محور مقاله: کیفیت خاک و مدیریت پایدار خاک

اشتقاق تابع انتقالی طیفی جهت برآورد ماده آلی خاک

سهیلا فهمیده[1]*، مسعود داوری[2]

[1] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

[2] استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

چکیده

ماده آلی خاک به‌عنوان یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های شیمیایی خاک، اهمیت بسیاری در توسعه و مدیریت پایدار کشاورزی دارد. از آن‌جا که روش‌های معمول آزمایشگاهی اندازه‌گیری ماده آلی خاک، به ویژه در مقیاس‌های مکانی بزرگ، عمدتاً دشوار، پرهزینه و زمان‌بر هستند؛ از این رو، ارزیابی سریع، کم هزینه و با دقت ماده آلی خاک، می‌تواند یک اقدام بسیار ارزشمند برای مدیریت بلند مدت خاک باشد. لذا هدف از این پژوهش اشتقاق توابع انتقالی طیفی جهت برآورد مقدار کربن آلی خاک حوزه آبخیز زریبار شهرستان مریوان در استان کردستان بود. بدین منظور ۱۰۰ نمونه خاک سطحی از منطقه مورد مطالعه جمع‌آوری شده و در آزمایشگاه مقدار کربن آلی و انعکاس طیفی آن‌ها اندازه‌گیری شد. بعد از ثبت طیف‌ها، روش‌های مختلف پیش‌پردازش داده‌های طیفی مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس با استفاده از روش رگرسیون خطی چندگانه گام‌به‌گام تابع انتقالی طیفی جهت برآورد کربن آلی خاک پی‌ریزی شد. نتایج بیان‌گر آن بود که بین کربن آلی خاک با مقادیر انعکاس طیفی خاک در طول موج‌های ۸۵۸ و ۱۹۱۶ نانومتر همبستگی بالا و معنی‌داری وجود دارد. افزون بر این، نتایج این پژوهش نشان داد که داده‌های طیفی خاک می‌توانند به‌عنوان روش معقول و غیرمستقیم در برآورد کربن آلی خاک مورد استفاده قرار گیرند.

کلمات کلیدی: بازتاب طیفی خاک، حوزه آبخیز دریاچه زریبار، کربن آلی خاک

۱- مقدمه

ماده آلی خاک (SOM)[2]، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های شیمیایی خاک، در تعیین رفتار خاک و مدیریت آن تأثیر بسزایی دارد. تعیین مقدار SOM در مطالعات حاصلخیزی خاک و بررسی آلودگی محیط خاک ضروری است. افزون بر این، جهت ارزیابی قابلیت جذب و نگهداری کربن در شرایط مختلف خاک و جذب CO_2 برای کاهش گرم شدن زمین نیز، به داشتن برآوردهایی دقیق از SOM نیاز هست (Nelson and Sommer, 1996). وجود ماده آلی حتی به مقدار کم بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک تأثیر زیادی دارد (Cambardella و همکاران ۲۰۰۱). ماده آلی خاک می‌تواند با تشکیل خاکدانه‌های پایدار و بهبود شرایط ساختاری خاک از هدررفت خاک جلوگیری کند. ماده آلی به‌دلیل ظرفیت تبادل کاتیونی بالا، عناصر غذایی را در خاک ذخیره کرده و باعث افزایش حاصلخیزی خاک و بهبود شرایط تغذیه‌ای گیاه می شود (Ding و همکاران ۲۰۰۲). ماده آلی منبع غذا و انرژی برای میکروارگانیسم‌های خاک است. ماده آلی خاک همچنین بر نیتروژن قابل دسترس گیاهان و جذب آفت کش‌ها نیز تأثیر قابل توجهی دارد. برخی از محققین SOM را به عنوان تنها شاخص مهم ارزیابی کیفیت خاک مطرح کرده (Viscarra Rossel و همکاران ۲۰۰۶) و در بسیاری از موارد کاهش مقدار آن را به عنوان معیاری دقیق جهت ارزیابی شروع تخریب اراضی مطرح می‌کنند (بابائیان و جلالی، ۱۳۹۵). اطلاع از مقدار SOM به‌ویژه در مقیاس‌های مکانی بزرگ نیاز به نمونه برداری‌های فراوان خاک و اندازه‌گیری‌های متعدد آزمایشگاهی داشته که خود دشوار، زمان‌بر و پرهزینه می‌باشد. در دو دهه‌ی اخیر استفاده از بازتاب طیفی در برآورد ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک توجهات زیادی را به خود جلب کرده است. این رشد چشمگیر استفاده از داده‌های طیفی به دلیل بار اطلاعاتی زیادی است که این داده‌ها با خود به همراه دارند. استفاده از داده‌های طیفی به ویژه در دامنه طیف‌های مرئی (Vis) و مادون‌قرمز نزدیک (NIR) (طول موج های بین ۳۵۰ تا ۲۵۰۰) به عنوان روش جایگزین اندازه‌گیری آزمایشگاهی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک ارائه شده است (Janik و همکاران ۲۰۰۹). پژوهش‌ها نشان داده که با بهره‌گیری از گستره مرئی و مادون‌قرمز نزدیک (VIS-NIR، طول موج ۴۰۰ تا ۳۰۰۰ نانومتر) و مادون قرمز میانی (MIR، طول موج ۳۰۰۰ تا ۳۰۰۰۰ نانومتر) می‌توان مقدار SOM را برآورد کرد (Clark و همکاران ۱۹۹۰). همچنین در برخی دیگر از مطالعات، گستره ۴۰۰ تا۲۵۰۰ نانومتر برای ارزیابی مقدار SOM پیشنهاد شده است (Ben-Dor, 2002;

