



بررسی قابلیت طیف‌سنجی بازتابی در برآورد برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک جنگل خیرود

فاطمه موسوی^{۱*}، احسان عبدی^۲، عباس قلندرزاده^۳، حسینعلی بهرامی^۴ و باریس مجنونیان^۵

۱. دانش‌آموخته دکتری مهندسی جنگل دانشگاه تهران، کرج، ایران.
۲. دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
۳. دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
۴. دانشیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
۵. استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۳/۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۵/۳)

چکیده

آگاهی از ویژگی‌های شیمیایی خاک برای شناخت ویژگی‌های مهندسی آن در طراحی و مدیریت زیرساخت‌ها دارای اهمیت فراوانی است. طیف‌سنجی بازتابی، روشی غیرمخرب، سریع و بدون ایجاد مخاطرات برای محیط زیست است، ولی متأسفانه تاکنون پژوهشی در زمینه استفاده از این ابزار در برآورد ویژگی‌های خاک‌های جنگل در ایران انجام نگرفته است. پژوهش حاضر به منظور بررسی توانایی این روش در برآورد برخی ویژگی‌های شیمیایی شامل ماده آلی، CaCO_3 ، pH و EC خاک‌های جنگل انجام گرفت. به این منظور، ۴۵ نمونه خاک از سری نم‌خانه جنگل خیرود جمع‌آوری و ویژگی‌های شیمیایی مورد نظر خاک با روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری طیفی نمونه‌های خاک مورد نظر با استفاده از دستگاه طیف‌سنج زمینی در محدوده طیفی مرئی-مادون قرمز انجام گرفت و سپس برای پیش‌بینی ویژگی‌های خاک از روش PLSR (رگرسیون حداقل مربعات جزئی) در حالت بازتاب طیفی و مشتق اول بازتاب استفاده شد. نتایج مقادیر RPD (نسبت انحراف دقت) نشان داد که ماده آلی خاک در حالت استفاده از بازتاب و مشتق بازتاب دارای برآورد خیلی خوب (RPD بیشتر از ۲) و EC و pH دارای برآورد قابل قبول (RPD بین ۲-۱/۴) است. همچنین برای CaCO_3 در هر دو حالت بازتاب و مشتق اول بازتاب قابلیت پیش‌بینی مدل بسیار ضعیف بود (RPD کمتر از ۱/۴). به‌طور کلی برپایه نتایج این تحقیق، از طیف‌سنجی به‌منظور پیش‌بینی ویژگی‌های ذکرشده به‌جز CaCO_3 به‌عنوان روشی سریع و با دقت قابل قبول می‌توان استفاده کرد و این روش قابلیت برآورد همزمان چند ویژگی خاک را دارد.

واژه‌های کلیدی: آهک، خاک جنگلی، طیف‌سنجی، ماده آلی.

مقدمه

اکوسیستم‌های حیاتی جهان به‌شمار می‌رود. مهم‌ترین رکن مدیریت و حفاظت صحیح و اصولی جنگل، دسترسی سریع و آسان به همه نقاط جنگل است که جاده‌سازی این امکان را فراهم می‌کند. جاده‌های

جنگل، از بزرگ‌ترین و پیچیده‌ترین اکوسیستم‌های پویاست که افزون‌بر رفع بسیاری از نیازهای انسان، عامل مهمی در ثبات دیگر

خاک تحت تأثیر رفتار شیمیایی خاک است و اندازه‌گیری ویژگی‌های شیمیایی خاک اهمیت بسیار زیادی دارد.

روش‌های متعارف برای اندازه‌گیری ویژگی‌های pH، EC، OM، و CaCO_3 خاک، پیچیده، گران و نیازمند کار آزمایشگاهی سنگین و مصرف مواد شیمیایی زیادند (Rossel & Hicks, 2015). تاکنون پژوهش‌های مختلفی درباره استفاده از بازتاب خاک به منظور برآورد ویژگی‌های مختلف خاک انجام گرفته (Chenu et al., 2000; Gomez et al., 2008) که در بیشتر آنها از داده‌های چندطیفی استفاده شده است (Ben Dor et al., 2015; Rahbari et al., 2016). در حالی که داده‌های ابرطیفی که دارای پیوستگی در دامنه وسیعی از طیف الکترومغناطیس و پهنای باندهای کمی هستند، نتایج دقیق‌تری در تحقیقات درباره ویژگی‌های خاک ارائه می‌کنند (Darvishzade et al., 2008; Das et al., 2015). طیف‌سنجی بازتابی مرئی و مادون نزدیک (Visible & Near Infrared) در برآورد ویژگی‌های خاک، در چند دهه اخیر توجه زیادی را به خود جلب کرده است که دلیل آن، توانایی زیاد در ارائه اطلاعات در زمینه‌های گوناگون توسط بازتاب طیفی است (Ben-Dor & Banin, 2015). از مهم‌ترین مزایای روش طیف‌سنجی مرئی-مادون قرمز، غیرمخرب بودن، سرعت زیاد، نیاز به حداقل آماده‌سازی نمونه و جلوگیری از کاربرد مواد شیمیایی مضر و خطرناک است (Bartholomeus et al., 2008; Yitagesu et al., 2011). پژوهش‌های زیادی توانایی طیف‌سنجی مرئی-مادون قرمز در برآورد ویژگی‌های خاک از جمله pH (Islam et al., 2003; Rossel & Hicks, 2015)، ماده آلی (Bilgili et al., 2010; Yitagesu et al., 2011; Gomez et al., 2008; Bilgili et al., 2008) و EC (et al., 2010; Rossel & Hicks, 2015) را اثبات کرده‌اند. تصاویر

جنگلی اهمیت زیادی در اداره علمی و عملی جنگل‌ها دارند. با وجود این، باید به یاد داشت که ساخت جاده‌های جنگلی زیان‌های چشمگیری نیز خواهد داشت (Mousavi & abdi, 2015). وضعیت خاک شاخص بسیار مهمی در برآورد زیان‌های ناشی از آثار مخرب جاده‌های جنگلی در عرصه است و مطالعات خاک سبب صرفه‌جویی در هزینه‌های ساختمانی، تعمیر و نگهداری جاده و همچنین زیان‌های ناشی از آن در عرصه می‌شود (Mousavi & abdi, 2015). آگاهی از ویژگی‌های شیمیایی خاک ما را در شناخت خواص مهندسی آن یاری خواهد کرد (Bilgili et al., 2010; Yitagesu et al., 2011; Rossel & Hicks, 2015). پژوهش‌ها نشان داده‌اند که تفاوت در مقدار ماده آلی (OM)، کربنات کلسیم، EC و pH در خاک‌های مختلف، سبب تفاوت در خواص مکانیکی خاک خواهد شد (Iwata et al., 1988; Lado et al., 2004). با افزایش شوری، مقاومت برشی خاک افزایش (Chatopad hyaya, 1972; Di Maio, 1996) و حد روانی خاک کاهش (Moshkoh et al., 2011) خواهد یافت. از طرفی همبستگی بین ماده آلی و pH در خاک‌های جنگلی منفی است و در خاک‌های جنگلی با pH اسیدی، ماده آلی بیشتری وجود دارد (Goabel et al., 2005). به‌طور کلی هر چقدر ماده آلی و کربنات کلسیم موجود در خاک بیشتر باشد، پایداری خاکدانه افزایش می‌یابد (Barral et al., 1998; Chenu et al., 2000; Goabel et al., 2005; Shrestha et al., 2007; Barral et al., 2007). پژوهش‌های دیگر نیز نشان دادند که در ایجاد خاکدانه‌های پایدار، کمپلکس ماده آلی، رس و کربنات کلسیم دارای اهمیت زیادی است (Iwata et al., 1988; Peyrovan & Asadi, 2005) و در صورتی که یکی از دو عامل ماده آلی و رس به مقدار کافی در خاک وجود نداشته باشد، کربنات کلسیم خود را نشان نمی‌دهد (Summers et al., 2011). با توجه به مطالب بیان شده می‌توان گفت شناخت ویژگی‌های مکانیکی

