

چهارمین کنفرانس ملی حفاظت خاک و آبخیزداری با محوریت کرد و غبار تهران-پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

۲۸ بهمن ماه۱۳۹۹

مطالعهٔ قابلیت طیفسنجی آزمایشگاهی در تخمین اجزای رس

مجید دانش^۱*، حسینعلی بهرامی^۲، روشنک درویشزاده^۳، علیاکبر نوروزی^۴

۱*- استادیار حفاظت و فرسایش خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری (m.danesh@sanru.ac.ir) ۲- دانشیار فیزیک، حفاظت و فرسایش خاک، دانشگاه تربیت مدرس ۳- دانشیار سنجش از دور و علوم اطلاعات زمین، دانشگاه توئنته، هلند ۴- دانشیار پژوهشکدهٔ حفاظت خاک و آبخیزداری تهران

چکیدہ

اطلاع از اجزای رس در عملیات مدلسازی زیستمحیطی و پهنهبندی رقومی خاک، از اهمیت بالایی برخوردار است. با ظهور فن آوری طیفسنجی آزمایشگاهی، روزنهای در بررسی این پارامتر مهم خاک، ایجاد شده است. طی تحقیق حاضر، با هدف بررسی مقادیر رس در قسمتهایی از استان مازندران، با استفاده از فن آوری طیفسنجی آزمایشگاهی، مجموع ۱۲۸ نمونه از عمق ۲۰ سانتیمتری سطح خاک و بر اساس روش نمونهبرداری طبقهبندی شدهٔ تصادفی و نیز با کمک اطلاعات جانبی همچون: زمین شناسی، کاربریاراضی، نقشهٔ راهها، و خاکشناسی استان، جمع آوری شد. در ابتدا مجموع نمونهها به دو گروه تقسیم گردید: ۹۶ نمونه برای عملیات واسنجی و ۳۲ نمونه برای عملیات اعتبارسنجی مستقل. با بهره گیری از تحلیل رگرسیون چندمتغیرهٔ RSR و بر اساس تکنیک اعتبارسنجی متقاطع، و عملیات پیش پردازشی چون: میانگین گیری، هموارسازی و مشتق اول طیفی بر اساس الگوریتم ساویتسکی- گولای، مدل واسنجی با تعداد ۴ فاکتور با ۵۹۸۲ ۵۵(۵ و ۲۰۷۲ ۳۰۰ و نیز PISR، ۱۹۱۹، بعنوان مطلوب ترین مدل جهت برآورد مقادیر رس خاکهای استان، شناخته شد. همچنین، از مدل و دامنههای طیفی مؤثر بدست آمده می توان بعنوان مبنایی جهت براسی مقادیر رس در مقیاس بسیار وسیع، با عملیات بیش مقیاسسازی توسط دادههای ابرطیفی هوایی- ماهوارهای، نیز بهره برد. در نهایت؛ نتایج حاکی از تعداد ۴ فاکتور با PISR ۵۵(۵ و ۲۵۰ ۳۰/۷ و نیز PISC، ۱۹۹۹، بعنوان مطلوب ترین مدل جهت برآورد مقادیر رس تعداد ۴ ماکتور با مطلوب ترین مدل جهت برا و دامنههای طیفی مؤثر بدست آمده می توان بعنوان مبنایی جهت برآورد مقادیر رس خاکهای استان، شناخته شد. همچنین، از مدل و دامنههای طیفی مؤثر بدست آمده می توان بعنوان مبنایی جهت بررسی مقادیر رس در مقیاس بسیار وسیع، با عملیات بیش مقیاس سازی توسط داده های ابرطیفی هوایی- ماهوارهای، نیز بهره برد. در نهایت؛ تایج حاکی از در مقیاس بسیار میع، با عملیات بیش مقیاسسازی توسط داده های ابر طیفی هوایی- ماهوارهای، نیز بهره برد. در نهایت؛ بتایج حاکی از در مقیاس مدل در بر آورد اجزای رس خاکهای استان مازندران بوده است. لذا، قابلیت فن آوری طیفسنجی در بیایت.

كلمات كليدى: اعتبارسنجى متقاطع، پهنەبندى رقومى، طيفسنجى آزمايشگاهى، رس، PLSR

مقدمه

اطلاع از توزیع مکانی و تغییرپذیری اجزای مختلف بافت خاک (همچون رس)، بعنوان پارامتر ورودی در مدلهای: اکولوژیکی، هیدرولیکی، اقلیمی و دیگر مدلهای زیستمحیطی، از اهمیت ویژهای برخوردار است. بعلاوه؛ تعیین و تخمین روابط بین اجزای بافت خاک با پارامترهای زیستمحیطی کلیدی همچون اقلیم، توپوگرافی، مواد مادری، و ...، سبب بهبود مدیریت پایدار اراضی، میشود (Greve و همکاران، ۲۰۱۲). اجزای رسی خاک، بر کیفیت خاک تأثیر بسزایی دارند، بطوری که نقش بارز آن، در مدیریت مادهٔ آلی خاک به اثبات رسیده است (۲۰۱۲ یا آن، در مدیریت مادهٔ آلی خاک به اثبات رسیده است (پیش المالی و ممکاران، ۲۰۱۳). از طرفی؛ خاکها مستعد تغییرپذیری زمانی و مکانی معنیداریاند که تشخیص، پهنهبندی و پایش خصوصیات آنها با روشهای نمونهبرداری سنتی و تحلیل آزمایشگاهی معمول، بسیار هزینهبر و گران خواهد بود (Quan همکاران، ۲۰۱۳). بنابراین؛ تقاضا برای اطلاعات خاک با کیفیت خوب، کم هزینه، و تفکیک بالا، در مباحث و زمینههایی همچون کشاورزی دقیق و مدیریت اراضی، بسیار زیاد شده و غالب تصمیم گیریهای مکان-مبنا ^۱در عملیات مدیریت خاک، بر پایهٔ این خصوصیات خاک انجام میشود (Huang و همکاران، ۲۰۰۷).

