نشریه علمی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال هشتم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۹

Vol.8, No.2, Summer 2020

۵۹-۷٤

مقاله پژوهشی

ارتقاء صحت برآورد رس، سیلت و شن خاک با حذف اثر رطوبت از بازتابندگی طیفی

سهام میرزایی[۱]، علی درویشی بلورانی[۲*]، حسینعلی بهرامی[۳]، سیدکاظم علوی پناه[۴]، علی جعفر موسیوند[۵]

۱- دانشجوی دکتری سنجش از دور و *GIS*، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، ایران

۲- دانشیار گروه سنجش از دور و *GIS*، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، ایران

۳- استاد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، ایران

۴- استاد گروه سنجش از دور و *GIS*، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، ایران

۵- استادیار گروه سنجش از دور و *GIS*، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۷/۱۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۳/۳۱

چکیده

رطوبت خاک یکی از مهمترین پارامترهای تاثیرگذار بر بازتاب طیفی خاک است. تغییرپذیری بالای رطوبت از نظر زمانی و مکانی، مانع بزرگی در تخمین ویژگی‌های خاک با استفاده از داده‌های طیف‌سنجی میدانی ایجاد می‌نماید. لذا توسعه روشی که بتواند تاثیرپذیری برآورد ویژگی‌های خاک از تغییرات رطوبت را به حداقل برساند، ضروری است. برای حذف اثر رطوبت از بازتاب طیفی خاک، الگوریتم متعامدسازی پارامتر خارجی (*EPO*) توسعه داده شد. روش اعتبارسنجی متقاطع برای تعیین تعداد مؤلفه بهینه در ماتریس *EPO* مورد استفاده قرار گرفت. بازتابندگی طیفی ۱۷۵ نمونه خاک در ۷ سطح رطوبتی (هواخشک، ۶، ۱۲، ۱۸، ۲۴، ۳۰ و ۳۶٪) اندازه‌گیری شد. با استفاده از الگوریتم *EPO* توسعه یافته، اثر رطوبت از طیف‌های اندازه گیری شده برداشته شد. مدل رگرسیون حداقل مربعات جزئی (*PLSR*) برای مجموعه داده بدون و با اثر رطوبت واسنجی و سپس برای برآورد اجزای بافت خاک استفاده شد. حضور رطوبت در نمونه‌های خاک منجر به کاهش دقت برآورد رس (از R^2=۰٫۷۰ به R^2=۰٫۳۸)، سیلت (از R^2=۰٫۳۴ به R^2=۰٫۲۰) و شن (از R^2=۰٫۴۰ به R^2=۰٫۳۰) با استفاده از مدل‌های *PLSR* واسنجی شده از نمونه های خشک می‌شود. کاهش دقت در سطح رطوبتی بالاتر با شدت بیشتری اتفاق می‌افتد. حذف اثر رطوبت بوسیله الگوریتم *EPO* منجر به افزایش R^2 در برآورد رس، سیلت و شن خاک با استفاده از مدل *PLSR*، به ترتیب، به میزان ۰٫۲۳ و ۰٫۱۲ و ۰٫۱۶ گردید. بنابراین با استفاده از الگوریتم *EPO*، قابلیت طیف‌سنجی برای برآورد اجزای بافت خاک تحت تاثیر تغییرات رطوبت خاک قرار نمی‌گیرد و امکان استفاده از مدل‌های توسعه یافته از نمونه‌های هواخشک در مطالعات میدانی فراهم می‌شود.

کلید واژه‌ها : *EPO*، *PLSR*، طیف‌سنجی، رطوبت خاک، بافت خاک.

* نویسنده مکاتبه کننده: تهران، دانشگاه تهران، دانشکده جغرافیا، گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، کد پستی: ۱۴۱۷۸۵۳۹۳۳.

تلفن: ۰۹۱۲۶۱۹۲۷۲۴

Email: ali.darvishi@ut.ac.ir

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-07-13]

[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.2.5.7]

[DOI: 10.29252/jgit.8.2.59]

۱- مقدمه

خاک یکی از منابع طبیعی اساسی است که انسان-ها برای تولید مواد غذایی و انرژی به آن متکی هستند. خاک یک زیستگاه بیولوژیکی و ذخیره‌گاه ژنی است که به عنوان تنظیم‌کننده حرکت آب در محیط، فیلتر محیطی برای آلاینده‌ها و منبع مواد غذایی و سینک[1] بالقوه برای کربن به منظور کاهش گرمای جهانی محسوب می‌گردد. توانایی خاک به منظور پشتیبانی هر یک از این کارکردها، به ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژکی آن بستگی دارد که همه آنها از نظر زمانی و مکانی متغییر هستند [۱، ۲ و ۳]. کسب اطلاعات از تغییرات ویژگی‌های خاک، منجر به افزایش توانایی در پایش فرآیندهای مهم فیزیکی و شیمیایی در زمینه مدیریت کشاورزی و محیط زیست می‌گردد [۴]. با توجه به موارد ذکر شده، پایش منظم خاک به منظور آشکارسازی تغییرات در وضعیت آن ضروری بنظر می-رسد که با ارائه این اطلاعات امکان پیاده‌سازی مدیریت مناسب در صورت تخریب بوجود می‌آید.

طی چند دهه اخیر، از طیف‌سنجی مرئی - مادون قرمز[2] (*VNIR*) به عنوان روشی سریع و مقرون به صرفه برای برآورد تعداد زیادی از ویژگی‌های خاک استفاده شده است [۵]. تمرکز این تحقیقات بر مطالعه ویژگی-های مبنایی خاک شامل ترکیبات ماده آلی [۶، ۷ و ۸]، بافت و کانی‌شناسی رس [۶ و ۹]، در دسترس بودن مواد مغذی و ویژگی‌هایی از قبیل حاصلخیزی [۱۰]، ساختمان و فعالیت‌های میکروبی خاک بوده است [۳]. همچنین تلاش‌های زیادی برای ساخت کتابخانه طیفی برای پشتیبانی تحلیل آزمایشگاهی نمونه‌های خاک [۶ و ۱۱] و برای توسعه طیف‌سنج‌های سیار برای مطالعه میدانی خاک [۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸ و ۱۹] انجام گردیده است.

بدلیل اینکه کتابخانه‌های طیفی با استفاده از نمونه-های خشک و الک شده و عاری از هر نوع اثر عوامل محیطی تهیه شده‌اند، مدل‌های توسعه یافته برای آنها در بکارگیری تحلیل خاک در شرایط طبیعی با محدودیت‌های فراوانی مواجه هستند. عواملی که صحت و دقت مدل‌های پیش‌بینی کننده یک ویژگی‌های خاک را تحت تاثیر تغییرات قرار می‌دهند پارامترهای خارجی[3] گفته می‌شوند. این ویژگی‌ها در محیط طبیعی قابل کنترل نبوده و دارای تغییرات مکانی و زمانی هستند. این تغییرپذیری در پارامترهای خارجی قابلیت استفاده از داده‌های طیف‌سنجی و سنجش از دور برای مطالعه وضعیت خاک و پایش آن را با محدودیت‌هایی مواجه می‌نماید. برخی از پارامترهای خارجی نظیر رطوبت در شرایط آزمایشگاهی قابل کنترل بوده ولی در شرایط محیطی دارای تغییرپذیری بسیار بالایی است. با این حال، مشکلاتی نظیر نمونه‌برداری و آماده سازی نمونه خاک، استفاده از طیف‌سنجی در سطح آزمایشگاه را با محدودیت مواجه می‌سازد [۳ و ۲۰]. علاوه بر این طیف‌سنجی میدانی و تصویر برداری ماهواره‌ای از نظر اقتصادی مقرون به صرفه‌تر و از نظر زمانی سریع‌تر می-باشد. بنابراین برای افزایش قابلیت بهره‌گیری از طیف-سنجی میدانی و تصاویر ماهواره‌ای دستیابی به روشی که بتواند بدون آگاهی از میزان پارامترهای خارجی، برآورد دقیقی از ویژگی هدف مورد نظر انجام دهد، ضروری می‌باشد.

