و یک باند نیز در محدوده طیفی مادون قرمز میانی قرار گرفته است. همچنین، چهار طول موج ۷۲۱، ۱۰۱۳، ۱۰۲۳ و ۲۳۴۵ در اکثر مدل‌ها ایفای نقش نموده‌اند و می‌توان نتیجه گرفت که این چهار باند به‌عنوان مهم‌ترین طول موج‌های حساس به مواد آلی خاک در مناطق نیمه‌خشک در نظر گرفته می‌شوند. این نتایج تقریباً با نتایج Hummel و همکاران (۲۰۰۱) یکسان به‌دست آمد و توانست نتایج بهتری را در مقایسه با Ray و همکاران (۲۰۰۴) و Dematté و همکاران (۲۰۰۷) که از تصاویر با قدرت تفکیک پایین IKONOS و ETM⁺ استفاده نموده بودند، کسب نماید. SWR منطقه ارومیه: همان‌گونه که در روش گام به گام منطقه ایوانکی نیز مطرح شد، ۲۱ مدل رگرسیونی از لحاظ دو معیار RMSE و R² مورد مقایسه قرار گرفتند که از این بین سه مدل بهترین نتایج را بین مدل‌های برآوردی ارائه نمودند. در جدول ۴ مشخصات این سه مدل ذکر شده است.

نتایج بررسی تست همبستگی پیرسون نشان می‌دهد که قوی‌ترین رابطه بین مواد آلی خاک و انعکاس‌های ماهواره عموماً در دو محدوده طیفی اتفاق افتاده است.

۱) محدوده طیفی مرئی، ناحیه‌ای در مرز بین محدوده سبز و قرمز و بیشتر در محدوده قرمز که این منطقه با نتایج Krishnan و همکاران، ۱۹۸۰؛ Galvdo و Viterllo، ۱۹۹۸؛ Bocheng، ۲۰۰۴ و Ladoni و همکاران، ۲۰۱۰ نیز سازگار بود.

۲) محدوده طیفی مادون قرمز میانی که این محدوده طیفی با نتایج Henderson و همکاران، ۱۹۹۲؛ McCarty و همکاران، ۲۰۰۱ و Reeves و همکاران، ۲۰۰۱ نیز هم‌سویی دارد.

با افزایش مواد آلی، سطح خاک حالت تیره به خود گرفته و در نتیجه میزان بازتاب از سطح خاک پایین می‌آید و همبستگی منفی بین ماده آلی خاک و باندهای سنجنده هایپریون نیز نتیجه این پدیده است (شکل ۲).



شکل ۲- تغییرات همبستگی باندهای ماهواره با مواد آلی خاک

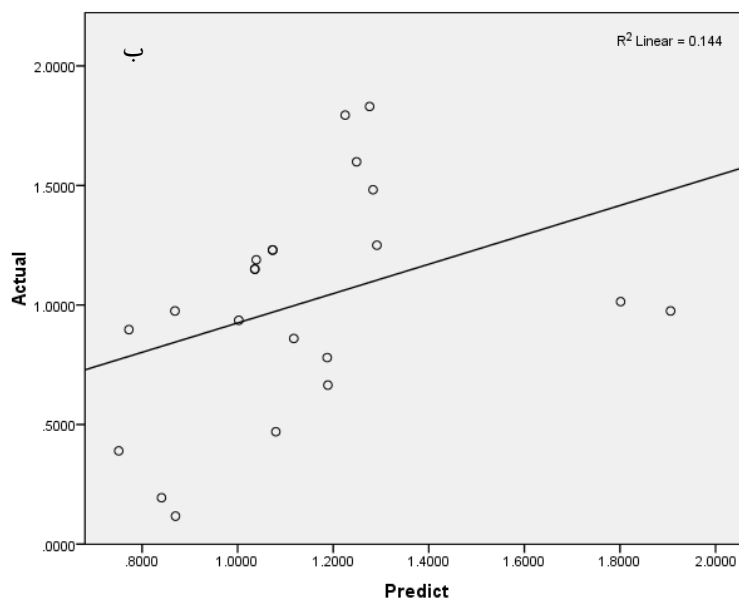
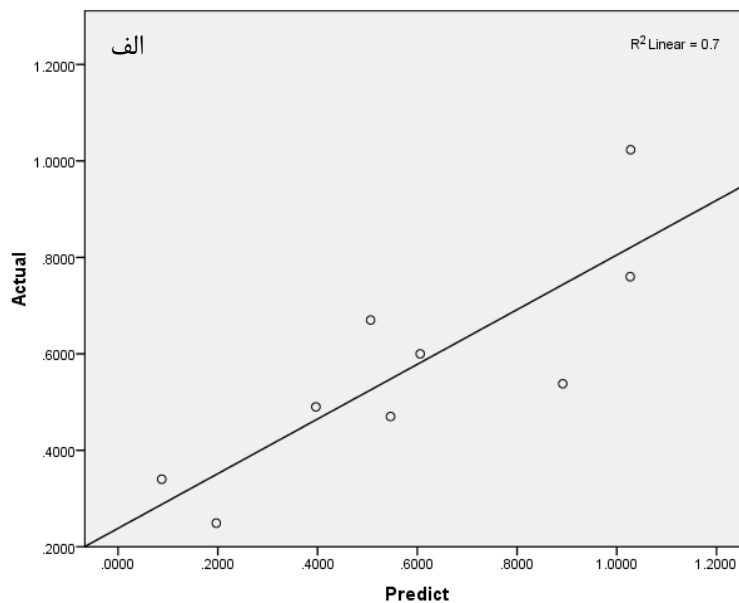
از سویی، با افزایش طول موج از سبز تا قسمتی از ناحیه مادون قرمز میزان همبستگی روند افزایشی