با توسعهٔ سنجندههای ابرطیفی که به دریافت دادهها در باندهای باریک، فراوان و پیوسته میپردازند، امکان استفاده از بازتابهای سطح زمین بطور پیوسته و با تفکیک خوب، مهیا شده است، که نهتنها سبب تولید طیفهای آزمایشگاهی بهمراه باندهای جذبی^۲ویژه خصوصیات هدف میشود، بلکه سبب کمک و تسهیل در افزایش دقت فرآیند پهنهبندی (با قدرت تفکیک بالا) نیز میگردد (Shresta

¹- Site-specific decision

²- Absorption spectral bands



همکارن، ۲۰۰۵). بطور کلی؛ سنجندههای مجاورتی و یا زمینی، قادرند دادههای باقدرت تفکیک بالا را بطور پیوسته و سریع جمع آوری کرده و بطور زمان- حقیقی آنها را مورد تجزیه و تحلیل قرار داده، که گاهاً می تواند به ازای چند ثانیه باشد (Kuang و همکاران، ۲۰۱۲). از این لحاظ، طیفسنجی آزمایشگاهی می تواند بعنوان ابزاری نیرومند در مطالعهٔ برخی خصوصیات خاک بکار گرفته شود (Gomez و همکاران، ۲۰۱۳). طبق این روش، فرض بر آن است که، تغییرات خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و مینرالوژیکی خاک، سبب ایجاد منحنیهای طیفی بارز خاک^۲می شود، که بطور قطع از طریق طیفسنجی بازتابی در دامنهٔ طیفی ۲۵۰۰–۳۵۰ نانومتر قابل شناسایی و آشکارسازی می باشند (Confort) و همکاران، ۲۰۱۳). بگونهای که علائم جذبی و بازتابی حاصل از ارتعاشات در پیوندهای شیمیایی و معدنی، سبب ارائهٔ اطلاعاتی از اجزای تشکیل دهنده در نمونههای مورد بررسی می شود (Kagan و همکارن، ۲۰۱۴).

اجزای رس خاک از نظر طیفسنجی، حد واسط کروموفورهای فیزیکی و شیمیایی بحساب میآیند (err و همکارن، ۲۰۰۸). بر این اساس؛ توانایی و قابلیت برآورد مقادیر اجزای رس، با استفاده از فنآوری دورسنجی مادون قرمز نزدیک نیز مقدور خواهد بود (Sawut) و همکارن، ۲۰۱۴). Waise و همکاران (۲۰۰۷)، از طیفهای VNIRS برای بررسی و برآورد مقادیر کل رس و نیز رس ریز، استفاده کرده و دریافتند طیفسنجی آزمایشگاهی، یک فنآوری قابل قبول در برآورد سریع و صریح مقادیر رس خاک در-محل و با مطوبتهای مختلف و مواد مادری متفاوت، عمل کرده است. Bricklemyer و Norm (۲۰۱۴)، با استفاده از طیفسنجی آزمایشگاهی و سیار جهت برآورد رس؛ دریافتند طیفسنجی آزمایشگاهی دارای دقت بیشتری در برآورد رس نسبت به نوع میدانی و سیار بوده که آن سیار جهت برآورد رس؛ دریافتند طیفسنجی آزمایشگاهی دارای دقت بیشتری در برآورد رس نسبت به نوع میدانی و سیار بوده که آن مدایل تغییرات زیاد و ناهمگنی رطوبت و نیز اختلافات مقیاسهای مکانی درعملیات میدانی بوده است. همچنین؛ gstenberg و همکاران بدلیل تغییرات زیاد و ناهمگنی رطوبت و نیز اختلافات مقیاسهای مکانی درعملیات میدانی بوده است. همچنین؛ go مرای و مادون قرمز نزدیک میباشد. Kuang و همکاران (۲۰۱۲)، نیز بیان کردند اجزای رسی، بدلیل پاسخ طیفی مستقیم کانیهای رسی در مادون قرمز نزدیک میباشد. و استان و آور این پیان کردند اجزای رسی، بدلیل پاسخ طیفی مستقیم کانیهای رسی در رسی بافت خاک، بعنوان فاکتور غالب طیفی و نیز ارزیابی پتانسیل طیفسنجی آزمایشگاهی (۲۵۰۰–۵۳ نانومتر)، در آشکارسازی اجزای رسی بافت خاک، بعنوان فاکتور غالب طیفی و نیز ارزیابی پتانسیل طیفسنجی آزمایشگاهی (۲۵۰۰–۲۵۰ نانومتر)، در آشکارسازی اجزای رسی بافت خاک با بهره گیری از روشهای آنالیز پیشرفتهٔ طیفی – آماری، برای تعیین و تخمین مقادیر آنها در بخشهایی از استان

مواد و روشها

عمليات نمونهبردارى

بر اساس اطلاعات مختلف زمینشناسی، خاکشناسی، کاربری اراضی و نقشهٔ راهها، تعداد ۱۲۸ نمونه بر مبنای روش طبقهبندی شدهٔ تصادفی[†](Kagan و همکاران، ۲۰۱۴) از ۲۰ سانتیمتری سطح خاک بخشهای مختلف استان مازندران، جمع آوری و موقعیت مکانی آنها توسط جی پی اس دستی (Garmin Montana650) با دقت تقریبی۴ متر، ثبت شد (شکل ۱). در آزمایشگاه خاکشناسی، پس از عملیات خرد کردن کلوخه، هوا خشک شدن و رد شدن از الک۲ میلیمتری؛ هر نمونه به دوقسمت تقسیم شد: قسمت اول برای تعیین نسبت اجزای رسی بافت، با استفاده از روش هیدرومتر تخصیص داده شد و قسمت دوم به آزمایشگاه طیفسنجی (اتاق تاریک)، برای تحلیل و سنجشهای طیفی منتقل گردید.





