نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۱، فروردین – اردیبهشت ۱۳۹۹، ص. ۱۷۷-۱۶۹

Journal of Water and Soil
Vol. 34, No. 1, March-April 2020, p. 169-177

مقایسه روش‌های مختلف اندازه‌گیری کربن آلی در کاربری‌های مختلف خاک‌های آهکی استان لرستان

هانیه سپه وند[۱]- محمد فیضیان[۲]*- رضا میرزایی تالارپشتی[۳]- تورستن مولر[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۶/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۸/۲۰

چکیده

آگاهی از تغییرات کربن آلی خاک (SOC) یکی از مؤلفه‌های اصلی در ارزیابی کیفیت خاک است. با توجه به ماهیت کربناتی بسیاری از خاک‌های ایران، انتخاب روش مناسب اندازه‌گیری کربن آلی خاک ضروری به نظر می‌رسد. هدف از این پژوهش، مقایسه روش‌های مختلف اندازه‌گیری مقدار کربن خاک‌های آهکی در کاربری‌های مختلف بود. به این منظور از منطقه رازان واقع در استان لرستان، چهار کاربری جنگل، مرتع، کشاورزی دیم و کشاورزی آبی انتخاب و از هر کاربری ۱۰ نمونه برداشته شد. جهت اندازه‌گیری مقدار کربن آلی و معدنی در خاک‌ها از روش ارائه شده توسط دارمشتات (۲۰۱۶) استفاده شد. روش‌های والکلی-بلک (WB) و LOI برای اندازه‌گیری مقادیر کربن آلی انتخاب و نتایج آن‌ها با روش احتراق خشک به عنوان یک روش استاندارد مقایسه گردید. نتایج نشان داد که در مقایسه بین کاربری‌ها، کاربری جنگل بیشترین مقدار کربن و نیتروژن آلی و کمترین مقدار کربن غیر آلی را دارا بود. مقادیر SOC به دست آمده به روش WB و LOI و مقایسه آن‌ها با روش احتراق خشک، نشان داد که روش WB نتایج نزدیک‌تری را با روش احتراق خشک داشته است. این مطالعه وجود همبستگی قوی ما بین SOC_{WB}، SOC_{CN} و SOC_{LOI} را با کاربرد دمای ۳۵۰°C به مدت ۱۶ ساعت در خاک‌های آهکی استان لرستان را نشان داد. در این مطالعه همچنین استفاده از روش ترکیبی سوزاندن و آنالیز با دستگاه CN، به عنوان یک جایگزین مناسب برای تیمار با اسید در خاک‌های آهکی، معرفی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: خاک‌های آهکی، روش احتراق خشک، روش LOI، روش والکلی بلک

مقدمه

اندازه‌گیری مقدار کربن ذخیره شده در خاک برای اطلاع از چرخه کربن در اکوسیستم‌های خاکی با اهمیت است. به طور کلی مقدار کربن آلی ذخیره شده در خاک بیش از دو برابر مقدار کربن موجود در اتمسفر می‌باشد (۲۲). افزایش نگرانی‌ها در زمینهٔ گرمایش جهانی و تغییر اقلیم موجب شده است که به خاک و قابلیت آن در ترسیب کربن در سال‌های اخیر توجه ویژه‌ای شود (۲۸).

کلاهچی و همکاران (۱۶) ترسیب کربن را به عنوان بخشی از چرخهٔ کربن، برای تشریح تبادل کربن میان اتمسفر، اقیانوس، زیست کره خشکی و رسوبات زمین‌شناسی به کار برده و این واژه را به ذخیره پایا یا به عبارتی طولانی‌مدت کربن در اکوسیستم‌های زمینی، زیرزمینی و اقیانوس‌ها که منجر به کاهش یا تعدیل دی‌اکسید کربن اتمسفری می‌شود، اطلاق نمودند. در همین راستا، مطالعات نشان داده است که می‌توان با عملیات مدیریتی مناسب مقدار قابل‌توجهی کربن در مخازن گیاهی و خاک ذخیره و میزان اثرات منفی ناشی از افزایش غلظت دی‌اکسید کربن اتمسفری را کاهش داد (۲۶ و ۲۱).

