روش‌های اندازه‌گیری کربن آلی خاک در زمین‌های کشاورزی با استفاده از سیستم‌های سنجش از راه دور

پریسا عطائیان[۱]، پرویز احمدی مقدم[۲]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک ماشینهای کشاورزی، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه اورمیه،
hirondelle1985@yahoo.com
۲- استادیار گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه اورمیه

چکیده

کربن خاک به عنوان منبع عظیمی از مواد مغذی برای گیاه و به عنوان عاملی فعال در گسترش ساختمان خاک، نقش مهمی در کشاورزی دارد. کشاورزی دقیق نیازمند اطلاعات دقیق سه بعدی روی خصوصیات خاک برای مدیریت تولید محصول همراه با افزایش سود مزرعه و کاهش تخریب محیط زیست است. ایجاد نقشه‌های دیجیتال با وضوح بالا از خاک برای استفاده در برنامه-های کاربردی مانند کشاورزی دقیق نیازمند مجموعه‌ای از اطلاعات با کیفیت خوب و قدرت تفکیک فضایی بالا می‌باشد. تجزیه و تحلیل آزمایشگاهی خاک معمولا هزینه‌بر، وقت‌گیر و پرزحمت است. کارهای زیادی در سرتاسر جهان برای توسعه سنسورهای ابتدایی خاک در حال انجام است که ممکن است برای کاهش نیاز یا تکمیل فرآیند تحلیل خاک مورد استفاده قرار گیرد. برای ترسیم کربن خاک روش‌های سنجش از راه دور دارای مزیت آشکار- ماهیت سه بعدی تصاویر- هستند اما ابزار مناسبی برای توضیح مورد نیاز است. از آنجاکه خاک‌های غنی از کربن آلی اغلب توسط ظاهر تیره‌شان قابل شناسایی‌اند، بیشتر تحقیقات برای تعیین تغییر پذیری کربن به بازتاب در محدوده باندهای مرئی توجه دارد. برای تعیین رنگ خاک، خاک شناسان از سیستم رنگ‌سنج استفاده کرده‌اند که نیاز به تطبیق بصری بین نمونه‌های خاک و تراشه‌های رنگ استاندارد دارد و برای اندازه‌گیری دقیق رنگ کمتر مناسب می‌باشد. روش‌های تحلیلی معمول برای خصوصیات خاک وقت‌گیر، مخرب برای نمونه‌ها و اغلب موجب بکار بردن بسیاری از مواد شیمیایی می‌باشد. مزایای کاربرد سنجش از راه دور، شامل نمونه‌برداری ساده از خاک الک شده، عدم نیاز به کاربرد مواد شیمیایی و سمی، غیرمخرب بودن آن برای طبیعت و اینکه سریع، ارزان و با دقت بالا انجام می‌شود.

واژگان کلیدی: دوربین دیجیتال، کربن آلی خاک، کشاورزی دقیق، طیف سنجی بازتابی

مقدمه

کربن خاک به عنوان منبع عظیمی از مواد مغذی برای گیاه و به عنوان عاملی فعال در گسترش ساختمان خاک، نقش مهمی در کشاورزی دارد. از سال ۱۸۵۰ خاک‌ها تنها به دلیل کشاورزی ۷۸ تن کربن از دست داده‌اند. این از دست رفتن کربن نشان دهنده انتشار بخش عمده‌ای از گازهای گلخانه‌ای است و منجر به کاهش حاصلخیزی، کاهش نگهداری آب و ساختار سله بسته و فشرده در سطح خاک می‌شود (Christy *et al.*, 2008).

کشاورزی دقیق نیازمند اطلاعات دقیق سه بعدی روی خصوصیات خاک برای مدیریت تولید محصول همراه با افزایش سود مزرعه و کاهش تخریب محیط زیست است. نقشه‌های دقیق کربن خاک حاوی اطلاعات ضروری برای انجام عملیات بی‌خطر روی مناطق خاص است. برای مثال، غلظت کربن آلی در سطح خاک، برای تعیین میزان نیاز یک مکان خاص به بعضی منابع مورد نیاز برای تولید محصول، از جمله نیتروژن و علف‌کش‌ها مورد نیاز است (Blackmer and White, 1998 ; Xuewen *et al.*, 2007).

حداقل دو مانع عمده در محاسبه کربن خاک وجود دارد:

۱) افزایش کربن با توجه به تغییرات عملیات کشاورزی خیلی کم است.

۲) مقدار کربن بطور گسترده‌ای در داخل خاک، حتی در چند متر، متغیر است.

شکل ۱ تنوع کربن را در تحلیل آزمایشگاهی نمونه‌های یک منطقه یک هکتاری در منطقه آیوا نشان می‌دهد. تفاوت کربن در چنین فاصله‌های کوچکی علاوه بر عوامل اصلی مانند فرم خاک، نوع خاک و تاریخچه کاربردی زمین، به عوامل نامعلوم و غیر قابل مشاهده‌ای بستگی دارد. مثل پخش ناهموار باقی‌مانده محصولات خارج شده از خرمن‌کوب کمباین روی زمین، جابجایی توده باقیمانده محصولات بطور نامنظم روی زمین بر اثر بارش‌های سنگین، باقی ماندن مدفوع حیوانات در مکان‌های تصادفی و بسیاری عوامل دیگر.