1- Ground-based/proximal

²- Soil reflectance characteristic curve

³- Cognizable absorption behaviours

⁴⁻ Stratified randomized sampling method





شکل ۱- لایههای اطلاعاتی مورد استفاده در عملیات نمونهبرداری؛ لایههای برداری: الف) خطوط همار تفاع(contourline)؛ ب) خاک-شناسی، ج)کاربری اراضی، د)موقعیت نقاط نمونهبرداری شدهٔ قسمتهایی از استان مازندران

چیدمان آزمایشگاه طیفسنجی

طیفها با استفاده از دستگاه تحلیل طیفی اسپکترورادیومتر ASD-FieldSpec3 واقع در اتاق تاریک، سنجیده شدند. علائم تابشی از طریق فیبرهای نوری با میدان دید، ۲۵ درجه، جمعآوری شدند. برای هر طیف خروجی، ۲۵ طیف منفرد با فواصل ۱ ثانیهای، میانگین گیری شدند (شکل۲). طیفهای تابشی(رادیانس) با استفاده از پنل مرجع سفید اسپکترالون ⁽برای تولید طیفهای بازتابی نسبی، مورد نرمالسازی قرار گرفتند. تمامی سنجشها بر اساس فاصلهٔ هدف- سنجندهٔ حدود ۱۰ سانتیمتر که متناظر با مساحت حدود ۵

شيوهٔ طيفسنجي بازتابي

هر نمونه، در یک پتریدیش بقطر تقریبی ۱۰ سانتیمتر قرار داده شد و با کاردک سطح آن هموار گردید و سپس جهت بررسیهای طیفی به اتاق تاریک منتقل شدند. ضخامت تمامی نمونهها بیش از ۱۰ میلیمتر بوده است؛ که بیش از ضخامت طیفی قابل سنجش تئوریک برای بزرگترین اندازهٔ ذرات (برمبنای اجزای بافت) بوده است (۱۹۹۷، ۱۹۹۷). هرنمونه ۴ بار (به ازای هر چرخش ۹۰ درجهای متوالی)، برای حذف آثار تغییر در هندسهٔ تابش، مورد سنجش طیفی قرار گرفت. قبل از آغاز نمونهبرداری طیفی، از گزینهٔ جریان تاریک (DC process) برای افزایش نسبت سیگنال به نویز (SNR) و نیز از مرجع سفید اسپکترالون؛ بطور تقریب، به ازای هر نیم ساعت نمونهبرداری طیفی، برای کالیبره کردن انعکاس طیفی، بهره برده شد. در نهایت نمونههای خاک، اسکن شده و بازتابهای مطلق در دامنهٔ طیفی ۳۵۰ الی ۲۵۰۰ نانومتر با قدرت تفکیک طیفی خروجی ۱ نانومتر، سبب تولید ۲۱۵۱ نقطه– دادهٔ طیفی به ازای هر نمونهٔ خاک، گردید.

تحلیل آماری- طیفی

روش PLSR با بهره گیری از تکنیکهای تحلیل مؤلفههای اصلی (PCA) و رگرسیون خطی چند متغیره (MLR) بر مشکلات چند-همخطی گری و خودهمبستگی ^۲بین متغیرهای طیفی و نمونهها، غلبه می کند. بعلاوه؛ PLSR، بردارهای پنهان (LVs) را می یابد که سبب کاهش همزمان و یا تجزیهٔ ماتریس متغیرهای طیفی تخمین گر (X) شده و تا جای ممکن سبب همبستگی بین متغیرهای پاسخ (Y) با متغیرهای مستقل(X) می شود (summers و همکاران، ۲۰۱۱). همچون دیگر روشهای واسنجی خطی، هدف plsr نیز ساخت و ایجاد یک مدل خطی می باشد: که در آن Y: بردار مرکز یابی شدهٔ متغیرهای پاسخ؛ X: ماتریس مرکزیابی شدهٔ تخمین گرها؛ ٤: ماتریس ضرایب؛ و ٤: ماتریس باقیماندهها می باشد (diversed) و همکار ان، ۲۰۱۱).

¹- Spectralon standard white reference

²- Autocorrelation/multi-collinearity



عمليات پيش پردازش طيفي

برای کاهش آثار نویز و تداخلات ناشی از تجهیزات نوری، دادههای طیفی خام (شکل ۲- الف) به ازای هر ۱۰ نانومتر، بطور یکنواخت مجدداً نمونهبرداری شدند (شکل ۲- ب). لذا تعداد متغیرهای تخمین گر برای هر نمونه از ۲۱۵۱ به ۲۱۶ باند طیفی، کاهش یافت. همچنین برای هموارسازی و کاهش نویزهای تصادفی و موقتی، از فیلتر هموارساز SG مرتبهٔ ۲ بهمراه ۳ نقطهٔ هموارساز (چپ و راست) و نیز هستهٔ تقارنی بهره گرفته شد (شکل ۲- ج). بعلاوه؛ طیفهای خام و هموارساز SG مرتبهٔ ۲ بهمراه ۳ نقطهٔ هموارساز (چپ و راست) و نیز هستهٔ د) و نیز عملیات مرکز گیری (شکل ۲- ج). بعلاوه؛ طیفهای خام و هموارسازی شده، توسط تحلیل مشتق اول (IstD-transformation) (شکل ۲-د) و نیز عملیات مرکز گیری (شکل ۲- ج). مورد آزمون قرار گرفتند. از فرآیند اعتبارسنجی متقاطع^۱ برای کل نمونهها، جهت تعیین پیش پردازش مطلوب، استفاده شد. نتایج بر اساس R²cv، RMSEcv، مورد مقایسه قرار گرفت که برای آزمون انحراف، از روش "Student t-test" بین جفتهای مشاهدهای و تخمینی، استفاده شد (Casa و همکاران، ۲۰۱۳).