نوشهر قرار گرفته و طول جغرافیایی آن $32^{\circ} 51'$ تا $35^{\circ} 51'$ و عرض جغرافیایی آن $34^{\circ} 36'$ تا $37^{\circ} 36'$ است. از ۲۷ پارسل موجود در بخش نم‌خانه، پارسل‌های ۲۰۱ تا ۲۰۶ شیب زیادی دارند و پارسل‌های حفاظتی محسوب می‌شوند. با در نظر گرفتن مساحت این شش پارسل که حدود ۲۵۰ هکتار است، پژوهش حاضر در منطقه‌ای به وسعت حدود ۷۵۰ هکتار و در پارسل‌های غیرحفاظتی این بخش انجام گرفت. نمونه‌های خاک استفاده‌شده در این پژوهش از بخش نم‌خانه جنگل آموزشی پژوهشی خیرود دانشگاه تهران در شهریور ۱۳۹۴ تهیه شد. برای تهیه طرح نمونه‌برداری در این تحقیق، ابتدا در GIS، با استفاده از نقشه توپوگرافی، مدل رقومی ارتفاع (DEM) استخراج شد. سپس نقشه شیب و جهت منطقه از نقشه رستری DEM استخراج شد. بعد از روی هم‌گذاری نقشه شیب، جهت، ارتفاع و نقشه مقدار رس موجود در خاک منطقه (Salehi et al., 2005)، محدوده‌های همگن تعیین و تعداد نمونه‌ها با توجه به وضعیت محدوده‌های همگن تعیین و محل نمونه‌برداری به صورت تصادفی در درون پلی‌گون‌های همگن مشخص شد. سپس تعداد نمونه‌ها با توجه به وضعیت محدوده‌های همگن تعیین شد. در نهایت با در نظر گرفتن موارد یادشده، در مجموع ۴۵ نمونه خاک تعیین شد (شکل ۱). پس از مشخص شدن محل گمانه‌ها در عرصه و بعد از کنار زدن لایه رویی خاک، گمانه‌هایی به عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر (Madjnounian & Sadeghi, 2005) حفر شد و از هر نقطه حدود ۵ کیلوگرم خاک برداشت و به آزمایشگاه منتقل شد.

تحلیل‌های شیمیایی

برای تحلیل‌های آزمایشگاهی، ابتدا نمونه‌های خاک در آزمایشگاه هواخشک شده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند و در ظرف‌های مخصوص برای آزمایش‌ها نگهداری شدند.

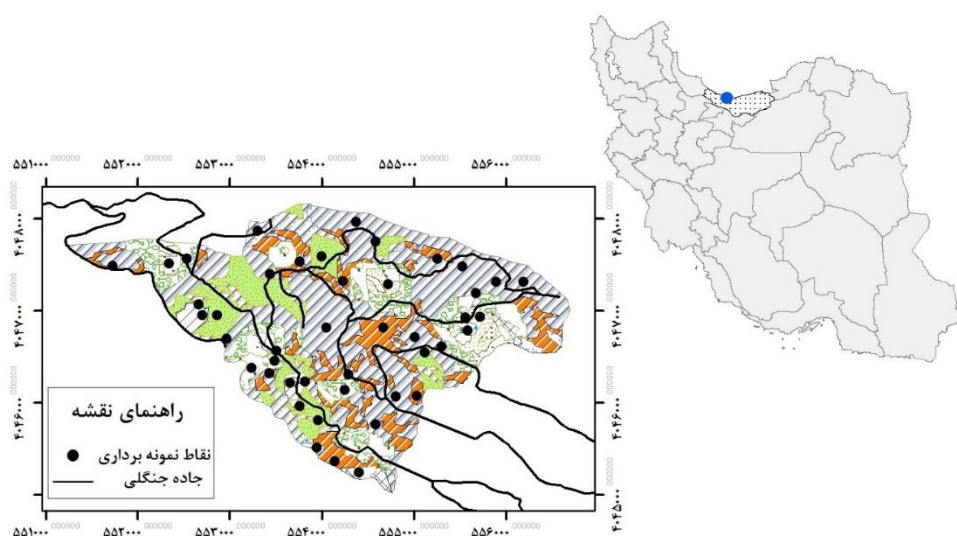
سنجده‌های چندطیفی سنجش از دوری مانند OLI ماهواره لندست ۸ که دارای باندهایی در محدوده مرئی-مادون قرمز، برای طبقه‌بندی ویژگی‌های خاک مانند شوری استفاده شده‌اند (Akhzari et al., 2016; Pishnamaz Ahmadi et al., 2017; Habashi & Karimzadeh, 2017). روش‌های برآورد مشخصه‌های خاک از داده‌های طیفی به دو گروه روش‌های آماری و فیزیکی تقسیم می‌شوند. از مهم‌ترین این روش‌ها، رگرسیون حداقل مربعات جزئی (Partial Least Square Regression (PLSR)) است؛ مهم‌ترین برتری این روش، کارایی زیاد آن در صورت کم بودن شمار نمونه‌ها (Yitagesu et al., 2011) و شناسایی متغیرهای تأثیرگذار از بین تعداد متغیرهای مستقل زیاد است (Kawamura et al., 2017).

با توجه به اینکه ویژگی‌های شیمیایی تأثیر زیادی در شناخت خواص فیزیکی و مکانیکی جاده‌های جنگلی مانند مقاومت برشی خاک، حدود آتربرگ و پایداری خاکدانه‌ها دارند و تاکنون نیز تحقیقی در ایران مبنی بر ارائه مدلی با استفاده از روش طیف‌سنجی مرئی-مادون قرمز در برآورد ویژگی خاک‌های جنگل انجام نگرفته است، این پژوهش با هدف بررسی توانایی روش طیف‌سنجی مرئی-مادون قرمز به‌عنوان روشی سریع در برآورد مقدار pH، OM، EC و $CaCO_3$ با استفاده از روش PLSR در حالت استفاده از بازتاب طیفی (Reflectance spectra) و مشتق اول بازتاب (First derivative reflectance) انجام گرفت و نتایج مقایسه و بررسی شد.

مواد و روش

منطقه تحقیق و شیوه نمونه‌برداری

این پژوهش در سری نم‌خانه جنگل آموزشی-پژوهشی دانشکده منابع طبیعی (جنگل خیرود) انجام گرفت. سری نم‌خانه دومین بخش از جنگل خیرود است که ۲۷ پارسل و مساحتی در حدود ۱۰۸۰ هکتار دارد. این بخش در هفت کیلومتری شرق شهرستان



شکل ۱- موقعیت منطقه پژوهش و نمونه‌ها

VIS-NIR شدند. این دستگاه می‌تواند نمونه‌های بی‌شماری را با کمترین نور در سریع‌ترین زمان ممکن در دماهای مختلف تجزیه کند (Lau, 2003). دستگاه طیف‌سنج، دستگاهی است که در موارد نیاز به اندازه‌گیری بازتاب، تابش و پخش انرژی الکترومغناطیسی از سطوح مختلف کاربرد دارد. این دستگاه به‌طور اختصاصی برای استفاده در سنجش از دور صحرایی و آزمایشگاهی استفاده می‌شود که منحنی طیفی را در ناحیه مرئی-مادون قرمز نزدیک (VNIR) و مادون قرمز کوتاه (SWIR) اندازه‌گیری می‌کند. محدوده طیفی این دستگاه از ۳۵۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر است. دستگاه طیف‌سنجی استفاده‌شده در این پژوهش و نحوه اندازه‌گیری طیف نمونه خاک در شکل ۲ نشان داده شده است.