منطقه ایوانکی به دست آمده بود، کسب نمایند. دلیل این عدم موفقیت را می توان به متفاوت بودن شرایط اقلیمی مناطق و در نتیجه آن، عدم تشابه خصوصیات سطحی خاک دو منطقه نسبت داد. همچنین، نتایج این سه مدل نشان دادند که در منطقه ارومیه طول موج های تأثیرگذار با منطقه ایوانکی همسویی داشته و چهار طول موج ۷۲۱، ۱۰۱۳، ۱۰۲۳ و ۲۳۴۵ همانند آنچه در مرحله واسنجی به دست آمد، به عنوان مهم ترین طول موج های حساس به مواد آلی خاک در مناطق نیمه خشک شناخته می شوند.

جدول ۴- نتایج مدل های رگرسیونی گام به گام منطقه ارومیه

مدل	RMSE	R ²	طول موج (نانومتر)
SWR ₁	۰/۴۴	۰/۱۴۱۲	۲۳۴۵، ۱۰۲۳، ۱۰۱۳، ۷۲۱
SWR ₂	۰/۴۴	۰/۱۴۸۶	۱۰۷۳، ۱۰۲۳، ۱۰۱۳، ۷۲۱، ۲۳۴۵
SWR ₃	۰/۴۴	۰/۱	۱۰۲۳، ۱۰۱۳، ۷۲۱، ۷۰۱، ۲۳۴۵، ۱۲۶۵، ۱۰۷۳، ۱۰۶۳

همان گونه که در جدول ۴ نیز ملاحظه می شود، مدل های رگرسیونی گام به گام نتوانستند ضریب تبیین و RMSE بالایی به میزان ۰/۶۹ و ۰/۱۸ که در



شکل ۳- مقدار R² مقادیر پیش بینی شده به وسیله مدل و مقدار واقعی (الف) SWR 1 ایوانکی (ب) SWR 1 ارومیه

نتایج حاصل از MinR: روش MinR یا به اصطلاح کمینه R در واقع، روشی است که بهترین متغیرها را برای مدل رگرسیونی معرفی می‌کند. همچنین، این روش مدل‌های رگرسیونی را به ترتیب برای کمترین تا بیشترین R رگرسیونی دسته‌بندی نموده و این مدل‌ها را برای یک تا n متغیر ارائه می‌دهد. در پژوهش حاضر، مدل رگرسیونی بر اساس روش MinR به دست آمد و بر اساس نه نمونه منطقه ایوانکی و ۲۳ نمونه دشت ارومیه که برای صحت‌سنجی تهیه شده بود، مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج این روش برای منطقه ایوانکی و ارومیه سه مدل را معرفی نمود که همه آن‌ها R^2 پایینی را بین مقدار پیش‌بینی و واقعی ارائه نمودند. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، حذف طول موج‌های ۷۰۰ تا ۹۰۰ نانومتر در هر سه مدل MinR،