نتايج

آنالیز آماری نمونهها

آنالیز واریانس مقادیر رس نمونهها (جدول ۱ و شکل ۳)، مشخص کرد که این پارامتر دارای ضریب تغییرات ۵۵/۳ درصد بوده و با دامنهٔ ۶۸٪ از تغییرات مناسبی برخوردار است، بنابراین تلاش برای نمونهبرداری بر اساس لایههای اطلاعاتی مذکور، جهت تغییرات مناسب این ویژگی، صحیح بوده است. همچنین کمینهٔ ۲٪ و بیشنهٔ آن ۷۰٪ بوده است. بر اساس آزمون نرمال کولموگروف-اسمیرنوف و نیز تست Q-Q plot و Q-Q plot مشخص شد که توزیع مقادیر رس نرمال بوده و فاقد دادهٔ پرت میباشد (شکل ۳).

¹⁻ Full-cross validation algorithm





جدول ۱- توصيف آماري نمونهها بر اساس تحليل واريانس مقادير رس

شكل٣- الف) منحنى توزيع نرمال منطبق بر هيستوگرام توزيع؛ ب) آزمون Q-Qplot؛ ج) آزمون Boxplot

خصوصیات منحنی بازتاب خاک (SSRC)

تغییرات در شدت بازتاب غالباً بدلیل تفاوت و اختلافات در اندازهٔ ذرات خاک و اجزای بافت خاک میباشد، بطوری که خاکهای دارای مقادیر کمتر رس، دارای مقادیر بالاتری از انرژی بازتاب شده در کل طیف بازتابی، میباشند (Demattê و Terra، ۲۰۱۴)، لذا دارای یک شکل افزایشی بازتاب تقریباً بین ۱۰۰۰ الی ۱۸۰۰ و کاهشی در قسمت باقیماندهٔ طیف مادون قرمز نزدیک میباشد (شکلهای۲ و۴: اختلاف بین منحنیهای طیفی). بطور خلاصه؛ بدلیل وجود اجزا و خصوصیات فعال طیفی مشابه در نمونهها، حالت کلی منحنیهای طیفی، بین نمونهها مشابه بوده است. تمام طیفها، دارای شکل بازتابی مشخصی بودهاند، درحالی که مقدار بازتاب در دامنهٔ مرئی تا حدی کمتر بوده و در مادون قرمز نزدیک بیشتر بوده است و با حضور باندهای جذبی مشخص در حدود ۱۴۰۰، ۱۹۰۰ و ۲۲۰۰ نانومتر همراه بوده است. قابل ذکر است که با افزایش مقادیر رس، سبب افزایش عمق پدیدههای جذبی در باندهای ۱۴۰۰–۱۹۰۰ و ۲۲۰۰ می شود (Summers و همکاران، ۲۰۱۱). در تحقیق حاضر؛ برای خاکهایی با مقادیر رس بالاتر، پدیدههای جذبی قوی تری مشاهده شد، بویژه در اطراف دامنهٔ مرئی الی ۲۲۰۰ نانومتر (شکل ۴)، که این نتیجه با مشاهدات استنبرگ و همکاران (۲۰۱۰)، کاملاً در تطابق بوده است. Soil Spectral Reflectance Curves(SSRC)



شکل ۴- منحنیهای بازتابش طیفی برخی از نمونههای خاک

عمليات واسنجى

در ابتدا؛ نمونهها، بطور تصادفي به دو قسمت تقسيم شدند: ٢۵٪ نمونهها براي انجام عمليات اعتبارسنجي و ٧٥٪ آنها براي ايجاد مدل مورد استفاده قرار گرفتند. برای اطمینان از توزیع مناسب نمونهها و نیز مشابه بودن این دو گروه، از آزمونهای نرمال کولموگروف-اسمیرنوف(جدول ۲)، استیودنت تی-تست و لون-تست، استفاده شد، که نتایج آنها حاکی از شباهت کامل دوگروه در سطح معنی داری ./۱ بوده است.



چهارمین کنفرانس ملی حفاظت خاک و آبخیزداری با محوریت گرد و غبار تهران-پژوهشکده <mark>حفاظت خاک</mark> و آبخیزداری

۲۸ بهمن ماه۱۳۹۹



	تعداد نمونه	سطح معناداري	آمارة كولموگروف-اسميرنوف	حد بحراني	p-value	فرض نرمال بودن	
گروه کاليبراسيون	٩۶	۱%.	•/• ۶ ٧١	۰/۱۰۳	•/٧۶۶	تأييد	
گروه اعتبارسنجی	٣٢	١%	۰/•٩٢۶	·/1V۵	۰/۹۳۵	تأييد	

جدول۲- نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف در دو گروه واسنجی و اعتبارسنجی