اندازه‌گیری طیفی

نخست، نمونه‌های خاک هوا خشک‌شده (Air dried) از الک ۲ میلی‌متری گذرانده و سپس طیف بازتابی نمونه‌های خاک با استفاده از دستگاه طیف‌سنج 3 Fieldspec (Analytical Spectral Devices Inc, USA) در محدوده طیفی ۲۵۰-۳۵۰

برای اندازه‌گیری pH خاک از دستگاه pH متر (Thomas, 1996) و برای اندازه‌گیری EC از دستگاه هدایت‌سنج استفاده شد (Loeppert & Inskeepm, 1996). مقدار ماده آلی خاک در نمونه‌ها نیز به روش والکلی-بلک (Walkley & Black, 1934) و مقدار آهک نیز به روش کلسیمتری حجمی (Loeppert & Inskeepm, 1996) اندازه‌گیری شد. برای درک ارتباط بین پارامترهای اندازه‌گیری‌شده خاک با یکدیگر با استفاده از نرم‌افزار SPSS ارتباط خصوصیات تحلیل‌شده با یکدیگر ارزیابی شد. یکی از روش‌های بسیار مطرح برای این کار روش همبستگی پیرسون است که بین دو متغیر تصادفی برابر با کوواریانس آنها تقسیم بر انحراف معیار آنها تعریف می‌شود.

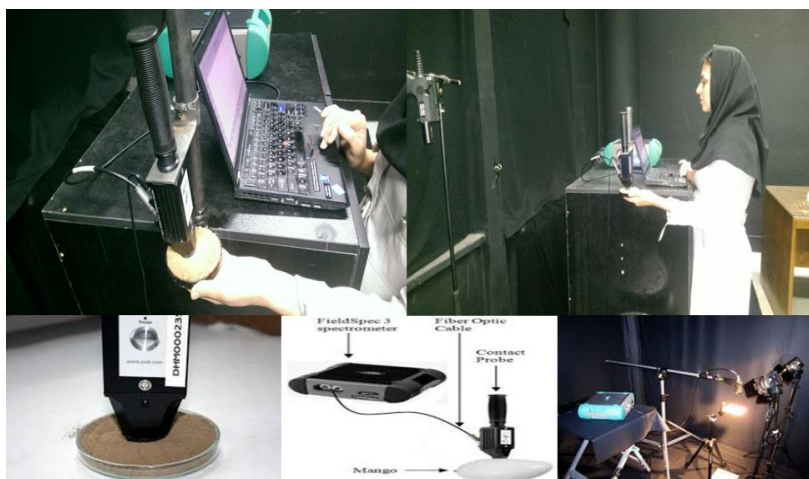
دستگاه طیف‌سنجی FieldSpec3

با توجه به نیاز مبرم به ابزار تجزیه در شرایط محیطی متفاوت و نیز دقت و نمایش خوب، در دهه ۱۹۸۰ میلادی الکساندر کوتز و بریان کورتیس، شرکت ابزارهای تجزیه طیفی^۱ را تأسیس کردند و موفق به تولید دستگاه طیف‌سنج بازتابی قابل حمل

1. Analytical Spectral Devices

گرفت. تعداد تکرار برای ثبت هر طیف ۷۲ تنظیم
به منظور کاهش احتمال ناهمگنی موجود در نمونه،
اندازه‌گیری طیفی برای هر نمونه ۱۰ بار با تغییر مکان
پروب تکرار شد (Yitagesu, 2006).

نانومتر اندازه‌گیری شد. برای هر نمونه، در حدود ۲۰
گرم از خاک هوا خشک شده در پتری‌دیش مشکی
قرار داده شد و برای تحلیل به‌کار رفت.
اندازه‌گیری‌های طیفی از نمونه‌ها با روش پروب
تماسی (Contact probe) و در اتاق تاریک به‌منظور
جلوگیری از ورود هرگونه نور و بازتاب اضافی انجام



شکل ۲- دستگاه طیف‌سنج 3 Fieldspec و نحوه اندازه‌گیری طیف نمونه خاک

اول طیف بازتابندگی نیز محاسبه شد و از آنها برای
پردازش استفاده شد. از روش PLSR برای پیش‌بینی
پارامترهای مورد نظر استفاده شد.
Martens & Naes (1989) نشان دادند که طیف
مشترک اول، عوارض جذبی را بزرگنمایی می‌کند که
نشان دهنده مواد مختلف موجود در خاک است و
موجب کم شدن تغییرات بین نمونه‌ها می‌شود. شایان
ذکر است که همه مراحل توصیف‌های آماری متغیرها،
پیش‌پردازش طیف‌ها و مدل‌سازی با استفاده از
نرم‌افزار Unscrambler X10.3 انجام گرفت و به دلیل
کم بودن تعداد نمونه خاک، در این پژوهش از
اعتبارسنجی متقاطع (Cross validation) به‌منظور
و اعتبارسنجی و اعتبارسنجی استفاده شد
(Yitagesu et al., 2009). مدل‌های آماری PLSR
استفاده شده در این پژوهش، با معیارهای ضریب
تعیین (R^2)، ریشه حد اقل مربعات خطا (RMSE) و

پردازش داده‌ها

داده‌های بازتاب طیفی با استفاده از نرم‌افزار
Viewspect به داده‌های متنی با فرمت ASCII تبدیل
و وارد نرم‌افزار Unscrambler X10.3 شد. طیف‌های
خام هر نمونه با هم مقایسه شد و طیف‌هایی که
بیشتر از ± 2 برابر انحراف معیار از میانگین فاصله
داشتند حذف شد (Yitagesu et al., 2011). به دلیل
نویز زیاد، محدوده ۳۵۰-۴۰۰ نانومتر از همه طیف‌ها
حذف شد و در مدل‌سازی رگرسیونی استفاده نشد. در
این تحقیق از فیلتر ساویتزکی-گولای
(Savitzky & Golay, 1964) با درجه ۲ و اندازه
پنجره ۱۵ استفاده شد. با استفاده از این روش، تأثیر
تعداد فراوان نویزهای تصادفی تولیدشده توسط
تداخل امواج زمینی حذف و نسبت سیگنال به نویز
بهبود یافت (Cao et al., 2007). سپس از ۱۰ تکرار
موجود برای هر نمونه میانگین‌گیری شده و مشتق

۱ آورده شده است. با توجه به نتایج جدول ۱، pH خاک به طور متوسط از دامنهٔ اسیدی (۴/۰۸) تا خنثی (۷/۰۱) است. درصد آهک خاک (CaCO₃) نیز از ۰/۴۱ تا ۲/۹۱ است که نشان‌دهندهٔ کم بودن مقدار CaCO₃ در خاک است که با توجه به pH خاک معقول است. از طرفی درصد مادهٔ آلی (OM) موجود در نمونه‌های خاک به دلیل برداشت نمونه‌های خاک بعد از کنار زدن مادهٔ آلی بسیار ناچیز (۰/۶ - ۲/۹۲) است.

Ratio of Prediction to Deviation (RPD) بررسی شد (Chang et al., 2001). همچنین در نهایت به منظور معرفی طول موج‌های بهینه، ابتدا داده‌های ورودی طیف نرمال شده و برای تعیین طول موج‌های مهم از روش آزمون عدم قطعیت مارتین^۱ قرار داده شده در نرم‌افزار Unscrambler استفاده شد.

نتایج

نتایج آماری ویژگی‌های شیمیایی خاک در جدول

جدول ۱- تجزیه‌های آماری مشخصه‌های شیمیایی خاک

پارامترها	میانگین	حداکثر	حداقل	میانه	انحراف از معیار	چولگی	کشدگی
pH	۵/۰۴	۷/۰۱	۴/۰۸	۴/۹۴	۰/۵۵	۱/۰۵	۱,۲۶
(dS/m) EC	۱/۴	۲/۱۳۷	۰/۷۲	۱۲۵/۲	۳۸/۰۴	۰/۲۱۸	-۱,۰۰۴
(%) OM	۱/۶۷	۲/۹۲	۰/۶	۱/۶۸	۰/۵۱	۰/۳۵۶	-۰/۴۵۲
(%) CaCO ₃	۱/۶۸	۲/۹۱	۰/۴۱	۲/۹۱	۰/۶۸	۰/۰۷۲	-۰/۵۸۹

ارتباط بین خصوصیات اندازه‌گیری شدهٔ نمونه‌های خاک در آزمایشگاه

نتایج همبستگی بین پارامترهای اندازه‌گیری شده در جدول ۲ آورده شده است.

ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های شیمیایی خاک و بازتاب طیفی آنها در هر طول موج در شکل ۳ نشان داده شده است.

جدول ۲- همبستگی پیرسون بین متغیرهای خاک

	pH	EC	CaCo3	OM
pH	۱			
EC	۰/۴۷**	۱		
CaCo3	-۰/۰۷	۰/۱۵	۱	
OM	۰/۲۵*	۰/۶۹**	۰/۱۱	۱

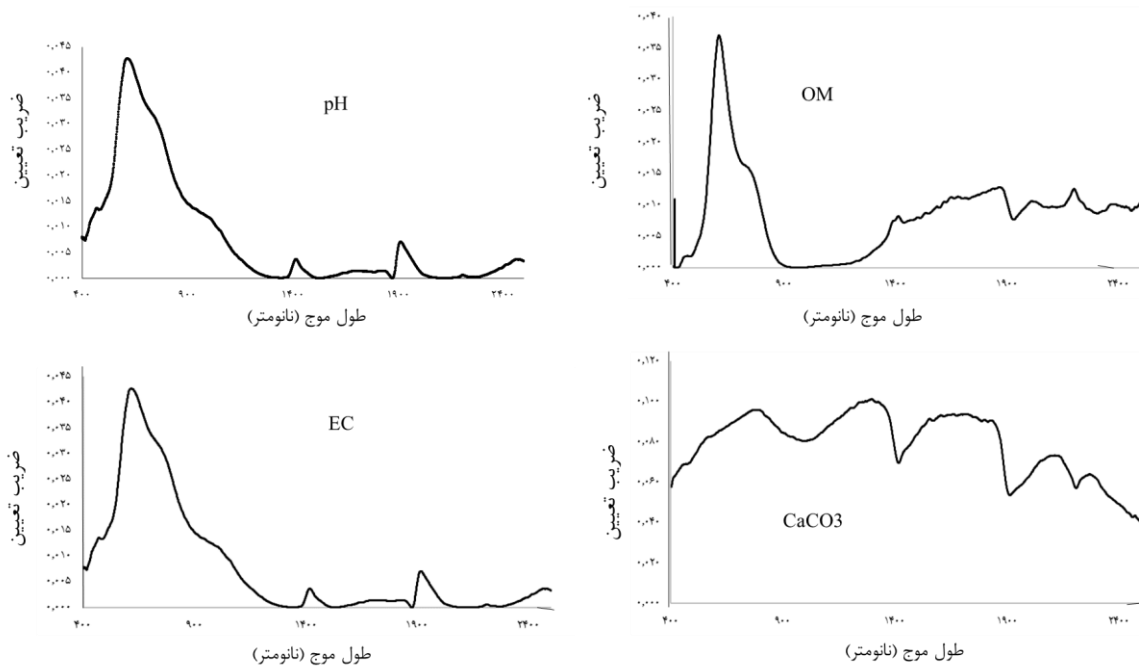
** و * به ترتیب در سطح $0.01 < \leq 0.05$ معنی دارند.

R²، میانگین خطای ریشهٔ مربعات (RMSE) و RPD (Ratio of Performance of Deviation) در حالت واسنجی و اعتبارسنجی نشان می‌دهند.^۱

PLSR

جدول‌های ۳ و ۴ به ترتیب مقادیر حاصل از مدل‌سازی بین پارامترهای خاک با بازتاب طیفی و مشتق اول بازتاب، با استفاده از مدل PLSR را با شاخص‌های

1. Martens' Uncertainty Test



شکل ۳- همبستگی بین ویژگی‌های خاک و میانگین بازتاب در هر طول موج

جدول ۳- پردازش بازتاب طیفی با داده‌های آزمایشگاهی در حالت واسنجی و اعتبارسنجی

اعتبارسنجی			واسنجی			فاکتور بهینه	مشخصه‌های خاک
RPD	RMSE	R ²	RPD	RMSE	R ²		
۱/۵۲	۰/۳۶	۰/۵۶	۲/۶۱	۰/۲۱	۰/۸۴	۹	pH
۲/۰۶	۱۸/۴	۰/۶۶	۲/۸۶	۱۳/۳۷	۰/۸۷	۱۴	EC (μmhos/m)
۱/۷۵	۰/۲۹	۰/۶۸	۳/۹۲	۰/۱۳	۰/۹۲	۱۲	OM (%)
۱	۰/۶۸	۰/۰۶	۱/۰۳	۰/۶۶	۰/۰۸	۱	CaCO ₃

جدول ۴- پردازش مشتق اول با داده‌های آزمایشگاهی در حالت واسنجی و اعتبارسنجی

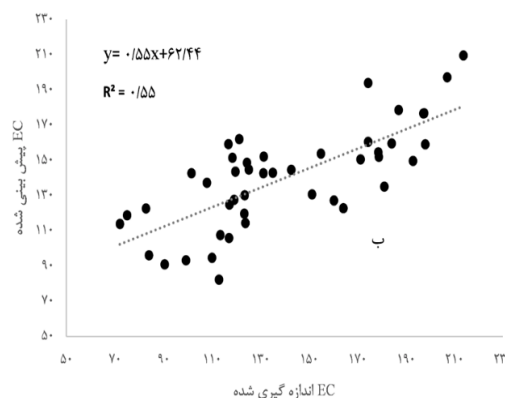
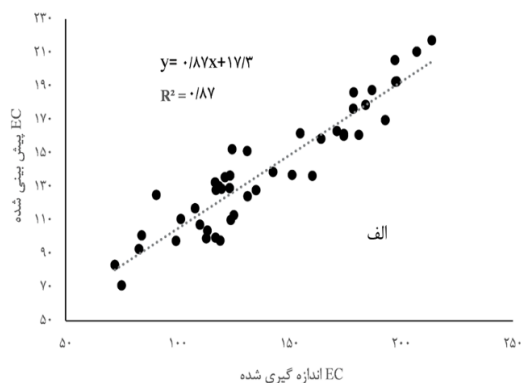
اعتبارسنجی			واسنجی			فاکتور بهینه	مشخصه‌های خاک
RPD	RMSE	R ²	RPD	RMSE	R ²		
۱/۶۱	۰/۳۴	۰/۴۶	۱/۹۶	۰/۲۸	۰/۶۶	۴	pH
۱/۱۸	۳۱/۹۸	۰/۳۵	۱/۴۹	۲۵/۳۹	۰/۵۵	۳	EC (μmhos/m)
۱/۵	۰/۳۴	۰/۵۷	۶/۷۱	۰/۰۷۶	۰/۹۷	۷	OM (%)
۰/۸۸	۰/۷۷	۰/۱۰	۱/۰۷	۰/۶۳	۰/۱۴	۱	CaCO ₃

با بازتاب طیفی خاک (الف) و مشتق اول بازتاب (ب) نشان می‌دهند. شکل ۴ نشان می‌دهد که بین بازتاب

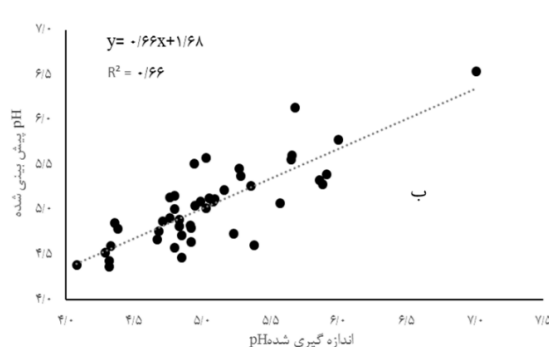
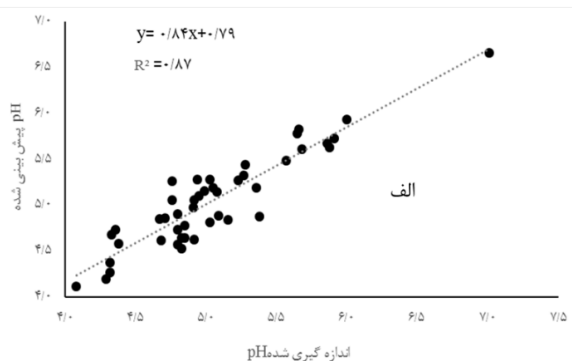
شکل‌های ۴، ۵ و ۶ به ترتیب رابطه بین مقدار EC، pH و OM اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده خاک را

طیف مشاهده می‌شود. شکل ۶ نیز نشان داد که برای مقدار مواد آلی رابطه حاصل از طیف خام با مشتق اول مقدار اختلاف زیادی نداشته و همبستگی مشتق اول بیشتر از بازتاب بوده است.