ترسیب کربن در خاک نه تنها در کاهش میزان گازهای گلخانه‌ای مؤثر است بلکه در حفظ و افزایش کیفیت خاک مفید است. تغییر کاربری زمین به همراه عملیات زراعی نامناسب میزان ذخایر کربن آلی خاک‌ها را دستخوش تغییر نموده و به نوبه خود چرخه جهانی آن را نیز متأثر ساخته است؛ بنابراین، ارزیابی ذخایر کربن خاک در کاربری‌های مختلف برای شناخت پویایی کربن در مقیاس‌های مختلف بسیار ضروری می‌باشد.

در بسیاری خاک‌ها، کربن آلی بخش اصلی کربن در خاک را تشکیل می‌دهد، در حالی‌که در خاک‌های مناطق خشک و نیمه

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشجوی سابق دکتری شیمی و حاصلخیزی خاک و دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: feizian.m@lu.ac.ir)
۳- استادیار، عضو هیأت علمی پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۴- پروفسور، عضو هیات علمی دپارتمان تغذیه گیاهان زراعی، دانشگاه هوهنهام، اشتوتگارد، آلمان

DOI: 10.22067/jsw.v34i1.82568

خشک، کربن معدنی نیز در خاک شایان توجه است (۹). در مناطق خشک و به ویژه در خاک‌های جنوب و جنوب غرب ایران، کلسیت ($CaCO_3$) و دولومیت ($Ca\ Mg,\ CO_3$) کانی‌های غالب بخش معدنی خاک را تشکیل می‌دهند. در نتیجه اندازه‌گیری هر دو منبع کربن آلی (SOC) و معدنی (SIC) برای اطلاع از چرخه کربن در این خاک‌ها ضروری به نظر می‌رسد (۱۴ و ۲۲).

از روش‌های معمول اندازه‌گیری کربن آلی خاک روش احتراق خشک با دستگاه تجزیه کننده چندمنظوره CN و روش اکسیداسیون شیمیایی مانند روش والکلی-بلک هستند (۳۰). روش احتراق خشک به عنوان یک روش ساده و دقیق معرفی شده است. اما ایراداتی همچون هزینه بالا و مشکلات استفاده از اسید برای حذف کربنات در خاک‌های آهکی نیز بر این روش وارد است (۵). استفاده از اسید ممکن است منجر به از دست رفتن مواد آلی خاک شود و فرسایش دستگاه را هم به دنبال دارد (۵). روش والکلی-بلک نیز به عنوان یک روش استاندارد برای تخمین مواد آلی خاک بسیار معمول مطرح است و یکی از مهمترین مزایای این روش در مقایسه با روش احتراق خشک، هزینه پایین اجرای آن است (۲۰). با این وجود این روش مقادیر بازیافت متفاوتی را برای مواد آلی خاک ارائه می‌دهد (۸ و ۷) و به دلیل استفاده از دی کرومات پتاسیم ممکن است موجب ایجاد سمیت کروم برای انسان و محیط زیست شود.

یکی دیگر از روش‌هایی که به‌طور گسترده‌ای برای تخمین SOC به کار می‌رود، روش LOI[1] است. با وجود اینکه هیچ روش استانداردی برای دما و زمان حرارت دادن وجود ندارد، درجات حرارت مختلفی از ۱۵۰ تا ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت تا ۱۷ ساعت ارائه شده است و روابط متغیری نیز بین SOC_{LOI} و SOC به دست آمده با روش‌های دیگر (روش والکلی-بلک یا آنالیز با دستگاه تجزیه‌کننده چند منظوره کربن و نیتروژن[2]) وجود دارد (۳۲، ۲۹ و ۲۷). از سوی دیگر فاکتور اصلی که روش LOI را تحت تأثیر قرار می‌دهد، دما و رابطه آن با مواد آلی خاک است (۲۵). بنابراین، در این روش انتخاب دمای به حد کافی بالا برای حذف مواد آلی خاک و به حد کافی پایین برای جلوگیری از اکسید شدن کربنات‌ها و دهیدروکسیله شدن ذرات رس، بسیار حائز اهمیت است. مطالعات بسیاری گزارش کردند که دمای ۳۵۰°C به مدت ۱۷-۱۶ ساعت می‌تواند یک تخمین دقیق از SOC را در بسیاری خاک‌ها ارائه دهد (۳۲ و ۲۳).