برای دستیابی به تعداد فاکتورهای مطلوب مدل، از روش اعتبارسنجی با متد FLOOCV استفاده شد. بر اساس آنالیز متغیرهای وابسته و متغیرهای مستقل (شکل۵–الف،ب،پ،ت،ث)، و نیز مقادیر حداقل RMSEcv و مقادیر حداکثر ۳²x (شکل۵–ج،ذ،ر،ز)؛ مشخص شد که برای بررسی مقادیر رس منطقه، مطلوبترین تعداد فاکتورها، بر اساس ۴ فاکتور پنهان اول بوده است (LV=4). بگونهای که در شکل۵–الف،ب،پ، مشاهده میشود، ۴ فاکتور اول بیش از ۲۳٪ واریانس مقادیر رس و بیش از ۵۵٪ واریانس تباین طیفی را در خود جای میکد. همچنین بر اساس آزمون هتلینگ، که بر اساس لوریج تعدیلشده استوار است (شکل۵– د،ژ) و نیز آزمون تأثیر (IFt) (شکل۵– میکند. همچنین بر اساس آزمون هتلینگ، که بر اساس لوریج تعدیلشده استوار است (شکل۵– د،ژ) و نیز آزمون تأثیر (IFt) (شکل۵– میکند. همچنین بر اساس آزمون هتلینگ، که بر اساس لوریج تعدیلشده استوار است (شکل۵– د،ژ) و نیز آزانون تأثیر (IFt) (شکل۵– میکند. همچنین بر اساس آزمون هتلینگ، که بر اساس لوریج تعدیلشده استوار است (شکل۵– د،ژ) و نیز آزانیز و با استفاده از ت،ث)، مشخص شد که بیش از ۹۰٪ نمونههای این مجموعه، دارای تأثیر بسیار بارز و قوی در فرآیند تخمین مقادیر رس و عملیات مدلینگ بودهاند که این امر حاکی از توزیع متوازن نمونهها دارد. سپس بر مبنای ضرایب بتا (۲۰۵–B). بدین ترتیب مؤترین باندهای تست عدم قطعیت مارتن، طولموجهای مؤثر و معنیدار تعیین و محاسبه گردید (شکل۵– چ،ح،خ،ف،ق). بدین ترتیب مؤثرین باندهای از ۹۴۲ الی ۹۰۹ نانومتر، و مادون قرمز موج کوتاه از ۱۴۰۰ الی ۱۸۱۰ نانومتر، و از ۱۶۰۲ الی ۱۴۰۰ الی شدهاند (شکل۵– چ،س،ش). لذا مدل کالیبراسیون نهایی بر اساس ۴ فاکتور، با ۱۸۵۰ که و ۲۶:۲۰۷۰ و نیز کانومتر، مادون قرمز نزدیک تهریش). لذا مدل کالیبراسیون نهایی بر اساس ۴ فاکتور، با میاده از مراندران، شناخته شد (شکل۵– چ،زین). مدل برآورد کنندهٔ

شدهٔ مدل (عملیات اعتبارسنجی متقاطع)، در شکل ۶ و جدول ۳ گردآوری شده است.







شکل۵: الف)واریانس توصیفی متغیرهای طیفی تخمین گر بر اساس تعداد فاکتورها؛ ب) واریانس توضیحی متغیرهای پاسخ(مقادیر رس) نسبت به فاکتورها؛ پ) عملیات امتیازبندی(scoring process) بر اساس مؤلفۀ اول و دوم؛ ت) نمودار سه بعدی آزمون تأثیر(IFt) بر مبنای مقادیر باقیماندۀ متغیرهای وابسته(Y-residuals)، مستقل(Y-residuals) و لوریج تعدیلی(sample leverage) نمونهها بر اساس ۴ بردار پنهان؛ ث)نسبت T-scores با T-scores بر مبنای فاکتور ۴ام؛ ج)مقادیر بر آوردی توسط مدل واسنجی شده بر اساس عملیات اعتبارسنجی متقاطع کامل(FCV)؛ چ)ضرایب رگرسیونی باندهای طیفی (ضرایب وزنی BW) برای تعیین باندهای مؤثر در تخمین مقادیر رس؛ ح)مقادیر وزنی فاکتور چهارم و اهمیت بخشهای مختلف طیفی در آن؛ خ)ضرایب رگرسیونی نهایی باندهای طیفی باندهای طیفی (ضرایب وزنی BW) برای تعیین باندهای مؤثر در تخمین مقادیر رس؛ ح)مقادیر وزنی فاکتور چهارم و اهمیت بخشهای مختلف طیفی در آن؛ خ)ضرایب رگرسیونی نهایی باندهای طیفی (متغیرهای تخمین گر طیفی)؛ د) آزمون لوریج تعدیل شده(adjusted leverage test) نموادها بر مبنای خاکتور های تواسنجی واعتبارسنجی متقاطع(EFF) بر اساس ۷ فاکتور ELS؛ ری نسبت بین مقادیر رض؛ ح)مقادیر وزنی فاکتور چهارم و اهمیت بخشهای مختلف طیفی در آن؛ خ)ضرایب رگر سیونی نهایی باندهای طیفی (متغیرهای تخمین گر طیفی)؛ د) آزمون لوریج تعدیل شده(علی او اسنجی فاکتور چهارم و نهاین بانه (یاد EFT)؛ ذ)مقادیر مربعات خطای میانگین عملیات واسنجی واعتبارسنجی متقاطع(EFFF) بر اساس ۷ فاکتور ELS؛ ری نسبت بین مقادیر تخمین زده شده و مقادیر ^{(ت}رجع آزمایشگاهی(EFFF))؛ ذ)مقادیر رس منطقه به ازای هر نمونه و بر مبنای بردار پنهان ۴ام؛ ز)نسبت بین مقادیر بر آورد شده و مقادیر آزمون هتلینگ² ۲ به ازای هر نمونه؛ س) آزمون عدم قطعیت مارتی برای تشخیص باندهای طیفی مهم؛ ش)نتایج ازمون عدم قطعیت مواده آن (LTF4)، ژ)آزمون هتلینگ² ۲ به ازای هر نمونه؛ س)آزمون عدم قطعیت مارتی برای تشخیص باندهای طیفی مهم؛ ش)نتایج ازمون پنهان ۴ام؛ ز)نسبت بین مقادیر بر آورد باقیمانده آن (LTF4)، ژ)آزمون ه تلینگ² ۲ به ازای هر نمونه؛ س)آزمون عدم قطعیت مارتی برای تشخیص باندهای طیفی مهم؛ ش)نتایج ازمون



جدول ۳- مشخصات آماری ۷ فاکتور درنظر گرفته شده برای مدل و انتخاب فاکتورچهارم بعنوان بهترین تخمین گر(عملیات اعتبارسنجی متقاطع)