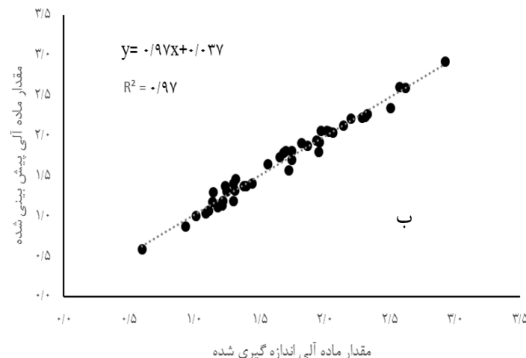
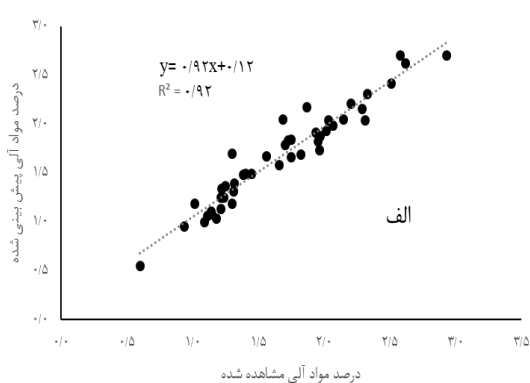
طیفی و EC رابطه قوی‌تری نسبت به مشتق اول طیف وجود دارد. براساس نتایج شکل ۵، متغیر pH به‌دست‌آمده برای این ویژگی خاک نیز رابطه قوی‌تری در حالت استفاده از بازتاب طیفی نسبت به مشتق اول



شکل ۴- رابطه بین مقدار EC اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده خاک با طیف خاک (الف) و مشتق اول طیف (ب)



شکل ۵- رابطه بین مقدار pH اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده خاک با بازتاب طیفی (الف) و مشتق اول بازتاب (ب)



شکل ۶- رابطه بین مقدار OM اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده خاک با بازتاب طیفی (الف) و مشتق اول بازتاب (ب)

در جدول ۵ ویژگی‌های شیمیایی خاک به‌همراه طول موج‌های بهینه نشان داده شده است (جدول ۵).

جدول ۵- ویژگی‌های شیمیایی خاک به‌همراه طول موج‌های بهینه

ویژگی‌های خاک	طول موج‌های بهینه (نانومتر)
EC	۱۹۱۰-۱۹۹۰، ۱۹۲۱-۲۰۱۵، ۲۱۰۲-۲۱۰۳، ۲۱۰۹-۲۱۲۶، ۲۱۳۸-۲۱۶۳، ۲۱۳۸-۲۱۶۴، ۲۱۵۳-۲۳۶۷
pH	۴۰۰-۴۳۹، ۴۹۹-۵۶۶، ۶۹۵-۷۴۴، ۸۷۴-۸۸۳، ۸۸۵-۹۱۴
OM	۲۲۷۸-۲۳۲۵، ۱۹۸۶-۲۰۴۲، ۱۹۲۰-۱۹۴۲، ۱۸۵۳-۱۸۷۱، ۱۵۵۹-۱۵۶۸، ۱۵۱۳-۱۵۱۶، ۸۳۵-۸۴۵، ۷۰۱-۷۳۹، ۶۲۰-۶۲۹
CEC	۲۵۰۰-۲۳۰۶، ۲۲۲۵-۲۱۹۶، ۲۰۸۵-۲۰۰۸، ۱۹۲۰-۱۹۰۷، ۱۸۸۵-۱۴۸۸، ۱۱۱۳-۱۰۸۰، ۹۵۰-۹۳۸، ۷۸۸-۹۱۰

بحث

با توجه به نتایج میزان چولگی و کشیدگی، داده‌ها دارای توزیع نرمال‌اند. به‌طور کلی در خاک‌هایی که مقدار ماده آلی بیشتر از ۲ درصد باشد، ممکن است اثر ماده آلی، تأثیر دیگر ویژگی‌های خاک بر طیف بازتابی را پوشش دهد (Stoner & Baumgardner, 1981). با توجه به اینکه میانگین درصد ماده آلی خاک در این پژوهش ۱/۶۷ درصد است، ماده آلی خاک، اثر دیگر ویژگی‌های خاک بر طیف بازتابی را تحت تأثیر قرار نمی‌دهد. مقدار EC خاک در این پژوهش نیز از ۰/۷۲ تا ۲/۱۳۷ (ds/m) است که نشان‌دهنده شوری کم منطقه است. براساس تحقیقات، با کاهش شوری خاک، مقاومت برشی خاک کاهش می‌یابد (Chatopad hyaya, 1972; Wang et al., 2016). نتایج همبستگی پیرسون بین پارامترهای خاک (جدول ۲) نشان داد که همبستگی بین بیشتر متغیرهای خاک به‌جز CaCO_3 معنی‌دار بود و CaCO_3 با هیچ یک از ویژگی‌های دیگر خاک همبستگی معنی‌داری نشان نداد. بیشترین همبستگی بین مقدار ماده آلی خاک با EC خاک با مقدار ۰/۶۹ است که در سطح ۰/۰۱ درصد معنی‌دار بود و کمترین همبستگی بین آهک و pH خاک، ۰/۰۷- است.

شکل ۳ نشان‌دهنده وجود همبستگی (R^2) در طول موج‌های مختلف در طیف است. همان‌گونه که در این شکل دیده می‌شود در محدوده ۷۰۰-۵۰۰ نانومتر

OM، pH و EC همبستگی قوی با بازتاب طیفی دارند که اهمیت این محدوده را نشان می‌دهد. ماده آلی میزان بازتاب خاک را در دامنه ۸۰۰-۵۲۰ نانومتر کاهش می‌دهد این کاهش در شرایطی که ماده آلی بیشتر از ۲ درصد باشد بیشتر نمایان می‌شود (Diakite, 2018). اسید آلی تیره‌ترین رنگدانه ماده آلی است که در کاهش بازتاب در محدوده مرئی و مادون قرمز مؤثر است، درحالی که اسید فلویک هیچ تأثیری در کاهش بازتاب ندارد (Knadel et al., 2013). به‌طور کلی با افزایش محتوای درصد ماده آلی، بازتاب طیف مرئی- مادون قرمز از خاک کاهش پیدا می‌کند (Pinheiro et al., 2017).

همچنین برای ویژگی‌های EC و OM بیشینه همبستگی در حدود ۱۹۰۰ نانومتر مشاهده می‌شود. برای آهک همبستگی‌های به‌دست‌آمده در محدوده‌های ۸۰۰، ۱۲۰۰ و ۱۶۰۰ نانومتر، بیشترین همبستگی را دارند. با توجه به نتایج این بخش، همبستگی مشابهی با پژوهش‌های دیگر وجود داشت، اما به‌علت تفاوت بازتاب‌های مختلف دقیقاً طول موج‌های مهم و پیک‌های خاک‌های مختلف یکسان نیست (Nocita et al., 2015; Pinheiro et al., 2017)، ولی ممکن است مشابه باشد. برپایه تحقیقات، بیشترین همبستگی EC با طیف مرئی- مادون قرمز در طول موج‌های ۴۵۶، ۹۸۴ و ۱۰۱۴ نانومتر و برای CaCO_3 بیشترین همبستگی در محدوده‌های ۸۰۰، ۱۲۰۰ و

۱۶۰۰ نانومتر مشاهده شد (Summers et al, 2011).

