

بررسی ویژگی‌های خاک در مناطق مستعد تولید گرد و غبار در استان خوزستان با روش طیف‌سنجی امواج مرئی و مادون قرمز نزدیک (VNIR)

منصور چترنور^۱، احمد لدی^{۲*}، احمد فرخیان فیروزی^۳، علی‌اکبر نوروزی^۴ و حسین‌علی بهرامی^۵

^۱ دانشجوی دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ^۲ استاد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز و عضو مرکز پژوهشی منطقه‌ای ریزگردها، دانشگاه شهید چمران اهواز، ^۳ دانشیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ^۴ دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران و ^۵ دانشیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۱۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۸/۰۹

چکیده

امروزه استفاده از طیف‌سنجی در برآورد ویژگی‌های خاک کاربرد گسترده‌ای یافته است. هدف از این پژوهش، استفاده از امواج مرئی و مادون قرمز نزدیک در برآورد خصوصیات خاک در مناطق مستعد تولید گرد و غبار استان خوزستان است. تعداد ۱۴۲ نمونه خاک از مناطق مستعد تولید گرد و غبار مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و مقدار کربنات کلسیم معادل، گچ، کربن آلی و نیتروژن کل خاک اندازه‌گیری شد. از مدل‌های رگرسیون خطی، کمینه مربعات جزئی (PLSR) و رگرسیون مؤلفه اصلی (PCR) برای برآورد این خصوصیات در خاک استفاده شد. سه روش بازتاب طیف اصلی و روش‌های پیش پردازش مشتق اول و مشتق دوم در دو مدل رگرسیونی PCR و PLSR مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که مدل PLSR در حالت استفاده از روش پیش پردازش مشتق دوم باعث کاهش اختلال طیف‌های بازتابی نمونه‌های خاک شد، برای سه پارامتر کربنات کلسیم معادل، کربن آلی و نیتروژن کل به ترتیب با ضرایب تعیین ۰/۹۵ و ۰/۹۲ و ۰/۸۱ بیشترین دقت برآورد را نشان داد. برای گچ، بیشترین دقت در حالت مشتق اول با ضریب تعیین ۰/۸۷ بود. نتایج این مطالعه، بیانگر آن است که استفاده از روش طیف‌سنجی در برآورد خصوصیات خاک در مناطق مستعد تولید گرد و غبار استان خوزستان دقت مناسبی دارد و با توجه به وسعت این کانون‌ها و سرعت عمل و ارزان تر بودن، این روش می‌تواند در ارزیابی خصوصیات خاک این مناطق مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: پیش پردازش، طیف اصلی، مشتق دوم، PCR، PLSR

مقدمه

به‌عنوان بستر تولید گرد و غبار و از عوامل اصلی فرسایش خاک و تولید گرد و غبار به‌شمار می‌روند. از جمله اثرات گرد و غبار می‌توان به اثر بر اقلیم (در مقیاس جهانی و محلی)، چرخه زیستی، زمین‌شناسی، اثرات شیمیایی و محیط زیستی، کاهش تشکیل ابر و میزان نزولات جوی (Wang و همکاران،

فرسایش خاک جداسازی و انتقال ذرات تشکیل‌دهنده در اثر عامل انتقال‌دهنده آب یا باد است (Morgan، ۲۰۰۹) که صدمات جبران‌ناپذیری را به حوزه آبخیز وارد کرده، سبب از دست رفتن خاک و پر شدن مخازن سدها می‌شود. خاک و پوشش سطحی

* مسئول مکاتبات: landi@scu.ac.ir

۲۰۱۴؛ Zobeck و همکاران، ۲۰۰۳). برای برآورد خصوصیات خاک با روش طیفسنجی از روش‌های رگرسیونی مختلف استفاده می‌شود. رایج‌ترین آن‌ها روش‌های خطی مانند رگرسیون مؤلفه اصلی (PCR^۲) و رگرسیون کمینه مربعات جزئی (PLSR^۳) است که در تعیین روابط بین طیف و خصوصیات خاک روش‌های مفیدی هستند (Farifteh و همکاران، ۲۰۰۷؛ Vasques و همکاران، ۲۰۰۸).

تا کنون مطالعاتی در زمینه برآورد خصوصیات خاک با استفاده از روش طیفسنجی انجام شده است. طی پژوهشی، Zornoza و همکاران (۲۰۰۸) از روش طیفسنجی برای ارزیابی خاک‌های اسپانیا استفاده کردند و با ضریب تعیین بیشتر از ۹۰ درصد مقدار ماده آلی، نیتروژن کل، رطوبت خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی، کربن زیست‌توده میکروبی و اسید فسفاتاز فعال برآورد کردند (Zornoza و همکاران، ۲۰۰۸). Bilgili و همکاران (۲۰۱۰) از بازتاب امواج مرئی و مادون قرمز (VNIR) در اندازه‌گیری خصوصیات خاک‌های شمال ترکیه با دو مدل PLSR^۴ و MARS استفاده کردند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که هر دو مدل دقت مناسبی در برآورد خصوصیات خاک داشتند و برای خصوصیات ماده آلی، کربنات کلسیم، درصد رس و شن، کلسیم و منیزیم و تبادلی و ظرفیت تبادل کاتیونی، دقت برآورد خوبی با ضریب تعیین (R²) به- ترتیب ۰/۷۳، ۰/۷۱، ۰/۸۶، ۰/۸۰، ۰/۶۹، ۰/۶۳ و ۰/۷۳ در مدل MARS به‌دست آوردند. Xuemei و Jianshe (۲۰۱۳) از امواج مرئی و مادون قرمز کوتاه Vis/SW-NIRS و مدل‌های PLSR و LS-SVM در بررسی خصوصیات خاک استفاده کردند، دو مدل عملکرد مناسبی را نشان داده و مدل LS-SVM در برآورد ماده آلی، نیتروژن، فسفر و پتاسیم دقت خوبی را با ضریب تعیین به ترتیب ۰/۸۷، ۰/۸۲، ۰/۷۶ و ۰/۷۳ نشان داد. Curcio و همکاران (۲۰۱۳)، از بازتاب خاک برای برآورد بافت خاک با دو روش PLSR و CR استفاده کردند. این پژوهشگران نتیجه گرفتند که مدل

۲۰۰۵؛ Engelstaedter و همکاران، ۲۰۰۶) و در نهایت، جلوگیری از رسیدن پرتوی خورشیدی به گیاه و کاهش تولیدات کشاورزی به میزان پنج تا ۳۰ درصد (Ye و همکاران، ۲۰۰۳) اشاره کرد. حدود نه درصد از مساحت استان خوزستان، معادل ۳۴۹۲۵۴ هکتار منبع تولید گرد و غبار است (Heidarian و همکاران، ۲۰۱۵). با توجه به وسعت زیاد کانون‌های تولید گرد و غبار در استان خوزستان به روش‌های نوین مطالعه خصوصیات خاک نیاز است. بنابراین، با استفاده از روش طیفسنجی و بررسی رفتار طیفی خاک‌ها، می‌توان ویژگی‌های خاک این مناطق را اندازه‌گیری کرده و مشکل تولید گرد و غبار را با توجه به خصوصیات خاک بررسی نمود.

اساس تئوری طیفسنجی، حساسیت ترکیبات آلی و معدنی خاک نسبت به بازتاب امواج مرئی و مادون قرمز نزدیک (VNIR^۱) است، امواج با بسامد مولکولی قوی در محدوده طول موج بین ۲۵۰۰ تا ۲۵۰۰۰ نانومتر (Janik و همکاران، ۱۹۹۸) پتانسیل خوبی در استفاده از روش طیفسنجی و پیش‌بینی ویژگی‌های خاک دارند (Soriano-Disla و همکاران، ۲۰۱۴). از مزایای روش طیفسنجی می‌توان به عدم تغییر نمونه خاک، مصرف نشدن مواد شیمیایی، اندازه‌گیری در زمان کم، پیش‌بینی تعداد زیادی از خصوصیات خاک با یک‌بار عکس‌برداری و قابلیت اجرا در آزمایشگاه (Rossel و همکاران، ۲۰۰۶) و مزرعه (Stenberg و همکاران، ۲۰۰۷) را اشاره کرد. با توجه به اثرات مشترک و تداخل عوارض جذبی خصوصیات خاک، تجزیه و تحلیل و تفسیر طیف‌های بازتابی سخت است. از طرف دیگر، غیر اختصاصی بودن عوارض جذبی و اثرات پراکنش طیفی برخی از اجزای خاک مانند کانی کوارتز، سبب پیچیدگی بیشتری می‌شود. تمام این عوامل، باعث ایجاد یک الگوی جذبی پیچیده می‌شود که باید با روش‌های آماری تجزیه و تحلیل شود و رابطه طیف را با ویژگی‌های خاک سنجید (Zheng و همکاران، ۲۰۰۳). بنابراین، تجزیه طیف بازتاب خاک نیاز به روش‌های آماری چند متغیره دارد (Liu و همکاران، ۲۰۱۴؛ Zhu و همکاران،

² Principal Component Regression

³ Partial Least-Squares Regression

⁴ Multivariate Adaptive Regression Splines

¹ Visible and Near Infrared

مواد و روش‌ها

این پژوهش، در اراضی مستعد تولید گرد و غبار استان خوزستان در منطقه‌ای با مختصات $31^{\circ} 10'$ شمالی و $41^{\circ} 48'$ شرقی انجام شد. برای نمونه‌برداری خاک، منطقه مطالعاتی به صورت شبکه‌بندی منظم در ابعاد دو کیلومتر تقسیم‌بندی شد. از تعدادی از شبکه‌ها که مستعد تولید گرد و غبار بودند، از عمق صفر تا پنج سانتی‌متر نمونه‌برداری انجام و تعداد ۱۴۲ نمونه خاک جمع‌آوری شد. در ادامه، مراحل هواخشک کردن نمونه‌ها، کوبیدن و عبور از الک دو میلی‌متری انجام شد. نقاط نمونه‌برداری در شکل ۱ نشان داده شده است.