این مطالعه به منظور مقایسه چند روش برای تخمین ذخایر کربن موجود در خاک‌های آهکی منطقه رازان واقع در استان لرستان انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

نمونه‌ها از خاک‌های آهکی منطقه رازان واقع در استان لرستان جمع‌آوری شدند. اساس انتخاب محل نمونه‌برداری بر وجود چند کاربری مختلف در یک منطقه استوار بود. شکل ۱ محل نمونه‌برداری را نشان می‌دهد. چهار کاربری جنگل، مرتع، کشاورزی دیم و کشاورزی آبی در منطقه رازان وجود داشت که از هر کاربری ۱۰ نمونه برداشته شد. برای نشان دادن کامل ویژگی‌های کاربری مورد نظر، هر کاربری به قطعات یکنواختی تقسیم شدند. نمونه‌برداری به صورت نقطه‌ای انجام گرفت. از هر قطعه یکنواخت تعداد ۱۵ تا ۲۰ نمونه از خاک سطحی (۰ تا ۳۰ سانتی‌متر)، هر کدام به وزن تقریبی یک کیلوگرم برداشته و سپس این نمونه‌ها را کاملاً با هم مخلوط نموده و نمونه یک کیلوگرمی از آن به عنوان نمونه خاک آن قطعه از هر کاربری، به آزمایشگاه ارسال شد. در مجموع ۴۰ نمونه برداشت شد. نمونه‌ها هوا خشک و سپس خرد و الک شده و برای تجزیه‌های بعدی نگه‌داری شدند.

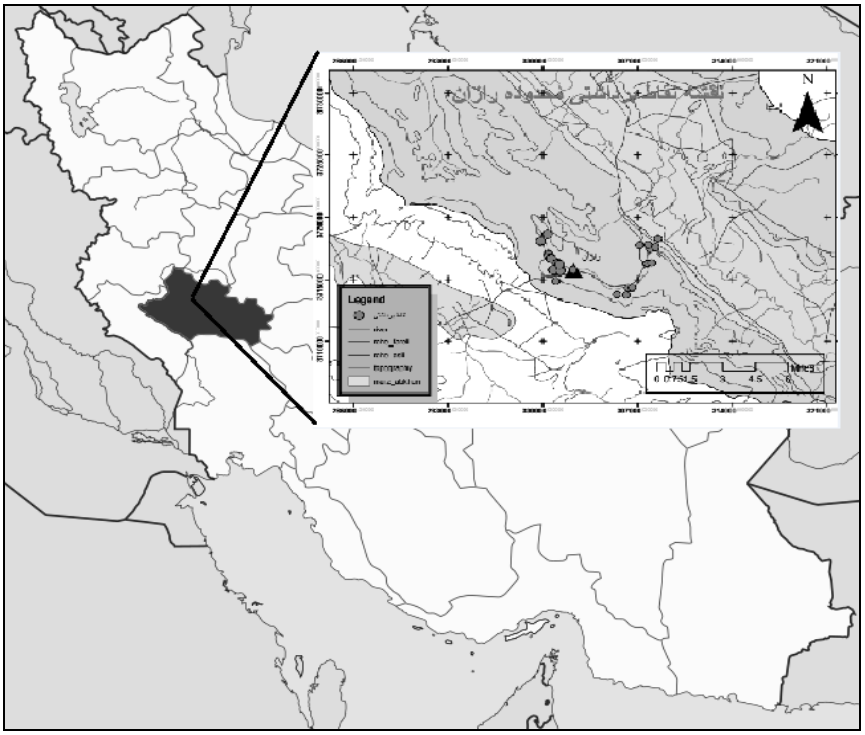
آنالیز شیمیایی

بافت خاک با استفاده از روش هیدرومتری بویکوس (H ۱۵۱) قرائت شد. غلظت‌های کربن (TC) و نیتروژن کل (TN) در همه نمونه‌های خاک با استفاده از دستگاه تجزیه کننده چندمنظوره کربن و نیتروژن (روش احتراق خشک) (۴) اندازه‌گیری و قرائت شدند. روش های والکلی-بلک (WB) (۱۹) و LOI (۲۰) برای اندازه‌گیری مقادیر کربن آلی انتخاب و نتایج آن‌ها با روش احتراق خشک به عنوان یک روش استاندارد مقایسه گردید.