1.8-4.4	1.3-3.2	1.3-3.3	1.7-3.8
1.7-5.5	1.9-5.4	1.9-3.7	1.3-2.4
3.5-6.2	1.5-5.3	1.5-2.5	1.7-5.0
2.3-3.6	1.8-3.7	1.6-4.0	2.2-4.2

شکل ۱- تنوع کربن در یک زمین یک هکتاری در منطقه آیوا

اگر نرخ نمونه‌برداری ناکافی باشد، فاصله اطمینان بیش از حد بالا رفته و اگر نمونه‌ها به تعداد کافی جمع‌آوری شود، هزینه تحلیل‌های آزمایشگاهی گزاف خواهد بود. بنابراین یک جایگزین بهتر و مناسب‌تر برای کاهش هزینه‌های تحلیل و عملیات مورد نیاز است (Christy *et al.*, 2008).

ایجاد نقشه های دیجیتال با وضوح بالا از خاک برای استفاده در برنامه های کاربردی مانند کشاورزی دقیق نیازمند مجموعه‌ای از اطلاعات با کیفیت خوب و قدرت تفکیک فضایی بالا (۱۰ متر یا کمتر) می‌باشد. تجزیه و تحلیل آزمایشگاهی خاک معمولا هزینه بر، وقت گیر و پر زحمت است. کارهای زیادی در سرتاسر جهان برای توسعه سنسورهای ابتدایی خاک در حال انجام است که ممکن است برای کاهش نیاز یا تکمیل فرآیند تحلیل خاک مورد استفاده قرار گیرد. این روش‌ها همچنین ممکن است مشخصات خاک را بطور مستقیم (مانند اندازه‌گیری pH خاک، Viscarra *et al.*, 2004) یا غیر مستقیم از طریق یافتن یک تابع انتقالی، برای مثال اندازه‌گیری مقدار رس با استفاده از ابزار EMI (Sudduth *et al.*, 2001) بدست آورند. این روش ممکن است برای اندازه‌گیری‌های آنی بر روی وسایل نقلیه نصب شود . اگرچه این روش‌ها ممکن است نتایجی به دقت نتایج آزمایشگاهی نداشته باشند اما امکان آنالیز تعداد بیشتری از داده‌ها را با استفاده از روش‌های ساده‌تر و ارزان‌تر فراهم می‌کنند. علاوه بر این، اطلاعات به موقع بدست می‌آیند (Viscarra *et al.*, 2008).

کربن آلی خاک و آهن اغلب در ارائه اطلاعات برای توضیح شرایط خاک بکار می‌روند. برای مثال، رنگ خاک‌های معدنی حاوی آهن که تحت واکنش‌های اکسایش و کاهش قرار می‌گیرند، اطلاعات مفیدی درباره شرایط هیدرولوژیکی خاک بدست می‌دهد. همچنین خاک‌های تیره تر اغلب حاوی کربن آلی بیشتری بوده و از این رو حاصلخیزتر هستند. (Viscarra *et al.*, 2008) رنگ خاک بستگی به نوع ترکیبات خاک دارد و این مشخصه به راحتی در دسترس بوده و در طول زمان نسبتا پایدار است که توضیح می‌دهد چرا برای شناسایی خاک و تعیین ویژگی‌های کیفی خاک همچون وجود ترکیباتی مانند اکسید آهن (Torrent *et al.*,1983)، مواد آلی(Lindbo *et al.*,1998) و آب (Bedidi *et al.*, 1992) بکار می‌رود (Viscarra *et al.*, 2008).

برای ترسیم کربن خاک روش‌های سنجش از راه دور دارای مزیت آشکاری- ماهیت سه بعدی تصاویر- هستند اما ابزار مناسبی برای توضیح مورد نیاز است. از آنجاکه خاک‌های غنی از کربن آلی اغلب توسط ظاهر تیره‌شان قابل شناسایی‌اند، بیشتر تحقیقات برای تعیین تغییر پذیری کربن به بازتاب در محدوده باندهای مرئی توجه دارد (Viscarra *et al.*, 2008).

برای تعیین رنگ خاک، خاک شناسان از سیستم رنگ‌سنج مانسل استفاده کردند که نیاز به تطبیق بصری بین نمونه خاک و تراشه‌های رنگ استاندارد دارد. به علت ماهیت درونی نمودارهای رنگ مانسل، وابستگی ضعیف و تعداد محدود تراشه‌ها، این سیستم برای اندازه‌گیری دقیق رنگ کمتر مناسب می‌باشد (Melville and Atkinson,1985). این محدودیت‌ها موجب تحقیقات بیشتر جهت استفاده از روش‌های کامل‌تر و دقیق‌تر برای اندازه‌گیری رنگ گردید. روش‌های سریع مانند پردازش تصاویر دیجیتال (Viscarra *et al.*, 2003 ;Levin *et al.*, 2005)، رنگ‌سنج‌ها (Konen *et al.*, 2003) و طیف‌سنج‌ها (; Post *et al.*,1993 Bert *et al.*, 2002) امکان توصیف بیشتر خصوصیات فیزیکی رنگ خاک را فراهم کرده‌اند (Viscarra *et al.*, 2008).