مقدار ضریب تبیین منطقه ایوانکی را از ۰/۴۷ به ۰/۳۹ و ۰/۱۳ کاهش داده است. همچنین، دقت مدل MinR در هر دو منطقه به مقدار بسیار زیادی پایین‌تر از روش رگرسیون گام به گام به دست آمد که با مقایسه جدول‌های ۳ و ۵ می‌توان پی‌برد، ورود طول موج‌های ۹۰۰ تا ۱۰۰۰ نانومتر دقت برآورد مواد آلی خاک را پایین می‌آورند. یا به عبارتی طول موج‌هایی مزاحم برای برآورد مواد آلی خاک محسوب می‌شوند. از سویی، مدل MinR1، به دلیل وارد کردن محدوده طیفی آبی، دقت برآورد را نسبت به دو مدل MinR2 و MinR3 ترفیع داده است و می‌توان اینگونه نتیجه گرفت که محدوده مرئی (به‌ویژه محدوده آبی) حساس به مواد آلی خاک در منطقه نیمه‌خشک ایوانکی می‌باشد.

جدول ۵- نتایج روش MinR

مدل	ارومیه		ایوانکی	
	RMSE	R^2	RMSE	R^2
MinR 1	۰/۲۷	۰/۰۰۰۶	۰/۷۸	۰/۴۷
MinR 2	۰/۲۴	۰/۰۰۰۲	۰/۸۲	۰/۳۹
MinR 3	۰/۱۴	۰/۰۰۳۱	۰/۵۹	۰/۱۳

نتایج مدل آنالیز اجزاء اصلی یا PCA: روش آنالیز اجزاء اصلی در واقع زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که تعداد متغیرها در مدل‌سازی بالا باشد. به دلیل بالا بودن تعداد متغیرها یعنی ۱۵۸ باند ماهواره به ناچار از این تکنیک برای کاهش تعداد پارامترها استفاده شد. پس از اعمال آنالیز اجزاء اصلی بر روی متغیرهای مستقل یا همان باندها، تعداد پنج جزء اصلی باقی ماند که این پنج جزء توانست ۹۳ درصد تغییرات متغیرهای مستقل را در خود جای دهد، یا به عبارت دیگر ۱۵۸ باند تبدیل به پنج عامل شد که این پنج عامل، ۹۳ درصد تغییرات باندها را به خود اختصاص داده است. نتایج حاصل از روش آنالیز اجزاء اصلی کمی شبیه به روش‌های پیشین بوده اما مقادیر پیش‌بینی و واقعی نتوانستند ضریب رگرسیونی مناسبی را در هر دو

منطقه ایوانکی و ارومیه کسب نمایند. همچنین، این نتایج با نتایج Chen و همکاران (۲۰۰۰) در تضاد بودند.

نتایج مدل رگرسیون حداقل مربعات جزئی یا PLSR: مدل‌های حداقل مربعات جزئی در واقع روشی شبیه به روش آنالیز اجزاء اصلی می‌باشند، اما با این تفاوت که در دسته‌بندی عامل‌ها، متغیر وابسته را نیز دخالت می‌دهند. بنابراین، انتظار می‌رود که دقت بالاتری را نیز در برآورد مواد آلی خاک کسب نمایند. جدول ۸ سهم شش عامل انتخاب شده در پیش‌بینی متغیر وابسته را بیان می‌دارد و نتایج نشان می‌دهند که با در نظر گرفتن شش عامل می‌توان ۰/۹۳ تغییرات کل باندها را توضیح داد. همچنین، مقدار R^2 برابر با ۰/۹۲ در مرحله واسنجی به دست آمد.

جدول ۶- توزیع واریانس مؤلفه‌های اصلی

جزء	فراوانی	درصد واریانس تجمعی	درصد واریانس
۱	۱۱۱/۲۱۳	۷۰/۳۸	۷۰/۳۸
۲	۲۳/۶۰۲	۸۵/۳۲	۱۴/۹۳
۳	۷/۳۳	۸۹/۹۶	۴/۶۳
۴	۳/۳۲	۹۲/۰۶	۲/۱۰
۵	۱/۵۲	۹۳/۰۳۲	۰/۹۶۵