[1] soheyla.fahmideh@gmail.com

[2] Soil Organic Matter

Viscarra Rossel, 2008). در پژوهش‌های مختلف، گستره گوناگونی از دقت برای برآورد مقدار SOM ارائه شده است. به عنوان مثال، Nocita و همکاران (۲۰۱۲) در پژوهشی کربن آلی خاک را در سطوح مختلف رطوبتی، با استفاده از بازتاب طیفی در محدوده Vis-NIR پیش‌بینی کردند. این محققین بیان کردند که داده‌های طیفی خاک با رطوبت جرمی دارای همبستگی بسیار قوی و با کربن آلی خاک، به‌ویژه در مقادیر رطوبتی کمتر، دارای همبستگی متوسطی می‌باشند. خیامیم و همکاران (۲۰۱۵) نیز در پژوهشی با بهره‌گیری از روش رگرسیون حداقل مربعات جزئی (PLSR)[1]، کارایی طیف‌سنجی مرئی–مادون‌قرمز نزدیک را در برآورد مقدار ماده آلی، کربنات‌ها و درصد گچ خاک‌های سطحی استان اصفهان ارزیابی کردند. این محققین نشان دادند که مقدار R^2 مدل پیشنهادی برای برآورد ماده آلی خاک معادل ۰/۶۱ بوده و با توجه به مقادیر RPD[2] آن، پیش‌بینی‌های این مدل برای ماده آلی خاک قابل قبول است.

با توجه به اینکه مطالعاتی اندک راجع به استفاده از داده‌های طیفی مرئی - مادون قرمز نزدیک در برآورد ویژگی‌های خاک‌های ایران انجام شده است؛ در این پژوهش تلاش می‌شود توابعی انتقالی طیفی جهت برآورد مقدار کربن آلی خاک‌های سطحی حوزه آبخیز زریبار شهرستان مریوان در استان کردستان پیشنهاد شود.