بسیاری از کارهای تحقیقاتی انجام گرفته مربوط به بازتاب نور در ناحیه مادون قرمز نزدیک مرئی و مادون قرمز متوسط طیف های الکترومغناطیسی مربوط به خاک بوده‌اند (Janik *et al.*, 1998; Henderson *et al.*, 1992 ; Ben *et al.*, 1999 ; Mouazen *et al.*, 2007 ; Brown *et al.*, 2006 ; Chang *et al.*, 2001 ;).

مولر و پیرس میزان کربن آلی خاک را در خاک های یخزده منطقه میشیگان از طریق طیف‌سنجی مادون قرمز بررسی کردند. خاک‌های تغییر شکل یافته در اثر یخبندان و دیگر عوامل در سراسر مزرعه، موجب تشکیل سطوح متغیر در زمین همچون تپه‌ها، دره‌ها و دشت‌های کوچک مواج می‌شود. خاک این چنین متغیر و ویژگی‌های توپوگرافی خاک‌های کشاورزی یخزده می‌تواند کیفیت نقشه‌های کربن تهیه شده توسط طیف‌سنجی مادون قرمز نزدیک یا فقط داده‌های تصویری را تحت تاثیر قرار دهد (Xuewen, 2007 Mueller and ; Pierce, 2003).

از یک دیدگاه عملی و اقتصادی ممکن است مهم باشد که بدانیم آیا تکنیک‌های طیف کامل قادر به پیش بینی خصوصیات خاک با دقت بیشتر ازفن‌آوری‌های ساده‌تر و ارزان‌تر که یک یا چند فرکانس نور را بکار می‌گیرند، هستند. قسمت اعظم این کار روی کاربرد یک یا چند طول موج تمرکز دارد. برای مثال، یک حسگر آنی که از بازتاب نور در ۶۶۰ نانومتر برای بدست آوردن همبستگی با مواد آلی خاک استفاده می‌کند (Shunk *et al.*, 1991) و مقایسه پیش بینی مواد آلی خاک از طریق بازتاب طیفی مادون قرمز نزدیک مرئی با روش رنگ‌سنجی توسط دستگاه رنگ سنج (Sudduth and Hummel, 1998). تنها دو مقاله استفاده از دوربین دیجیتال را برای اندازه‌گیری سریع بازتاب خاک پیشنهاد دادند. برای مثال، مقایسه دوربین دیجیتال نسبت به طیف‌سنج مادون قرمز نزدیک مرئی برای پیش‌بینی کربن آلی خاک (Viscarra *et al.*, 2004) و کاربرد دوربین دیجیتال برای اندازه‌گیری آهن و ذرات ریز (Levin *et al.*,2005) .

روش‌های طیف سنجی بازتابی و عکس‌برداری به ویژه برای خاک، امکان بررسی خواص متفاوت مربوط به رطوبت و مواد آلی از جمله کربن، نیتروژن و برآورد خصوصیات میکرو، ماکرو ، فیزیکی و بیوشیمیایی خاک را فراهم کرده است. روش‌های تحلیلی معمول برای بسیاری از خصوصیات خاک که در بالا ذکر شد، وقت‌گیر، مخرب برای نمونه‌ها و اغلب موجب بکار بردن بسیاری از مواد شیمیایی می‌باشد. مزایای کاربرد سنجش از راه دور، شامل نمونه‌برداری ساده از خاک الک شده، عدم نیاز به کاربرد مواد شیمیایی و سمی، غیرمخرب بودن آن برای طبیعت و اینکه سریع، ارزان و با دقت بالا انجام می‌شود. (Zornoza *et al.*, 2008)

مواد و روش ها

۱- روش طیف سنجی بازتابی

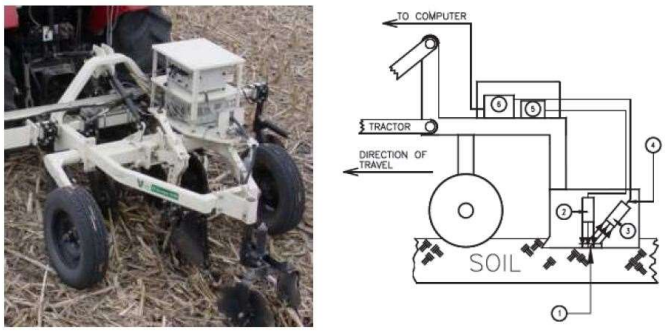
جمع‌آوری نمونه‌ها

در سیستم‌های اندازه‌گیری از راه دور، نمونه‌ها از سطح خاک نسبتا خشک و عاری از بقایای گیاهی جمع‌آوری می‌شوند. چندین نمونه قبل از طیف‌سنجی برای تعیین برخی خصوصیات خاک همچون رطوبت، بافت و کربن آلی به آزمایشگاه منتقل می‌شود.

در تمام نمونه‌برداری‌ها، نمونه‌های خاک از عمق ۰ تا ۱۰ سانتی‌متری بطور تصادفی گرفته می‌شود. قبل از تحلیل، نمونه‌ها در جریان هوا به مدت یک هفته خشک و سپس از الک ۲ میلی‌متری عبور داده می‌شوند. کربن آلی خاک توسط اکسیداسیون پتاسیم دی کرومات تعیین می‌گردد.