جدول ۷- نتایج روش PCA در دو منطقه ایوانکی و ارومیه

مدل	R ² ارومیه	R ² ایوانکی	RMSE ارومیه	RMSE ایوانکی
PCA	۰/۱	۰/۰۵	۰/۴۸	۰/۲۳

جدول ۸- نسبت واریانس‌ها و R² در مدل رگرسیون حداقل مربعات جزئی

بردار ویژه	واریانس X	واریانس تجمعی X	واریانس Y	ضریب تبیین Y	ضریب تبیین تنظیم‌شده
۱	۰/۵۵	۰/۵۵	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۲۹
۲	۰/۲۹۶	۰/۸۵۲	۰/۱۲	۰/۲۸	۰/۲۳
۳	۰/۰۱۸	۰/۸۶۹	۰/۲۸	۰/۵۶	۰/۵۱
۴	۰/۰۳۴	۰/۹۰۳	۰/۱۱۱	۰/۶۷	۰/۶۲
۵	۰/۰۲۱	۰/۹۲۴	۰/۱۱۹	۰/۷۹	۰/۷۵
۶	۰/۰۰۸	۰/۹۳۲	۰/۱۲۷	۰/۹۲	۰/۹

MinR را می‌توان به انتخاب نادرست باندها و روش PCA را به استفاده از تمامی باندها حتی باندهای مزاحم بدون در نظر گرفتن مواد آلی خاک نسبت داد. دو مدل رگرسیون چندمتغیره گام به گام و حداقل مربعات جزئی نیز دقت تقریباً یکسانی را نشان دادند. دلیل این دقت مناسب را می‌توان به انتخاب باندهای تأثیرگذار (به‌ویژه محدوده طیفی قرمز) و دخالت متغیر وابسته در دسته‌بندی متغیرها نسبت داد. از بین این دو نیز مدل رگرسیونی چندمتغیره گام به گام (رابطه ۱) به دلیل RMSE پایین‌تر (۰/۱۸) و R² بالاتر (۰/۶۹) نسبت به مدل حداقل مربعات جزئی برای برآورد مواد آلی خاک در منطقه ایوانکی انتخاب می‌شود.

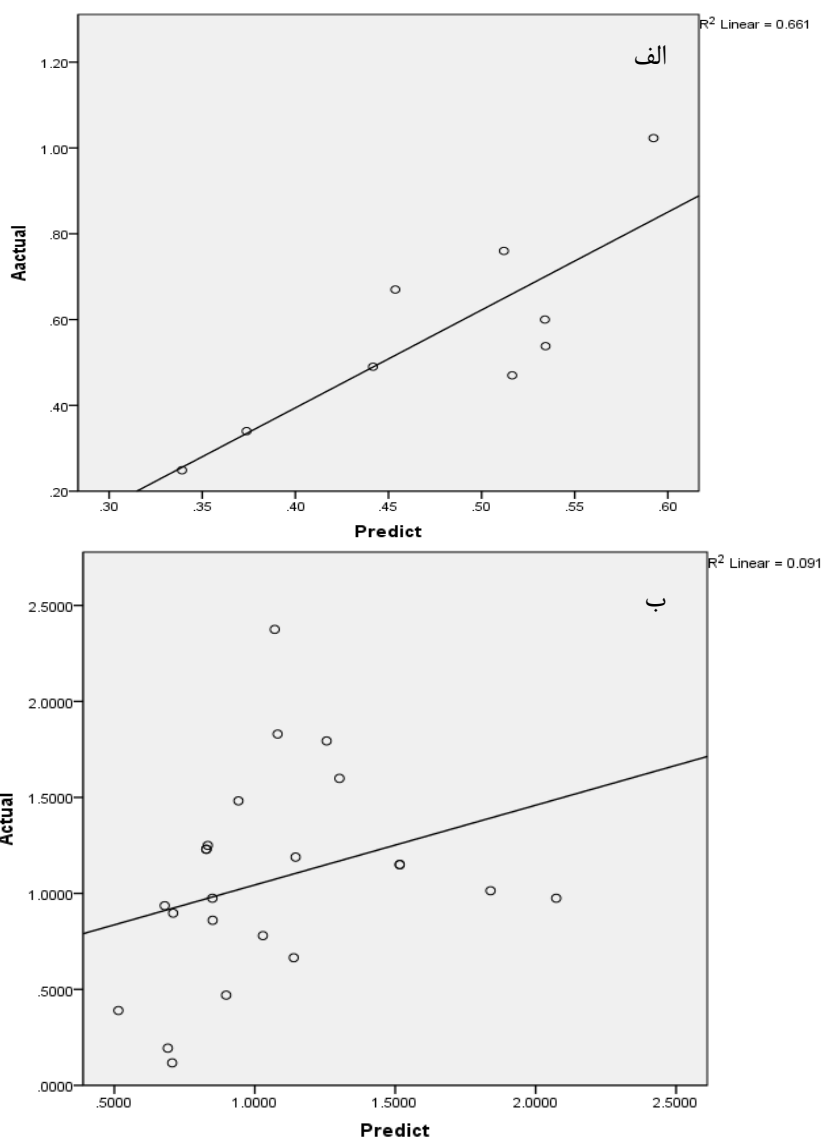
$$\%OM = 0.81675 + 0.00186 \times R701 - 0.00437 \times R721 + 0.00244 \times R793 + 0.00198 \times R1013 - 0.00211 \times R1023 + 0.00053432 \times R1063 + 0.00064599 \times R1104 + 0.00059329 \times R1245 - 0.00123 \times R1265 - 0.00025371 \times R2345 \quad (1)$$