تحلیل آزمایشگاهی: غلظت گچ با روش عصاره‌گیری با آب، کربنات کلسیم معادل با روش تیتراسیون (Sayegh و Bashour، ۲۰۰۷)، کربن آلی به روش والکلی و بلک^۲ (Nelson و Sommers، ۱۹۸۲) و نیتروژن کل با روش کجلدال^۳ (Miller و Keeney، ۱۹۸۲) اندازه‌گیری شد.

طیف‌سنجی: طیف‌سنجی به دو روش انجام می‌شود. الف) روش درجا که با استفاده از طیف‌سنج قابل حمل و ب) روش طیف‌سنج آزمایشگاهی که با برداشت نمونه و تعیین بازتاب نمونه خاک در آزمایشگاه انجام می‌شود. از معایب روش طیف‌سنجی درجا که به‌ویژه در مناطق مطالعاتی با وسعت زیاد بروز پیدا می‌کند، پیچیدگی روش و حساسیت طیف‌سنج به شرایط محیطی شامل رطوبت و شدت نور متغیر و همچنین، روش نمونه‌برداری اشاره کرد (Ji و همکاران، ۲۰۱۶). برای اجتناب از این عوامل خطا، در پژوهش حاضر نمونه‌های خاک هواخشک شده و سپس، طیف‌سنجی در آزمایشگاه و اتاق تاریک انجام شد و اثرات رطوبت و نور مزاحم در شکل منحنی بازتاب به کمترین مقدار ممکن کاهش یافت. در ابتدا، مقداری نمونه خاک خشک شده در پتری دیش^۴ با قطر ۱۰ سانتی‌متر و ضخامت یک سانتی‌متر قرار داده شد. اسکن نمونه‌ها در اتاق تاریک با دستگاه طیف‌بین Fieldspec انجام

PLSR دقت قابل قبولی را در برآورد درصد ذرات رس، شن و سیلت با ضریب تعیین به ترتیب ۰/۸۷، ۰/۸۰ و ۰/۶۰ نشان داد. Khayamim و همکاران (۲۰۱۵)، خصوصیات شیمیایی خاک‌های استان اصفهان را با طیف‌سنجی بررسی کردند و ویژگی‌های ماده آلی، کربنات کلسیم و گچ را با دقت مناسبی با ضریب تعیین (R^2) ۰/۶۱، ۰/۴۵ و ۰/۸۰ برآورد کردند. Nawar و همکاران (۲۰۱۶) از مدل‌های رگرسیونی PLSR، MARS و SVR برای برآورد خصوصیات خاک صحرای سینا در شمال مصر همراه با هفت روش پیش پردازش طیفی استفاده کردند و مشاهده کردند که مدل MARS با روش پیش پردازش حذف پیوسته^۱ (CR) دقت بالایی را در برآورد درصد رس و مواد آلی، با ضریب تعیین به ترتیب ۰/۸۵ و ۰/۹۰ به دست آوردند. Ji و همکاران (۲۰۱۶) از امواج مادون قرمز میانی (MIR) و طیف‌سنجی درجا، جهت برآورد خصوصیات خاک دو مزرعه آلی و معدنی در کانادا استفاده کردند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد، مدل PLSR دقت مناسبی در برآورد ظرفیت تبادل کاتیونی، کلسیم و منیزیم با ضریب تعیین بیشتر از ۰/۵۰ داشت.

با توجه به وسعت زیاد کانون‌های تولید گرد و غبار در استان خوزستان به روش‌های نوین مطالعه خصوصیات خاک نیاز است. در این راستا، استفاده از روش طیف‌سنجی و بررسی رفتار طیفی خاک‌ها به شناخت بیشتر ویژگی‌های خاک منطقه و حل مسئله گرد و غبار کمک می‌کند، لذا، هدف از این پژوهش، استفاده از روش طیف‌سنجی برای برآورد خصوصیات کربنات کلسیم معادل، گچ، کربن آلی و نیتروژن خاک مناطق مستعد تولید گرد و غبار واقع در جنوب و جنوب شرق استان خوزستان است. مقایسه عملکرد دو مدل رگرسیونی PLSR و PCR در سه دسته طیفی شامل بازتابی اصلی، پیش پردازش مشتق اول و مشتق دوم در برآورد خصوصیات خاک، هدف دیگر این پژوهش است.

² Walcky-Black

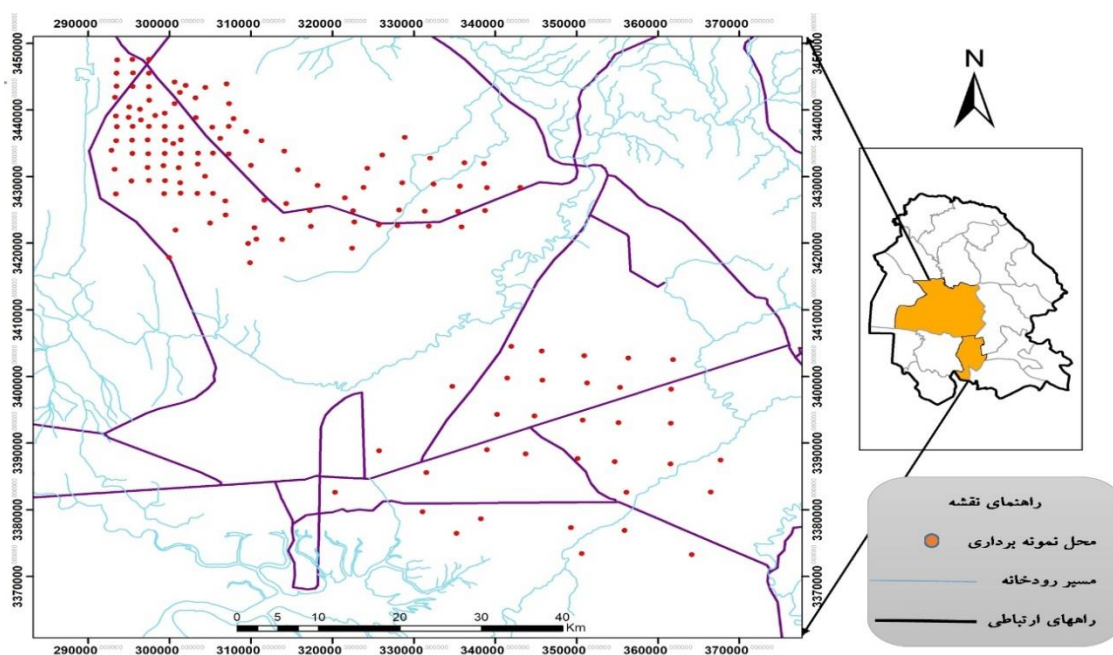
³ Kjeldahl

⁴ Petri dish

¹ Continuum removal

شد. بدین منظور، نمونه خاک در زیر لامپ تنگستن هالوزن قرار گرفت. نور با زاویه ۲۰ درجه نسبت به عمود و در فاصله ۲۰ سانتی متری به نمونه تابانده شده و بازتاب از طریق چشمی فایبراپتیک ثبت شد. پس از پنج بار اسکن متوالی، برای حذف اثر توزیع اندازه ذرات بر روی طیف و ایجاد اختلاف طیفی، پتری دیش ۹۰ درجه چرخانده و پس از پنج بار اسکن و از ۱۰ طیف میانگین‌گیری انجام شد و برای هر نمونه، به‌عنوان طیف اصلی ذخیره شد. با استفاده از نرم‌افزار Viewspect، داده‌های بازتاب طیفی به داده‌های با فرمت ACSII تبدیل و وارد نرم‌افزار The

Unscrambler X 10.2 شد. داده طیفی خروجی از The Unscrambler X 10.2 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. با توجه به میزان بالای اختلال در ابتدا و انتهای طیف‌ها، محدوده ۴۲۰-۳۵۰ و ۲۵۰۰-۲۴۷۰ از فرایند مدل‌سازی حذف شدند. در ادامه، با عمل پیش پردازش داده‌های طیفی اصلی، شامل نرم‌سازی با روش ساویتری گولای، روش‌های مشتق اول و مشتق دوم پیش پردازش شدند (Camo, ۱۹۹۸). مدل‌سازی با دو مدل رگرسیونی PCR و PLSR انجام شد.



شکل ۱- موقعیت کانون گرد و غبار و محل‌های نمونه‌برداری (نقاط قرمز رنگ)

مدل PCR ترکیب از تحلیل اجزای اصلی (PCA) و مدل رگرسیون خطی چندگانه (MLR) است. در مدل PCR متغیرهای اولیه به مولفه‌های جدید و مستقل (با ضرایب همبستگی صفر برای هر دو مولفه) تبدیل می‌شوند و سپس، از این مولفه‌ها به‌جای متغیرهای اولیه استفاده می‌شود. مولفه‌های جدید، ترکیبی خطی از متغیرهای اولیه (Liu و همکاران، ۲۰۰۳) هستند. مدل PLSR هر دو متغیر x و y را تجزیه کرده و اجزای جدیدی پیدا می‌کند که به آن‌ها

داده‌های کمی طیفی با استفاده از روش تحلیل مؤلفه اصلی (PCA^۱) خلاصه شد تا داده‌های با بیشترین واریانس مشخص شود (Curcio و همکاران، ۲۰۱۳). در نهایت، تعداد ۱۴۲ نمونه به‌منظور مدل‌سازی مورد استفاده قرار گرفت. برای برآورد خصوصیات خاک با روش طیف‌سنجی از مدل‌های خطی رگرسیون مولفه اصلی (PCR^۲) و رگرسیون کمینه مربعات جزئی (PLSR^۳) استفاده شد.