طیف‌سنجی

پس از این مرحله، عملیات داده‌برداری توسط دستگاه طیف‌سنج مادون قرمز نزدیک، متوسط و یا سنسورهای ماهواره‌ای انجام می‌گیرد. دستگاه طیف‌سنج مادون قرمز نزدیک مزرعه‌ای از اجزای مختلفی تشکیل شده است: دریچه تیره (فیلتر مادون قرمز)، منبع هالوژن، چشمی‌دریافت، چشمی‌رشته ای، منبع تغذیه و طیف‌سنج (شکل ۲).



شکل ۲- ساختمان یک طیف‌سنج میله‌ای برای اندازه‌گیری طیف‌های نزدیک

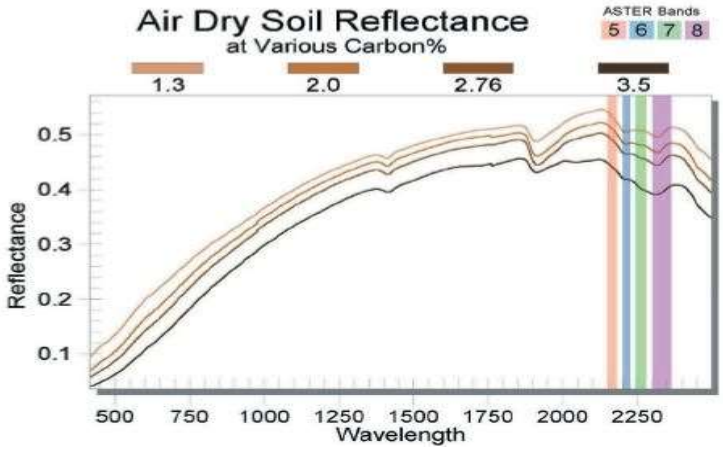
طیف‌سنج سوار شده بر روی میله متصل به تراکتور درون خاک تا عمق معینی کشیده می‌شود. اندازه‌گیری‌های طیفی توسط یک دریچه طیفی نصب شده بر انتهای میله بدست می‌آید. طیف بازتابیده برای انتقال به طیف‌سنج درون یک کابل فیبر نوری جمع‌آوری شده تا به دستگاه تبدیل منتقل شود (شکل ۳).

شکل ۳- طیف‌سنج نصب شده روی وسیله متصل به تراکتور

طیف‌سنجی در باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک (۳۵۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر) انجام می شود. کربن خاک براساس اثرهای طیفی ۳۵۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر از طیف مادون قرمز نزدیک و باندهای حساس به تمام رنگ‌های چند طیف نوری از سنسورهای ماهواره‌ای بدست می آید.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

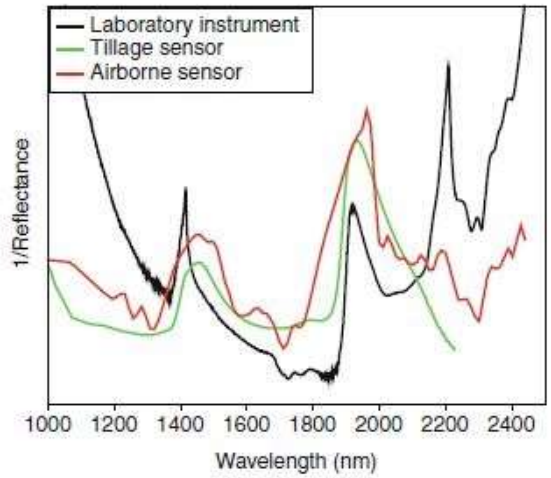
تحلیل داده‌های طیف‌سنجی شده در شکل ۴ رسم شده است. این نمودار نشان می‌دهد که چگونه باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک در مقابل مقادیر درصد کربن آلی واکنش نشان می‌دهند. در نتیجه برای این مدل ها مقدار ضریب همبستگی بدست خواهد آمد.



شکل ۴- منحنی طیفی بازتاب خاک با افزایش درصد کربن آلی

همبستگی‌های مشاهده شده نشان می‌دهد که تنوع نسبتا زیاد بافت و مکان نمونه‌برداری، وقتی حجم نمونه‌ها به اندازه کافی بزرگ نیست، ممکن است دقت و صحت نقشه‌های کربن تهیه شده را تحت تاثیر قرار دهد.

مقایسه طیف متوسط مادون قرمز نزدیک سنسورهای آزمایشگاهی، هوایی و زمینی تفاوت‌های قابل توجهی در ویژگی‌های طیفی در بین روش‌ها نشان می‌دهد. سنسور زمینی طیف‌ها را ظاهرا بطور محسوسی با کمترین میزان بازتاب مشخص کرده است. مساله قابل توجه اینکه سنسور هوایی تحت تاثیر بازتاب طبیعی نور خورشید است که در مقابل آن فیلتر جوی قرار داده می‌شود (شکل ۵).



شکل ۵– طیف‌های مادون قرمز نزدیک میانگین‌گیری شده که توسط سنسورهای مختلف مادون قرمز نزدیک ایجاد شده است.