نتایج حاصل از رگرسیون حداقل مربعات جزئی نشان داد که همانند آنچه انتظار می‌رفت، این مدل نتایج نسبتاً خوبی را در بین مدل‌های برآورد مواد آلی خاک کسب نموده است (جدول ۹). دلیل این برتری PLSR نسبت به PCA را می‌توان دخالت متغیر وابسته در دسته‌بندی باندها نسبت داد. این نتایج با نتایج بسیاری از محققان که بر روی برآورد مواد آلی خاک چه با اسپکترومتر دستی و چه با عکس‌های هوایی ابرطیفی کار نموده‌اند، هم‌خوانی داشته است (Ludwig و همکاران، ۲۰۰۲؛ Haaland و Thomas، ۱۹۹۸؛ Li، ۲۰۰۶؛ Van Waes و همکاران، ۲۰۰۵؛ Chen و همکاران، ۲۰۰۸؛ He و همکاران، ۲۰۰۷؛ Zheng، Wang و همکاران، ۲۰۱۰).

در جمع‌بندی از پژوهش حاضر می‌توان مطرح نمود که مدل‌های رگرسیونی MinR و PCA نتوانستند دقت مناسبی را در برآورد مواد آلی خاک در منطقه نیمه‌خشک ایوانکی کسب نمایند. عدم موفقیت روش

جدول ۹- نتایج مدل حداقل مربعات جزئی در منطقه ایوانکی و ارومیه

مدل	R^2 ارومیه	R^2 ایوانکی	RMSE ارومیه	RMSE ایوانکی
PLSR	۰/۰۹	۰/۶۶	۰/۵۴	۰/۱۸



شکل ۴- مقدار R^2 مقادیر پیش‌بینی شده به وسیله مدل PLSR و مقدار واقعی (الف) منطقه ایوانکی (ب) منطقه ارومیه

همچنین، پیشنهاد می‌شود مدل نهایی در مناطق نیمه‌خشک دیگر استفاده نشود و مطالعات آتی نیز مدل نهایی را در مناطق با اقلیم، پوشش گیاهی، خاک و دامنه مشابه مواد آلی مورد بررسی قرار دهد.

از سویی، روش برداشت نمونه درون واحدهای همگن توانست دقت مناسبی را کسب نماید و این روش می‌تواند در آینده به‌عنوان تکنیک نمونه‌برداری کمتر در مقایسه با سایر روش‌ها در سنجش از دور مواد آلی و دیگر خصوصیات خاک مطرح شود.

منابع مورد استفاده

1. Bajwa, S.G. and L.F. Tian. 2005. Soil fertility characterization in agricultural fields using hyperspectral remote sensing. Transactions of the ASAE, 46: 2399-2406.