روش احتراق خشک

جهت اندازه‌گیری محتویات کربن آلی و معدنی در خاک‌ها از روش ارائه شده توسط دارمشتات (۴) (ارائه شده توسط انجمن تحقیقات کشاورزی آلمان) استفاده شد. به این منظور نمونه‌های خاک در دمای ۳۲ درجه سانتی‌گراد در طول شب نگه‌داری شدند. در ابتدا کربن کل (TC) نمونه‌ها با دستگاه اندازه‌گیری کربن و نیتروژن قرائت شد. برای اندازه‌گیری کربن معدنی، به مقدار ۱۰ گرم از هر خاک توزین و در بوته چینی ریخته و در کوره تا دمای ۵۰۰ درجه سانتی گراد به مدت ۶ ساعت حرارت داده شد. بدین ترتیب مقدار کربن معدنی کل (TIC) در نمونه‌ها با روش ایزو ۱۰۶۹۴ (۱۲) و با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری کربن و نیتروژن (Vario-EL III elemental analyser[3]) قرائت شدند. کربن آلی (SOC) متعاقباً از تفاضل کربن کل خاک (TC) و کربن معدنی کل (TIC) محاسبه شد.

1- Loss-on-ignition
2- Multi C/N analyser
3- Elementar, Hanau, Germany



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی محل نمونه‌برداری در منطقه مورد مطالعه

Figure 1- Geographic location of sampling in the studied region

روش والکلی-بلک

در این مطالعه برای اندازه‌گیری کربن آلی روش والکلی بلک با اندکی اصلاحات مورد استفاده قرار گرفت (۱۹). بدین‌صورت که خاک با اسیدسولفوریک غلیظ مخلوط و سپس با ۵ میلی‌لیتر بی‌کرومات پتاسیم ۰/۵ مولار ($K_2Cr_2O_7$) ترکیب و به مدت ۵ دقیقه در دمای ۱۵۰-۱۶۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد. مخلوط پس از سرد شدن با آب دی یونیزه به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. برای مشاهده بهتر تغییر رنگ مخلوط از فیلتر عبور داده و سپس با سولفات آهن ۰/۲۵ مولار تیتر شد. کربن آلی از تفاضل سولفات آهن استفاده شده برای نمونه خاک و شاهد به دست آمد.

روش LOI (Loss-on-ignition)

روش ارائه شده توسط نلسون و سامر (۲۰) برای اندازه‌گیری کربن آلی معرفی شد. ۵ گرم از نمونه‌های خاک به بوته‌های چینی که از قبل حرارت داده شده و وزن شده بودند منتقل و در دمای ۱۰۵ °C به مدت یک شب نگه‌داری شدند. وزن دقیق نمونه و بوته چینی پس از سرد شدن ثبت و به عنوان وزن اولیه در نظر گرفته شد. در مرحله بعد نمونه در کوره تا دمای ۳۵۰°C به مدت ۱۶ ساعت نگهداری و مجدداً وزن آن‌ها پس از سرد شدن به عنوان وزن ثانویه ثبت شد. مواد آلی خاک با محاسبه وزن از دست رفته در دو دمای ۱۰۵ و ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد به عنوان وزن‌های اولیه و ثانویه و استفاده از فرمول زیر به دست آمد.

$$SOC_{LOI}(g\ kg^{-1}) = (\text{وزن اولیه} - \text{وزن ثانویه})/\text{وزن اولیه} \times ۱۰۰۰$$