Prediction di		RMSEP	SEP	Bias	Slope	Offset	Correlation	SEPCorr	ICM_Slope	ICM_Offset
Clay	G	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Factor-1	1	11.1539	11.2124	-0.0073	0.6398	12.2298	0.7959	11.2115	0.9901	0.3446
Factor-2	2	10.7650	10.8214	-0.0275	0.6698	11.1907	0.8116	10.8185	0.9834	0.5900
Factor-3	3	10.3397	10.3933	-0.1200	0.7031	9.9638	0.8279	10.3857	0.9748	0.9736
Factor-4	4	10.1182	10.1712	-0.0575	0.7142	9.6519	0.8358	10.1654	0.9782	0.7956
Factor-5	5	10.1833	10.2367	-0.0354	0.7180	9.5431	0.8337	10.2240	0.9681	1.1171
Factor-6	6	10.3640	10.4184	-0.0131	0.7172	9.5921	0.8276	10.3933	0.9550	1.5414
Factor-7	7	10.4169	10.4717	0.0267	0.7182	9.5996	0.8259	10.4402	0.9498	1.6813



شکل ۶- مدل بر آوردکنندهٔ نهایی مقادیر رس منطقه، بر اساس ۴ بردار پنهان و عملیات واسنجی به روش FLOOV

عمليات اعتبار سنجى

صحتسنجی و ارزیابی کیفیت مدل تخمین گر، با استفاده از ۳۲ نمونهٔ مستقل، انجام شد. بر اساس مدل PLS بدست آمده از ست کالیبراسیون (شکلهای ۵، ۶ و جدول۳)؛ مقادیر رس منطقه بر اساس دادههای طیفی ۳۲ نمونهٔ مستقل، سنجیده شد و سپس با مقادیر مرجع آزمایشگاهی، مقایسه شد. درنهایت، مقادیر رس نمونههای مستقل مجموعهٔ اعتبارسنجی، با دقت خوبی برآورد شدند که در آنها مقادیر همبستگی بین دادههای تخمین زده شده و دادههای مرجع تعیین شده در آزمایشگاه، ۸۵/۰ بوده است، بعلاوه؛ ۱۰/۲۴ :RMSE، ۲۰/۲۴، ۲۰ یا ۲۰/۲۲ و نیز PPD و RPIQ آن بترتیب ۱/۸۰ و ۲/۶۴ محاسبه گردید (شکل ۷ و جدول ۴).







شکل۷– الف)مقادیر رس تخمین زده شده در مقایسه با مقادیر مرجع آزمایشگاهی توسط مدل تخمینگر (ست اعتبارسنجی)؛ ب)مقادیر تخمین زده شده بهمراه انحراف در مجموعهٔ اعتبارسنجی؛ ج) لوریج تخمینی نمونهها در عملیات اعتبارسنجی مستقل

Prediction di		RMSEP	SEP	Bias	Slope	Offset	Correlation	SEPCorr	ICM_Slope	ICM_Offset
Clay	G	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Factor-1	1	10.0750	10.8608	2.0629	0.8178	7.8063	0.8475	9.7825	0.8782	2.0275
Factor-2	2	9.7620	10.6676	2.2320	0.8465	7.0732	0.8606	9.3858	0.8750	1.9886
Factor-3	3	10.1431	11.9209	3.4051	0.8441	8.3222	0.8590	9.4362	0.8742	0.9904
Factor-4	4	10.2492	11.3051	2.5010	0.8598	6.9215	0.8514	9.6669	0.8431	2.8392

جدول۴- پارامترهای آماری تخمین مقادیر رس در نمونههای مستقل، در زیرمجموعهٔ اعتبارسنجی

بحث

تحقیقات نشان داده است که پیکهای جذبی در اطراف ۲۲۰۰نانومتر، مرتبط با اجزای رسی بافت بوده (CR2200) و بدلیل ترکیب مدهای خمشی OH-Al- و کششی OH- بوده، که خاص کانیهای رسی: ایلایت، کئولینایت و مونتموریلونایت میباشد (Curcio و همکاران، ۲۰۱۳). همچنین، طی تحقیقاتی توسط Rodger و همکاران (۲۰۱۲)، فراوانی اجزای رسی با استفاده از عمق جذب غالب در باند طیفی ۲۲۰۰ نانومتر و با استفاده از تکنیک حذف پیوستار در دامنهٔ ۲۱۲۵ الی ۲۲۴۵ نانومتر، بر اساس مدل چندجمله ای درجهٔ دوم با سه نقطهٔ عمقی، تعیین شدند. بعلاوه Viscarra Rossel و همکاران (۲۰۰^۶)، نیز بیان کردند که غالب اجزای رسی دارای پدیدههای جذبی در کل طیف مرئی الی مادون قرمزموج کوتاه، بوده که به دلیل حضور ترکیبات کششی هیدروکسیل و خمشی هیدروکسیل- فلز بوده است، که تمامی این موارد در تحقیق حاضر نیز کاملاً مشهود و بارز بوده است. توزیع مقادیر وزنی ترسیم شده در شکل ۵-چ،ح،خ،س،ش، تأیید کنندهٔ آن است که دامنههای طیفی مرئی، مادون قرمز نزدیک و موج کوتاه بکار برده شده در روش رگرسیون حداقل مربعات جزئی (PLSRt)، برای بررسی مقادیر رس، بسیار حساس و مناسب میباشد. لذا اهمیت بالای این دامنههای طیفی، مشخص و بارز بوده و این امر بدلیل توانایی تکنیک PLSR در بهره گیری از کل طیف میباشد. طولموجهای مؤثر تخمینی در تطابق با دامنهٔ مرئی (شکل ۵-چ)، حاکی از اثر اجزای رس بر بازتاب مرئی و نیز رنگ خاک استان مازندران دارد که اهمیت این دامنهٔ طیفی، در تطابق با تحقیقات گذشته بوده است (Rawlins و همکاران، ۲۰۱۱). همچنین وجود احتمالی اکسیدهای آهن و ارتباط آن با مقادیر رسی، سبب ایجاد دامنه های مؤثر حاوی امضاهای طیفی ریز، در دامنهٔ مادون قرمز نزدیک (۷۴۰ الی ۱۰۰۰ نانومتر) گردید (شکل۴). دامنهٔ مادون قرمز موج کوتاه (SWIR) نیز متأثر از مقادیر رسها بوده است که دلیل آن از دید مینرالوژی: حضور رسهای ایلایت، مونتموریلونیات، کئولینایت، میکا و دیگر کانی های رسی حاضر در خاک های استان بوده است که دارای علائم طیفی بارز در دامنهٔ ۲۲۰۰ الی ۲۳۴۰نانومتر بودهاند (Rawlins و همکاران، ۲۰۱۱).