۲- مواد و روش

۲-۱- نمونه برداری خاک و اندازه‌گیری کربن آلی خاک

منطقه موردمطالعه بخشی از اراضی واقع در حوزه آبخیز دریاچه زریبار شهرستان مریوان در استان کردستان می‌باشد. میانگین ارتفاع این حوزه از سطح دریا ۱۲۸۵/۵ متر و مساحت آن حدود ۱۰۷۱۸ هکتار بوده که به‌طور عمده تحت پوشش اراضی باتلاقی، زراعت آبی، زراعت دیم، باغات پراکنده، مرتع، جنگل و مناطق مسکونی است. میانگین بارندگی و دمای سالیانه آن به‌ترتیب معادل ۱۰۲۲/۸ میلی‌متر و ۱۲/۱۲ درجه سلسیوس می‌باشد. رژیم رطوبتی و حرارتی منطقه به‌ترتیب زریک و مزیک بوده و دو کلاس بافتی لوم و لوم سیلتی بافت-های غالب خاک‌های منطقه را تشکیل می‌دهند. در این پژوهش تعداد ۱۰۰ نمونه خاک از این منطقه به‌صورت دست‌خورده از عمق ۵-۰ سانتی‌متری به روش تصادفی برداشت شد. نمونه‌ها پس از هوا-خشک‌شدن برای حذف سنگ، ریشه و بقایای گیاهی از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. پس از آماده‌سازی نمونه‌های خاک، درصد کربن آلی آن‌ها به روش والکلی بلاک اندازه‌گیری شد (Nelson and Sommers, 1996).

به‌منظور اندازه‌گیری بازتاب طیفی نمونه‌های خاک نیز، از دستگاه اسپکتروراديومتر (FieldSpec®3, ASD. FR, USA) استفاده شد. بدین منظور نمونه‌های هوا - خشک خاک عبوری از الک ۲ میلی‌متری به پتری دیش‌هایی به قطر ۱۰ سانتی‌متر ریخته شدند. سپس منحنی طیفی آن‌ها در دامنه‌های مرئی و مادون‌قرمز نزدیک (۲۵۰۰-۳۵۰ نانومتر) در تاریک‌خانه در چند تکرار برای هر نمونه خاک اندازه‌گیری شدند. همچنین، به منظور ثبت اندازه گیری‌ها به صورت بازتابش و حذف آشفتگی‌های طیفی، به ازای قرائت از هر سه نمونه خاک یک قرائت نیز از صفحه سفید استاندارد (بازتاب ۱۰۰ درصد) در شرایطی کاملاً یکسان با شرایط اندازه گیری نمونه های خاک انجام شد. افزون بر این، به‌منظور ارتقای کیفیت طیف‌ها و استفاده کارآمد از داده‌های طیفی، با استفاده از نرم‌افزار Unscrambler X 10.3 روی داده‌های طیفی انواع الگوریتم‌های پیش‌پردازش انجام شد. بر اساس نتایج روش اعتبارسنجی متقابل و ارزیابی دقت نتایج حاصل، منحنی‌های جذب و فیلتر ساویتزکی و گلای به‌صورت تابع چندجمله‌ای درجه اول، به‌عنوان مناسب‌ترین روش پیش‌پردازش داده‌های طیفی شناسایی شدند (Viscarra Rossel و همکاران ۲۰۰۶).

نرمال بودن کربن آلی با استفاده از آزمون کولموگروف –اسمرینوف و با بهره‌گیری از نرم افزار Minitab 17 ارزیابی شد. سپس با استفاده از ضرایب همبستگی پیرسون، میزان ارتباط بین مقادیر بازتاب طیفی در هر طول موج با مقدار کربن آلی خاک مورد بررسی قرار گرفت. به‌منظور اشتقاق توابع انتقالی طیفی، مجموعه داده‌های موردمطالعه به‌صورت تصادفی به دو گروه داده‌های واسنجی (n=۷۵) و اعتبارسنجی (n=۲۵) تقسیم شدند. جهت ارزیابی دقت توابع انتقالی طیفی پیشنهادی در هر یک از مراحل تخمین نیز، از آماره‌های مختلفی همچون ضریب تبیین (R^2)، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال‌شده (NRMSE) و درصد انحراف نسبی (RPD) استفاده شد (Willmott, 1981). شاخص درصد انحراف نسبی که اغلب در مطالعات طیف‌سنجی استفاده می‌شود، به سه گستره ۱/۴>، ۲-۱/۴ و ۲< که به ترتیب معرف تخمین ضعیف، قابل قبول و قوی می‌باشند، طبقه بندی می‌شود (Viscarra Rossel, 2008). بیان ریاضی آماره‌های ذکر شده، در زیر آورده شده است:

[1] Partial least square regression
[2] Relative percent deviation

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n} (\hat{y}_i - \bar{\hat{y}})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} (\hat{y}_i - \bar{\hat{y}})^2 \sum_{i=1}^{n} (y_i - \bar{y})^2}} \right]^2 \quad (۱)$$

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} (\hat{y}_i - y_i)^2}}{\overline{X_{OBS}}} \times 100 \quad (۲)$$

$$RPD = \frac{SD}{RMSE} \quad (۳)$$

در این روابط، y_i و $\hat{y}_i$ به ترتیب مقادیر مشاهده‌ای و تخمینی، $\bar{y}$ و $\bar{\hat{y}}$ به ترتیب میانگین مقادیر مشاهده‌ای و تخمینی، N تعداد داده‌ها و SD نیز انحراف از معیار داده‌ها می‌باشند.

۳- نتایج و بحث

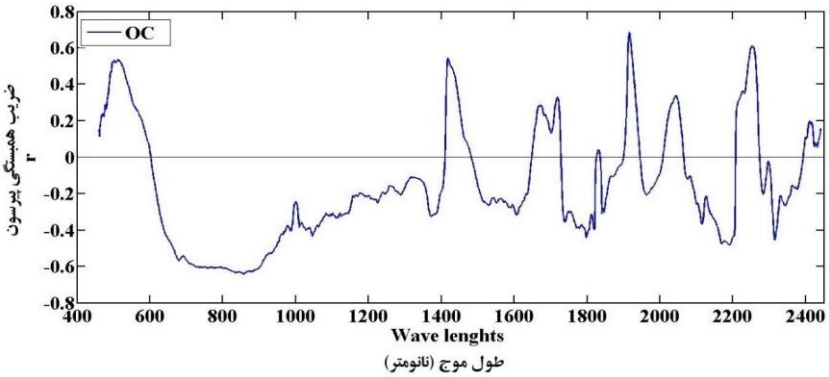
۳-۱- توصیف آماری کربن آلی خاک (SOC) و ارزیابی همبستگی بین کربن آلی و داده‌های طیفی خاک

توصیف آماری SOC در داده‌های موردمطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. با توجه به جدول ۱، درصد کربن آلی خاک‌های مورد مطالعه محدوده‌ای وسیع را در برگرفته، به‌گونه‌ای که کمینه و بیشینه مقدار آن به ترتیب برابر با ۰/۴ و ۹/۱ و مقدار میانگین آن نیز برابر ۲/۷۵ درصد است. واضح است هرچه گستره ویژگی‌های اندازه‌گیری شده خاک‌های مورد مطالعه وسیع‌تر باشد، توابع اشتقاق یافته از اعتبار بیشتری برای استفاده در دیگر انواع خاک‌ها برخوردار می‌باشند. شایان ذکر است که مقدار کربن آلی بیش از ۲ درصد در خاک، می‌تواند تأثیر دیگر ویژگی‌های خاک بر انعکاس طیفی را تحت پوشش قرار دهد (Baumgardner and Stoner, 1981). نتایج حاصل از پژوهش-های گذشته بیان‌گر آن است که افزایش مقدار ماده آلی در خاک مقدار بازتاب طیفی را کاهش می‌دهد. پژوهش‌های مختلف نشان داده‌اند هر یک از اجزای ماده آلی خاک نیز می‌تواند اثرات بازتابی متفاوتی در هر یک از طول موج‌ها داشته باشد (Six and Paustian, 2014).