آنالیز داده‌ها در مطالعه حاضر در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. تعداد کل ۴۰ نمونه از چهار کاربری متفاوت مورد استفاده قرار گرفت و دو تکرار در انجام آزمایشات لحاظ شد. مطالعات آماری شامل تعیین ضرایب همبستگی اسپیرمن و آنالیز واریانس در سطح پنج درصد برای بررسی اثر کاربری اراضی بر میزان کربن خاک با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۷ انجام گرفت.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج به دست آمده، مقدار پی‌اچ خاک‌ها تا ۷/۹، بافت غالب خاک‌ها clay-loam مشاهده شد (جدول ۱). نتایج آنالیز برخی ویژگی‌های نمونه‌های خاک در کاربری‌های متفاوت در جدول ۱ آورده شده است. بیشترین مقدار کربن کل (TC) و کربن معدنی کل (TIC) (به ترتیب ۷/۱۴ و ۴/۴۱ درصد) در کاربری کشاورزی آبی به دست آمد. بیشترین مقدار کربن آلی و نیتروژن و کمترین مقدار کربن معدنی، در کاربری جنگل به دست آمد (جدول ۱). اختلاف بین مقادیر کربن و نیتروژن به دست آمده در کاربری‌ها از نظر آماری معنی‌دار بودند (جدول ۲). لتنز و همکاران (۱۷) میزان ذخیره کربن آلی را در اراضی جنگلی، گراسلند و اراضی کشاورزی در بلژیک را به ترتیب

۶/۶، ۶/۴ و ۳/۶ کیلوگرم در متر مربع گزارش نمودند. وانگ و همکاران (۳۳)، ژونگ و زو (۳۴)، فانگ و همکاران (۱۰) در تحقیقات خود نشان دادند که میزان SOC در کاربری جنگل و مرتع بیشتر از اراضی کشاورزی است و علت آن را تبدیل پوشش طبیعی به اراضی کشاورزی و تأثیر شخم در نرخ تجزیه مواد آلی بیان نمودند. خطیرپاشا و همکاران (۱۳) در بررسی خاک‌های شهرستان قائمشهر، کمترین مقدار کربنات کلسیم را در کاربری جنگل و بیشترین مقدار را در کاربری کشاورزی گزارش کردند.

ایوبی و همکاران (۲) و سیلیک (۶) پایین بودن کربنات کلسیم معادل در کاربری جنگل نسبت به زراعی را به انتقال عمقی کربنات کلسیم معادل و تشکیل کربنات ثانویه در کاربری جنگلی نسبت دادند. زیاد بودن میزان نیتروژن کل در توده جنگلی در ارتباط با مقدار مواد آلی غنی از نیتروژن می‌باشد که به واسطه لاشه‌ریزی به خاک اضافه می‌شود. مواد آلی که منجر به افزایش محتوی مواد مغذی خاک گشته، از جمعیت میکروارگانیسم‌های غنی‌کننده نیتروژن خاک حمایت کرده و در نتیجه باعث افزایش مقدار این مشخصه در خاک این عرصه می‌گردد (۱۱). خطیر پاشا و همکاران (۱۳) نتیجه مشابهی را در خصوص وجود نیتروژن بیشتر در خاک‌های جنگلی در مقایسه با کشاورزی گزارش کردند. کیانی و همکاران (۱۵) با مطالعه خاک‌های استان گلستان مشاهده کردند که نیتروژن بر اثر تبدیل جنگل به اراضی کشاورزی، به‌طور تقریبی به مقدار یک سوم کاهش یافته است. این پژوهشگران بیان کردند که به نظر می‌رسد تجزیه ریشه و جذب توسط گیاهان، تأثیر بهسزایی بر میزان نیتروژن کل در خاک دارد.

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی در خاک‌های مورد مطالعه

Table 1- Some of physical and chemical soil properties in the studied soils

ویژگی خاک Soil properties	جنگل Forest	مرتع Range	کشاورزی دیم Dry farming	کشاورزی آبی Irrigated farming
اسیدیته (pH)	7.17	7.95	7.09	7.24
بافت خاک (Texture)	Clay loam	Loam	Clay loam	Clay loam
کربنات کلسیم معادل (%) $CaCO_3$	9.37	23.25	32.75	32.65
کربن کل %(TC)	4.09	4.50	4.18	7.14
نیتروژن کل %(TN)	0.44	0.20	0.11	0.29
کربن معدنی کل % (TIC)	1.64	2.70	3.60	4.41
کربن آلی کل %(TOC)	3.05	1.80	0.94	2.73

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس ذخایر کربن خاک بین کاربری‌های مختلف

Table 2- The results of analysis of variances of Carbon pools between different land uses

ویژگی خاک Soil properties	مجموع مربعات (SS)	میانگین مربعات (MS)	درجه آزادی (DF)	F محاسباتی	معنی‌داری (Sig)
کربن کل (TC)	42.22	14.07	1	14.8	0.00*
کربن معدنی کل (TIC)	9.15	3.05	1	4.75	0.004*
کربن آلی کل (TOC)	55.15	18.38	1	361.47	0.00*
نیتروژن کل (TN)	0.55	0.18	1	4.78	0.004*

* اختلاف در سطح ۵ درصد معنی‌دار است.