¹ Principal Component Analysis

² Principal Component Regression

³ Partial Least-Squares Regression

است. روش مشتق دوم، میزان تغییر در شیب منحنی در نمودار طیف است. این روش سبب تعدیل اثرات قله‌های مجاور و اصلاح نقاط بیشینه بازتاب در ویژگی‌های طیفی می‌شود (Camo, ۱۹۹۸).

اگر نمونه‌برداری از منطقه واحد انجام شده باشد و تعداد نمونه در گروه اعتبارسنجی نسبت به واسنجی بیشتر باشد، دقت مدل‌سازی کاهش می‌یابد. برای اجتناب از این خطا، ۱۰۶ نمونه (۷۰ درصد) برای واسنجی و ۳۶ نمونه (۳۰ درصد) نیز برای اعتبارسنجی مدل به صورت تصادفی انتخاب شد. مدل‌سازی با مدل‌های PCR و PLSR در سه طیف مجزا شامل: طیف اصلی، پیش‌پردازش مشتق اول و مشتق دوم انجام شد. در مرحله بعد عملکرد مدل‌های رگرسیونی با استفاده از شاخص‌های آماری ضریب تعیین (R^2)، ریشه میانگین مربعات خطا ($RMSE^3$) و نسبت پیش‌بینی به انحراف (PRD^4) مقایسه شد.

نتایج و بحث

پارامترهای آماری ویژگی‌های کربنات کلسیم، گچ، کربن آلی و نیتروژن کل در نمونه‌های خاک برداشت شده در جدول ۱ ارائه شده است. کربنات کلسیم دارای بیشترین میانگین و کمترین میانگین مربوط به نیتروژن است. گچ دارای بیشترین پراکندگی و نیتروژن کمترین پراکندگی را دارد. کربنات کلسیم چولگی و کشیدگی منفی دارد که نشان‌دهنده کشیدگی به سمت مقادیر کوچک‌تر و ارتفاع قله توزیع پایین‌تر از توزیع نرمال است. گچ، کربن آلی و نیتروژن دارای کشیدگی به سمت مقادیر بزرگ‌تر و ارتفاع قله این خصوصیات بالاتر از منحنی توزیع نرمال است.

جدول ۲، همبستگی بین خصوصیات خاک را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که همبستگی مثبت و منفی بین خصوصیات خاک وجود دارد. بین کربن آلی و نیتروژن همبستگی مثبت ۰/۸۱ و بین گچ با کربنات کلسیم نیز همبستگی منفی ۰/۵۷ مشاهده می‌شود که هر دو در سطح یک درصد معنی‌دار هستند. بین ماده آلی و گچ نیز همبستگی ۰/۲۳ در سطح معنی‌داری

متغیرهای پنهانی گفته می‌شود که هر دو ترکیبات متعامد^۱ و وزن‌دار شده^۲ از متغیرهای x هستند. این متغیرهای جدید برای برآورد متغیرهای y به کار می‌روند که در اینجا x بیانگر بازتاب خاک و y نیز یک ویژگی اندازه‌گیری شده از خاک است. این روش ثابت کرده است که توانایی نتیجه‌گیری دارد و می‌تواند رابطه خطی بالقوه بین ویژگی‌های خالص خاک و بازتاب طیف در محدوده VIS-NIR را شبیه‌سازی کند (Farifteh و همکاران، ۲۰۰۷؛ Nawar و همکاران، ۲۰۱۴). مدل PLSR دارای قابلیت مدل‌سازی چندین متغیر پاسخ همزمان مستقل و اختلال‌دار است (Wang و همکاران، ۲۰۱۴).

انجام فرایند پیش‌پردازش مرحله مهمی در مدل‌سازی با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره است و سبب بالا رفتن قدرت برآورد مدل می‌شود (Mashimbye و همکاران، ۲۰۱۲). روش‌های پیش‌پردازش برای حذف اثرات جانبی، اختلال، تغییرات طیف و پراکندگی نور جانبی تابیده شده و در نهایت استخراج اطلاعات خالص طیفی مورد استفاده قرار می‌گیرد. دو روش پیش‌پردازش مشتق اول و دوم به‌وسیله Ben-Dor و همکاران (۱۹۹۷) برای حذف اختلال و افزایش اطلاعات طیف‌ها مورد استفاده قرار گرفت. استفاده از روش Savitzky-Golay به منظور کاهش اختلال، صاف کردن و افزایش دقت برآورد ویژگی‌های خاک انجام می‌شود. این روش معادله چند جمله‌ای را به هر نقطه برازش می‌دهد تا اختلال داده‌ها را حذف و منحنی داده‌ها را به اصطلاح صاف کند. الگوریتم این روش شامل یک عامل صاف‌کننده است و تعداد نقاط مجاور هر نقطه را برای صاف کردن منحنی تعیین طیف می‌کند. روش پیش‌پردازش مشتق اول شیب منحنی در هر نقطه از نمودار طیف است. از مزیت‌های مشتق اول این است که تحت تاثیر شیب و انحراف خطی احتمالی داده‌ها قرار نمی‌گیرد و یک روش بسیار موثر برای از بین بردن اثرات انحراف پایه و شیب یک طرفه، کاهش تغییرات بین نمونه‌ها و افزایش دقت مدل آماری در برآورد خصوصیات خاک

³ Root Mean Square Error of prediction

⁴ Ratio of Prediction to Deviation

¹ Orthogonal

² Weighted

سه درصد وجود دارد و سایر خصوصیات خاک همبستگی معنی داری را از خود نشان ندادند. بیشترین همبستگی بین نیتروژن با ماده آلی ۰/۸۱ و کمترین

مربوط به نیتروژن با کربنات کلسیم معادل ۰/۰۶ است.

جدول ۱- پارامترهای آماری خصوصیات اندازه گیری شده خاک

نیتروژن کل (درصد)	کربن آلی (درصد)	گچ (MEQ/100)	کربنات کلسیم معادل (درصد)	
۰/۰۷۴	۱/۲۲	۳۹	۴۱	بیشینه
۰/۰۰۸۷	۰/۵۴	۳/۲۶	۲۵/۲	میانه
۰/۰۰۱۹	۰/۰۵۸	۰/۲۷	۷	کمینه
۰/۰۰۱۷	۰/۵۴	۷/۷۱	۲۴/۷۷	میانگین
۰/۰۱۹	۰/۲۱	۹/۷۸	۷/۳	انحراف معیار
۱/۰۸۳	۰/۳۸	۱/۲۶	۰/۲۹	ضریب تغییرات
۱/۲۶۱	۰/۱۵	۱/۷۵	-۰/۱۹۹	چولگی
۰/۷۵۸	۰/۲۳	۱/۸۳	-۰/۲۹۹	کشدگی

جدول ۲- نتایج ضریب همبستگی پیرسون بین خصوصیات ۱۴۲ نمونه خاک

گچ (MG/100GR)	کربنات کلسیم معادل (درصد)	کربن آلی (درصد)	نیتروژن کل (درصد)	ویژگی خاک
۱				گچ
-۰/۵۷**	۱			کربنات کلسیم معادل (درصد)
۰/۲۳*	-۰/۱۷	۱		کربن آلی
-۰/۱۳	-۰/۰۶	۰/۸۱**	۱	نیتروژن کل

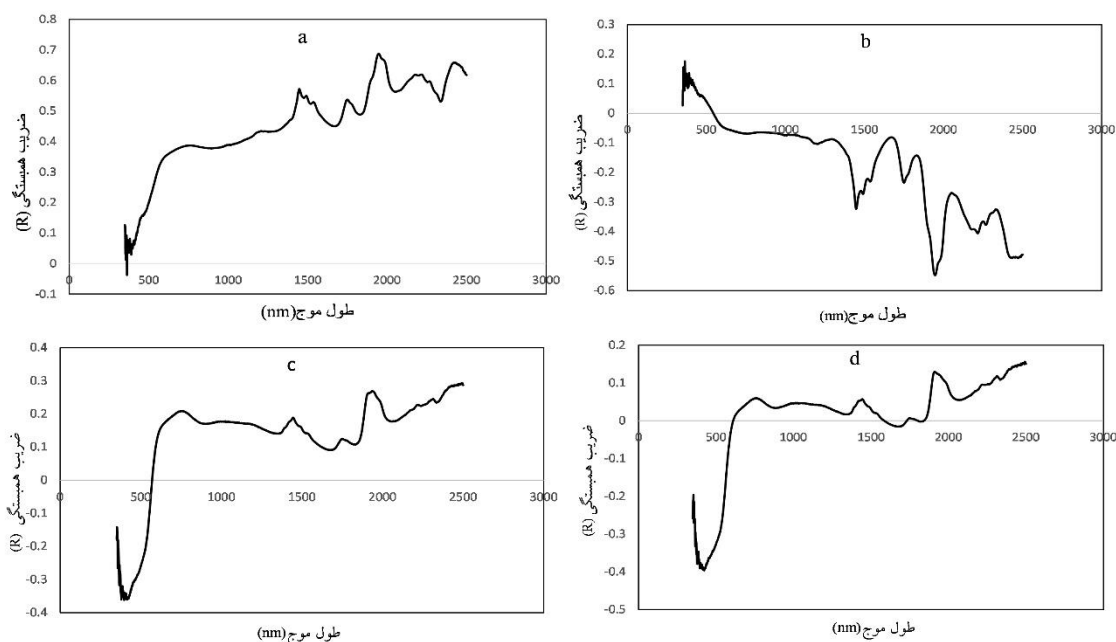
تیبین بیشتر از ۰/۵ برای کربنات کلسیم و گچ به دست آوردند.