جدول ۱- توصیف آماری کربن آلی خاک برای دو مجموعه داده‌ها واسنجی و اعتبارسنجی

	حداقل	میانگین	حداکثر	انحراف معیار
کربن آلی خاک	۰/۴	۲/۷۵	۹/۱۰	۱/۶۵

در شکل ۲، ضریب همبستگی پیرسون (r) بین SOC با مقادیر بازتاب طیفی در هر طول موج از گستره ۲۴۵۰-۴۰۰ نانومتر، ارائه شده است. همان‌گونه که این شکل نشان می‌دهد SOC به ازای طول موج‌های مختلف دارای همبستگی‌های مثبت و منفی زیادی است. بیشینه ضریب همبستگی منفی و مثبت معنی‌دار کربن آلی خاک به‌ترتیب در طول موج‌های ۸۵۸ ($r=-۰/۶۴۰^{**}$) و ۱۹۱۶ ($r= ۰/۶۹۰^{**}$) نانومتر مشاهده گردید. شایان ذکر است که طول موج ۱۹۱۶ نانومتر، که دارای بیشینه همبستگی کربن آلی با داده‌های طیفی است، از طول موج‌های نزدیک به مشخصه جذبی آب در خاک (۱۹۱۳ نانومتر) است. در پژوهش‌های مختلف، به وجود رابطه منفی SOC با بازتاب طیفی خاک در ناحیه‌ی مرئی (Vis) و مادون قرمز نزدیک (NIR) و استفاده از داده‌های طیفی در برآورد SOC اشاره شده است (Stenberg، ۲۰۱۰). ارتعاشات پایه مولکول‌های آلی در محدوده مادون قرمز میانی (mid-IR) و جذب‌های فرعی و ترکیبی آن‌ها در محدوده مادون قرمز (NIR) نزدیک رخ می‌دهد. جذب‌های فرعی و ترکیبی Vis-NIR به‌دلیل کشش و خمش گروه‌های عاملی NH، CH و CO موجود در مواد آلی است (Ben-Dor, 2002). Ben-Dor and Banin (1995)، Martin و همکاران (۲۰۰۲) و Stenberg (۲۰۱۰) بیان کردند که طول موج‌های ۱۱۰۰، ۱۶۰۰، ۱۷۰۰ تا ۱۸۰۰، ۲۰۰۰ و ۲۲۰۰ تا ۲۴۰۰ نانومتر طول موج‌هایی هستند که بسیاری از ویژگی‌های مبنایی خاک از جمله کربن آلی و نیتروژن کل به آن‌ها حساس می‌باشند. در ایران کریمی و همکاران (۱۳۹۶)، بیشترین ضریب همبستگی کربن آلی را در طول موج ۷۱۲ نانومتر ($r=۰/۴۱^{**}$) مشاهده کردند. بابائیان و همکاران (۱۳۹۲) نیز گزارش کردند بین کربن آلی و طول موج ۱۸۷۷ نانومتر همبستگی زیادی ($r =۰/۵۱^{**}$) وجود دارد.



شکل ۲- ضریب همبستگی پیرسون بین کربن آلی خاک با مقادیر بازتاب طیفی خاک در طول موج‌های مختلف

۳-۲- استخراج توابع انتقالی طیفی خاک و ارزیابی آن

تابع رگرسیونی طیفی اشتقاق یافته به‌منظور برآورد SOC در جدول ۲ ارائه شده است. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود مقدار SOC برآورد شده توسط داده‌های جذبی، که با روش مشتق اول + فیلتر ساویتزکی–گلای (1^{st} SG) پیش‌پردازش شده است، دارای دقت بالایی (ضرایب تبیین برابر ۰/۶۱) می‌باشد. شایان ذکر است که NRMSE زیر ۱۰ درصد نشان‌دهنده دقیق بودن مدل، ۲۰ - ۱۰ درصد مناسب‌بودن مدل، ۳۰ - ۲۰ دقت متوسط و بیش از ۳۰ درصد نشان‌دهنده ضعیف‌بودن مدل است (Willmott, 1981). این بدین معنی است که با توجه به این آماره تابع رگرسیونی طیفی پیشنهادشده در جدول ۲ از دقت برآورد پایینی (۴۰/۹۱٪ =NRMSE) برخوردار می‌باشد. از طرفی با توجه به آماره RPD، ماده آلی از تخمین قابل قبولی برخوردار می‌باشد (RPD>۱/۴).