* significantly differences at 0.05 level.

جدول ۳- میانگین درصد کربن آلی به دست آمده در کاربری‌های مختلف با استفاده از روش والکلی-بلک (SOC_{WB})، LOI (SOC_{LOI}) و دستگاه اندازه‌گیری کربن و نیتروژن (SOC_{CN})

Table 3- Mean organic carbon contents in different land uses measured by Walkley-Black (SOC_{WB}), LOI (SOC_{LOI}) and CN analysis (SOC_{CN}) methods

	جنگل Forest	مرتع Range	کشاورزی دیم Dry farming	کشاورزی آبی Irrigated farming
SOC_{WB}	2.30 a	1.27 b	0.83 c	2.12 ab
SOC_{LOI}	4.52 a	1.98 b	0.52 c	2.65 ab
SOC_{CN}	2.54 a	1.80 b	0.93 c	2.72 a

اعداد با حروف مشترک در هر ردیف دارای اختلاف معنی‌دار (P<0.05) نمی‌باشند.

Numbers followed by the same letter are not significantly differences (P<0.05).

جدول ٤- تجزیه واریانس اثر کاربری اراضی بر کربن آلی (SOC) به دست آمده به روش‌های مختلف

Table 4- Analysis of variance of land use on Carbon pools measured by different methods

	مجموع مربعات (SS)	میانگین مربعات (MS)	درجه آزادی (DF)	F محاسباتی	معنی‌داری (Sig)
SOC_{WB}	24.34	8.11	1	40.11	0.00*
SOC_{LOI}	19.63	6.54	1	50.07	0.00*
SOC_{CN}	51.17	17.05	1	159.6	0.00*

* اختلاف در سطح ۵ درصد معنی‌دار است.

* significantly differences at 0.05 level.

در جدول ۳ مقادیر کربن آلی خاک (SOC) اندازه‌گیری شده به روش‌های والکلی–بلک (WB)، LOI و دستگاه اندازه‌گیری کربن و نیتروژن (CN) ارائه شده است. نتایج تجزیه واریانس نیز در در جدول ۴ آورده شده که حاکی از وجود اختلاف معنی‌دار بین کاربری‌های مختلف است. در خصوص تأثیر کاربری اراضی، این نتیجه مشاهده شد که روش احتراق خشک، اختلاف معنی‌داری را بین مقادیر SOC به دست آمده در کاربری‌های جنگل و کشت آبی نشان نداد.