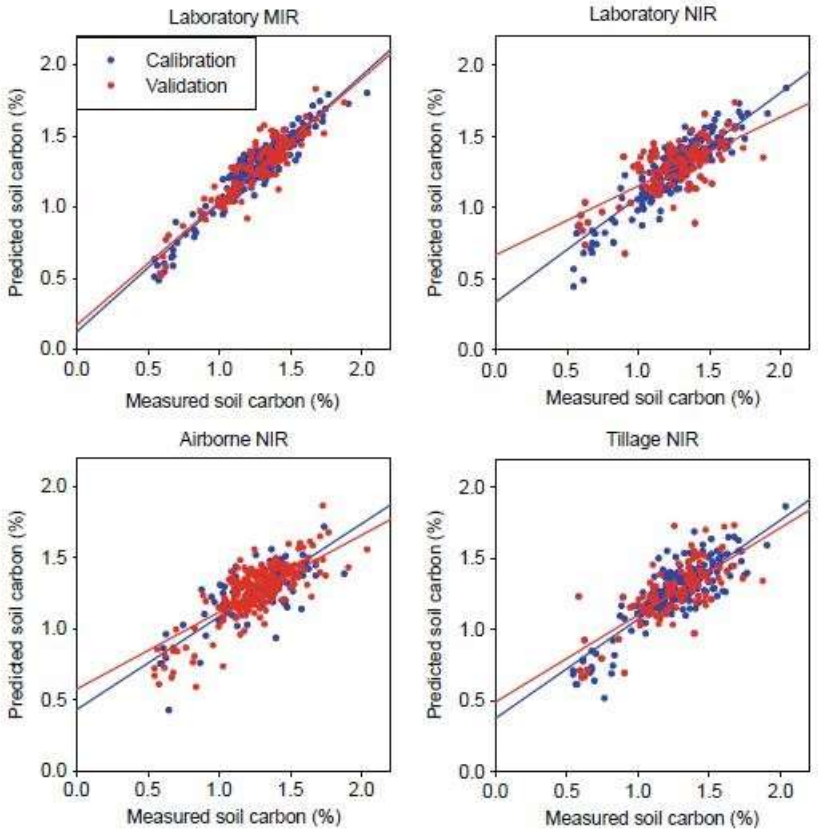
مدل های رگرسیون حداقل مربعات جزئی برای ناحیه مادون قرمز کوتاه گستره ای از ضرایب تعیین R^2 را برای تعیین کربن آلی خاک توسط کالیبراسیون آزمایشگاهی و ارزیابی عملکردشان از داده‌های بدست آمده از سنسور زمینی و هوایی تعیین کرده‌اند (جدول ۱). با اینحال آمار ارزیابی براساس مجموعه‌ای از نمونه‌های مستقل متشکل از یک سوم نمونه‌ها نشان می‌دهد که داده‌های آزمایشگاهی دارای حداقل قدرت در بیان روش‌های کالیبراسیون هستند.

جدول ۱– نتایج آماری کالیبراسیون و ارزیابی مدل‌های رگرسیون حداقل مربعات جزئی از منابع اطلاعاتی طیفی متفاوت

منابع	کالیبراسیون		ارزیابی	
	RMSD	R^2	RMSD	R^2
هوایی	۰/۱۵	۰/۶۴	۰/۱۷	۰/۵۴
زمینی	۰/۱۴	۰/۷۱	۰/۱۸	۰/۵۳
آزمایشگاه مادون قرمز نزدیک	۰/۱۱	۰/۸۱	۰/۱۹	۰/۴۵
آزمایشگاه مادون قرمز موج متوسط	۰/۰۸	۰/۹۰	۰/۱۱	۰/۸۳

روابط بین کالیبراسیون و ارزیابی مدل‌های مادون قرمز نزدیک و متوسط در شکل ۶ نشان داده شده است. با اجرای مدل‌های مادون قرمز نزدیک هوایی و زمینی و مدل‌های آزمایشگاهی مادون قرمز نزدیک و متوسط، مدل آزمایشگاهی مادون قرمز نزدیک بزرگترین اختلاف در شیب را در بین مجموعه‌های کالیبراسیون/ ارزیابی ایجاد می‌کند.

عملکرد طیف‌سنجی مادون قرمز موج متوسط بهتر از نزدیک است که احتمالا در نتیجه داده‌های قوی طیف‌های مادون قرمز موج متوسط می‌باشد. جذب جوی قوی در ناحیه مادون قرمز موج متوسط احتمالا مانع سنجش از راه دور کربن خاک می‌شود اما برای سنجش در نزدیکی خاک اینطور نیست.