جدول ۲- تابع انتقالی طیفی استخراج‌شده برای برآورد کربن آلی خاک با بهره‌گیری از روش پیش‌پردازش مشتق اول + فیلتر ساویتزکی–گلای

STF	R^2	NRMSE	RPD
$SOC = ۰/۰۳۱+۱۷۰۳/۱۴A_{۱۹۳۲}-۹۵۳/۳۳A_{۶۶۷}-۱۲۱۴/۶۷A_{۲۲۹۲}$	۰/۶۱	۴۰/۹۱	۱/۶۱

STF تابع انتقالی طیفی، SOC کربن آلی خاک (٪) و Aw نیز درصد جذب به ازای طول موج W (نانومتر) است.

R^2، NRMSE و RPD به‌ترتیب ضریب تبیین، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده و درصد انحراف نسبی هستند.

در جدول ۳ نیز مقادیر R^2، NRMSE و RPD اعتبارسنجی تابع رگرسیونی طیفی پیشنهادی برای برآورد کربن آلی خاک‌های منطقه مورد مطالعه ارائه شده است. با توجه به نتایج حاصل از آماره NRMSE ارائه شده در این جدول، تابع پیشنهادی در برآورد کربن آلی خاک دارای دقت کمی (NRMSE> ۳۰٪) می‌باشد. این در حالی است که با توجه به آماره R^2 این تابع در برآورد SOC از دقت پیش‌بینی متوسطی برخوردار است. راجع به تفسیر آماره RPD بین محققین مختلف، نظرات متفاوتی وجود دارد. لیکن آن‌چه که به‌طور کلی قابل قبول بوده این است که زمانی که مقدار RPD کمتر از ۱/۴ باشد پیش‌بینی مدل ضعیف و اگر بین ۱/۴ تا ۲ باشد پیش‌بینی قابل‌قبول و اگر بیش از ۲ باشد پیش‌بینی دقیق است. لذا با توجه به آماره RPD محاسبه شده برای کربن آلی (معادل ۱/۲۶)، تخمین ارائه شده برای کربن آلی خاک با بهره‌گیری از داده‌های طیفی در مرحله ارزیابی ضعیف می‌باشد. Ben-Dor and Banin (1995) با مطالعه ۹۰ نمونه خاک در مناطق خشک و نیمه خشک اسرائیل ضریب تبیین ۰/۵۵ را گزارش کردند. یافته‌های Aïchi و همکاران (۲۰۰۹) (با R^2=۰/۹۱ و RMSE=۰/۳۶٪)، Chang and Laird (2002) (با R^2=۰/۸۹ و RMSE=۰/۶۲٪)، Kühnel and Bogner (2017) (با R^2= ۰/۴۰-۰/۸۶ و RMSE= ۱/۹۰-۱۶/۶۳٪)، Nawar and Mouazen (2019) (با R^2> ۰/۷۴ و RMSE<۰/۱۸٪)، Shangshi و همکاران (۲۰۱۹) (با R^2=۰/۹۶) و Shepherd and Walsh (2002) (با R^2=۰/۸۰ و RMSE=۰/۳۱٪) نیز بیان‌گر دقت خوب برآورد کربن آلی خاک با استفاده از داده‌های طیفی است. در ایران نیز بابائیان و جلالی (۱۳۹۵) و خیامیم و همکاران (۱۳۹۴) با استفاده از داده-های طیفی، SOC را با دقت قابل‌قبولی برآورد کرده‌اند.

جدول ۳- اعتبارسنجی توابع انتقالی طیفی پیشنهادی برای برآورد کربن آلی خاک با استفاده از سری داده‌های آزمون (N=۲۵)

پارامتر	R^2	NRMSE (%)	RPD
SOC	۰/۴۲	۴۱/۱۸	۱/۲۶

R^2، NRMSE و RPD به‌ترتیب ضریب تبیین، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده و درصد انحراف نسبی هستند.