روش‌های اصلاحی کاهش اثر پارامتر خارجی به در دسترس بودن مقدار پارامتر خارجی بستگی دارد. اگر پارامتر خارجی قابل اندازه‌گیری باشد، اصلاح اثر آن با دو روش قابل اجرا است: (۱) طیف به عنوان تابعی از مقدار پارامتر خارجی اصلاح گردیده و سپس در مدل‌سازی استفاده می‌شود که اصطلاحا به آن اصلاح پیشین[4] گفته می‌شود و (۲) ارزش مقدار پیش بینی شده بوسیله مدل بر اساس مقدار پارامتر خارجی اصلاح

[1] *Sink*
[2] *Visible Near Infrared*
[3] *External Parameter*
[4] *Priori Correction*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-07-13]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.2.5.7]
[DOI: 10.29252/jgit.8.2.59]

شود که این روش اصلاح پسین[1] نامیده می‌شود [۲۱]. در مطالعه ویژگی‌های خاک با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای اطلاع از مقدار پارامتر خارجی وجود ندارد و کسب اطلاع از آن مستلزم عملیات میدانی است که با هدف سنجش از دور که کاهش هزینه و افزایش سرعت تولید اطلاعات است، سازگاری ندارد. جهت برطرف کردن این مشکل و ارائه یک مدل قوی دو راهکار استفاده می‌شود: (۱) بهینه کردن نمونه‌های پایه واسنجی: که در این روش دامنه وسیعی از نمونه‌ها که دارای پارامتر هدف و پارامتر خارجی در دامنه گسترده ای است مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۷]. مهمترین محدودیت این روش عدم امکان پوشش دادن همه حالت‌های موجود در پارامترهای هدف و خارجی در نمونه‌های واسنجی است. علاوه براین عملکرد مدل ساخته شده بدلیل تنوع بالای داده‌ها کاهش می‌یابد. (۲) استفاده از روش‌های پیش پردازش طیفی برای کاهش اثر پارامترهای خارجی که تاکنون از روش‌های پیش پردازش مشتق گیری [۲۲]، تبدیل‌های هندسی *SNV*[2] [۲۳ و ۲۴]، *MSC*[3] [۲۵] و کاهش ابعاد ماتریس [۲۶] در این زمینه استفاده شده است. روش‌های پیش پردازش اعمال شده قابلیت محدودی در بهبود عملکرد مدل داشتند. بنابراین ارائه روشی برای کمّی سازی مقدار ویژگی‌های خاک در شرایطی که اطلاعاتی از میزان حضور پارامتر خارجی در منطقه وجود ندارد، ضروری به نظر می‌رسد.

روش های متعددی برای کاهش اثر رطوبت بر بازتاندگی طیفی ارائه شده است که مهمترین آن الگوریتم متعامدسازی پارامتر خارجی[4] (*EPO*) است که به منظور برداشتن اثر تغییرات دمایی در برآورد میزان قند میوه سیب با استفاده از طیف‌سنجی در سال ۲۰۰۳ ارائه شد [۲۱]. چندین تحقیق در زمینه استفاده از الگوریتم *EPO* برای بر حذف اثر رطوبت در بازتاب خاک در شرایط کنترل شده آزمایشگاهی و مزرعه انجام شده است [۴، ۷، ۲۷ و ۲۸]. نتایج این تحقیقات نشان داده است که برداشتن اثر رطوبت باعث بهبود در برآورد ویژگی‌های خاک مانند رس [۲۰، ۲۹، ۳۰، ۳۱، ۳۲ و ۳۳]، سیلت و شن [۳۰ و ۳۱]، فسفر [۳۴]، کربن آلی [۷، ۲۷، ۲۸، ۳۰، ۳۵ و ۳۷]، *IC* [۲۸ و ۳۷]، *TC* [۲۸]، ماده آلی [۳۱ و ۳۶]، *EC* [۳۸ و ۳۹]، نیتروژن کل [۳۰] می‌گردد. برداشتن اثر رطوبت در تخمین *CEC* و *pH* موثر نبوده است [۲۸]. علاوه بر رطوبت، اثر دستخوردگی بر بازتاب طیفی خاک به عنوان پارامتر خارجی بررسی شد ولی نتایج قابل قبولی حاصل نشد [۲۹].

رطوبت خاک یک پارامتر کلیدی در زمینه مدیریت خشکسالی و تعادل آب خاک در مدل‌سازی هیدرولوژیکی است. همچنین برای فعال کردن راهبردهای انعطاف پذیر و هوشمند آبیاری نقش مهمی در کشاورزی دقیق ایفا می‌کند [۴۳-۴۰]. رطوبت خاک به عنوان یک متغیر مهم در چرخه‌های آب-خاکی، با بسیاری از عوامل محیطی در رفتارهای غیرخطی پیچیده، مانند آب و هوا [۴۴]، خاک [۴۵] و پوشش گیاهی [۴۶] تعامل دارد. رطوبت به عنوان یکی از مهمترین پارامتر اثر گذار بر بازتاب طیفی خاک شناخته می‌شود و مطالعات زیادی تاثیر رطوبت بر بازتاب طیفی خاک در محدوده *VNIR* را بررسی نموده‌اند [۷، ۴۷، ۴۸، ۴۹، ۵۰ و ۵۱]. رطوبت دارای دو عارضه جذبی در ۱۴۵۵ و ۱۹۱۵ نانومتر است که توسط فراتن[5] ارتعاشات کششی *O-H* و *H-O-H* ایجاد می‌شوند [۴]. تاثیر رطوبت بر بازتاب خاک بصورت خطی نبوده و در طول موج‌های مختلف با شدت‌های مختلفی منجر به کاهش میزان بازتاب می‌شود [۴۸]. فراتن ارتعاشات کششی *O-H* مربوط به رس عوارض جذبی محدوده‌های ۱۴۱۵ و ۲۲۰۷ نانومتر را تحت تاثیر قرار

[1] *Posteriori Correction*
[2] *Standard Normal Variate*
[3] *Multiplicative Scatter Correction*
[4] *External Parameter Orthogonalization*
[5] *Overtone*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-07-13]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.2.5.7]
[DOI: 10.29252/jgit.8.2.59]

می‌دهد. بهترین محدوده برای مطالعه رطوبت خاک محدوده مادون قرمز طول موج کوتاه (*SWIR*) با دامنه ۲۵۰۰-۱۴۰۰ نانومتر است [۵۰]. روش‌های بسیار زیادی توسط محققان مختلف برای مدلسازی رطوبت خاک با طیف بازتابی ارائه شده است [۵۲]. همه عوارض جذبی خاک از جمله عارضه جذبی قرار گرفته در ۲۲۰۰ نانومتر با افزایش میزان رطوبت خاک تضعیف می‌شوند که منجر به کاهش قابلیت برآورد رس می‌گردد [۸، ۵۳ و ۵۴].

بافت خاک یک متغیر مهم اکوسیستم کشاورزی است که برآورد آن برای درک پتانسیل خاک از نظر حاصلخیزی و ظرفیت نگهداشت آب اهمیت فراوان دارد. بافت خاک، دسترسی به آب را تنظیم می‌کند، که بر بهره‌وری سیستم و همچنین چرخه مواد مغذی کلیدی خاک، به ویژه در بوم‌سازه‌های دیم تاثیر می‌گذارد [۴۱]. کسب اطلاع از تغییر پذیری بافت خاک برای اجرای استراتژی‌های مدیریت موضعی کشت[1]، که امکان استفاده کارآمدتر از منابع آب و کودها و درپی آن کاهش هزینه‌ها و تأثیرات زیست محیطی را بوجود می‌آورد، بسیار مهم است [۱۴].

با توجه به اهمیت بالای بافت خاک و تاثیر تغییرات میزان رطوبت در افزایش خطای برآورد اجزای بافت، در این مطالعه اثر رطوبت از بازتابندگی طیفی خاک با استفاده ار الگوریتم *EPO* کمینه شده و میزان رس، سیلت و شن خاک با استفاده از روش *PLSR* مدل‌سازی خواهد شد.

۲- داده برداری

۱۷۵ نمونه خاک از بین مجموعه نمونه‌های طرح کتابخانه طیف خاک‌های ایران برای این مطالعه انتخاب شدند [۵۵]. نمونه‌های انتخاب شده از عمق ۳۰-۰ سانتیمتر سطحی مناطق کشاورزی استان‌های تهران و لرستان برداشت شده‌اند. نمونه‌ها کوبیده و از الک ۲ میلی‌متر عبور داده شده و بصورت هواخشک بودند.

[1] *Site-Specific Farming*

بدلیل اینکه هدف نهایی توسعه الگوریتم *EPO* بکارگیری آن در سطح مزرعه است و در محیط طبیعی نمونه‌های کاملا خشک وجود ندارد و هوا خشک هستند، بنابراین هواخشک به عنوان مبنا انتخاب شد. ۲۵ گرم از نمونه‌های خاک در درون پتری دیش مشکی ریخته شده و سطح آنها با استفاده از تیغه فلزی صاف گردید. در حالت هواخشک، تمامی ۱۷۵ نمونه‌ها طیف‌سنجی شدند. ۹۵ نمونه (۵۱ نمونه برای واسنجی و ۴۴ نمونه برای ارزیابی) در سطوح رطوبتی ۶، ۱۲، ۱۸، ۲۴، ۳۰ و ۳۶٪ با استفاده از آب مقطر مرطوب گردیدند. برای توزیع یکسان رطوبت در خاک، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در درون محیط بسته که در آن امکان خروج رطوبت وجود نداشت قرار داده شده و در محیطی که دارای دمای پایین بود نگهداری و سپس طیف‌سنجی شدند.