با توجه به شکل ۲، همبستگی گچ با طیف خاک در طول موج حدود ۵۵۰ نانومتر به صفر می رسد، سپس، در جهت منفی افزایش همبستگی مشاهده می شود. در طول موج ۲۰۰۰ نانومتر به بیشترین مقدار همبستگی ($r = -0.6$) مشاهده می شود. کربن آلی و نیتروژن رفتاری مشابه را نشان دادند، با افزایش طول موج همبستگی آن ها با طیف خاک کاهش یافت. به نحوی که در طول موج حدود ۶۰۰ نانومتر همبستگی به صفر رسید و سپس، افزایش همبستگی را نشان دادند. در مورد کربن آلی افزایش همبستگی با افزایش طول موج مشاهده شد، اما نیتروژن در طول موج حدود ۱۹۰۰ نانومتر دوباره به همبستگی صفر رسید. نتایج پژوهش های قبلی نشان داده است که عناصر محلول مانند نیتروژن، کلسیم و منیزیم دارای محدوده بارز طیفی در بازتاب خاک نیستند و خصوصیات ثانویه

همبستگی بین خصوصیات خاک با بازتاب خاک در شکل ۲ ارائه شده است. در این شکل، مشاهده می شود که کربنات کلسیم دارای همبستگی مثبت و خصوصیات گچ، کربن آلی و نیتروژن هر دو نوع همبستگی مثبت و منفی را با طیف خاک نشان می دهند. کربنات کلسیم و گچ بیشترین همبستگی را با طیف خاک با ضریب همبستگی به ترتیب ۰/۷ و ۰/۶- نشان دادند. نیتروژن و کربن آلی نیز همبستگی کمتری در حدود منفی ۰/۴ را با بازتاب خاک از خود نشان دادند. در پژوهش حاضر، با افزایش طول موج، همبستگی کربنات کلسیم با طیف افزایش می یابد و کمترین همبستگی در طول موج حدود ۴۰۰ نانومتر و بیشترین همبستگی در طول موج حدود ۲۰۰۰ تا ۱۵۰۰ نانومتر مشاهده شد. نتایج پژوهش حاضر، با پژوهش های Ben-Dor و Banin (۱۹۹۵)، Bilgili و همکاران (۲۰۱۰) و Hassani و همکاران (۲۰۱۴) تطابق دارد، این پژوهشگران برآورد خوبی با ضریب

آلی کاهش و با افزایش کربنات کلسیم افزایش می‌یابد. در خاک‌هایی که میزان ماده آلی بیشتر از دو باشد، نقش پوششی را خواهد داشت و سبب ایجاد خطا در برآورد سایر ویژگی‌های خاک می‌شود (Stoner و Baumgardner, ۱۹۸۱).

خاک نامیده می‌شوند. این ویژگی‌ها در بازتاب خاک با دو روش برآورد مستقیم از طریق ارتعاش گروه‌های عاملی C-H، O-H و N-H و روش دیگر استفاده از همبستگی قوی این خصوصیات با خصوصیات اولیه مانند ماده آلی خاک قابل برآورد است (Bilgili و همکاران، ۲۰۱۰). میزان بازتاب خاک با افزایش مواد

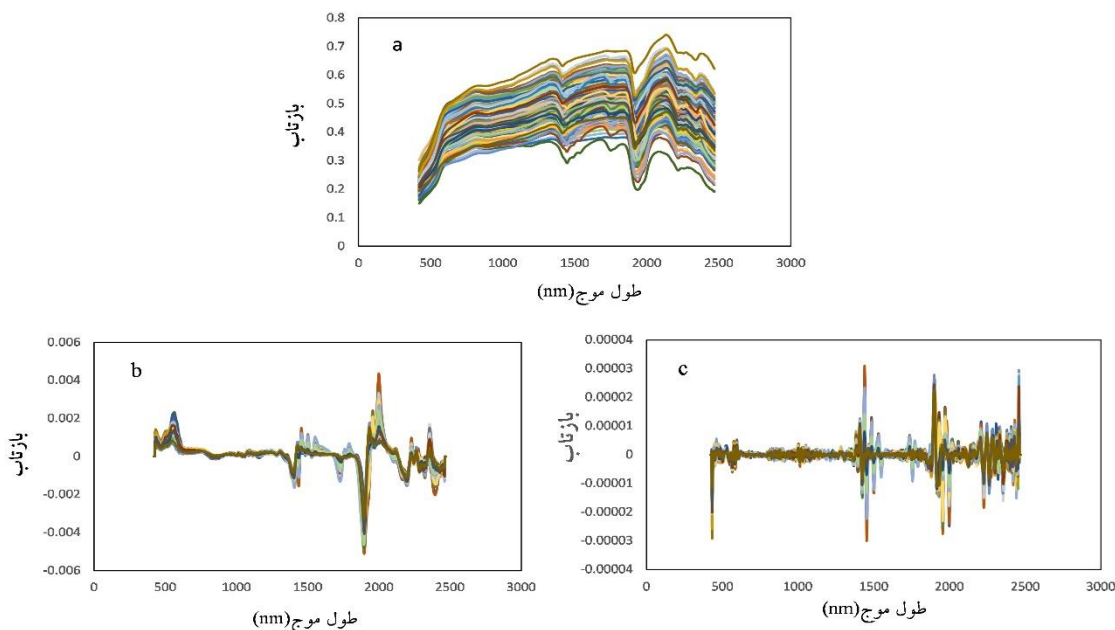


شکل ۲- همبستگی بین خصوصیات خاک با بازتاب در طول موج‌های مختلف: کربنات کلسیم معادل (a)، گچ (b)، کربن آلی (c) و نیتروژن (d)

روش‌های حذف پیوسته، مشتق اول و مشتق دوم در ۱۹۰۰ نانومتر مشاهده کردند. این پژوهشگران، برای درصد رس خاک نیز همبستگی قوی را با طیف اصلی در محدوده ۶۰۰ نانومتر مشاهده کردند. Nocita و همکاران (۲۰۱۴)، طی پژوهشی نشان دادند که در طول موج‌های محدوده ۶۸۰-۵۵۰ نانومتر در طیف اصلی به محتوای مواد آلی خاک حساس است. این پژوهشگران گزارش کردند که طول موج ۶۰۰ نانومتر با کربن آلی خاک همبستگی دارد. نیتروژن محلول خاک از نوع ویژگی‌های بدون نشانه بارز طیفی در محدوده امواج الکترومغناطیسی است و با ماده آلی خاک همبستگی بالایی دارد. در پژوهش حاضر نیز نیتروژن محلول خاک همبستگی قوی با ماده آلی داشت و بروز این ویژگی به‌شدت تحت تاثیر ماده آلی خاک قرار گرفت.

ویژگی‌های طیفی خاک: در شکل ۳، بازتاب تعدادی از نمونه‌های خاک در سه دسته طیفی شامل طیف اصلی، مشتق اول و مشتق دوم ارائه شده است. ویژگی جذب قابل توجهی در محدوده طول موج ۱۴۰۰، ۱۹۰۰، ۲۲۰۰ و ۲۴۰۰ نانومتر مشاهده شد. این ویژگی‌ها در اثر ارتعاش گروه هیدروکسیل آب آزاد در طول موج ۱۴۰۰ و ۱۹۰۰ نانومتر است. این طول موج‌ها با ویژگی‌های شن و رس خاک به‌ترتیب در طول موج ۱۴۰۰ و ۲۲۰۰ نانومتر (Souza و Vicente و Filho, ۲۰۱۳) ارتباط دارد.

طی پژوهشی، Nawar و همکاران (۲۰۱۶) همبستگی مثبت و منفی بین ویژگی‌های خاک با طیف را در طول موج‌های مختلف نشان دادند. بالاترین همبستگی برای ماده آلی با طیف اصلی در طول موج ۶۰۰ نانومتر و برای طیف‌های پیش‌پردازش شده با



شکل ۳- بازتاب تعدادی از نمونه‌های خاک در سه حالت طیف اصلی (a)، مشتق اول (b) و مشتق دوم (c)

مقدار R^2 کاهش و RMSE روند افزایشی را نشان می‌دهد.

نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که هر دو مدل PCR و PLSR خصوصیات خاک را با دقت مناسبی برآورد کردند، بیشترین دقت مربوط به کربن آلی با ضریب تعیین $0/81$ و ریشه میانگین مربعات خطای $0/068$ و کمترین دقت مربوط به نیتروژن محلول با ضریب تعیین $0/69$ و ریشه میانگین مربعات خطای $0/01$ است. در مورد گچ و کربنات کلسیم معادل نیز مقدار ضریب تعیین به ترتیب $0/81$ و $0/78$ است، در هر چهار خصوصیت خاک که با استفاده از طیف اصلی برآورد شده‌اند، مدل‌های PCR و PLSR برآورد مناسبی را از خود نشان دادند و تفاوت چندانی باهم نداشتند، با این وجود مدل PLSR دقت نسبی بیشتری را نشان داد و در این روش نیز دقت گروه واسنجی از اعتبارسنجی بیشتر بود.