2. Beck, R. 2003. EO-1 user guide. USGS, retrieved December 2007 from <http://eo1.usgs.gov/documents.php>, 74 pages.
3. Blackmer, A.M. and S.E. White. 1998. Using precision farming technologies to improve management of soil and fertilizer nitrogen. *Australian Journal of Agriculture Resources*, 49: 555-564.
4. Bocheng, X. 2004. Spectral characteristics of brown-humid soil and estimation of soil organic matter content by soil reflectivity. *Chinese Journal of Soil Science*, 35: 391-395.
5. Chen, F., D.E. Kissel, L.T. West and W. Adkins. 2000. Field-scale mapping of surface soil organic carbon using remotely sensed imagery. *Soil Science Society of America Journal*, 64(2): 746-753.
6. Chen, F., D.E. Kissel, L.T. West, W. Adkins, D. Rickman and J.C. Luvall. 2008. Mapping soil organic carbon concentration for multiple fields with image similarity analysis. *Soil Science Society of America Journal*, 72(1): 186-193.
7. Demattê, J.A.M., M.V. Galdos, R.V. Guimarães, A.M. Genú, M.R. Nani and J. Zullo Jr. 2007. Quantification of tropical soil attributes from ETM+/LANDSAT-7 data. *International Journal of Remote Sensing*, 28(17): 3813-3829.
8. Farifteh, J., F.D. Van der Meer, C. Atzberger and J.M. Carranza. 2007. Quantitative analysis of salt-affected soil reflectance spectra: a comparison of two adaptive methods (PLSR and ANN). *Remote Sensing of Environment*, 110: 59-78.
9. Galvdo, L.S., Í. Vitorello and A.R. Formaggio. 1997. Relationships of spectral reflectance and color among surface and subsurface horizons of tropical soil profiles. *Remote Sensing of Environment*, 61(1): 24-33.
10. Haaland, D.M. and E.V. Thomas. 1998. Partial least-squares methods for spectral analyses. 2. application to simulated and glass spectral data. *Analytical Chemistry*, 60: 1202-1208.
11. Hanquet, B., D. Sirjacobs, M.F. Destain, M. Frankinet and J.C. Verbrugge. 2004. Analysis of soil variability measured with a soil strength sensor. *Precision Agriculture*, 5(3): 227-246.
12. He, Y., M. Huang, A. Garcia, A. Hernandez and H. Song. 2007. Prediction of soil macronutrients content using near-infrared spectroscopy. *Computers and Electronics in Agriculture*, 58: 144-153.
13. Henderson, T.L., M.F. Baumgardner, D.P. Franzmeier, D.E. Stott and D.C. Coster. 1992. High dimensional reflectance analysis of soil organic matter. *Soil Science Society of America Journal*, 56(3): 865-872.
14. Hummel, J.W., K.A. Sudduth and S.E. Hollinger. 2001. Soil moisture and organic matter prediction of surface and subsurface soils using an NIR soil sensor. *Computers and Electronics in Agriculture*, 32: 149-165.
15. Ingleby, H.R. and T.G. Crowe. 2000. Reflectance models for predicting organic carbon in Saskatchewan soils. *Canadian Agricultural Engineering*, 42(2): 57-64.
16. Krishnan, P., J.D. Alexander, B.J. Butler and J.W. Hummel. 1980. Reflectance technique for predicting soil organic matter. *Soil Science Society of America Journal*, 44(6): 1282-1285.
17. Ladoni, M., S.K. Alavaipanah, H.A. Bahrani and A.A. Noroozi. 2010. Remote sensing of soil organic carbon in semi-arid region of Iran. *Arid Land Research and Management*, 24: 271-281.
18. Li, L. 2006. Partial least squares modeling to quantify lunar soil composition with hyperspectral reflectance measurements. *Journal of Geophysical Research*, 111: 1-13.
19. Lopez-Granados, F., M. Jurado-Exposito, J.M. Pena-Barragan and L. Garcia-Torres. 2005. Using geo-statistical and remote sensing approaches for mapping soil properties. *European Journal of Agronomy*, 23: 279-289.
20. Ludwig, B., P.K. Khanna, J. Bauhus and P. Hopmans. 2002. Near infrared spectroscopy of forest soils to determine chemical and biological properties related to soil sustainability. *Forest Ecology and Management*, 171(1): 121-132.
21. McCarty, G.W., J.B. Reeves, V.B. Reeves, R.F. Follett and J.M. Kimble. 2002. Mid-infrared and near-infrared diffuse reflectance spectroscopy for soil carbon measurements. *Soil Science Society of America Journal*, 66: 640-646.
22. Ping, J.L. and A. Dobermann. 2006. Variation in the precision of soil organic carbon maps due to different laboratory and spatial prediction methods. *Soil Science*, 171: 374-387.
23. Post, W.M., R.C. Izaurralde, L.K. Mann and N. Bliss. 2001. Monitoring and verifying changes of organic carbon in soil. *Climate Change*, 51: 73-99.
24. Ray, S.S., J.P. Singh, G. Das and S. Panigrahy. 2004. Use of high resolution remote sensing data for generating site-specific soil management plan. XX ISPRS Congress, Commission 7, Istanbul, Turkey, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 127-131.
25. Reeves, J.B., G.W. McCarty and V.B. Reeves. 2001. Mid-infrared diffuse reflectance spectroscopy for the quantitative analysis of agricultural soils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(2): 766-772.