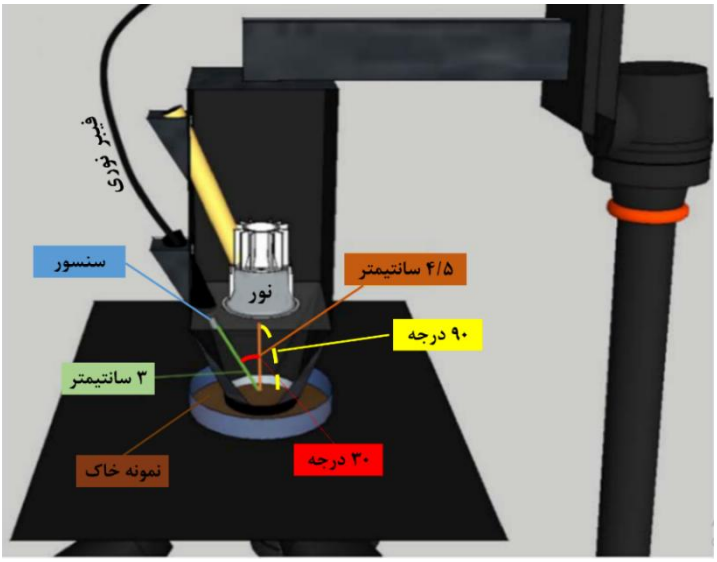
برای طیف‌سنجی نمونه‌ها از دستگاه *FieldSpec 3* شرکت *ASD* استفاده شد. این دستگاه از سه آشکارساز ایجاد شده است که آشکار ساز اول (*VNIR*) محدوده طیفی مرئی - مادون قرمز نزدیک[2] (۳۵۰-۱۰۰۰ نانومتر) را با قدرت تفکیک طیفی ۳ نانومتر و فاصله نمونه‌گیری ۱٫۴ نانومتر ثبت می‌کند. آشکارسازهای دوم (*SWIR-1*) و سوم (*SWIR-2*) میزان بازتاب محدوده مادون قرمز طول موج کوتاه[3] (*SWIR*) را به ترتیب در محدوده‌های ۱۰۰۰-۱۸۳۰ و ۱۸۳۰-۲۵۰۰ نانومتر با قدرت تفکیک طیفی ۱۰ و فاصله نمونه‌گیری ۲ نانومتر ثبت می‌کنند. اندازه‌گیری در اتاق تاریک و با استفاده از ابزار پروب تماسی[4] انجام شد. استفاده از پروب تماسی برای اندازه‌گیری بازتاب طیفی باثبات و پایدار پیشنهاد شده است [۵۶]. در این ابزار لامپ نوع هالوژن ۶٫۵ واتی، از فاصله ۴٫۵ سانتیمتری بصورت قائم نسبت به نمونه تعبیه شده است. فاصله سنجنده از نمونه ۳

[2] *Visible Near-Infrared*
[3] *Short-Wave Infrared*
[4] *Contact Probe*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-07-13]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.2.5.7]
[DOI: 10.29252/jgit.8.2.59]

سانتیمتر و زاویه نور و سنجنده نسبت به یکدیگر ۳۰ درجه است. شکل (۱) نحوه اندازه‌گیری طیفی با استفاده از پروب تماسی را نشان می‌دهد.

طیف‌سنج استفاده شده هر ۰/۱ ثانیه یک اندازه‌گیری انجام می‌دهد. تنظیمات طیف سنج برای ثبت اندازه‌گیری به گونه‌ای انجام شد که ۲۵ اندازه‌گیری پشت سرهم را به عنوان یک قرائت ارائه دهد. هرچه این عدد بالاتر انتخاب شود پایداری طیف اندازه‌گیری شده بالاتر خواهد بود. برای مطالعاتی که زمان و دما در آن تاثیر کم دارد این عدد را بالا (تا ۳۰۰ تکرار) انتخاب می‌نمایند. ولی در مطالعه حاضر بدلیل اینکه رطوبت خاک ممکن است تحت تاثیر دمای پروب تماسی قرار گیرد عدد ۲۵ انتخاب شد که در مدت زمان ۲/۵ ثانیه انجام می‌شود. اگر نمونه دارای همگنی کامل باشد و اندازه‌گیری طیفی با استفاده پروب تماسی دارای نویز پایینی باشد نیازی تکرار اندازه گیری نیست. برخی از نمونه‌ها مانند سنگ و گیاه در حالت تاج پوشش دارای همگنی پایینی هستند و برای پوشش دادن همه این تنوع‌ها و رسیدن به طیفی که همه نمونه را پوشش دهد نیازمند تکرار اندازه‌گیری از نقاط مختلف نمونه هستیم ولی نمونه‌های استفاده شده در این مطالعه بسیار همگن بودند. علاوه بر این ممکن است توزیع رطوبت بطور کاملا یکسان اتفاق نیافتاده باشد. بنابراین برای هر نمونه ۴ تکرار انتخاب شد که در آن کمترین تبخیر رطوبت اتفاق بیافتد و ناهمگنی احتمالی موجود در ترکیبات و رطوبت خاک هم پوشش داده شود. در کل ۲۹۸۰ طیف برای همه نمونه‌ها اندازه‌گیری شد.



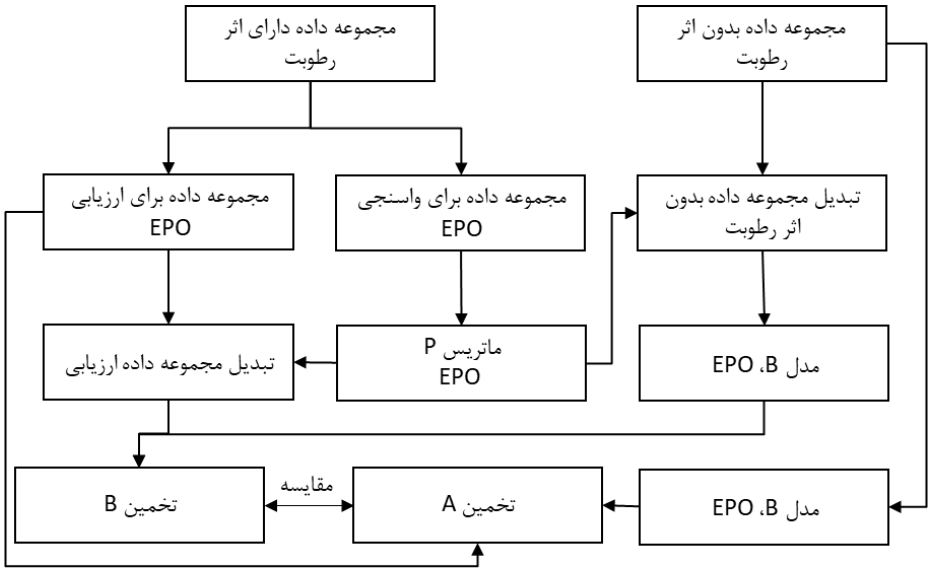
شکل ۱: نحوه اندازه گیری بازتاب طیفی نمونه خاک با استفاده از پروب تماسی.

۳- روش تحقیق

ابتدا نمونه‌های بهینه جهت واسنجی مدل تهیه و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی لازم اندازه‌گیری شد. نمونه‌ها به سه دسته تقسیم شدند: (الف) مجموعه داده بدون اثر رطوبت (S^0) که شامل ۸۰ نمونه خاک می‌شود. (ب) مجموعه داده دارای اثر رطوبت برای واسنجی (S^1) *EPO* که شامل ۵۱ نمونه خاک می‌شود. (ج) مجموعه داده دارای اثر رطوبت برای ارزیابی *EPO* (S^2) که شامل ۴۴ نمونه خاک می‌شود. مجموعه داده S^1 برای توسعه *EPO* برای ساخت ماتریس P تبدیل *EPO* استفاده شد. سپس ماتریس P بر روی مجموعه داده S^0 اعمال و مدل B با استفاده از روش *PLSR* توسعه داده شد، تعداد مؤلفه‌های بهینه *EPO* با استفاده از روش اعتبار سنجی متقاطع محاسبه شد. مدل B با

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-07-13]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.2.5.7]
[DOI: 10.29252/jgit.8.2.59]

مجموعه داده ارزیابی تبدیل شده بوسیله ماتریس P ارزیابی شد. مجموعه داده S^0 با استفاده از روش $PLSR$ مدل‌سازی (مدل A) و نتایج آن با استفاده از مجموعه داده S^2 اعتبار سنجی شد. در انتها نتایج مدل A و B مورد مقایسه قرار گرفتند. شکل (۲) مراحل پیاده سازی این پژوهش را نشان می‌دهد.



شکل ۲: پیاده سازی الگوریتم *EPO* با پارامتر خارجی رطوبت.