جدول ۴، نتایج پیش پردازش مشتق اول طیف نرم شده را نشان می‌دهد که با طیف اصلی تفاوت‌هایی را نشان داد. مدل PCR برای گچ برآورد خوبی داشت (PRD=1/74 و $R^2=0/76$) را نشان داد، اما در سه خصوصیت کربنات کلسیم معادل، کربن آلی و نیتروژن برآورد ناموفقی داشت (PRD<1/4 و $R^2<0/5$). مدل PLSR برآورد خوبی را برای گچ با ضریب تعیین

برآورد خصوصیات خاک با استفاده از مدل‌های

رگرسیون: جدول‌های ۳، ۴ و ۵ نتایج برآورد خصوصیات خاک با استفاده از مدل‌های رگرسیونی PCR و PLSR و سه روش پیش پردازش طیف اصلی و مشتق اول و مشتق دوم نرم شده با روش ساویتزی گولای را نشان می‌دهد. نتایج مدل‌سازی با پارامترهای آماری R^2 ، RMSE و RPD ارزیابی شده است. شکل‌های ۴، ۵، ۶ و ۷ مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده خصوصیات خاک با استفاده از مدل PLSR را نشان می‌دهد. مقادیر ضرایب تعیین (R^2) در هر دو مدل نشان می‌دهد که گروه واسنجی از مدل اعتبارسنجی ضریب تعیین بیشتر و ریشه میانگین مربعات خطای کمتری دارد. در شکل ۶، مشاهده می‌شود که با افزایش تغییرات غلظت نمونه و انحراف از معیار که در مورد گچ ($9/78$) و کربنات کلسیم ($7/3$) مشاهده شد، خطای پیش‌بینی نیز در مقایسه با تجزیه و تحلیل شیمیایی افزایش می‌یابد. با این وجود، محدوده کم غلظت نمونه که برای نیتروژن وجود داشت، سبب کاهش دقت برآورد مدل رگرسیونی شد. عملکرد مدل به مقدار زیادی به تغییرات مجموعه داده‌ها، از جمله انواع خاک‌ها بستگی دارد (Wang و همکاران، ۲۰۱۰) با افزایش انحراف از معیار داده‌ها،

برآورد قابل قبول ($PRD=1/89$) را نشان داد. نتایج پژوهش حاضر با Islam و همکاران (۲۰۰۳) تطابق داشت. این پژوهشگران عملکرد خوبی را برای خصوصیات خاک شامل واکنش خاک (pH) ($PRD=1/8$)، درصد رس ($PRD=1/9$)، درصد شن، ($PRD=1/5$)، CEC ($PRD=1/6$) و کلسیم و منیزیم تبدالی ($PRD=1/7$) به دست آوردند (Islam و همکاران، ۲۰۰۳). Hasani و همکاران (۲۰۱۴) نیز نتایج مشابه این پژوهش را به دست آوردند و برای کربنات کلسیم ($PRD=2/86$) و گچ ($PRD=2/65$) عملکرد عالی و برای ماده آلی عملکرد قابل قبولی ($PRD=1/64$) را مشاهده کردند.

نتایج نشان داد که روش پیش پردازش مشتق اول در مدل PLSR دقت کمتری را نسبت به طیف اصلی و مشتق دوم نشان داده است. این نتیجه، در پژوهش Barral و همکاران (۱۹۹۸) نیز اشاره شده است، در حالی که در مدل PCR این روش دقت بیشتری را نسبت به طیف اصلی نشان داد. در مشتق دوم دقت برآورد مدل‌ها نسبت به طیف اصلی و روش مشتق اول افزایش نشان داد و در مدل PLSR برای کربنات کلسیم و کربن آلی ضرایب تعیین به ترتیب ۰/۹۵ و ۰/۹۲ و RPD به ترتیب ۴/۲۵ و ۳/۳۸ مشاهده شد. در این مطالعه، اثر نوع مدل رگرسیونی نسبت به روش پیش پردازش نمود بیشتری در برآورد ویژگی‌های خاک نشان داد. مدل PLSR نسبت به مدل PCR دقت بیشتری نشان داد و تغییرات آن قابل توجه بود، در حالی که روش‌های پیش‌پردازش تفاوت معناداری را در هر مدل رگرسیونی نشان ندادند و نتایج برآورد مدل PLSR در کربنات کلسیم معادل، کربن آلی و نیتروژن مشاهده شد که مشتق اول و مشتق دوم دقت بیشتری نسبت به طیف اصلی نشان دادند. در روش مشتق اول، گچ بیشترین دقت برآورد را نشان داد. می‌توان نتیجه گرفت که با مشتق گرفتن از طیف اصلی دقت برآورد تا حدودی افزایش یافت. نتایج Nawar و همکاران (۲۰۱۶) و Khayamim و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد که مشتق‌گیری سبب کاهش دقت مدل در برآورد ماده آلی شده است، ولی در این مطالعه، افزایش دقت برآورد ماده آلی با روش مشتق دوم مشاهده شد. دلیل تفاوت نتایج را می‌توان به

(۰/۸۶) کربنات کلسیم معادل و کربن آلی (۰/۸۲) و نیتروژن (۰/۷۶) نشان داد. در پیش پردازش مشتق اول هم دقت گروه واسنجی از اعتبارسنجی بیشتر بود. نتایج مشتق دوم طیف در جدول ۵ نشان می‌دهد که دقت هر دو مدل PCR و PLSR در گروه اعتبارسنجی نسبت به واسنجی تغییر کرده و کمتر شده است. همانند روش پیش پردازش مشتق اول در مشتق دوم هم مدل PCR فقط در مورد گچ دقت مناسبی ($R^2=0/76$) را نشان داده است و در برآورد سه خصوصیت دیگر ناموفق بود. مدل PLSR برآورد با دقت خوبی برای کربنات کلسیم با $R^2=0/95$ ، کربن آلی $R^2=0/92$ ، نیتروژن $R^2=0/81$ و گچ $R^2=0/78$ را نشان داد. نتایج پژوهش حاضر با پژوهش Ben-Dor و Banin (۱۹۹۵) تطابق داشت که برای کربنات کلسیم، ماده آلی و مقدار رس برآورد با دقت خوبی با ضریب تعیین به ترتیب ۰/۶۹، ۰/۵۵ و ۰/۸۶ و خطای استاندارد به ترتیب ۱۱/۶، ۱/۳۴ و ۱۰/۳ به دست آوردند (Banin و Ben-Dor، ۱۹۹۵).

دقت برآورد مدل با آماره RPD نیز قابل ارزیابی است. در این آماره مقادیر بیشتر از دو نشان‌دهنده نتایج عالی، مقادیر ۲-۱/۴ برآورد قابل قبول و RPD کوچک‌تر از ۱/۴ به‌عنوان نتیجه‌گیری ضعیف بیان شده است. دقت گروه قابل قبول (مقادیر ۲-۱/۴) با به‌کارگیری روش‌های مختلف واسنجی افزایش می‌یابد اما اگر RPD کوچک‌تر از ۱/۴ باشد، مدل پیش‌بینی قابل قبولی را نشان نداده است (Chang و همکاران، ۲۰۰۱). در طیف اصلی، نتایج آماره RPD در هر دو مدل PCR و PLSR برای کربن آلی، ($PRD=2/35$) و ($PRD=2/83$) و در مورد گچ، مدل PLSR برآورد عالی ($PRD=2/05$) و مدل PCR برآورد قابل قبولی ($PRD=1/87$) نشان داد. در مورد خصوصیات کربنات کلسیم معادل و نیتروژن در گروه واسنجی هر دو مدل دقت قابل قبولی را نشان دادند. نتایج پیش‌پردازش مشتق اول در مدل PLSR برای گچ ($PRD=2/45$) و برای کربنات کلسیم و ماده آلی ($PRD=2/15$) و عملکرد را نشان داد و برای نیتروژن دقت قابل قبول کلسیم معادل، کربن آلی و نیتروژن با عملکرد عالی با RPD به ترتیب ۴/۲۵، ۳/۳۸ و ۲/۱ و برای گچ دقت

تغییرات محدوده غلظت عناصر و تفاوت خاک‌های منطقه مطالعاتی مرتبط دانست که سبب افزایش اختلال در طیف خاک‌ها شده است. این تفاوت‌ها سبب شده که در پژوهش حاضر، مشتق دوم اختلال را کاهش و سبب افزایش دقت برآورد مدل‌های رگرسیونی شود.