شکل ۶– داده‌های کالیبراسیون با مدل رگرسیون حداقل مربعات جزئی برای منابع اطلاعاتی طیفی متفاوت

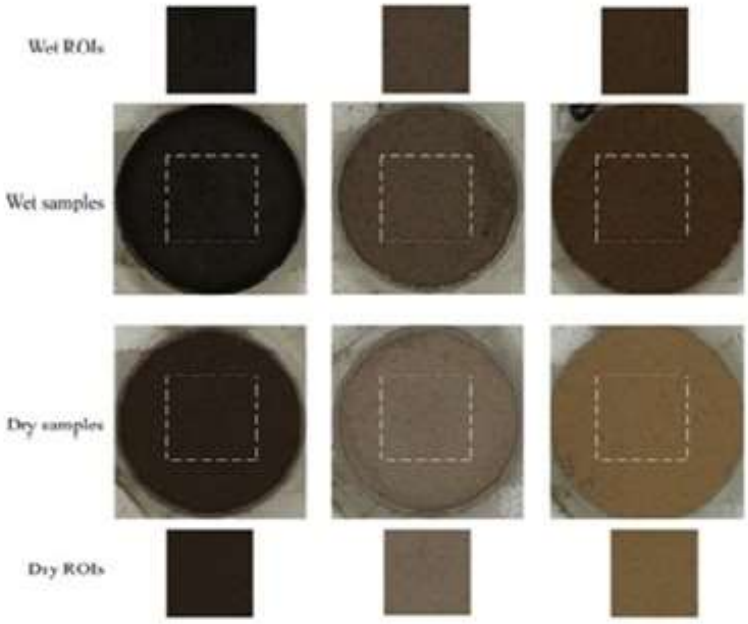
۲- استفاده از دوربین دیجیتال

جمع‌آوری نمونه‌ها

تهیه نمونه‌ها در این روش نیز مشابه روش طیف‌سنجی بازتابی است، تنها تفاوتی که وجود دارد مربوط به استخراج داده‌ها و آنالیز آن‌ها می‌باشد.

گرفتن عکس‌ها

تصاویر خاک با استفاده از یک دوربین دیجیتال و نور هالوژن گرفته می‌شود (شکل ۷). دوربین روی یک سه پایه با فاصله ۰/۵ متری لنز دوربین از سطح پتری دیش نصب شده و نور از یک سطح مقعر سفید بازتاب می‌شود تا زاویه انتشار نور روی عکس‌ها ۴۵ درجه باشد. نمونه‌ها برای جلوگیری از اثر تداخل نور داخل یک محفظه قرار می‌گیرند و سطح نمونه‌ها برای جلوگیری از تشکیل سایه صاف می‌شود.



شکل ۷- عکس‌های گرفته شده از نمونه‌ها در داخل پتری‌دیش در دو حالت خشک و مرطوب و منطقه ۱۳۰×۱۳۰ پیکسل مورد استفاده در تحلیل عکس‌ها

استخراج داده‌ها و آنالیز آن

دوربین دیجیتال، اطلاعات تبدیل شده تک رنگ با یک سری فیلتر RGB را بکار می‌گیرد و آن را در محدوده صفر (تیره) تا ۲۵۵ (روشن) برای هر کانال قرمز، سبز و آبی (RGB) رمزگذاری می‌کند. تحلیل و استخراج اطلاعات نقاط RGB با استفاده از نرم‌افزار انجام می‌گیرد. نرم‌افزار همچنین توزیع هر یک از کانال‌های R، G و B را برای هر عکس محاسبه می‌کند.

رنگ خاک به تنهایی یک ویژگی کاربردی برای خاک به شمار نمی‌رود. بنابراین سودمندی آن با بررسی رابطه بین اندازه‌گیری‌های دیجیتالی رنگ خاک و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک ارزیابی مشخص می‌شود. با بررسی رابطه بین رنگ خاک در فضاهای رنگی مختلف و کربن آلی خاک، رنگ خاک ارتباط بالایی با کربن آلی نشان می‌دهد.

جدول ۲ رابطه بین رنگ خاک در فضاهای رنگی مختلف و کربن آلی خاک و آهن را نشان می‌دهد. رنگ خاک ارتباط بالایی با کربن آلی داشته در حالیکه رابطه آن با آهن تا حدودی کمتر بود (Viscarra *et al.*, 2008).

جدول ۲- ضرایب همبستگی برای پارامترهای مدل فضای رنگی و مقادیر کربن آلی خاک (٪) و آهن (٪).

	R	G	B	H_{HSB}	I_{HSB}	S_{HSB}	L	a*	b*	u*	v*	c*	h*	H	V	C	OC	Fe
R	1.00																	
G	0.98	1.00																
B	0.92	0.97	1.00															
H_{HSB}	−0.18	0.01	0.08	1.00														
I_{HSB}	0.99	1.00	0.96	−0.07	1.00													
S_{HSB}	0.96	0.89	0.78	−0.33	0.92	1.00												
L	0.99	1.00	0.96	−0.07	1.00	0.93	1.00											
a*	0.79	0.64	0.51	−0.71	0.69	0.90	0.70	1.00										
b*	0.96	0.90	0.79	−0.26	0.92	0.99	0.93	0.86	1.00									
u*	0.96	0.87	0.76	−0.41	0.90	0.99	0.91	0.92	0.98	1.00								
v*	0.99	0.97	0.88	−0.13	0.97	0.97	0.98	0.78	0.98	0.96	1.00							
c*	0.95	0.87	0.74	−0.36	0.89	0.99	0.90	0.91	0.99	0.99	0.96	1.00						
h*	0.18	0.34	0.56	0.82	0.27	0.05	0.28	−0.54	0.15	−0.01	0.23	0.05	1.00					
H	0.19	0.32	0.43	0.42	0.28	0.03	0.27	−0.21	0.03	0.00	0.16	−0.03	0.30	1.00				
V	0.89	0.92	0.86	0.12	0.91	0.83	0.91	0.56	0.86	0.80	0.91	0.81	0.40	0.29	1.00			
C	0.75	0.67	0.56	−0.37	0.70	0.81	0.70	0.77	0.79	0.80	0.76	0.81	−0.05	0.01	0.58	1.00		
OC	−0.85	−0.85	−0.80	0.02	−0.85	−0.81	−0.86	−0.62	−0.85	−0.78	−0.85	−0.82	−0.33	−0.16	−0.81	−0.59	1.00	
Fe	−0.55	−0.61	−0.65	−0.29	−0.58	−0.40	−0.58	−0.15	−0.43	−0.38	−0.51	−0.38	−0.43	−0.19	−0.60	−0.11	0.64	1.00