۳-۱ الگوریتم *EPO*

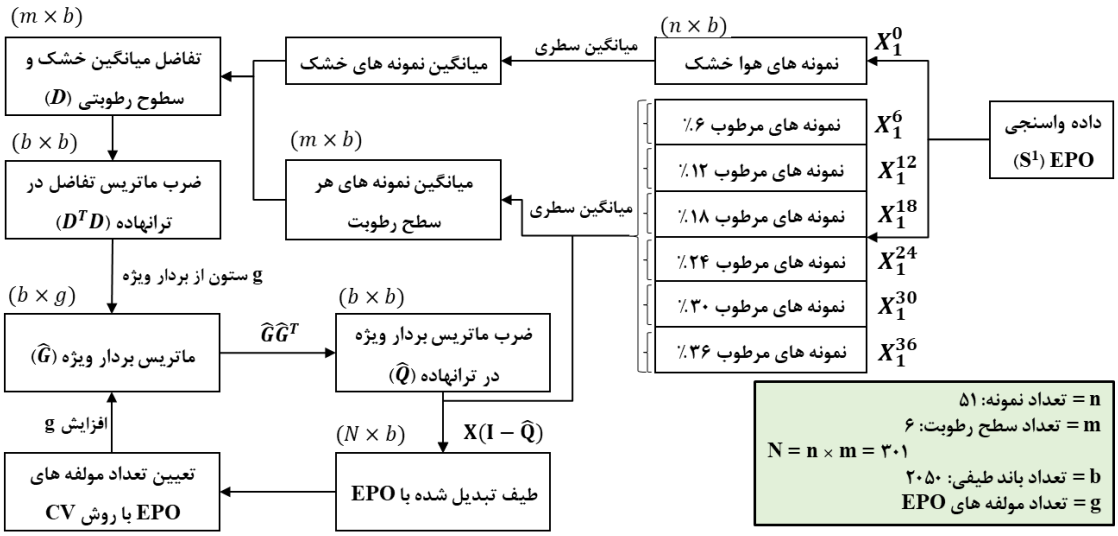
الگوریتم EPO در شرایطی که پارامتر خارجی قابل اندازه‌گیری وجود ندارد، می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. شکل (۳) نحوه پیاده سازی این الگوریتم را نشان می‌دهد. اصطلاح خارجی[1] نشان دهنده پارامترهایی است که هدف طیف‌سنجی نیست درحالی که تأثیر زیادی بر رفتار طیف داشته و بنابراین منجر به ایجاد خطا در تخمین پارامتر مورد نظر می‌گردد. مفهومی که به عنوان پایه روش EPO است، این است که فضای طیفی X به دو زیر فضا قابل تفکیک است. زیرفضای XQ شامل اثر پارامتر(های) خارجی و دیگری XP که نسبت به XQ متعامد است و زیرفضای مفید نامیده می‌شود که از رابطه (۱) قابل محاسبه است.

$$X = XP + XQ + R$$ رابطه (۱)

در این رابطه، R مولفه نویز است که از عدم برازش مناسب نشأت می‌گیرد. برای استفاده از EPO برای توسعه یک مدلی که مقاوم به اثر پارامتر خارجی است، زیرفضای XQ از طیفی که شامل اثر پارامتر خارجی است تخمین زده می‌شود و زیرفضای متعامد XP نیز محاسبه می‌شود. یک ماتریس شامل طیف‌های جمع شده از نمونه‌هایی با تغییرات مشخص از متغییر هدف به عنوان زیرفضای XP پیشنهاد می‌شود و سپس طیف پیشنهاد شده برای توسعه مدل واسنجی تحلیل آماری می‌شود. معمولا برای پیدا کردن XP از ماتریس طیفی D (اختلاف بین ماتریس طیفی و بدون تاثیر پارامتر خارجی) استفاده می‌شود. Q از تجزیه مقادیر منفرد D و XP از $X(I-Q)$ محاسبه می‌شود، که در اینجا I یک ماتریس همانی است.

[1] *External*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-07-13]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.2.5.7]
[DOI: 10.29252/jgit.8.2.59]



شکل ۳: نحوه پیاده‌سازی الگوریتم *EPO* برای پارمتر رطوبت.

۳-۲ پیش پردازش

برای پیش پردازش طیف‌های اندازه‌گیری شده از فیلتر نرم‌کننده ساویتسکی گولای با اندازه پنجره ۱۱ و پلینومیال (چندجمله‌ای) درجه ۲ استفاده شد [۵۷]. انتخاب اندازه پنجره کوچک برای فیلتر باعث می‌شود نویز در داده‌ها باقی بماند و اگر اندازه پنجره بزرگ انتخاب شود منجر به از بین رفتن اطلاعات مربوط به عوارض جذبی می‌گردد. برای تعیین اندازه مناسب پنجره فیلتر نرم کننده از مشتق اول بازتاب طیفی استفاده شد. انحراف معیار از میانگین ۴ تکرار اندازه‌گیری شده به تفکیک باندی برای هر نمونه محاسبه و حدود آستانه ۲± انحراف از میانگین برای حذف باندهای دارای نویز بالا انتخاب شد. با اعمال این آستانه محدوده ۳۵۰-۴۲۰ و ۲۴۷۰-۲۵۰۰ نانومتر کنار گذاشته شدند. برای تمامی نمونه‌ها ۴ تکرار طیف پیش پردازش شده که در محدوده ۴۲۰-۲۴۷۰ نانومتر قرار داشتند میانگین‌گیری شدند.

۳-۳ مدل‌سازی با روش *PLSR*

از روش رگرسیون حداقل مربعات جزئی[1] (*PLSR*) برای مدل‌سازی رس، سیلت و شن خاک استفاده شد. روش *PLSR* پرکاربردترین روش برای مدل‌سازی رابطه خطی بالقوه (احتمالی) بین ویژگی‌های خاک و بازتاب طیف در محدوده *VNIR* است. نتایج این مدل با آماره‌های ضریب تعیین (R^2)، جذر میانگین مربعات خطا[2] (*RMSE*) و درصد انحراف نسبی[3] (*RPD*) سنجیده شد. داده‌ها به دو گروه واسنجی (٪۷۰) و ارزیابی صحت (٪۳۰) تفکیک شدند. نمونه‌ها به‌گونه‌ای تفکیک شدند که در هر دو گروه واسنجی و ارزیابی صحت تمامی حالت موجود را پوشش دهند.

۴- نتایج و بحث

آماره‌های کمینه، میانگین، بیشینه و انحراف معیار پارامترهای رس و شن و سیلت نمونه‌های خاک به تفکیک مجموعه داده S^0، S^1 و S^2 در جدول (۱) گزارش شدند. نمونه‌های استفاده شده دارای ۱۱ بافت مختلف بودند. همانگونه که مشاهده می‌شود نمونه‌های قرار داده شده در مجموعه داده‌های ارزیابی صحت شباهت بالایی به نمونه‌های مجموعه واسنجی دارند.

[1] *Partial Least Square Regression*

[2] *Root Mean Square Error*

[3] *Relative Percent Deviation*

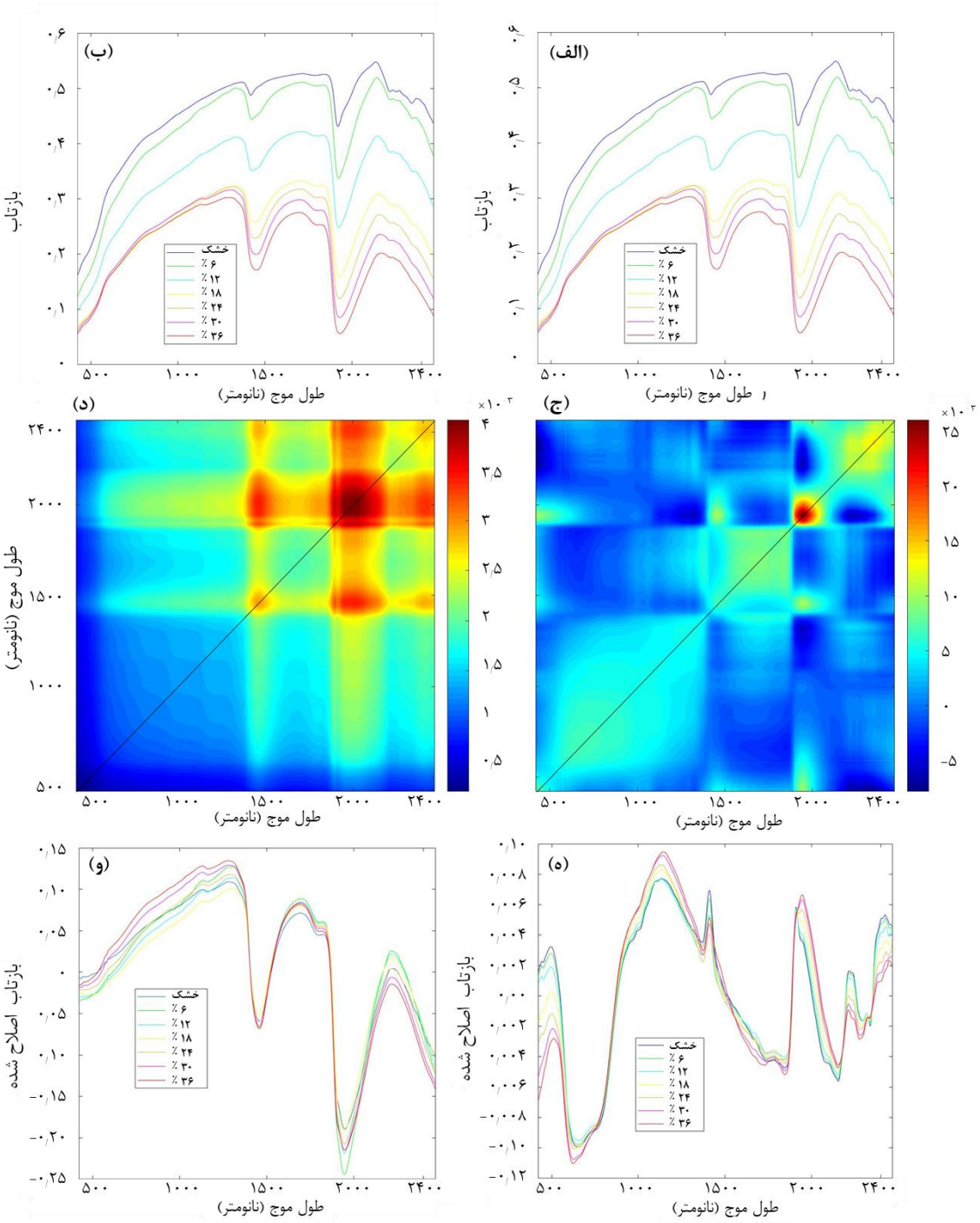
[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-07-13]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.2.5.7]
[DOI: 10.29252/jgit.8.2.59]

جدول ۱: کمینه میانگین بیشینه و انحراف معیار نمونه‌های خاک.