pls بنابراین، دقت مدل کالیبره شده (جدول۳ و شکلهای ۵ و۶) و صحت مقادیر اعتبارسنجی شده (جدول۴ و شکل۷) توسط روش pls چهار فاکتوری، حاکی از کیفیت مناسب و عملکرد خوب مدل در برآورد مقادیر رس منطقه، در مقایسه با تعداد اندک تحقیقات انجام شده در این زمینه، بوده است. بطوریکه؛ در تحقیقاتی که توسط Kagan و همکاران (۲۰۱۴)، انجام شد، ایشان مقادیر رس را با تکنیک



چهارمین کنفرانس ملی حفاظت خاک و آبخیزداری با محوریت کرد و غبار تهران-پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری ۱۳۹۹ بهمن ماه۱۳۹۹

pls و با: ^R تقریبی ۸/۸، RMSEcv حدود ۱/۲۲ و RPD حدود ۳/۰۳ برآورد کردند و طول موجهای مؤثر را، دامنهٔ ۲۰۰۰ الی ۲۳۳۰ نانومتر تعیین کردند. همچنین VolkanBigli و همکاران (۲۰۱۰)، توانستند مقادیر رس را با ^R تقریبی ۸۴/۴ و RMSE اعتبارسنجی حدود ۳۸/۲۰ تعیین کنند. از آنجایی که مدل نهایی عملیات واسنجی، با RMSE حدود ۵۵/۹ و ^R حدود ۲۷۳۰ و نیز RPD تقریبی ۱/۹۴ و RPIQ حدود ۳۸/۹ و در مجموعهٔ اعتبارسنجی نیز این مقادیر بترتیب: ۱۰/۲۴، ۲/۲۰، ۱/۸ و ۲/۶۴ بوده است، لذا بر اساس مقادیر RPIQ که بالای ۲ بوده است، می توان نتیجه گرفت که مدل قادر به تخمین بسیار خوبی از رس در خاکهای استان بوده است

نتیجهگیری نهایی

یاک و آیخیزداری

با محوريت كرد و غنار

پژوهش حاضر؛ قابلیت استفاده از روشهای "طیفسنجی بازتاب پراکنشی (DRS)" در تعیین مقادیر رس خاک در یک روش سریع و غیرتخریبی، را به اثبات رسانید. با توجه به این مهم که امروزه، نسل جدیدی از دورسنجندههای ابرطیفی، با قدرت تفکیک طیفی بالایی عملیات سنجش را از سکوهای هوایی و فضایی، در مقیاس بسیار وسیع، انجام میدهند، لذا نتایج بدست آمده در این تحقیق؛ میتواند نقطهٔ آغازی برای پهنهبندی دقیق مقادیر رس خاک، با استفاده از سکوهای دورسنجی و در مقیاس بسیار وسیعتر، باشد. زیرا، عملیات مدلینگ و نیز مشخص شدن دامنهها و باندهای طیفی مؤثر در پروسهٔ برآورد مقادیر رس؛ قابلیت بسط داشته و نیز، علاوه بر فرآیند بیش مقیاسسازی، میتوان در ساخت سنجندههای ابرطیفی، از نتایج حاصله، بهره جست. البته، برای این هدف، باید تحقیقات بیشتری بر روی کاربرد طیفسنجی (دورسنجی یا مجاورتسنجی) برای تخمین مقادیر رس خاک، انجام پذیرد. نتایج نهایی بدست آمده، مبین آن است که سطح رضایتبخشی از برآورد اجزای رس خاک استان مازندران با استفاده از دادههای طیفی آزمایشگاهی و بر اساس روش بر روی کاربرد طیفسنجی (دورسنجی یا مجاورتسنجی) برای تخمین مقادیر رس خاک، انجام پذیرد. نتایج نهایی بدست آمده، مبین بر روی کاربرد طیفسنجی (دورسنجی یا مجاورتسنجی) برای تخمین مقادیر رس خاک، انجام پذیرد. نتایج نهایی بدست آمده، مبین بر روی کاربرد طیف می از برآورد اجزای رس خاک استان مازندران با استفاده از دادههای طیفی آزمایشگاهی و بر اساس روش و زمای بیان بر حول است. بعلاوه که با این روش، امکان تعیین طول موجهای کلیدی طیف کامل، که بعنوان ضروریاتی در برآورد این پارامتر خاک است؛ فراهم میشود که از این اطلاعات میتوان در آینده برای پهنهندی مقادیر رس با استفاده از سنجندههای برآورد این پارامتر خاک است؛ فراهم میشود که از این اطلاعات میتوان در آینده برای پهنهبندی مقادیر رس با استفاده از سنجندههای برآورد این پارامتر خاک است؛ فراهم میشود که از این اهداف جامعی چون: پایش محیط زیست؛ مدلسازی خاک و کشاورزی دقیق نیز

منابع

- Conforti, M., Buttafuoco, G., Leone, A.P., Aucelli, P.P.C., Robustelli, G. and F. Scarciglia. 2013. Studying the relationship between water-induced soil erosion and soil organic matter using Vis–NIR spectroscopy and geomorphological analysis: A case study in southern Italy, Catena 110(2013): 44–58.

- Curcio, D., Ciraolob, G., D'Asaroa, F. and M. Minacapillia. 2013. Prediction of soil texture distributions using VNIR-SWIR reflectance spectroscopy, Procedia Environmental Sciences, 19(2013): 494 – 503.