نتایج و بحث

نتایج نشان می‌دهد که کربن آلی را می‌توان با استفاده از اثر بازتاب روی باند مادون قرمز نزدیک برآورد کرد. از آنجا که باندهای مرئی با تغییرات حجم رطوبت و سطوح پایین کربن آلی تمایل بیشتری به خطا دارند، انتظار می‌رود این مدل‌ها در مناطقی که در آن آبیاری باعث تفاوت در مقدار رطوبت زمین می‌شود و سطح کربن آلی خیلی پایین است، ضعیف‌تر باشد. با استفاده از یک مدل ساده و در عین حال موثر برای تعیین کربن آلی، انتظار می‌رود این طرح برای ارزیابی در همه جای زمین موثر باشد.

روش‌های سنجش از راه دور چندین برتری بر روش‌های آزمایشگاهی دارد که می توان به چند مورد آن اشاره کرد: سریع بوده، غیرتجربی است و به کمترین نمونه‌های اصلاح شده نیاز دارد (فقط خشک کردن نمونه‌ها)، به شدت دقیق بوده و نیاز به واکنش دهنده‌های شیمیایی ندارد.

سنسورهای زمینی برای اندازه‌گیری کربن آلی خاک توانایی و دقت لازم را دارند. مزیت سنسورهای زمینی توانایی آنها برای استفاده در زمین‌های شخم نخورده یا دارای پوشش گیاهی با عمق متغیر نمونه‌برداری و در نتیجه، بدست آوردن تخمین بهتری از کربن موجود در خاک شخم نخورده است.

طیف‌سنجی مادون قرمز نزدیک در ابزارهای مرتبط با اندازه‌گیری‌های شیمیایی بکار می‌روند که ساختار دقیق و قابل اطمینانی برای مدل‌های پیش‌بینی برای خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیوشیمیایی، از جمله متغیرهای در ارتباط با ترکیب‌های میکروبی خاک ارائه می‌دهند.

طیف‌سنجی مادون قرمز نزدیک در حال حرکت از زمین، قادر است توزیع کربن در خاک کشاورزی یخزده روی یک سطح در مقیاس مزرعه را به سرعت و دقت محاسبه کند. داده‌های توپوگرافی شده می‌توانند دقت نقشه‌برداری کربن خاک را افزایش دهند.

دوربین دیجیتال می‌تواند برای اندازه‌گیری رنگ خاک بکار رود و با استفاده از یک مدل فضای رنگی مناسب، این اندازه‌گیری‌ها می‌تواند برای بررسی دقت توابع انتقالی در مورد کربن آلی خاک بکار رود. علاوه بر این در دسترس بوده و استفاده از آن در هر شرایطی امکان پذیر است.

بنابراین طیف‌سنجی مادون قرمز نزدیک و عکس‌برداری دیجیتال می‌تواند به‌عنوان ابزار تحلیلی برای ارزیابی کیفیت خاک مورد استفاده قرار گیرد. علاوه بر این هزینه کم ارزیابی نمونه‌ها، امکان تفکیک زمانی و مکانی بالایی را برای نظارت در مناطق بزرگ فراهم می‌کند که می‌تواند ضعف مدیریت را به شدت پایین بیاورد. با اینحال، برای توسعه مدل‌های قابل اطمینان‌تر، کار بیشتری مورد نیاز است، از جمله تعداد بیشتر نمونه از انواع مختلف خاک و مناطق با طیف گسترده‌ای از خصوصیات خاک.

منابع

1- Bedidi, A., B. Cervelle, J. Madeira, and M. Pouget. 1992. Moisture effects on visible spectral characteristics of lateritic soils. Soil Science Society of America Journal 153: 129-141.
2- Ben, E., J.R. Irons, and G. Epema. 1999. Soil reflectance studies in manual of remote sensing. Remote Sensing for the Earth Sciences. Manual of Remote Sensing 3: 111-189.
3- Blackmer, A.M., and S.E. White. 1998. Using precision farming technology to improve management of soil and fertilizer nitrogen. Australian Journal of Agricultural Research 49: 555-564.
4- Brown, D.J., K.D. Shepherd, M.G. Walsh, M.D. Mays, and T.G. Reinsch. 2006. Global soil characterization with VNIR diffuse reflectance spectroscopy. Geoderma 132: 273-290.

5- Chang, C.W., D.A. Laird, M.J. Mausbach, and J.C.R. Hurburgh. 2001. Near-infrared reflectance spectroscopy principal components regression analysis of soil properties. Soil Science Society of America Journal 65: 480-490.