	مجموعه داده	S^0	S^1	S^2
ویژگی خاک	تعداد نمونه (n)	۸۰	۵۱	۴۴
	تعداد حالت اندازه‌گیری (N)	۸۰	۳۵۷	۳۰۸
	تعداد طیف سنجی ($N\times4$)	۳۲۰	۱۴۲۸	۱۲۳۲
شن (٪)	کمترین	۱۰	۱۲	۱۴
	میانگین	۳۶٫۵	۳۷٫۳۸	۳۶٫۶۷
	بیشترین	۷۲	۷۳	۷۲
	انحراف معیار	۱۶٫۷۳	۱۵٫۲۱	۱۴٫۹۹
رس (٪)	کمترین	۱۲	۱۳	۱۲
	میانگین	۲۸٫۵	۲۷٫۹	۲۸٫۲۷
	بیشترین	۴۸	۴۷	۴۸
	انحراف معیار	۹٫۳۲	۸٫۷	۸٫۲۴
سیلت (٪)	کمترین	۱۳	۱۴	۱۶
	میانگین	۳۵٫۳	۳۶٫۳	۳۵٫۰۴
	بیشترین	۵۷	۵۸	۵۵
	انحراف معیار	۱۲٫۰۳	۱۱٫۱	۱۰٫۷۳

شکل (۴-الف) منحنی بازتابندگی طیفی یک نمونه خاک برای ۷ سطح رطوبت مختلف (هواخشک، ۶، ۱۲، ۱۸، ۲۴، ۳۰ و ۳۶٪) را نشان می‌دهد. با افزایش رطوبت میزان بازتاب طیفی در همه طول موج‌ها کاهش می‌یابد و این کاهش در طول موج‌های بالاتر بیشتر است. این می‌تواند به کم بودن میزان بازتاب در محدوده مرئی در مقایسه با محدوده *NIR* در خاک‌های خشک مربوط باشد. این نتایج با یافته‌های مطالعات قبلی مطابقت دارد [۷، ۴۷، ۴۸ و ۴۹]. طول‌موج‌های محدوده *SWIR* برای مشاهده اثر رطوبت و برآورد میزان رطوبت مناسب‌تر هستند [۴۸]. شکل (۴-ج) و (۴-د) ماتریس *P*، که از تعداد فاکتورهای بهینه یک و چهار بدست آمده‌اند، را نشان می‌دهند. محدوده‌های ۱۴۰۰ و ۱۹۰۰ نانومتر بیشترین وزن را در ماتریس به خود اختصاص داده است. شکل (۴-ه) و (۴ -و) بازتاب تبدیل شده ۷ سطح رطوبت مختلف خاک بوسیله *EPO* با تعداد فاکتور یک و چهار را نشان می‌دهد. همانگونه که در شکل (۴) مشاهده می‌شود در فاکتور یک تفاوت بازتاب طیفی نمونه‌های با رطوبت مختلف نسبت به بازتاب طیفی بسیار کاهش یافته است. در فاکتور چهار طیف-های اصلاح شده نسبت به فاکتور یک بسیار شبیه‌تر به یکدیگرند و قابل استفاده به عنوان ورودی مدل *PLSR* برای مدل‌سازی ویژگی‌های خاک هستند. یک نتیجه واضح این است که در تعداد فاکتور کمتر نتایج حاصل شده نرم‌تر هستند و با افزایش فاکتور طیف‌ها دچار پیچیدگی بیشتری می‌شوند [۲۸]. دلیل این تفاوت را می‌توان ناشی از افزایش تعداد از ماتریس *DTD* دانست که منجر به ورود بیشتر نویز به ماتریس *Q* می‌شود.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-07-13]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.2.5.7]
[DOI: 10.29252/jgit.8.2.59]



شکل ۴: (الف) و (ب) منحنی بازتابندگی طیفی یک نمونه خاک برای ۷ سطح رطوبت مختلف (هواخشک، ۶، ۱۲، ۱۸، ۲۴، ۳۰ و ٪۳۶)، (ج) و (د) ماتریس *EPO* و (ه) بازتاب اصلاح شده ۷ سطح رطوبتی با *EPO* با چهار و (و) بازتاب اصلاح شده ۷ سطح رطوبتی با *EPO* با یک فاکتور.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-07-13]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.2.5.7]
[DOI: 10.29252/jgit.8.2.59]

جدول (۲) نتایج مدل‌سازی برای مجموعه داده بدون اثر رطوبت، نتایج ارزیابی صحت مدل A از مجموعه داده S^0 برای پیش بینی ویژگی‌های شن، سیلت و رس خاک از طیف هواخشک (S^2) تعداد فاکتور بهینه بدست آمده از روش اعتبار سنجی متقاطع، نتایج عملکرد مدل برای ویژگی‌های خاک بدون و با تبدیل EPO و تعداد فاکتورهای بهینه را نشان می‌دهد.

برای سیلت نتایج ضعیف (R^2=۰/۳۴) بدست آمد. مدل برازش یافته برای سیلت در شکل (۵-الف) نشان داده شده است. این مدل مقادیر بالای سیلت را کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌نماید. مدل برازش یافته برای شن در شکل (۵-ب) نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود برای ویژگی شن قابلیت برآورد متوسط، با R^2 ۰/۴۰ و RPD از ۰/۸۳ حاصل شد. برای شن نیز مقادیر بالا کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌گردند. نتایج نشان می‌دهد ویژگی رس می‌تواند بصورت قابل قبول به ترتیب با R^2 ۰/۷۰ و RPD ۱/۵۳ برآورد شود. همانگونه که در شکل (۵-ج) دیده می‌شود پراکنش نقاط اطراف خط ۱:۱ قرار دارد و مدل واسنجی شده برآورد قابل قبولی از میزان رس ارائه می‌دهد. در اغلب مطالعات پیشین، برآورد رس نسبت به شن و سیلت با دقت بیشتری برآورد شده است که دلیل آن داشتن عارضه جذبی خاص (۲۲۰۰ نانومتر) رس می‌باشد، درحالی که شن و سیلت در محدوده خاصی از طیف دارای عارضه جذبی یا نشانه خاصی نیستند [۴ و ۵]. این نتایج برای نمونه‌های بدون اثر رطوبت بوده و انتظار می‌رود بهترین نتایج در بین سه مجموعه داده برای رس باشد و با افزوده شدن اثر رطوبت با سطوح مختلف نتایج دچار افت شوند، سپس با بکارگیری الگوریتم EPO سعی بر بهبود نتایج و نزدیک کردن آن به نتایج حالت هواخشک می‌باشد. در حالتی که نتایج مدل‌سازی برای داده‌های بدون اثر رطوبت ضعیف باشد این امر نشان دهنده این است که بین آن ویژگی و طیف بازتابی رابطه قوی وجود ندارد، بنابراین اطلاعات جدیدی به آن اضافه نشده و تبدیل EPO نیز نمی‌تواند منجر به بهبود نتایج در آن ویژگی شود.

نتایج ارائه شده در جدول (۲) نشان می‌دهد که قبل از اعمال تبدیل EPO نتایج مدل‌ها ضعیف بودند، که ناشی از این است که تفاوت بین طیف‌های حاصل شده از یک نمونه (تغییرات درون نمونه‌ای) با سطح رطوبت مختلف بیشتر از تفاوت طیف بین دو نمونه مختلف (تغییرات برون نمونه‌ای) است.