نتایج مدل PLSR و اعتبارسنجی متقاطع برای بازتاب طیفی در جدول ۳ نشان داده شده است این نتایج نشان داد که مدل‌سازی PLSR برای پارامترهای pH, EC و OM قابل قبول و برای CaCO_3 غیر قابل قبول بود و پیش‌بینی ضعیفی را نشان می‌دهد که نشان‌دهنده ارتباط ضعیف طیف‌های اندازه‌گیری‌شده با داده‌های حاصل از تحلیل‌های آزمایشگاهی است. افزون‌بر این، تعداد فاکتورهای بهینه انتخاب‌شده برای آهک تنها یک فاکتور برای بازتاب و مشتق است که می‌تواند تأییدکننده این باشد که مقدار کم آهک موجود در خاک سبب شده است فاکتورهای بهینه بیشتری انتخاب نشده باشد و این امر سبب کاهش همبستگی آن با بازتاب طیفی و مشتق بازتاب شده است که با نتایج پژوهش‌های دیگر همخوانی نداشت (Hassani et al., 2014; Diakite, 2018) و دلیل احتمالی آن کم بودن آهک خاک در این تحقیق است. با توجه به تحقیقات پیشین، کیفیت برآورد ویژگی‌های خاک به‌دست‌آمده از طیف مرئی-مادون قرمز در سه گروه خیلی خوب، برآورد قابل قبول و برآورد ضعیف طبقه‌بندی شده است. مطابق این طبقه‌بندی، مقدار RPD به‌ترتیب در سه گروه بیشتر از ۲، بین ۲-۱/۴ و کمتر از ۱/۴ قرار گرفته است (Chang et al., 2001). در همین پژوهش پیشنهاد شد که برآوردهای گروه قابل قبول با استفاده از راهبردهای آماری متفاوت، بهتر می‌شوند؛ اما برآوردهای ضعیف، پیش‌بینی اطمینان‌بخشی را نخواهد داشت (Cozzolino & Moron, 2003; Janik et al., 2007;) (Gupta et al., 2016; Waruru., 2016).

با توجه به مقادیر RPD نیز CaCO_3 دارای مقدار RPD کمتر از ۱/۴ است بنابراین پیش‌بینی مدل ضعیف است و از آنجا که برای pH, EC و OM، مقدار RPD بیشتر از ۲ به‌دست آمده است، پیش‌بینی کاملاً مناسب است. ضعیف بودن نتایج آهک ممکن است ناشی از کم بودن آهک در نمونه‌های خاک مرتبط

باشد.

همچنین نتایج این پژوهش برای مشتق اول بازتاب و داده‌های آزمایشگاهی در جدول ۴ نشان داده شده است. نتایج مقادیر RPD نشان داد که ماده آلی خاک در حالت استفاده از بازتاب و مشتق بازتاب، برآورد خیلی خوبی دارند (RPD بیشتر از ۲) و این نتایج همچنین نشان‌دهنده پیش‌بینی قابل قبول برای پارامترهای pH و EC و پیش‌بینی غیر قابل قبول برای CaCO_3 بود که با نتایج طیف خام همخوانی داشت. همچنین میزان RPD نشان داد که برای پارامتر CaCO_3 پیش‌بینی ضعیف، برای EC و pH پیش‌بینی مناسب و برای OM پیش‌بینی کاملاً مناسب است (Chang et al., 2001). (Chang et al., 2001) مقادیر RPD را برای ماده آلی ۲/۷۱ به‌دست آورد که با نتایج این تحقیق همخوانی داشت (Chang et al., 2001). با توجه به کم بودن مقادیر EC و OM نمونه خاک‌های تحت مطالعه، مدل‌های تجربی به‌دست‌آمده در مناطق با شوری زیاد و ماده آلی زیاد کاربرد نخواهد داشت. پژوهش‌های گذشته نیز نشان دادند که نتایج تخمین بر مبنای روش‌های مختلف پردازش آماری داده‌ها و مشتقات طیف‌ها ممکن است تغییر کند (Reeves et al., 2002). در بین ویژگی‌های خاک بهترین تشخیص مدل‌ها برای مقدار OM ($R^2=0/97$) با مشتق اول طیف است.

با توجه به همه پژوهش‌های سابق طیف‌سنجی Vis-NIR به‌منظور تخمین ویژگی‌های شیمیایی خاک از روش رگرسیون PLSR استفاده شده است که مشابه نتایج دیگران، برای تخمین درصد ماده آلی این روش گاهی دارای اعتبار کمتر و گاهی بیشتر است که این به ویژگی منحصربه‌فرد در هر خاک مربوط می‌شود. برای تنوع تخمین درصد ماده آلی دلایل متفاوتی عنوان شده است. اگرچه درصد ماده آلی ویژگی‌های جذبی خاصی در محدوده مرئی-مادون قرمز نزدیک دارند، در بیشتر موارد این ویژگی‌های جذبی ضعیف‌اند. بنابراین در خاک‌هایی که

اندازه‌گیری آنها در آزمایشگاه زمان‌بر و پرهزینه است، صورت پذیرفت. پس از ثبت داده‌های طیفی و میانگین‌گیری از آنها، پیش‌پردازش‌های داده‌های طیفی انجام گرفت. به‌طور کلی با توجه به طیف بازتابی همه خاک‌ها بازتاب خاک در محدوده مرئی، اندک و در محدوده فرورسرخ، زیاد است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در طول موج‌های ۱۴۰۰، ۱۹۰۰ و ۲۲۰۰ نانومتر عوارض جذبی بارزی در طیف‌ها دیده شد که این باندها به OH آب آزاد در این طول موج‌ها مربوط می‌شود. ارزیابی نتایج نشان داد که از بین ویژگی‌های ارزیابی شده با این روش، مشخصه‌های pH، EC و OM نتایج قابل قبولی نشان دادند و به‌خوبی تخمین زده شدند، اما مشخصه CaCO_3 نتایج قابل قبولی نشان نداد که یکی از دلایل آن، ممکن است کم بودن CaCO_3 در نمونه‌های خاک باشد. نتایج کلی این پژوهش نشان داد که این روش‌ها به‌خوبی می‌توانند برای بیشتر ویژگی‌های خاک جانشین روش‌های متعارف و سنتی شوند. نتایج طیف‌سنجی نمونه‌های خاک نشان داد که این روش می‌تواند بیشتر ویژگی‌های خاک را در حد قابل قبولی تخمین بزند. به‌طور کلی با توجه به تغییرپذیری ویژگی‌های خاک از نظر مکانی و همچنین پرهزینه و وقتگیر بودن روش‌های مرسوم آزمایشگاهی در تعیین ویژگی‌های خاک، به نظر می‌رسد طیف‌سنجی مرئی- مادون قرمز را می‌توان روش جانشین مناسبی دانست. نتایج این پژوهش، قابلیت استفاده در انواع مختلف خاک را دارد و این مدل‌ها را در خارج از جنگل نیز می‌توان توسعه داد و به‌کار برد.

سپاسگزاری

از حمایت مالی صندوق پژوهشگران و فناوران کشور (شماره طرح ۹۶۰۰۰۴۹۶) در اجرای این تحقیق، تشکر و قدردانی می‌شود.

تنوع کانی‌شناسی زیادی وجود دارد یا مقادیر شن در آنها زیاد است، ویژگی‌های جذبی درصد ماده آلی به‌علت پخش نور با حضور کوارتز پوشیده می‌شود؛ بنابراین تخمین درصد ماده آلی در این نوع خاک‌ها ضعیف خواهد بود (Suddeth et al., 2009; Nocita et al., 2015).

مهم‌ترین باندهای طول موج‌های بهینه برای ویژگی‌های شیمیایی خاک در جدول ۵ مشاهده می‌شود. این محدوده‌های مهم با نتایج حاصل از همبستگی تک‌باندی که در شکل ۳ ارائه شده است، همپوشانی زیادی دارد.