جدول ۳- نتایج ارزیابی مدل‌سازی داده‌های طیف اصلی در دو حالت واسنجی و اعتبارسنجی

اعتبارسنجی			واسنجی			عامل بهینه	مدل	ویژگی خاک
PRD	RMSE	R ²	PRD	RMSE	R ²			
۱/۳۷	۴/۱۹	۰/۵۵	۱/۴۹	۴/۲۷	۰/۶۹	۶	PCR	TNV
۱/۵۷	۳/۸۹	۰/۶۱	۱/۸۹	۳/۵۸	۰/۷۸	۶	PLS	
۱/۳۰	۵/۹۹	۰/۵۴	۱/۸۷	۴/۷۵	۰/۷۸	۴	PCR	گچ
۱/۳۹	۵/۸۶	۰/۵۶	۲/۰۵	۴/۴۲	۰/۸۱	۴	PLS	
۲/۱۷	۰/۰۸۸	۰/۸۳	۲/۳۵	۰/۰۸	۰/۸۴	۶	PCR	کربن آلی
۲/۰۷	۰/۰۸۶	۰/۸۴	۲/۸۳	۰/۰۶۸	۰/۸۹	۷	PLS	
۰/۸۸	۰/۰۱۷	۰/۴	۱/۵۱	۰/۰۱	۰/۶۹	۴	PCR	نیتروژن
۰/۸۷	۰/۰۱۷	۰/۳۶	۱/۷۰	۰/۰۰۹	۰/۷۱	۴	PLS	

جدول ۴- نتایج ارزیابی مدل‌سازی داده‌های مشتق اول در دو حالت واسنجی و اعتبارسنجی

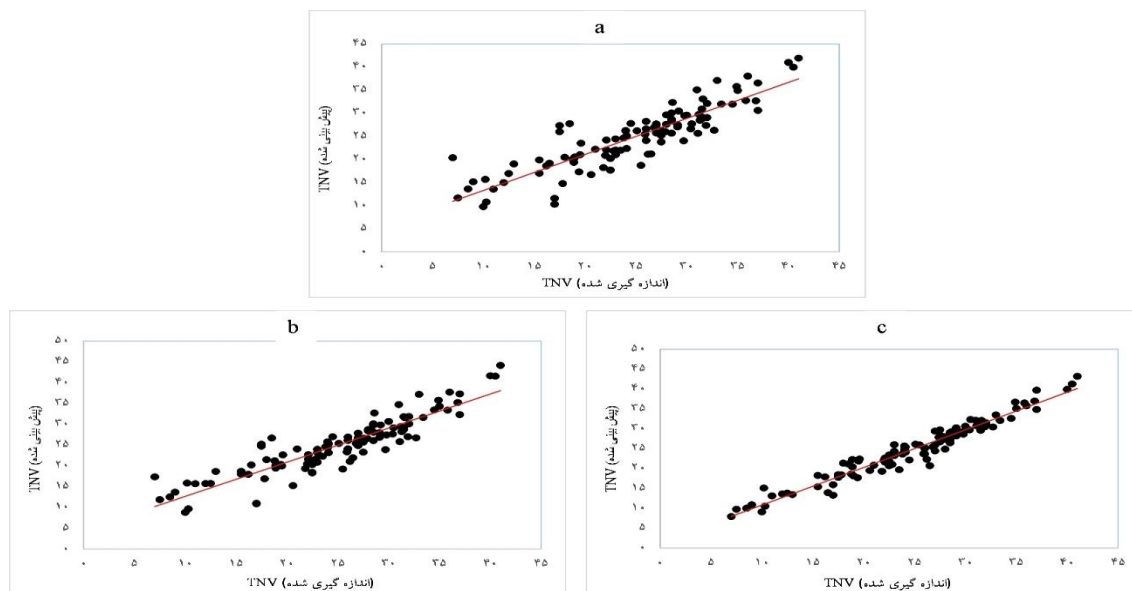
اعتبارسنجی			واسنجی			عامل بهینه	مدل	ویژگی خاک
PRD	RMSE	R ²	PRD	RMSE	R ²			
۰/۶۵	۵/۵۵	۰/۲۱	۰/۷۷	۶/۰۷	۰/۳۶	۱	PCR	TNV
۱/۶۴	۴/۰۳۹	۰/۵۸	۲/۱۵	۰/۲۴	۰/۸۲	۴	PLS	
۱/۰۷	۶/۱۲	۰/۵۲	۱/۷۷	۴/۹۵	۰/۷۶	۲	PCR	گچ
۱/۵۰	۵/۴۶	۰/۶۱	۲/۴۵	۳/۸۱	۰/۸۶	۲	PLS	
۰/۶۹	۰/۱۶۵	۰/۴۱	۰/۶۱	۰/۱۷	۰/۲۷	۲	PCR	کربن آلی
۱/۷۷	۰/۰۹۷	۰/۸	۲/۱۵	۰/۰۸۶	۰/۸۲	۳	PLS	
۰/۵۱	۰/۰۲	۰/۱۲	۰/۷۵	۰/۰۱۴	۰/۳۳	۲	PCR	نیتروژن
۰/۹۷	۰/۰۱۶	۰/۴۴	۱/۷۶	۰/۰۰۹	۰/۷۶	۲	PLS	

جدول ۵- نتایج ارزیابی مدل‌سازی داده‌های مشتق دوم در دو حالت واسنجی و اعتبارسنجی

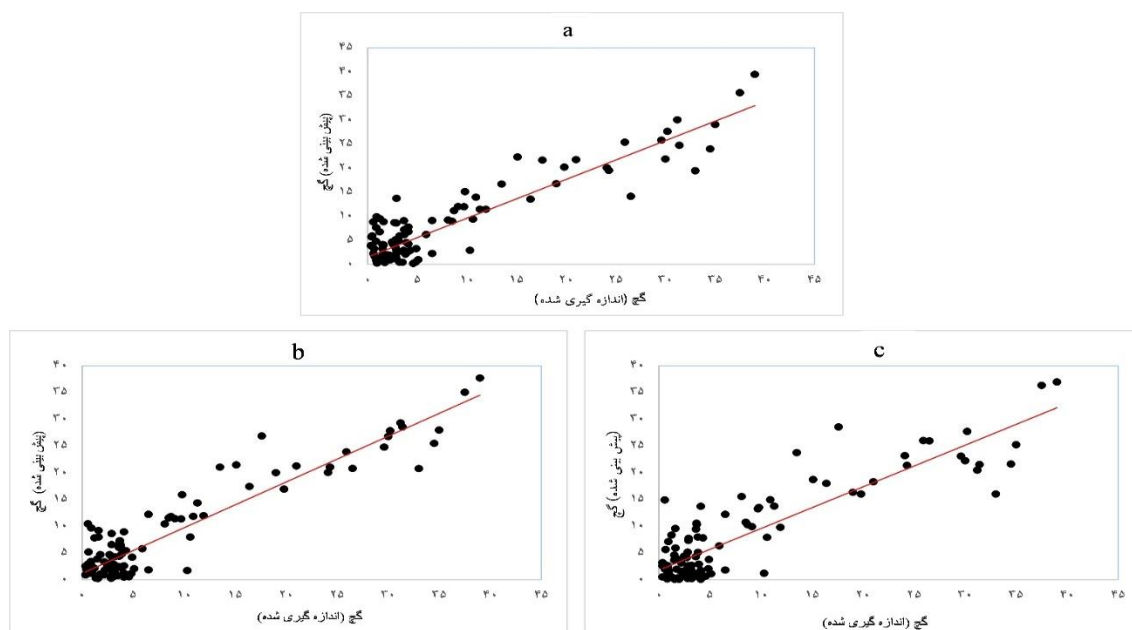
اعتبارسنجی			واسنجی			عامل بهینه	مدل	ویژگی خاک
PRD	RMSE	R ²	PRD	RMSE	R ²			
۰/۶	۵/۷۲	۰/۱۶	۰/۷۵	۶/۱۲	۰/۳۶	۱	PCR	TNV
۱/۵۷	۴/۴۷	۰/۴۹	۴/۳۵	۱/۷۶	۰/۹۵	۷	PLS	
۱/۱۲	۵/۸۵	۰/۵۶	۲/۰۹	۴/۱۹	۰/۷۶	۳	PCR	گچ
۱/۱۷	۵/۸۰	۰/۵۶	۱/۸۹	۴/۷۱	۰/۷۸	۳	PLS	
۰/۳۳	۰/۲۱	۰/۰۹	۰/۴۲	۰/۱۹	۰/۱۴	۲	PCR	کربن آلی
۱/۲۷	۰/۱۳۵	۰/۶۱	۳/۳۸	۰/۰۵۸	۰/۹۲	۸	PLS	
۰/۴۴	۰/۰۲۱	۰/۰۸	۰/۶	۰/۰۱۵	۰/۲۴	۱	PCR	نیتروژن
۰/۸۷	۰/۰۱۶۵	۰/۴۴	۱/۵	۰/۰۰۸	۰/۸۱	۵	PLS	

ویژگی‌های خاک با عوامل بهینه در طیف اصلی در
جداول ۶، ۷ و ۸ ارائه شده است.

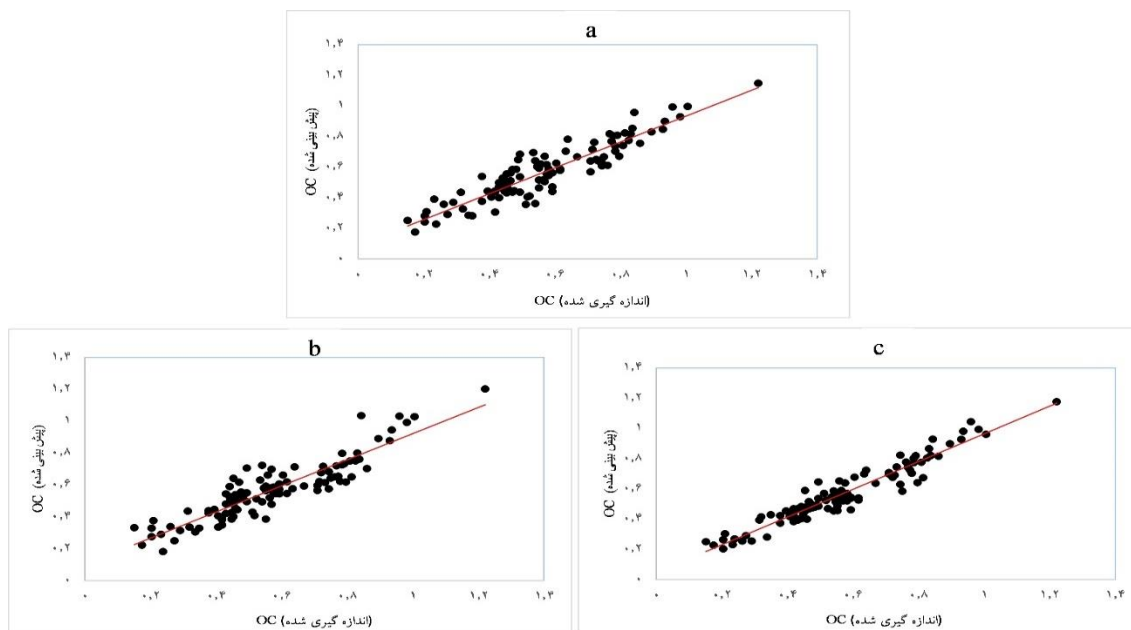
شکل‌های ۴، ۵، ۶ و ۷ مقادیر اندازه‌گیری شده و
برآورد شده خصوصیات خاک با استفاده از مدل
PLSR را نشان می‌دهد. رابطه رگرسیونی بین