جدول ۲: نتایج مدل سازی *PLSR* برآورد

ویژگی خاک	آماره	بدون اصلاح خشک	بدون اصلاح همه	بعد از اصلاح
شن	مولفه بهینه	-	-	۲
	R^2	۰/۴۰	۰/۳۰	۰/۳۶
	$RMSE$	۱۱/۲	۸/۶	۸/۹۵
	RPD	۰/۸۳	۱/۲۰	۱/۳
رس	مولفه بهینه	-	-	۴
	R^2	۰/۷۰	۰/۳۸	۰/۶۱
	$RMSE$	۴/۵۶	۷/۲۸	۳/۳۲
	RPD	۱/۵۳	۰/۹۹	۱/۶
سیلت	مولفه بهینه	-	-	۲
	R^2	۰/۳۴	۰/۲۰	۰/۳۲
	$RMSE$	۸/۶۴	۵/۰۲	۴/۴۸
	RPD	۰/۶۷	۱/۱۱	۱/۲۱

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-07-13]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.2.5.7]
[DOI: 10.29252/jgit.8.2.59]

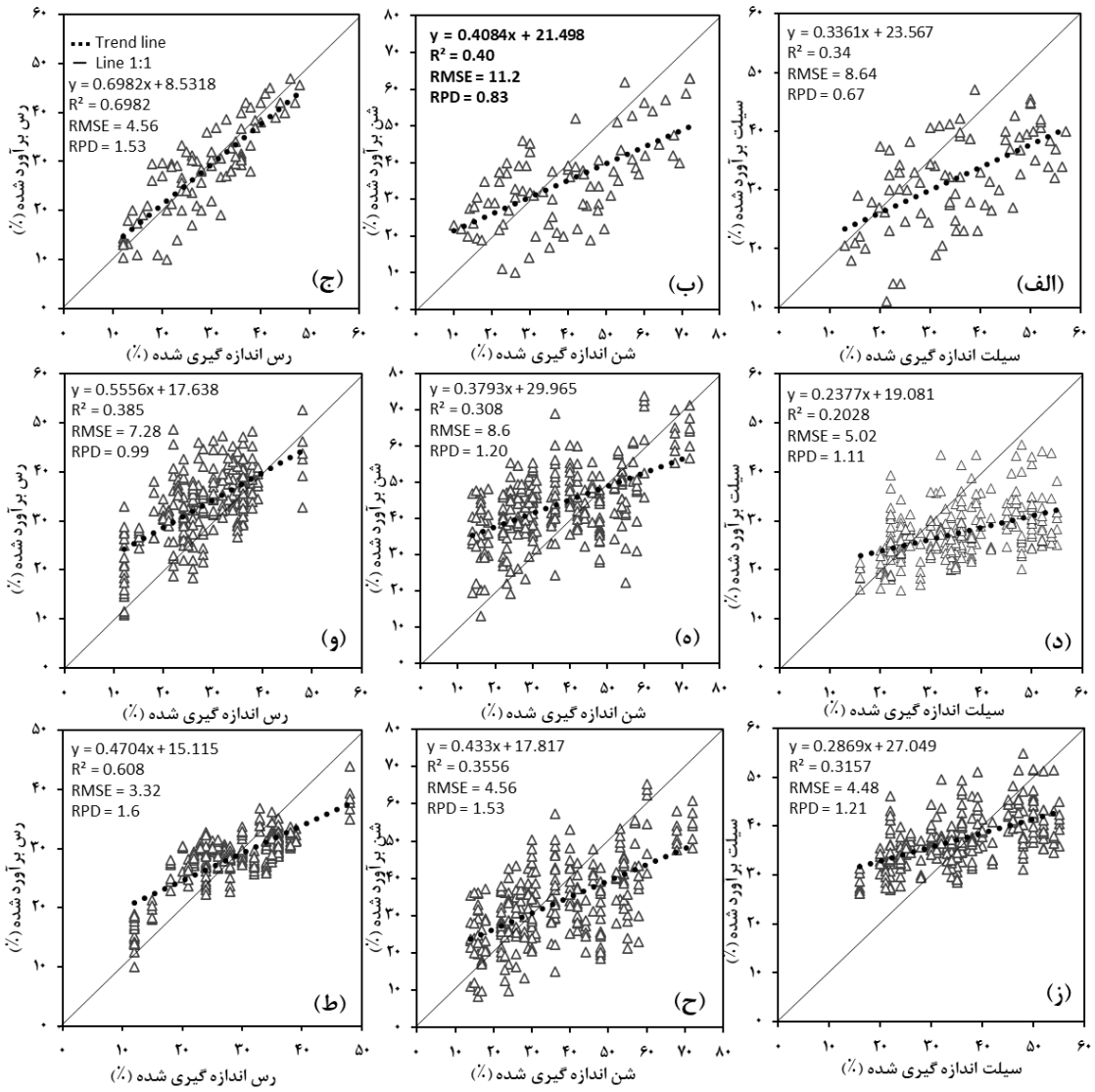
همانگونه که مشاهده می‌شود قبل از برداشتن اثر رطوبت تمامی ویژگی‌ها نتیجه ضعیفی با R^2 و RPD پایین و $RMSE$ بالا حاصل شده است. افت R^2 برای رس، شن و سیلت به ترتیب برابر با ۴۵، ۲۵ و ۴۱ درصد است. همانگونه که در شکل (۵-د) دیده می‌شود افزایش رطوبت باعث شده است که مقادیر سیلت کمتر از مقدار واقعی برآورد شوند در حالی که برای شن ۵-ه) در نمونه‌های با شن کم افزایش رطوبت باعث شده است که مقادیر شن بیشتر از مقدار واقعی برآورد گردند ولی در مقادیر بالای شن این اثر کم شده است. شکل (۵-و) نشان می‌دهد که بیشتر از مقدار واقعی برآورد گردید. این تخمین بیش از اندازه برای رس بدلیل این است که محدوده‌های طیفی متأثر از رطوبت با عوارض جذبی تشخیصی رس همپوشانی دارند [۴]. تعداد فاکتورهای بهینه برای سیلت و شن ۲ و برای رس ۴ انتخاب شدند. با حذف اثر رطوبت نتایج برآورد ویژگی‌های رس و سیلت بصورت چشمگیری بهبود یافته است. میزان R^2 برای رس، سیلت و شن به ترتیب ۶۰، ۲۰ و ۵۵ درصد افزایش می‌یابد. بعد از اصلاح اثر رطوبت میزان RPD برای هر سه ویژگی حتی نسبت به مدل‌سازی نمونه-های هواخشک بهبود می‌یابد که این به دلیل کاهش $RMSE$ است که خود ناشی از کاهش میانگین مقادیر برآوردی می‌باشد. پراکندگی نمودار برای سیلت شکل (۵-ز) و رس شکل (۵-ط) کاهش یافته ولی برای شن نسبت به حالت مرطوب تغییری حاصل نشده است که در شکل (۵-ح) نشان داده شده است.

در طیف‌سنجی میدانی ممکن است سطوح رطوبتی متفاوتی مواجه باشیم و پاسخ به این سوال "الگوریتم EPO در سطوح رطوبتی مختلف با چه کیفیتی می‌تواند نتایج را بهبود بخشد؟" در شکل (۶) نشان داده شده است. شکل (۶) خلاصه آماره‌های R^2 را برای ویژگی-های سیلت، شن و رس در سطوح رطوبتی مختلف نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که در شرایطی که الگوریتم EPO اعمال نمی‌شود با افزایش سطح رطوبت میزان کارایی مدل $PLSR$ بسیار کاهش می‌یابد و برای رس بیشترین کاهش و برای شن کمترین کاهش در عملکرد مدل اتفاق می‌افتد. این نتایج با یافته‌های مطالعات قبلی مطابقت دارد [۲۶]. اعمال تبدیل EPO منجر به افزایش دقت برآورد در همه سطوح رطوبتی می‌شود ولی در سطوح رطوبتی بالاتر نسبت به رطوبت پایین‌تر این قابلیت برای شن کاهش می‌یابد درحالیکه برای رس و سیلت تقریبا ثابت است.

۵- نتیجه گیری

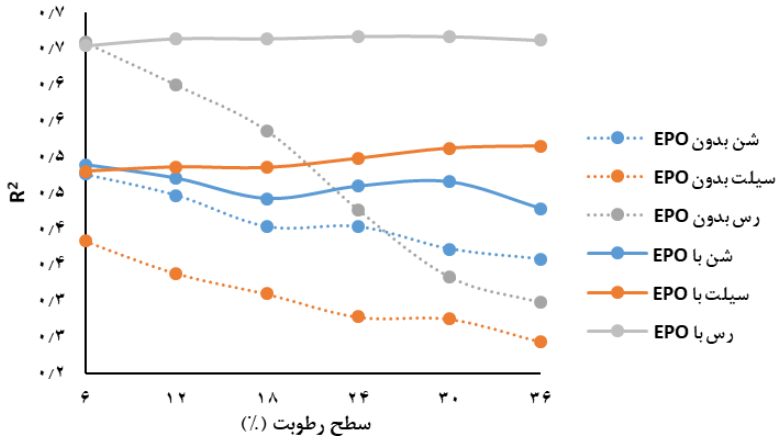
به منظور بهبود برآورد اجزای بافت خاک با استفاده از داده‌های طیف‌سنجی بازتابی، اقدام به حذف اثر رطوبت از بازتاب طیفی خاک توسط الگوریتم متعامدسازی پارامتر خارجی (EPO) شد و تاثیر این اصلاحات در قابلیت روش $PLSR$ برای برآورد رس، سیلت و شن مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌های خاک که دارای بافت ۱۱ متفاوت بودند انتخاب و در حالت هواخشک و ۶ سطوح رطوبتی مختلف طیف‌سنجی و برای توسعه الگوریتم EPO مورد استفاده قرار گرفتند. برای مدل‌سازی اجزای بافت خاک از روش $PLSR$ استفاده شد. نتایج نشان داد که طیف‌سنجی قابلیت بالایی در مدل‌سازی رس خاک در شرایط هواخشک و کتابخانه طیفی دارد ولی برای سیلت و شن طیف-سنجی کارایی بالایی ندارد. همچنین نتایج نشان داد که رطوبت تاثیر بالایی در کاهش دقت برآورد شن، سیلت و رس خاک با استفاده از داده‌های طیف‌سنجی بازتابی ایفا می‌کند. با افزایش سطح رطوبت نمونه‌ها کارایی مدل‌های توسعه یافته از کتابخانه‌های طیفی و نمونه‌های آماده و خشک شده آزمایشگاهی برای برآورد اجزای بافت خاک کاهش می‌یابد. حذف اثر رطوبت بوسیله الگوریتم EPO منجر به افزایش دقت برآورد شن و سیلت و رس خاک مخصوصا در سطوح بالای رطوبتی با استفاده از مدل $PLSR$ می‌گردد. بنابراین استفاده از روش $EPO\text{-}PLS$، طیف‌سنجی یک ابزاری قابل اطمینان برای برآورد اجزای بافت خاک در هر سطح رطوبتی محسوب می‌گردد.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-07-13]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.2.5.7]
[DOI: 10.29252/jgit.8.2.59]