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش تلاش شد توابع انتقالی طیفی جهت برآورد کربن آلی خاک پیشنهاد شود. بدین‌منظور پس از ثبت داده‌های طیفی و میانگین‌گیری از آن‌ها و تبدیل بازتاب طیفی به جذب، روش‌های مختلف پیش‌پردازش بر روی این داده‌ها اعمال شد. سپس با استفاده از این داده‌های طیفی و بهره‌گیری از روش رگرسیون خطی چندگانه گام‌به‌گام (SMLR) تابع انتقالی طیفی برای برآورد مقدار SOC پیشنهاد شد. نتایج نشان داد بهترین روش پیش پردازش داده‌های طیفی، روش مشتق اول + فیلتر ساویتزکی-گلای می‌باشد. بین کربن آلی خاک با مقادیر انعکاس طیفی خاک نیز در طول موج‌های ۸۵۸ و ۱۹۱۶ نانومتر همبستگی بالا و معنی‌داری وجود داشت. در مجموع نتایج این پژوهش نشان داد، به‌رغم دقت کم تابع انتقالی طیفی اشتقاق یافته با استفاده از SMLR، لیکن این رویکرد می‌تواند به‌عنوان یک روش سریع، غیرمخرب و با حداقل آسیب به زیست‌بوم در برآورد کربن آلی خاک مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

بابائیان، ا.، همایی، م. و نوروزی، ع. ا. ۱۳۹۲. ارزیابی توابع انتقالی طیفی و توابع انتقالی خاک در پیش‌بینی نگه‌داشت آب در خاک. حفاظت منابع آب و خاک، ۳ (۲)، ۴۳-۲۵.

بابائیان، ا و جلالی، و. ر. ۱۳۹۵. برآورد مقدار کربن آلی خاک با استفاده از داده‌های ابرطیفی در گستره VIS-NIR-SWIR. مجله مدیریت خاک و تولید پایدار ، ۶ (۲)، ۸۲-۶۵.

خیامیم، ف.، خادمی، ح.، استنبرگ، ب. و ویترلیند، ی. ۱۳۹۴. قابلیت روش طیف‌سنجی مرئی – مادون قرمز نزدیک در پیش‌بینی چند ویژگی شیمیایی خاک‌های استان اصفهان. مجله علوم آب و خاک، ۱۹ (۷۲)، ۹۱-۸۱.

کریمی، ص. ا.، داوری، م.، بهرامی، ح.، بابائیان، ا. و حسینی، س. م. ط. ۱۳۹۶. برآورد برخی ویژگی های مبنایی خاک توسط طیف سنجی مرئی - مادون قرمز نزدیک در استان کردستان. تحقیقات آب و خاک ایران ، ۴۸ (۳)، ۵۷۳-۵۸۵.

Aichi, H., Fouad, Y., Walter, C., Viscarra Rossel, R. A., Chabaane, Z. L. and Sanaa, M. 2009. Regional predictions of soil organic carbon content from spectral reflectance measurements. Biosystems engineering. 104: 3. 442-446.

Baumgardner, M. F. and Stoner, E. R. 1981. Soil mineralogical studies by remote sensing. Purdue University.

Ben-Dor E. 2002. Quantitative remote sensing of soil properties. Advances in Agronomy. Academic Press, Pp: 173-243.

Ben-Dor, E. and Banin, A. 1995. Near-infrared analysis as a rapid method to simultaneously evaluate several soil properties. Soil Science Society of America Journal 59, 2.364-372.

Cambardella C. A., Gajda A. M., Doran J. W., Wienhold B. J. and Kettler T. A. 2001. Estimation of particulate and total organic matter by weight loss on-ignition. Pp. 349-359, In: Lal, R. et al. (Eds.), Assessment Methods for Soil Carbon. Adv. Soil Sci., CRC Press, Boca Raton, FL.

Chang, C. W. and Laird, D. A. 2002. Near-infrared reflectance spectroscopic analysis of soil C and N. Soil science. 167, 2.110-116.

Clark R.N., King T.V.V., Klejwa M., Swayze G.A. and Vergo N. 1990. High spectral resolution reflectance spectroscopy of minerals. J. Geophysic. Res. 95, 12653-12680.