نتایج این پژوهش نشان داد که ویژگی‌های EC، pH و OM خاک، رابطه قوی با بازتاب و مشتق اول بازتاب دارد و از روش طیف‌سنجی برای پیش‌بینی ویژگی‌های ذکر شده می‌توان به‌عنوان روشی سریع و با دقت قابل قبول استفاده کرد. با توجه به کم بودن مقادیر EC و OM نمونه خاک‌های تحت مطالعه، مدل‌های تجربی به‌دست‌آمده در مناطقی با شوری زیاد و ماده آلی زیاد کاربرد نخواهد داشت. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که رابطه بین طیف خام و مشتق اول با کربنات کلسیم نمونه خاک‌های تحت بررسی با روش PLSR رابطه بسیار ضعیفی دارد. در یکی از پژوهش‌های پیشین (Hassani et al., 2014) در خاک‌هایی با مقدار آهک بیشتر، مقدار آهک خاک را با موفقیت برآورد کردند. بنابراین از این روش نمی‌توان برای پیش‌بینی این ویژگی خاک در وضعیت کم بودن آهک خاک استفاده کرد. دلیل دیگر برآورد ضعیف کلسیم کربنات در این پژوهش ممکن است دامنه بسیار کوتاه آن باشد که با یافته‌های پژوهش (Rosset et al., 2006) مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

این پژوهش به‌منظور بررسی توان روش‌های نوین طیف‌سنجی در محدوده طیف گسترده (۲۵۰۰-۳۵۰۰ نانومتر) برای تخمین ویژگی‌های شیمیایی خاک که

References

- Akhzari, D & Asadi Meyabadi., A. (2016). Soil Salinity map preparation using spectral analysis of OLI sensor and field data (Case study: Southern parts of Malayer plain). *RS and GIS for Natural Resources*, 7(2): 87-100. (In Farsi)
- Barral, M. T., Arias, M., & Guerif, J. (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.
- Barral, M. T., Buján, E., Devesa, R., Iglesias, M. L., & Velasco-Molina, M. (2007). Comparison of the structural stability of pasture and cultivated soils. *Science of the total environment*, 378(1-2), 174-178.
- Bartholomeus, H. M., Schaepman, M. E., Kooistra, L., Stevens, A., Hoogmoed, W. B., & Spaargaren, O.S.P. (2008). Spectral reflectance based indices for soil organic carbon quantification. *Geoderma*, 145(1-2), 28-36.
- Bartholomeus, H., Schaepman, M. E., Kooistra, L., Stevens, A., Hoogmoed, W. B., & Spaargaren, O. (2006). Quantitative retrieval of Soil Organic Carbon using laboratory spectroscopy and spectral indices.
- Ben Dor, E., Brown, DJ., Clairotte, M., Csorba, A., Noon, C., Ramirez-Lopez, L., Robertson, J., Sakai, Soriano-Disla, H., Shepherd, JM., Stenberg, KD., Towett, B., Vargas, EK., & Wetterlind J. (2015). Soil Spectroscopy: An Alternative to Wet Chemistry for Soil Monitoring. *Advances in Agronomy*, 132(1): 139-159.
- Bilgili, A. V., Van Es, H. M., Akbas, F., Durak, A., & Hively, W. D. (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.
- Cao, W. F., Zhang, L. Y., Liu, M. B., Tang, P. Z., Liu, Z. H., & Sun, B. C. (2007). Prognostic significance of stomatin-like protein 2 overexpression in laryngeal squamous cell carcinoma: clinical, histologic, and immunohistochemistry analyses with tissue microarray. *Human pathology*, 38(5), 747-752.
- Chang, C. W., Laird, D. A., Mausbach, M. J., & Hurburgh, C. R. (2001). Near-infrared reflectance spectroscopy—principal components regression analyses of soil properties. *Soil Science Society of America Journal*, 65(2), 480-490.
- Chatopad hyaya pk (1972) *Residual shear strength of some pure clay mineral*. Ph.D dissertation, Department of civil Eng, University of Alberta Edmonton.
- Chenu, C., Le Bissonnais, Y., & Arrouays, D. (2000). Organic matter influence on clay wettability and soil aggregate stability. *Soil Science Society of America Journal*, 64(4), 1479-1486.
- Cozzolino, D., & Moron, A. (2003). The potential of near-infrared reflectance spectroscopy to analyse soil chemical and physical characteristics. *The Journal of Agricultural Science*, 140(1), 65-71.
- Darvishzadeh, R., Skidmore, A., Schlerf, M., Atzberger, C., Corsi, F., & Cho, M. (2008). LAI and chlorophyll estimation for a heterogeneous grassland using hyperspectral measurements. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 63(4), 409-426.
- Das, B. S., Sarathjith, M. C., Santra, P., Sahoo, R. N., Srivastava, R., Routray, A., & Ray, S. S. (2015). Hyperspectral remote sensing: opportunities, status and challenges for rapid soil assessment in India. *Current science*, 860-868.
- Diakite, T. (2018). Capability of Visible-Near Infrared Spectroscopy in Estimating Soils Carbon, Potassium and Phosphorus.
- Goebel, M. O., Bachmann, J., Woche, S. K., & Fischer, W. R. (2005). Soil wettability, aggregate stability, and the decomposition of soil organic matter. *Geoderma*, 128(1-2), 80-93.

- Gomez, C., Lagacherie, P., & Coulouma, G. (2008). Continuum removal versus PLSR method for clay and calcium carbonate content estimation from laboratory and airborne hyperspectral measurements. *Geoderma*, 148(2), 141-148.
- Gupta, A., Das, B. S., Kumar, A., Chakraborty, P., & Mohanty, B. (2016). Rapid and noninvasive assessment of Atterberg limits using diffuse reflectance spectroscopy. *Soil Science Society of America Journal*, 80(5), 1283-1295.
- Habashi, KH and Karimzadeh, H.R. (2017). Pourmanafi, S. Assessment soil salinity in east Isfahan based on OLI sensor data and topographic feature analysis. *RS and GIS for Natural Resources*, 8(1), 36-51. (In Farsi)
- Hassani, A., Bahrami, H., Noroozi, A & Oustan, Sh. (2014). Visible-near infrared reflectance spectroscopy for assessment of soil properties in gypseous and calcareous soils. *Watershed Engineering and Management*, 6(2): 125-138. (In Farsi)
- Islam, K., Singh, B., & McBratney, A. (2003). Simultaneous estimation of several soil properties by ultra-violet, visible, and near-infrared reflectance spectroscopy. *Soil Research*, 41(6), 1101-1114.
- Iwata, S., Tabuchi, T & Warkentib, B. P. (1988). *Soil-Water ivteractions, Mechanisms and Applications*. Marcel Dekker, Inc. New York and Basel, 255-256.
- Janik, L. J., Merry, R. H., Forrester, S. T., Lanyon, D. M., & Rawson, A. (2007). Rapid prediction of soil water retention using mid infrared spectroscopy. *Soil Science Society of America Journal*, 71(2), 507-514.
- Kawamura, K., Tsujimoto, Y., Rabenarivo, M., Asai, H., Andriamananjara, A., & Rakotoson, T. (2017). Vis-NIR spectroscopy and PLS regression with waveband selection for estimating the total C and N of paddy soils in Madagascar. *Remote Sensing*, 9(10), 1081.
- Knadel, M., Stenberg, B., Deng, F., Thomsen, A., & Greve, M. H. (2013). Comparing predictive abilities of three visible-near infrared spectrophotometers for soil organic carbon and clay determination. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 21(1), 67-80.
- Lado, M., Ben-Hur, M., & Shainberg, I. (2004). Soil wetting and texture effects on aggregate stability, seal formation, and erosion. *Soil Science Society of America Journal*, 68(6), 1992-1999.
- Lau, I. C., Cudahy, T. J., Heinson, G., Mauger, A. J., & James, P. R. (2003). Practical applications of hyperspectral remote sensing in regolith research. *Advances in Regolith*, 249-253.
- Loeppert, R.H & Inskeepm, W.P. (1996). *Iron Methods of Soil Analysis, Part 3, Soil Science SOMiety of America Inc., and American SOMiety of Agronomy Inc., Madison, WI, 639-66.*
- Madjnounian, B & Sadeghi, B. (2005). Determination of Optimum Lime Percent Content for Forest Road Soils Stabilization and Treatment in Namkhaneh District of Kheiroodkenar Research Forest. *Iranian J. Natural Res*, 57 (4), 663-673. (In Farsi)
- Martens, H & Naes, T. (1989). *Multivariate calibration. Second ed. John Wiley and Sons Ltd. Chichester, UK. 419pp.*
- Moshkoh, Z., Barkhordari, B & Falah, M. (2011). Case Study of Resistance and Influence Parameters of Saline Soil in Yazd Province. *Third National Seminar on Geotechnical Issues of Irrigation and Drainage Networks. Karaj.* (In Farsi)
- Mousavi, F., Abdi, E. (2016). The influence of polymeric materials on soil stabilization of forest road and reduce environmental disturbance, *Iranian Journal of Natural Resource*, 7 (4), 497-505. (In Farsi)
- Nocita, M., Stevens, A., van Wesemael, B., Aitkenhead, M., Bachmann, M., Barthès, B., ... & Dardenne, P. (2015). Soil spectroscopy: An alternative to wet chemistry for soil monitoring. In *Advances in agronomy* (Vol. 132, pp. 139-159). Academic Press.