شکل ۵: برآورد الف) سیلت، ب) شن و ج) رس خاک در حالت هوا خشک، برآورد د) سیلت، ه) شن و و) رس در حالت مرطوب بدون اعمال *EPO* و ز) سیلت، ح) شن و ط) رس با تبدیل *EPO*.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-07-13]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.2.5.7]
[DOI: 10.29252/jgit.8.2.59]



شکل ۶: کارایی تبدیل *EPO* در برآورد رس، سیلت و شن با استفاده از *PLSR* در سطوح مختلف رطوبتی.

مراجع

[1] *J. Bouma, "Soil environmental quality: A European perspective", J. Environ. Qual. 26, 26–31, 1997.*

[2] *D. L. Karlen, M. J. Mausbach, J. W. Doran, R. G. Cline, R. F. Harris, and G. E. Schuman, "Soil quality: A concept, definition, and Framework for Evaluation", Soil Sci. Soc. Am. J. 61, 4–10, 1997.*

[3] *B. Stenberg, R. A., Viscarra Rossel, A. M. Mouazen, and J. Wetterlind, "Visible and near infrared spectroscopy in soil science", Adv. Agron. 107, 163–215, 2010.*

[4] *F. Castaldi, A. Palombo, S. Pascucci, S. Pignatti, F. Santini, and R. Casa, "Reducing the Influence of Soil Moisture on the Estimation of Clay from Hyperspectral Data: A Case Study Using Simulated PRISMA Data", Remote Sensing, 7(11), 15561-15582, 2015.*

[5] *R. Viscarra Rossel, D. Walvoort, A. McBratney, L. J. Janik, and J. Skjemstad, "Visible, near infrared, mid infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties", Geoderma, 131(1), 59–75, 2006.*

[6] *D. J. Brown, K. D. Shepherd, M. G. Walsh, M. Dewayne Mays, and T. G. Reinsch, "Global soil characterization with VNIR diffuse reflectance spectroscopy", Geoderma, 132(3), 273–290, 2006.*

[7] *B. Minasny, A. B. Mcbratney, V. Bellon-Maurel, J. M. Roger, A. Gobrecht, L. Ferrand, and S. Joall, "Removing the effect of soil moisture from NIR diffuse reflectance spectra for the prediction of soil organic carbón", Geoderma, 167-168, 118-124, 2011.*

[8] *M. Nocita, A. Stevens, C. Noon, and B. van Wesemael, "Prediction of soil organic carbon for different levels of soil moisture using Vis-NIR spectroscopy", Geoderma, 199, 37–42, 2013.*

[9] *T. H. Waiser, C. L. S. Morgan, D. J. Brown, and C. T. Hallmark, "In Situ Characterization of Soil Clay Content with Visible Near-Infrared Diffuse Reflectance Spectroscopy", Soil Sci. Soc. Am. J, 71(2), 389–396, 2007.*

[10] *Y. Ge, J. A. Thomasson, C. L. Morgan, and S. W. Searcy, "VNIR diffuse reflectance spectroscopy for agricultural soil property determination based on regression-kriging", Trans. ASABE, 50 (3), 1081–1092, 2007.*

[11] *K. D. Shepherd, and M. G. Walsh,*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-07-13]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.2.5.7]
[DOI: 10.29252/jgit.8.2.59]

"Development of reflectance spectral libraries for characterization of soil properties", Soil Sci. Soc. Am. J, 66 (3), 988–998, 2002.

[12]E. Ben-Dor, D. Heller, and A. Chudnovsky, (2008). A novel method of classifying soil profiles in the field using optical means. Soil Sci. Soc. Am. J, 72(4), 1113–1123.

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

[14]C.D. Christy, "Real-time measurement of soil attributes using on-the-go near infrared reflectance spectroscopy", Comput. Electron. Agric. 61, 10–19, 2008.

[15]A. M. Mouazen, M. R. Maleki, J. De Baerdemaeker, and H. Ramon, "On-line measurement of some selected soil properties using a VIS-NIR sensor", Soil Tillage Res. 93, 13–27, 2007.

[16]K. A. Sudduth, and J. W. Hummel, "Portable, near-infrared spectrophotometer for rapid soil analysis", Trans. ASAE, 36, 185–193, 1993.

[17]R. A. Viscarra Rossel, S. R. Cattle, A. Ortega, and Y. Fouad, "In situ measurements of soil colour, mineral composition and clay content by vis-NIR spectroscopy", Geoderma, 150, 253–266, 2009.

[18]Z. Tumsavas, Y. Tekin, Y. Ulusoy, A. M. Mouazen, "Prediction and mapping of soil clay and sand contents using visible and near-infrared spectroscopy", Biosystems Engineering, 177, 90 -100, 2019.

[19]A. M. Mouazen, J. De Baerdemaeker, and H. Ramon, "Towards development of on-line soil moisture content sensor using a fibre-type NIR spectrophotometer", Soil. Till. Res, 80, 171–183, 2005 .

[20]H. P. Ackerson, C. L. S. Morgan, and Y. Ge, "Penetrometer-mounted VisNIR spectroscopy: Application of EPO-PLS to in situ VisNIR spectra", Geoderma, 286, 131–138, 2017.

[21]J. M. Roger, F. Chauchard, and V. Maurel, "EPO-PLS external parameter orthogonalisation of PLS application to temperature-independent measurement of sugar content of intact fruits", Chemometr Intell Lab Sys, 66 (2), 191-204, 2003.

[22]P. A. Gorry, "General least-squares smoothing and differentiation by the convolution (savitzky-golay) method", Anal. Chem. 62, 570–573, 1990.

[23]⌉R. J. Barnes, M. S. Dhanoa, and S. J. Lister, "Standard normal variate transformation and de-trending of near-infrared diffuse reflectance spectra", Appl. Spectrosc. 43-5, 772–777, 1989.

[24]⌉R. J. Barnes, M. S. Dhanoa, and S. J. Lister, "Correction to the description of standard normal variate (SNV) and de-trend transformations in practical spectroscopy with applications in food and beverage analysis", J. Near Infrared Spectrosc. 1, 185–186, 1993.

[25]H. Martens, T. Naes, Multivariate Calibration, New York, Wiley, 1989.

[26]K. Faber, and B. R. Kowalski, "Propagation of measurement errors for the validation of predictions obtained by principal component regression and partial least squares", J. Chemometrics 11, 181–238, 1997.

[27]Y. Ge, C. L. S. Morgan, and J. P. Ackerson, "VisNIR spectra of dried ground soils predict properties of soils scanned moist and intact", Geoderma, 221–222, 61–69, 2014.

[28]N. K. Wijewardane, Y. Ge, and C. L. S. Morgan, "Moisture insensitive prediction

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-07-13]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.2.5.7]
[DOI: 10.29252/jgit.8.2.59]

of soil properties from VNIR reflectance spectra based on external parameter orthogonalization", Geoderma, 267, 92–101, 2016.

[29]H. P. Ackerson, J. A. M. Demattê, and C. L. S. Morgan, "Predicting clay content on field-moist intact tropical soils using a dried, ground VisNIR library with external parameter orthogonalization", Geoderma, 259–260, 196–204, 2015.

[30]K. S. Veum, P. A. Parker, K. A. Sudduth, S.H. Holan, "Predicting Profile Soil Properties with Reflectance Spectra via Bayesian Covariate-Assisted External Parameter Orthogonalization", Sensors, 18(11), 3869, 2018.

[31]S. Dieka, S. Chabrillatb, M. Nocitac, M. E. Schaepmana, R. de Jonga, "Minimizing soil moisture variations in multi-temporal airborne imaging spectrometer data for digital soil mapping", Geoderma, 337, 607–621, 2019.

[32]S. Chakraborty, B. Li, D. C. Weindorf, C. L.S. Morgan, "External parameter orthogonalisation of Eastern European VisNIR-DRS soil spectra", Geoderma, 337, 65–75, 2019.