26. Simbahan, G.C., A. Dobermann, P. Goovaerts, J.L. Ping and M.L. Haddix. 2006. Fine resolution mapping of soil organic carbon based on multivariate secondary data. *Geoderma*, 132: 471-489.
27. Stevens, A., T. Udelhoven, A. Denis, B. Tychon, R. Liroy, L. Hoffmann and B.V. Wesemael. 2009. Measuring soil organic carbon in croplands at regional scale using airborne imaging spectroscopy. *Geoderma*, 158: 32-45.
28. Stevens, A., B. Van Wesemael, G. Vandenschrack, S. Touré and B. Tychon. 2006. Detection of carbon stock change in agricultural soils using spectroscopic techniques. *Soil Science Society of America Journal*, 70(3): 844-850.
29. Sudduth, K.A. and J.W. Hummel. 1991. Evaluation of reflectance methods for soil and soil organic matter sensing. *Transactions of the ASAE*, 34: 1900-1909.
30. Udelhoven, T., C. Emmerling and T. Jarmer. 2003. Quantitative analysis of soil chemical properties with diffuse reflectance spectrometry and partial least-square regression : a feasibility study. *Plant and Soil*, 251(2): 319-329.
31. Uno, Y., S.O. Prasher, R.M. Patel, I.B. Strachan, E. Pattey and Y. Karimi. 2005. Development of field-scale soil organic matter content estimation models in Eastern Canada using airborne hyperspectral imagery. *Canadian Biosystems Engineering*, 47: 1.9-1.14.
32. Van Waes, C., I. Mestdagh, P. Lootens and L. Carlier. 2005. Possibilities of near infrared reflectance spectroscopy for the prediction of organic carbon concentrations in grassland soils. *Journal of Agricultural Science*, 143: 487-492.
33. Walkley A. and I.A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining organic carbon in soils: effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. *Soil Science*, 63: 251-263
34. Wang, J., T. He, C. Lv, Y. Chen and W. Jian. 2010. Mapping soil organic matter based on land degradation spectral response units using Hyperion images. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 12: 171-180.
35. Wolf, S.A. and F.H. Buttel. 1997. The political economy of precision farming. *American Journal of Agricultural Economics*, 78: 1269-1274.
36. Zheng, B. 2008. Using satellite hyperspectral imagery to map soil organic matter, total nitrogen and total phosphorus. MSc. Thesis, Indiana University, 81 pages.

Investigation on feasibility of estimating soil organic matter using Hyperion hyperspectral imagery in Ivanekey and Urmia

Sina Mallah Nokandeh¹, Mehdi Homaei^{*2} and Aliakbar Noroozi³

¹ MSc student, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Iran, ² Professor, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Iran and ³ Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Iran

Received: 22 May 2013

Accepted: 04 December 2013

Abstract

Soil Organic Matter (SOM) is one of the most vital components in soil solid phase and plays an important role in soil aggregation. SOM considerably improves soil physical conditions during long time. Moreover, knowing the SOM content of arid and semi-arid areas could significantly affect the soil management in such SOM-lacking regions. The objective of this research was to compare four common statistical models with the purpose of achieving the best model for estimating the SOM in Ivanekey and test the obtained model in another semi-arid area of Urmia plain. Two Hyperion images were collected for Ivanekey and Urmia plain which were used to identify the relationship between spectral bands and SOM by applying SWR, MinR, PLSR and PCA models. Models were calibrated by Ivanekey Hyperion images and verified by nine Ivanekey and 23 Urmia random samples. Results indicated that MinR and PCA models do not have reasonable accuracy, but SWR and PLSR can provide the highest accuracy with the same RMSE value of 0.18, and R^2 of 0.69 and 0.66, respectively. It is also demonstrated that there is a close relation between SOM and Red and Short Wave Infra Red spectral regions.

Key words: MinR, PCA, PLSR, SWR, Verification.

* Corresponding author: mhomaei@modares.ac.ir