6- Christy, C.D. 2008. Real-time measurem of soil attributes using o -the-go near infrar reflectance spectroscopy. Computers and Electronics in Agriculture 61: 10-19.

7- Janik, L.J., R.H. Merry, and J.O. Skjemstad. 1998. Can mid infrared diffuse reflectance analysis replace soil extractions. Australian Journal of Experimental Agriculture 38: 681-696.

8- Konen, M.E., C.L. Burras, and J.A. Sandor. 2003. Organic carbon, texture and quantitative color measurement relationships for cultivated soils in north central Iowa. Soil Science Society of America Journal 67: 1823-1830.

9- Lal, R. 2009. Challenges and opportunities in soil organic matter research European Journal of Soil Science 60: 158-169.

10- Levin, N., E. Ben, and A. Singer. 2005. A digital camera as tool to measure color indices and related properties of sandy soils in semi-arid environments. International Journal of Remote Sensing 26: 5475-5492.

11- Lindbo, D.L., M.C. Rabenhorst, and F.E. Rhoton. 1998. Soil color, organic carbon and hydromorphy relationships in sandy epipedons. Soil Science Society of America 95-105.

12- Mueller, T.G., and F.J. Pierce. 2003. Soil carbon maps: enhancing spatial estimates with simple terrain attributes at multiple scales. Soil Science Society of America Journal 67: 258-267.

13- Melville, M.D., and G. Atkinson. 1985. Soil color its measurement and its designation in models of uniform color space. Journal of Soil Science 36: 495-512.

14- Mouazen, A.M., R. Karoui, J. Deckers, J.D. Baerdemaeker, and H. Ramon. 2007. Potential of visible and near infrared spectroscopy to derive color groups utilising the Munsell soil color charts. Biosystems Engineering 97: 131-143.

15- Post, D.F., S.J. Levine, R.B. Bryant, M.D. Mays, A.K. Batchily, R. Escadafal, and A.R. Huete. 1993. Correlations between field and laboratory measurements of soil color. Soil Science Society of America 35-50.

16- Shonk, G.A., L.D. Gaultney, D.G. Schulze, and G.E. Van Scoyoc. 1991. Spectroscopic sensing of soil organic matter content. Transactions of ASAE 34: 1978-1984.

17- Sudduth, K.A., and J.W. Hummel. 1998. Optimal signal processing for soil organic matter determination. Transactions of ASAE 36: 1571-1582.

18- Sudduth, K.A., S.T. Drummond, and N.R. Kitchen. 2001. Accuracy issues in electromagnetic induction sensing of soil electrical conductivity for precision agriculture. Computers and Electronics in Agriculture 31: 239-264.

19- Torrent, J., U. Schwertmann, H. Fechter, and F. Alferez. 1983. Quantitative relationships between soil color and hematite content. Soil Science 136: 354-358.

20- Viscarra, R.A., and C. Walter. 2004. Rapid, quantitative and spatial field measurements of soil pH using an ion sensitive field effect transistor. Geoderma 119: 9-20.

21- Viscarra, R.A., Y. Fouad, and C. Walter. 2008 . Using a digital camera to measure soil organic carbon and iron contents. Biosystems Engineering 100: 149-159.

22- Xuewen, H., S. Subramanian, K. Alexandra, T. Kurt, and Q. Jiaguo. 2007 . Total carbon mapping in glacial till soils using near infrared spectroscopy- Landsat imagery and topographical information. Geoderma 141: 34-42.

23- Zornoza, R., C. Guerrero, J. Mataix, K.M. Scow, V. Arcenegui, and J. Mataix. 2008. Near infrared spectroscopy for determination of various physical, chemical and biochemical properties in Mediterranean soils. Soil Biology & Biochemistry 40: 1923-1930.

Methods of measuring soil organic carbon in agricultural lands using remote sensing systems

Parisa Ataieyan[1], Parviz Ahmadi Moghaddam[2]

1- MSc Student, Department of Biosystems Engineering, Urmia University
2- Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, Urmia University

Abstract

Soil carbon plays an important role as a major source of plant nutrients and as an active agent in soil structure development. Precision agriculture requires detailed spatial information on soil properties to manage crop production with increased farm profits and reduced environmental impacts. The creation of high-resolution digital soil maps for use in applications like precision agriculture requires the collection of good-quality high spatial resolution information. Conventional soil analysis is expensive, time consuming and laborious. A vast amount of work is being conducted worldwide to develop proximal soil sensors that may be used in situ to lessen the need for or to complement conventional soil analysis. For mapping soil carbon, remote sensing approaches have an obvious advantage – the spatially explicit nature of images – but a suitable means of quantification is needed. Since soils rich in SOC are most often identified by their dark appearance, most research has looked at reflectance within visible bands to quantify and map carbon variability. To quantify soil colour, soil scientists use the colorimetric system that requires visual matching between the soil sample and standard colour chips. conventiona analytical methods exchangeable individually for most of the soil properties are time consuming, destructive of samples and often use many chemical reagents. The advantages of using remote sensing include the simplicity of sample pre-treatment (sieving of soils), its lack of chemical reagents, its non-destructive nature, and the fact that it is rapid, inexpensive and accurate for analysis.

Keywords: Digital camera, Precision agriculture, Reflectance spectroscopy, Soi organic carbon