[33]Y. Ogen, S. Faigenbaum-Golovin, A. Granot, Y. Shkolnisky, N. Goldshleger, E, Ben-Dor, "Removing Moisture Effect on Soil Reflectance Properties: A Case Study of Clay Content Prediction", Pedosphere, 29(4), 421–431, 2019.

[34]I. Bogrekci, and W. S. Lee, "Effects of soil moisture content on absorbance spectra of sandy soils in sensing phosphorus concentrations using UV-Vis-NIR spectroscopy. American Society of Agricultural and Biological Engineers", 49(4), 1175−1180, 2006.

[35]W. Ji, R. A. Viscarra Rosselb, and Z. Shi, "Accounting for the effects of water and the environment on proximally sensed vis–NIR soil spectra and their calibrations", European Journal of Soil Science, 66, 555–565, 2015.

[36]F. B. de Santana, L. O. de Giuseppe, A. M. de Souza, R. J. Poppi, "Removing the moisture effect in soil organic matter determination using NIR spectroscopy and PLSR with external parameter orthogonalization", Microchemical Journal, 145, 1094–1101, 2019.

[37]N. K. Wijewardane, Y. Ge, C. L. S. Morgan, "Prediction of soil organic and inorganic carbon at different moisture contents with dry ground VNIR: a comparative study of different approaches", Eur. J. Soil Sci, 67, 605–615, 2016.

[38]Y. Liu, X. Pan, C. Wang, Y. Li, and R. Shi, "Predicting soil salinity with Vis–NIR spectra after removing the effects of soil moisture using External Parameter Orthogonalization", PLOS ONE, 10(10), 1-13, 2015.

[39]J. Wang, J. Ding, A. Abulimiti, and L. Cai, "Quantitative estimation of soil salinity by means of different modeling methods and visible-near infrared (VIS-NIR) spectroscopy, Ebinur Lake Wetland, Northwest China", PeerJ, (6), 1-24. DOI 10.771/peerj.4703, 2018.

[40]M. Ahmad, D. Chakraborty, P. Aggarwal, R. Bhattacharyya, and R. Singh, "Modelling soil water dynamics and crop water use in a soybean-wheat rotation under chisel tillage in a sandy clay loam soil", Geoderma, 327, 13–24, 2018.

[41]Y. A. Chung, R. L. Sinsabaugh, C. R. Kuske, S. C. Reed, J and. A. Rudgers, "Spatial variation in edaphic characteristics is a stronger control than nitrogen inputs in regulating soil microbial effects on a desert grass", J. Arid Environ. 142, 59–65, 2017.

[42]J. Martnez-Fernndez, A. Gonzlez-Zamora, N. Snchez, and A. Gumuzzio, "A soil water based index as a suitable agricultural drought indicator" J. Hydrol. 522, 265–

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-07-13]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.2.5.7]
[DOI: 10.29252/jgit.8.2.59]

273, 2015.

[43]D. Moghadas, K. Z. Jadoon, and M. F. McCabe, "Spatiotemporal monitoring of soil water content profiles in an irrigated field using probabilistic inversion of time-lapse emi data", Adv. Water Resour. 110, 238–248, 2017.

[44]R. D. Koster, P. A. Dirmeyer, Z. C. Guo, G. Bonan, E. Chan, P. Cox, C. T. Gordon, S. Kanae, E. Kowalczyk, D. Lawrence, P. Liu, C. H. Lu, S. Malyshev, B. Mcavaney, K. Mitchell, D. Mocko, T. Oki, K. Oleson, A. Pitman, Y. C. Sud, C. M. Taylor, D. Verseghy, R. Vasic, Y. K. Xue, and T. Yamada, "Regions of strong coupling between soil moisture and precipitation", Science, 305 (5687), 1138–1140, 2004.

[45]T. J. Wang, S. K. Singh, and A. Bárdossy, "On the use of the critical event concept for quantifying soil moisture dynamics", Geoderma, 335, 27–34, 2019.

[46]T. J. Wang, D. A. Wedin, T. E. Franz, and J. Hiller. "Effect of vegetation on the temporal stability of soil moisture in grass-stabilized semi-arid sand dunes", J. Hydrol. 521, 447–459, 2015.

[47]B. Kuang, and A. M. Mouazen, "Effect of spiking strategy and ratio on calibration of online visible and near infrared soil sensor for measurement in European farms", Soil Tillage Res, 128, 125–136, 2013.

[48]D. B. Lobell, and G. P. Asner, "Moisture effects on soil reflectance", Soil Sci. Soc. Am. J. 66, 722-727, 2002.

[49]Y. Zhu, D. C. Weindorf, S. Chakraborty, B. Haggard, S. Johnson, and N. Bakr, "Characterizing surface soil water with field portable diffuse reflectance spectroscopy", J. Hydrol. 391 (1–2), 133–140, 2010.

[50]S. Fabre, X. Briottet and A. Lesaignoux, "Estimation of soil moisture content from the spectral reflectance of bare soils in the 0.4–2.5 μm domain", Sensors, 15, 3262-3281, 2015.

[51]A. M. Mouazen, R. A. Al-Asadi, "Influence of soil moisture content on assessment of bulk density with combined frequency domain reflectometry and visible and near infrared spectroscopy under semi field conditions", Soil. Till. Res, 176, 95–103, 2018.

[52]S. Khanna, A. Palacios-Orueta, M. L. Whiting, S. L. Ustin, D. Riaño, J. Litago, "Development of Angle Indexes for Soil Moisture Estimation, Dry Matter Detection and Land-cover Discrimination", Remote Sens. Environ, 109, 154–165, 2007.

[53]C. L. S. Morgan, T. H. Waiser, D. J. Brown, and C. T. Hallmark, "Simulated in situ characterization of soil organic and inorganic carbon with visible near-infrared diffuse reflectance spectroscopy", Geoderma, 151, 249–256, 2009.

[54]C. Y. Wu, A. R. Jacobson, M. Laba, and P. C. Baveye, "Alleviating Moisture Content Effects on the Visible Near-Infrared Diffuse-Reflectance Sensing of Soils", Soil Sci, 174, 456–465, 2009.

[55]A. Darvishi Bloorani, "Designing and building of Soil Spectral Library and Soil Information Database of Iran (Tehran and Lorestan provinces)". Presidential Deputy for Science and Technology of Iran, 2016.

[56]E. Ben Dora, C. Ong, and I. C. Lau, "Reflectance measurements of soils in the laboratory: Standards and protocols", Geoderma, 245–246, 112-124, 2015.

[57]A. Savitzky, M. J. E. Golay, "Smoothing and differentiation of data by simplified least square procedure", Analytical Chemistry, 36 (8), 1627–1638, 1964.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-07-13]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.2.5.7]
[DOI: 10.29252/jgit.8.2.59]

K. N. TOOSI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF GEODESY AND GEOMATICS ENGINEERING

Journal of Geospatial Information Technology
Vol.8 No.2, Summer 2020

Research Paper

Improving the clay, silt and sand of soil prediction by removing the influence of moisture on reflectance using EPO

Saham Mirzaei [1], Ali Darvishi Boloorani [2]*, Hossein Ali Bahrami [3], Seyyed Kazem Alavipanah [4], Ali jafar Mousivand [5]

1- PhD student in Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Geography, University of Tehran, Iran.
2- Associated professor in Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Geography, University of Tehran, Iran.
3- professor in Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Iran.
4- Professor in Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Geography, University of Tehran, Iran.
5- Assistant professor in Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Humanities, Tarbiat Modares University, Iran.

Abstract

Moisture is one of the most important factors that affects soil reflectance spectra. Time and spatial variability of soil moisture leads to reducing the capability of spectroscopy in soil properties estimation. Developing a method that could lessen the effect of moisture on soil properly prediction using spectrometry, is necessary. This paper utilises an external parameter orthogonalisation (EPO) algorithm to remove the effect of soil moisture from spectra for the estimation of texture element contents of soil. ?????The reflectance of 175 soil samples with nominal moisture contents approximately air dry, 6, 12, 18, 24, 30 and 36% were measured. Cross validation was adapted to determine the optimum number of components in the EPO matrix model-coupled. PLSR method has been used for estimation of soil properties. The result shows that the presence of moisture leads to reducing the accuracy reduction of clay (from R^2=0.70 to R^2=0.38), silt (from R^2=0.34 to R^2=0.20), and sand (from R^2=0.40 to R^2=0.30) prediction. Reduction in the accuracy increases by increasing the moisture levels. Removing the effects of moisture from the soil reflectance by EPO algorithm lead to improving 0.23, 0.12 and 0.16 in R^2 of clay, silt and sand prediction by PLSR model, respectively. Therefore, using the EPO-PLS method, in any moisture level, VNIR spectroscopy is a viable tool for estimation of soil texture elements.

Key words: *EPO, PLSR, spectroscopy, soil moisture, soil texture.*

Correspondence Address*: Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran. Postal code: 1417853933.*
Tel*: +98912692724.*
Email: *ali.darvidhi@ut.ac.ir.*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-07-13]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.2.5.7]
[DOI: 10.29252/jgit.8.2.59]