- Darvishzadeh, R., Atzberger, C., Skidmore, A. and M. Schlerf. 2011. Mapping grassland leaf area index with airborne hyperspectral imagery: A comparison study of statistical approaches and inversion of radiative transfer models. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 66 (2011) 894–906.

⁻ Bellon-Maurel, V. and A. McBratney. 2011. Near-infrared (NIR) and mid-infrared (MIR) spectroscopic techniques for assessing the amount of carbon stock in soils critical review and research perspectives, Soil Biol. Biochem., 43(7): 1398-1410.

⁻ Ben-Dor, E., Taylor, R.G., Hill, J., Dematte[^], J.A.M., Whiting, M.L., Chabrillat, S. and S. Sommer. 2008. Imaging Spectrometry for Soil Applications, Advances in Agronomy, Volume 97 # 2008 Elsevier Inc.

⁻ Bricklemyer, R.S. and D.J. Brown. 2010. On-the-go VisNIR: potential and limitations for mapping soil clay and organic carbon, Comput.Electron.Agric., 70: 209–216.

⁻ Casa, R., Castaldi, F., Pascucci, S., Palombo, A. and S. Pignatti. 2013. A comparison of sensor resolution and calibration strategies for soil texture estimation from hyperspectral remote sensing, Geoderma 197–198(2013): 17–26.

⁻ Demattê, J.A.M. and F.S. Terra. 2014. Spectral pedology: A new perspective on evaluation of soils along pedogenetic alterations, Geoderma 217–218(2014): 190–200.

⁻ Gomez, C., Le Bissonnais, Y., Annabi, M., Bahri, H. and D. Raclot. 2013. Laboratory Vis–NIR spectroscopy as an alternative method for estimating the soil aggregate stability indexes of Mediterranean soils, Geoderma 209–210(2013): 86–97.

⁻ Greve, M.H., Kheir, R.B., Greve, M.B. and P.K. Bocher. 2012. Quantifying the ability of environmental parameters to



بهارمین کنفرانس ملی حفاظت خاک و آبخیزداری با محوریت کرد و غبار

تهران-پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

وعار ٢٨ بهمن ماه١٣٩٩

با مجور ت

predict soil texture fractions using regression-tree model with GIS and LIDAR data: The case study of Denmark, Ecological Indicators, 18(2012): 1–10.

- Huang, X.W., Senthilkumar, S., Kravchenko, A., Thelen, K. and J.G. Qi. 2007. Total carbon mapping in glacial till soils using near-infrared spectroscopy, Landsat imagery and topographical information, Geoderma. 141: 34–42.

- Jindaluang, W., Kheoruenromne, I., Suddhiprakarn, A., Singh, B.P. and B. Singh. 2013. Influence of soil texture and mineralogy on organic matter content and composition in physically separated fractions soils of Thailand, Geoderma 195–196(2013): 207–219.

- Kagan, T.P., Shachak, M., Zaady, E. and A. Karnieli. 2014. A spectral soil quality index (SSQI) for characterizing soil function in areas of changed land use, Geoderma 230–231(2014): 171–184.

- Kuang, B., Mahmood, H.S., Quraishi, M.Z., Hoogmoed, W.B., Mouazen, A.M. and E.J. Van Henten. 2012. Sensing Soil Properties in the Laboratory, In Situ, and On-Line: A Review: Advances in Agronomy, Volume 114 # 2012 Elsevier Inc.

- Liang, S. 1997. An investigation of remotely sensed soil depth in the optical region. International Journal of Remote Sensing, 18(16): 3395–3408.

- Quan, S.Z., Jie, S.Y., Li, P. and J.Y. Gen. 2013. Mapping of total Carbon and Clay Contents in Glacial Till Soil Using On-the-Go Near-Infrared Reflectance Spectroscopyand Partial Least Squares Regression, Pedosphere 23(3): 305–311.

- Rawlins, B.G., Kemp, S.J. and A.E. Milodowski. 2011. Relationships between particle size distribution and VNIR reflectance spectra are weaker for soils formed from bedrock compared to transported parent materials, Geoderma 166(2011): 84–91.

- Rodger, A., Laukamp, C., Haest, M. and T. Cudahy. 2012. A simple quadratic method of wavelength tracking for absorption features in continuum removed spectra, Remote Sensing of Environment, 118: 273–283.

- Sawuta, M, Ghulama, A., Tiyipb, T., Zhanga, Y.J., Dinga, J.L., Zhanga, F. and M. Maimaitiyiming. 2014. Estimating soil sand content using thermal infrared spectra in arid lands, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 33(2014): 203–210.

- Shrestha, D.P., Margate, D.E., van der Meer, F. and H.V. Anh. 2005. Analysis and classification of hyperspectral data for mapping land degradation: An application in southern Spain, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 7(2005): 85–96.

- Stenberg, B., Viscarra Rossel, R.A., Mouazen, A.M. and J. Wetterlind. 2010. Visible and near infrared spectroscopy in soil science. In: Sparks, D.L.(Ed.), Advances in Agronomy, pp. 163-215.

- Summers, D., Lewis, M., Ostendorf, B. and D. Chittleborough. 2011. Visible near-infrared reflectance spectroscopy as a predictive indicator of soil properties. Ecological Indicators, 11(2011): 123–131.

- Viscarra Rossel, R.A., McGlynn, R.N. and A.B. McBratney. 2006a. Determining the composition of mineral-organic mixes using UV-vis-NIR diffuse reflectance spectroscopy, Geoderma 137: 70–82.

- Volkan Bilgili, A., van Es, H.M., Akbas, F., Durak, A. and W.D. Hively. 2010. Visible-near infrared reflectance spectroscopy for assessment of soil properties in a semi-arid area of Turkey. Journal of Arid Environments, 74(2010): 229–238.

- Waiser, T.H., Morgan, C.L.S., Brown, D.J. and C.T. Hallmark. 2007. In situ characterization of soil clay content with visible near-infrared diffuse reflectance spectroscopy, Soil Sci. Soc. Am. J., 71: 389–396.