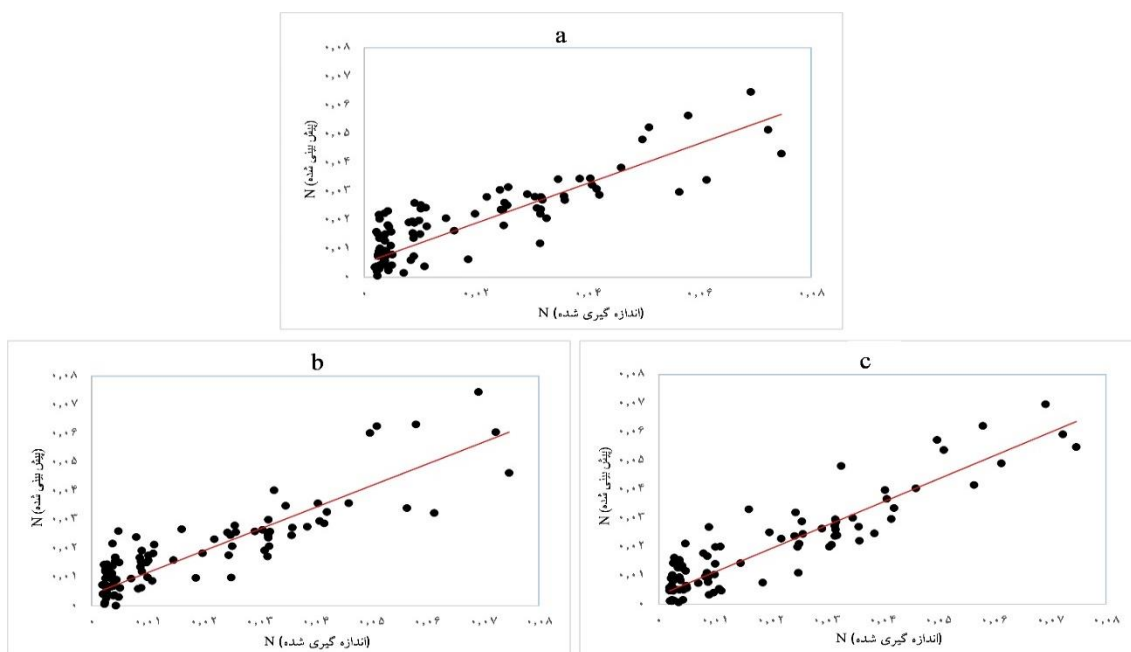
شکل ۴- مقایسه بین مقدار کربنات کلسیم معادل اندازه‌گیری شده و برآورد شده با مدل PLSR در سه روش طیف اصلی (a)، مشتق اول (b) و مشتق دوم (c)



شکل ۵- مقایسه بین مقدار گچ اندازه‌گیری شده و برآورد شده با مدل PLSR در سه روش طیف اصلی (a)، مشتق اول (b) و مشتق دوم (c)



شکل ۶- مقایسه بین مقدار کربن آلی اندازه‌گیری شده و برآورد شده با مدل PLSR در سه روش طیف اصلی (a)، مشتق اول (b) و مشتق دوم (c)



شکل ۷- مقایسه بین مقدار نیتروژن محلول اندازه‌گیری شده و برآورد شده با مدل PLSR در سه روش طیف اصلی (a)، مشتق اول (b) و مشتق دوم (c)

خصوصیات خاک را نشان می‌دهد، مدلی که بیشترین دقت را دارد، بیشترین عامل معنادار را نیز نشان داده است. کرنات کلسیم معادل و کربن آلی بیشترین عامل و بیشترین دقت برآورد را نشان دادند. در طیف اصلی و مدل PLSR کربن آلی هفت عامل) و کرنات کلسیم معادل (شش عامل)، در مشتق اول به ترتیب چهار و سه عامل بهینه و در مشتق دوم نیز به ترتیب

در جداول ۶، ۷ و ۸ روابط رگرسیونی بین ویژگی‌های خاک و عامل بهینه دو مدل PCR و PLSR، در حالت روش‌های طیف اصلی، پیش پردازش مشتق اول و مشتق دوم ارائه شده است. عوامل اولیه حاوی اطلاعات اصلی هستند، در حالی که عوامل بعد اختلال‌ها را هم شامل می‌شود (Camo, ۱۹۹۸). با توجه به جداول ۳، ۴ و ۵ که ارزیابی آماری

هفت و هشت عامل بهینه را نشان دادند که بیشترین مشتق دوم (هشت عامل) و کمترین دقت در نیتروژن دقت و عامل بهینه در کربن آلی و مدل PLSR و کربن آلی با یک و دو عامل بهینه است.

جدول ۶- رابطه رگرسیونی بین ویژگی‌های خاک با عوامل بهینه در طیف اصلی

رابطه رگرسیونی	مدل رگرسیونی	ویژگی خاک
$Y = 24.83 + 1.4X_1 - 7.32X_2 - 4.92X_3 + 6.05X_4 - 17.71X_5 + 10.95X_6$	PCR	TNV
$Y = 24.84 + 1.54X_1 + 7.13X_2 + 8.43X_3 + 10.29X_4 + 9.06X_5 + 46.55X_6$	PLSR	
$Y = 8.074 - 0.93X_1 + 13.9X_2 - 4.02X_3 - 10X_4$	PCR	گچ
$Y = 8.07 + 1.66X_1 + 11.05X_2 + 10.52X_3 + 8.70X_4$	PLSR	
$Y = 0.56 + 0.0023X_1 - 0.14X_2 - 0.053X_3 - 0.71X_4 - 0.87X_5 - 0.48X_6$	PCR	کربن آلی
$Y = 0.0163 + 0.0009X_1 - 0.011X_2 + 0.002X_3 - 0.06X_4 - 0.05X_5 - 0.05X_6 - 0.03X_7$	PLSR	
$Y = 0.5 + 0.07X_1 - 0.06X_2 + 0.6X_3 + 42X_4$	PCR	نیتروژن کل
$Y = 0.016 + 0.0015X_1 + 0.0173X_2 + 0.045X_3 + 0.04X_4$	PLSR	

جدول ۷- رابطه رگرسیونی بین ویژگی‌های خاک با عامل بهینه در پیش‌پردازش مشتق اول

رابطه رگرسیونی	مدل رگرسیونی	ویژگی خاک
$Y = 24.83 + 603.99X_1$	PCR	TNV
$Y = 0.564 + 8.55X_1 - 27.80X_2 + 11.5X_3 + 9.2X_4$	PLSR	
$Y = 8.07 - 1129.75X_1 + -230.14X_2$	PCR	گچ
$Y = 10.8 + 12.4X_1 - 2.39X_2$	PLSR	
$Y = 0.564 + 8.55X_1 - 27.80X_2$	PCR	کربن آلی
$Y = 0.569 + 15.19X_1 + 42.56X_2 + 49.62X_3$	PLSR	
$Y = 0.016 + 0.75X_1 + 2.95X_2$	PCR	نیتروژن کل
$Y = 0.016 + 1.54X_1 + 2.74X_2$	PLSR	

جدول ۸- رابطه رگرسیونی بین ویژگی‌های خاک با عامل بهینه در پیش‌پردازش مشتق دوم

رابطه رگرسیونی	مدل رگرسیونی	ویژگی خاک
$Y = X$	PCR	TNV
$Y = 24.83 + 9960X_1 + 255833.9X_2 + 235645.8X_3 + 140294.6X_4 + 107400.4X_5 + 83337.01X_6 + 106412X_7$	PLSR	
$Y = 0.0163 - 8.23X_1 - 24.012X_2 + 23.53X_3$	PCR	گچ
$Y = 0.0163 - 7.88X_1 - 40.092X_2 + 20.53X_3$	PLSR	
$Y = 0.57 + 1034.47X_1 - 3129.50X_2$	PCR	کربن آلی
$Y = 0.564 + 1743.98X_1 + 7508.8X_2 + 5748.12X_3 + 7607.87X_4 + 6044.17X_5 + 2534.26X_6 + 5322.6X_7 + 3715.64X_8$	PLSR	
$Y = 8.073 + 166879X_1$	PCR	نیتروژن کل
$Y = 0.016 + 24.84X_1 + 42.70X_2 + 82.19X_3 + 44.15X_4 + 62.40X_5$	PLSR	

نتیجه گیری

ویژگی‌های خاک تغییرات بیشتری را نشان داد. به طوری که مدل PLSR نسبت به مدل PCR دقت بیشتری داشت، در حالی که عملکرد روش‌های پیش پردازش در هر مدل تفاوت زیادی را نشان نداد. عملکرد مدل در برآورد ویژگی‌های خاک به مقدار زیادی به گستردگی مجموعه داده‌ها و تنوع خاک‌ها بستگی دارد و در صورت وجود تنوع در نمونه‌های خاک و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن‌ها اثر قابل ملاحظه‌ای در طیف خاک و نتایج برآورد مدل مشاهده می‌شود. با توجه به تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های خاک و از طرفی هزینه زیاد و زمان‌بر بودن اندازه‌گیری در سطح وسیع، روش طیف‌سنجی ابزاری مفید برای جایگزینی یا تکمیل‌کننده روش‌های سنتی تجزیه و تحلیل آزمایشگاهی خاک و کاهش تعداد نمونه‌ها، برای ارزیابی وضعیت اراضی خواهد بود.