- Peyrovan, H. R & Asadi, T. (2005). Review of the role of physical and chemical factors affecting erosion forms in marl zones. *Proceedings of the 9th Iranian Soil Science Congress*. Karaj. Soil Conservation and Watershed Management Research Center. Publishers. Iran, 560-562. (In Farsi)
- Pinheiro, É., Ceddia, M., Clingensmith, C., Grunwald, S., & Vasques, G. (2017). Prediction of soil physical and chemical properties by visible and near-infrared diffuse reflectance spectroscopy in the central Amazon. *Remote Sensing*, 9(4), 293.
- Pishnamaz Ahmadi, M., Rezaei Moghadam, M.H & Feizizade, B. (2017). Study indexes and mapping of soil salinity using remote sensing data (Case study: Aji Chay river delta). *RS and GIS Natural Resources*, 8 (1): 85-96. (In Farsi)
- Rahdari, V., Maleki, S., Rahdari, M., Mahomoudi, S., Pormollaei, N., Alimoradi, M., Abtin, E., Kadkhodae, M., & Pormanafi, S. (2016). Investigate the potential of multi spectral satellite data for water depth and lake neighbor area mapping (case study: Chah nimeh reservoirs in Sistan). *Iran Water Resources Research*, 12(3), 130-141.
- Reeves Iii, J., McCarty, G., & Mimmo, T. (2002). The potential of diffuse reflectance spectroscopy for the determination of carbon inventories in soils. *Environmental pollution*, 116, S277-S284.
- Rhodes, J. D. (1996). Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids. *Chemical Methods*, 417-433.
- Rossel, R. A., & Hicks, W. S. (2015). Soil organic carbon and its fractions estimated by visible–near infrared transfer functions. *European Journal of Soil Science*, 66(3), 438-450.
- Rossel, R. V., Walvoort, D. J. J., McBratney, A. B., Janik, L. J., & Skjemstad, J. O. (2006). Visible, near infrared, mid infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties. *Geoderma*, 131(1-2), 59-75.
- Salehi, A., M. Zainkafsh., G. Zahedi Amiri & Marvi Mohajer, R. (2005). A study of soil physical and chemical properties in relation to tree ecological groups in Nam-Khaneh district of Kheirood-Kenar forest, *Iranian Journal of Natural Resource*, 58(3), 567-578. (In Farsi)
- Savitzky, A., & Golay, M. J. (1964). Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedures. *Analytical chemistry*, 36(8), 1627-1639.
- Shrestha, B. M., Singh, B. R., Sitaula, B. K., Lal, R., & Bajracharya, R. M. (2007). Soil aggregate-and particle-associated organic carbon under different land uses in Nepal. *Soil Science Society of America Journal*, 71(4), 1194-1203.
- Stoner, E. R., & Baumgardner, M. F. (1981). Characteristic Variations in Reflectance of Surface Soils 1. *Soil Science Society of America Journal*, 45(6), 1161-1165.
- Sudduth, K. A., Kitchen, N. R., & Kremer, R. J. (2009). VNIR spectroscopy estimation of soil quality indicators. In *2009 Reno, Nevada, June 21-June 24, 2009* (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Summers, D., Lewis, M., Ostendorf, B., & Chittleborough, D. (2011). Visible near-infrared reflectance spectroscopy as a predictive indicator of soil properties. *Ecological Indicators*, 11(1), 123-131.
- Thomas, G. W. (1996). Soil pH and soil acidity. *Methods of Soil Analysis Part 3—Chemical Methods*, (methodsofsoilan3), 475-490.
- Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science*, 37(1), 29-38.
- Wang, X., Zhao, X., Zhang, Z., Yi, L., Zuo, L., Wen, Q & Liu, B. (2016). Assessment of soil erosion change and its relationships with land use/cover change in China from the end of the 1980s to 2010. *Catena*, 137, 256-268.

Waruru, B. K. (2016). *Diagnostic Screening and Prevalence Assessment of Soil Stability Related Problems Using Infrared Spectroscopy in Lake Victoria Basin, Kenya* (Doctoral dissertation, Soil Water and environmental Engineering, JKUAT).

Yitagesu, F. A., van der Werff, H., van der Meer, F., & Hecker, C. (2011). On the relationship between plasticity and spectral characteristics of swelling soils: The 3–5 μm wavelength region. *Applied clay science*, 69, 67-78.

Yitagesu, F.A., (2006). Spectroscopy to derive Engineering Parameters of Expansive Soils Expansive Soils, Masters Thesis, ITC.

Yitagesu, F.A., van der Meer, F., van der Werff, H., & Zigterman, W. (2009). Quantifying engineering parameters of expansive soils from their reflectance spectra. *Eng. Geol.* 105, 151–160. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2009.01.004>



Research Article

Investigating the ability of Visible -NIR spectrometry to estimate some soil properties

F. Mousavi^{1*}, E. Abdi², A. Ghalandarzadeh³, H.A. Bahrami⁴, and B. Majnounian⁵

¹ Ph.D., Dept. of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

^{2*} Associate Professor, Dept. of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

³ Associate Professor, Dept. of Civil Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

⁴ Associate Professor, Dept. of Soil Science, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

⁵ Professor, Dept. of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

(Received: 28 May 2019, Accepted: 25 July 2019)

Abstract

Knowledge of soil chemical properties is important for understanding its engineering characteristics in road construction. Reflectance spectrometry is a non-destructive, fast and environment friendly method, but unfortunately no research has been conducted to use this tool to estimate the forest soil characteristics in Iran. The present study was conducted to investigate the ability of VNIR spectrometry to estimate some chemical properties including organic matter, CaCO₃, pH and EC in the forest soil. For this purpose, 45 soil samples were collected from Namkhaneh series in Kheyroud Forest and those properties were measured by standard methods. The reflectance of sample was measured in dark room using Fieldspec ASD spectroradiometer. PLSR (Partial Least Squares Regression) method was used to predict soil properties in reflectance and first derivative mode. The results of RPD shows that OM has a very good estimate in two modes of reflectance spectra and derivative reflectance spectra (PRD>2) and pH, EC have acceptable estimate (1.4<RPD<2), but CaCO₃ has poor prediction in two modes of reflectance spectra and derivative reflectance spectra (PRD<1.4). In general, based on the results of this study, spectrometry can be used to predict the above-mentioned properties except CaCO₃ as a fast and an acceptable method and this method can simultaneously estimate several soil properties.

Keywords: Forestry soil, Spectrometry, Lime, Organic matter.