Ding G., Novak J. M., Amarasiriwardena D., Hunt P. G. and Xing B. 2002. Soil organic matter characteristics as affected by tillage management. Soil Sci. Soc. Am. J. 66, 421-429.

Janik L.J., Forrester ST. and Rawson A. 2009. The prediction of soil chemical and physical properties from mid-infrared spectroscopy and combined partial least-squares regression and neural networks (PLS-NN) analysis. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems 97, 179-188.

Kühnel, A. and Bogner, C. 2017. In-situ prediction of soil organic carbon by vis–NIR spectroscopy: an efficient use of limited field data. European Journal of Soil Science, 68(5), 689-702.

Martin, P., Malley, D., Manning, G. and Fuller, L. 2002. Determination of soil organic carbon and nitrogen at the field level using near-infrared spectroscopy. Canadian Journal of Soil Science, 82(4), 413–422.

Nawar, S. and Mouazen, A.M. 2019. On-line vis-NIR spectroscopy prediction of soil organic carbon using machine learning, Soil and Tillage Research, 190, 120-127.

Nelson, D.W. and Sommers, L.E. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. P: 961–1010, In: DL Sparks, AL Page, PA Helmke and RH Loeppert (eds), Methods of soil analysis part 3. Chemical methods, SSSA Book Ser. 5. SSSA, Madison, WI, USA.

Nocita, M., Stevens, A., De Brogniez, D., Bampa, F., Toth, G., Panagos, P. and Montanarella, L. 2012. Prediction of SOC content at European scale by coupling Vis-NIR spectroscopy and a modified local PLSR algorithm. In: EGU General Assembly Conference Abstracts, 4247 p.

Shangshi, L. Haihua, Sh. Songchao, C. Xia, Z. Asim, B. Xiaolin, J. Zhou, Sh. and Jingyun, F. 2019. Estimating forest soil organic carbon content using vis-NIR spectroscopy: Implications for large-scale soil carbon spectroscopic assessment. Geoderma, 348, 37-44.

Shepherd, K.D. and Walsh, M.G. 2002. Development of reflectance spectral libraries for characterization of soil properties. Soil science society of America journal. 66(3), 988–998.

Six, J. and Paustian, K. 2014. Aggregate-associated soil organic matter as an ecosystem property and a measurement tool. Soil biology and biochemistry. 68, A4-A9.

Stenberg, B. 2010. Effects of soil sample pretreatments and standardised rewetting as interacted with sand classes on Vis-NIR predictions of clay and soil organic carbon. Geoderma. 158(1-2), 15-22.

Viscarra Rossel R.A. 2008. ParLeS software for chemometric analysis of spectroscopic data. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems. 90, 72-83.

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

Willmott C.J. 1981. On the validation of models. Physical Geography, 2, 184–194.

Deriving spectrotrnsfer function for predicting soil organic matter

Soheyla Fahmideh[1*], Masoud Davari[2]

1. M. Sc. Graduate, Department of Soil Science and Engineering, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran
2. Assistant Prof., Department of Soil Science and Engineering, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

Abstract

Soil organic matter (SOM), as one of the main soil chemical properties, has a great importance for development and sustainable management of agriculture. The conventional laboratory methods of measuring SOM, especially in the large spatial scales, are difficult, costly, and time-consuming. Hence, rapid, low-cost, and accurate assessment of SOM can be a valuable measure for long-term soil management. Therefore, the objective of this study was to derive some specto-transfer functions (STFs) to estimate SOC in Zrebar lake watershed of Marivan, Kurdistan province, Iran. For this purpose, 100 surface soil samples were collected from the study area. The spectral reflectance and SOC content of the soil samples were measured in the laboratory. After recording of the spectra, different pre-processing techniques were evaluated. Then, specto-transfer function was derived to estimate SOC content using stepwise multiple linear regression (SMLR). The results indicated that there are high and significant correlations between SOC content and spectral reflectance at wavelengths of 858 and 1916 nm. Moreover, the results of this study showed that the soil spectral data can be used as a reasonable and indirect method for estimating SOC.

Keyword: Soil organic carbon, Soil spectral reflectance, Zrebar lake watershed