در این پژوهش، عملکرد مدل‌های PCR و PLSR در سه دسته طیف اصلی، پیش پردازش مشتق اول و مشتق دوم در برآورد خصوصیات گچ، کربنات کلسیم معادل، ماده آلی و نیتروژن خاک در مناطق مستعد تولید گرد و غبار استان خوزستان مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که مدل PLSR در هر سه دسته طیف اصلی و پیش پردازش مشتق اول و دوم برآورد موفقیت آمیزی از خصوصیات خاک را نسبت به مدل PCR نشان داد. مدل PCR فقط در طیف اصلی توانایی برآورد خصوصیات خاک را داشت. روش پیش پردازش مشتق دوم دقت نسبی بیشتری را نسبت به طیف اصلی و پیش پردازش مشتق اول در برآورد ویژگی‌های خاک نشان داد. در این مطالعه، نوع مدل رگرسیونی نسبت به روش پیش پردازش در برآورد

منابع مورد استفاده

- Barral, M., M. Arias and J. Guerif. 1998. Effects of iron and organic matter on the porosity and structural stability of soil aggregates. *Soil and Tillage Research*, 46(3-4): 261-272.
- Bashour, I.I. and A.H. Sayegh. 2007. *Methods of analysis for soils of arid and semi-arid regions*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 128 pages.
- Ben-Dor, E. and A. Banin. 1995. Near-infrared analysis as a rapid method to simultaneously evaluate several soil properties. *Soil Science Society of America Journal*, 59(2): 364-372.
- Ben-Dor, E., Y. Inbar and Y. Chen. 1997. The reflectance spectra of organic matter in the visible near-infrared and short wave infrared region (400–2500 nm) during a controlled decomposition process. *Remote Sensing of Environment*, 61(1): 1-15.
- Bilgili, A.V., H. Van Es, F. Akbas, A. Durak and W. Hively. 2010. Visible-near infrared reflectance spectroscopy for assessment of soil properties in a semi-arid area of Turkey. *Journal of Arid Environments*, 74(2): 229-238.
- Camo, A. 1998. *The unscrambler user manual*. CAMO ASA, Norway, 47-49.
- Chang, C.W., D.A Laird, M.J. Mausbach and C.R Hurburgh. 2001. Near-infrared reflectance spectroscopy—principal components regression analyses of soil properties. *Soil Science Society of America Journal*, 65(2): 480-490.
- Curcio, D., G. Ciruolo, F. D'Asaro and M. Minacapilli. 2013. Prediction of soil texture distributions using VNIR-SWIR reflectance spectroscopy. *Procedia Environmental Sciences*, 19: 494-503.
- Engelstaedter, S., I. Tegen and R. Washington. 2006. North African dust emissions and transport. *Earth-Science Reviews*, 79(1): 73-100.
- Farifteh, J., F. Van der Meer, C. Atzberger and E. Carranza. 2007. Quantitative analysis of salt-affected soil reflectance spectra: a comparison of two adaptive methods (PLSR and ANN). *Remote Sensing of Environment*, 110(1): 59-78.
- Hassani, A., H. Bahrami, A. Noroozi and S. Oustan. 2014. Visible near infrared reflectance spectroscopy for assessment of soil properties in gypseous and calcareous soils. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 6(2): 125-138 (in Persian).
- Heidarian, P., M. Joudaki, J. Darvishi Khatoni and R. Shahbazi. 2015. *Recognized dust sources in Khuzestan Province*. Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, 125 pages (in Persian).
- Islam, K., B. Singh and A. McBratney. 2003. Simultaneous estimation of several soil properties by ultra-violet, visible and near-infrared reflectance spectroscopy. *Soil Research*, 41(6): 1101-1114.
- Janik, L.J., R.H. Merry and J. Skjemstad. 1998. Can mid infrared diffuse reflectance analysis replace soil extractions? *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 38(7): 681-696.

15. Ji, W., V.I. Adamchuk, A. Biswas, N.M. Dhawale, B. Sudarsan, Y. Zhang, R.A.V. Rossel and Z. Shi. 2016. Assessment of soil properties in situ using a prototype portable MIR spectrometer in two agricultural fields. *Biosystems Engineering*, 152: 14-27.
16. Khayamim, F., H. Khademi, B. Stenberg and J. Wetterlind. 2015. Capability of vis-NIR spectroscopy to predict selected chemical soil properties in Isfahan Province. *JWSS-Isfahan University of Technology*, 19(72): 81-92 (in Persian).
17. Liu, B., J. Qu, D. Ning, Y. Gao, R. Zu and Z. An. 2014. Grain-size study of aeolian sediments found east of Kumtagh Desert. *Aeolian Research*, 13: 1-6.
18. Liu, C.W., K.H. Lin and Y.M. Kuo. 2003. Application of factor analysis in the assessment of groundwater quality in a blackfoot disease area in Taiwan. *Science of the Total Environment*, 313(1-3): 77-89.
19. Mashimbye, Z., M. Cho, J. Nell, W. De Clercq, A. Van Niekerk and D. Turner. 2012. Model-based integrated methods for quantitative estimation of soil salinity from hyperspectral remote sensing data, a case study of selected South African soils. *Pedosphere*, 22(5): 640-649.
20. Miller, R. and D. Keeney. 1982. *Methods of soil analysis. Part 2: chemical and microbiological properties*, 2nd ed., American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, 128-198.
21. Morgan, R.P.C. 2009. *Soil erosion and conservation*. Wiley-Blackwell, 316 pages.
22. Nawar, S., H. Buddenbaum, J. Hill and J. Kozak. 2014. Modeling and mapping of soil salinity with reflectance spectroscopy and landsat data using two quantitative methods (PLSR and MARS). *Remote Sensing*, 6(11): 10813-10834.
23. Nawar, S., H. Buddenbaum, J. Hill, J. Kozak and A.M. Mouazen. 2016. Estimating the soil clay content and organic matter by means of different calibration methods of vis-NIR diffuse reflectance spectroscopy. *Soil and Tillage Research*, 155: 510-522.
24. Nelson, D. and L.E. Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter: In: A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney, *Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties*, 539-579.
25. Rossel, R.V., D. Walvoort, A. McBratney, L.J. Janik and J. Skjemstad. 2006. Visible, near infrared, mid infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties. *Geoderma*, 131(1): 59-75.
26. Soriano-Disla, J.M., L.J. Janik, R.A. Viscarra Rossel, L.M. Macdonald and M.J. McLaughlin. 2014. The performance of visible, near and mid-infrared reflectance spectroscopy for prediction of soil physical, chemical and biological properties. *Applied Spectroscopy Reviews*, 49(2): 139-186.
27. Stenberg, B., G. Rogstrand, E. Bölenius, J. Arvidsson and J. Stafford. 2007. On-line soil NIR spectroscopy: identification and treatment of spectra influenced by variable probe distance and residue contamination. *Precision Agriculture*, 7: 125-131.
28. Stoner, E.R. and M. Baumgardner. 1981. Characteristic variations in reflectance of surface soils. *Soil Science Society of America Journal*, 45(6): 1161-1165.
29. Vasques, G., S. Grunwald and J. Sickman. 2008. Comparison of multivariate methods for inferential modeling of soil carbon using visible/near-infrared spectra. *Geoderma*, 146(1-2): 14-25.
30. Vicente, L.E. and C.R. de Souza Filho. 2011. Identification of mineral components in tropical soils using reflectance spectroscopy and advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer (ASTER) data. *Remote Sensing of Environment*, 115(8): 1824-1836.
31. 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.
32. Wang, Y., X. Zhang, R. Arimoto, J. Cao and Z. Shen. 2005. Characteristics of carbonate content and carbon and oxygen isotopic composition of northern China soil and dust aerosol and its application to tracing dust sources. *Atmospheric Environment*, 39(14): 2631-2642.
33. Xuemei, L. and L. Jianshe. 2013. Measurement of soil properties using visible and short wave-near infrared spectroscopy and multivariate calibration. *Measurement*, 46(10): 3808-3814.
34. Ye, B., X. Ji, H. Yang, X. Yao, C.K. Chan, S.H. Cadle, T. Chan and P.A. Mulawa. 2003. Concentration and chemical composition of PM 2.5 in Shanghai for a 1-year period. *Atmospheric Environment*, 37(4): 499-510.
35. Zheng, X.J., N. Huang and Y.H. Zhou. 2003. Laboratory measurement of electrification of wind blown sands and simulation of its effect on sand saltation movement. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 5: 108-126.
36. Zhu, B.Q., J.J. Yu, P. Rioual and X.Z. Ren. 2014. Particle size variation of aeolian dune deposits in the lower reaches of the Heihe River basin, China. *Sedimentary Geology*, 301: 54-69.

37. Zobeck, T.M., G. Sterk, R. Funk, J.L. Rajot, J.E. Stout and R.S. Van Pelt. 2003. Measurement and data analysis methods for field scale wind erosion studies and model validation. *Earth Surface Processes and Landforms*, 28(11): 1163-1188.
38. Zornoza, R., C. Guerrero, J. Mataix-Solera, K. Scow, V. Arcenegui and J. Mataix-Beneyto. 2008. Near infrared spectroscopy for determination of various physical, chemical and biochemical properties in Mediterranean soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(7): 1923-1930.