بیشترین مقدار SOC (۴/۵۲٪) در کاربری جنگل و کمترین مقدار آن (۰/۵۲٪) در کشاورزی دیم هر دو با استفاده از روش LOI به دست آمد. در روش WB، مقادیر SOC در دامنه ۰/۸ تا ۲/۳، در روش LOI ۰/۵۲ تا ۴/۵۲ و در روش احتراق خشک ۰/۹۳ تا ۲/۷۲ متغیر بود. کشاورزی دیم، کمترین مقادیر کربن آلی به دست آمده به روش‌های مختلف را نشان داد. نتایج مقایسه روش‌های مختلف برای اندازه‌گیری کربن آلی خاک در این مطالعه نشان داد که روش والکلی–بلک همراه با حرارت دادن مستقیم با آنالیز با دستگاه CN در خاک‌های آهکی استان لرستان، همبستگی خوبی را ارائه داد. با مقایسه بین مقادیر SOC به دست آمده به روش WB و LOI و مقایسه آن‌ها با روش احتراق خشک به عنوان یک روش استاندارد، آشکار شد که روش WB نتایج نزدیک‌تری را با روش احتراق خشک نشان داده است. ونگ و همکاران (۳۱) در بررسی خاک‌های آهکی شمال غرب چین، در مقایسه سه روش والکلی بلک، LOI و احتراق خشک، روش والکلی بلک را به عنوان یک روش دقیق برای اندازه گیری کربن آلی گزارش کردند. همچنین آن‌ها روش LOI با استفاده از دمای ۳۷۵ °C به مدت ۱۷ ساعت را برای تخمین دقیق کربن آلی و ادامه سوزاندن در دمای ۸۰۰°C به مدت ۱۲ ساعت را برای تخمین کربن غیرآلی مناسب گزارش کردند. اگرچه در برخی مطالعات، گزارش شده است که کاربرد روش والکلی–بلک در خاک‌های دارای مواد آلی پایین، ممکن است مقادیر کربن آلی خاک را بیشتر از مقدار واقعی تخمین بزند (۷). این امرممکن است به دلیل واکنش $K_2Cr_2O_7$ با تشکیلات غیرآلی خاک باشد (۲۵). در این مطالعه برای اولین بار ترکیبی از سوزاندن در دمای۵۰۰°C با آنالیز با دستگاه CN در مورد خاک‌های آهکی استان لرستان که حاوی کلسیت و دولومیت بودند، انجام گرفت. نتایج نشان داد که این ترکیب آزمایشات می‌تواند به عنوان یک روش مناسب برای تخمین کربن آلی (TOC) و معدنی کل (TIC) در خاک‌های آهکی معرفی شود. روش‌های معمول دیگر اغلب شامل یک مرحله حذف کربنات‌های خاک به‌وسیله اسید هستند که ممکن است اکسید شدن مواد آلی را به همراه داشته باشد و همچنین موجب فرسایش دستگاه می‌شود (۵).

در جدول ۵ نتایج ضرایب همبستگی بین کربن آلی به دست آمده به روش‌های مختلف و خصوصیات خاک آورده شده است. نتایج این مطالعه وجود همبستگی قوی ما بین SOC_{WB}، SOC_{CN} و SOC_{LOI} با کاربرد دمای ۳۵۰°C به مدت ۱۶ ساعت در خاک‌های آهکی استان لرستان را نشان داد. بین مقادیر کربن و نیتروژن کل، رس و سیلت با SOC ضرایب همبستگی مثبت در دامنه ۰/۱۱ تا ۰/۹۲ وجود دارد. همچنین بین TIC و مقادیر شن نمونه‌ها با SOC به دست آمده به همه روش‌ها، همبستگی منفی مشاهده شد که می‌تواند نشان‌دهنده این موضوع باشد که مقدار کربن آلی در بخش مقاوم خاک در مقایسه با کربن معدنی پایینتر است. نتایج حاصل از روش‌های والکلی–بلک و LOI همبستگی قوی با روش احتراق خشک نشان دادند. هرچند مطالعاتی همبستگی خوبی بین مقادیر اندازه‌گیری شده کربن آلی به روش LOI در دمای ۳۷۵ °C به مدت ۱۷ ساعت و روش احتراق خشک را در برخی گروه‌های خاک گزارش کردند (۳۲، ۱۸ و ۳). مقادیر SOC بالای به دست آمده برای کاربری‌های جنگل و مرتع به روش LOI، می‌تواند به دلیل کاهش وزن به دلیل سوزاندن موادی به غیر از مواد آلی خاک باشد. یکی از انتقاداتی که به این روش وارد است این است که در روش LOI ممکن است آب ساختمانی و کربنات‌ها خارج شود و به عنوان کربن آلی در نظر گرفته شود (۲۹). این اتلاف وزن غیر آلی خاک، به‌ویژه در خاک‌های دارای مواد آلی پایین و رس بالا، می‌تواند به‌طور معنی‌داری تخمین SOC را تحت تأثیر قرار دهد. در خاک‌های دارای مواد آلی کم، دهیدروکسیله شدن رس‌ها بسیار محتمل است (۱). در نتیجه در استفاده از روش LOI، انتخاب درجه حرارت مناسب می‌تواند تأثیر بسیاری در نتایج به دست آمده داشته باشد.

جدول ۵- ضرایب همبستگی اسپیرمن بین ویژگی‌های خاک و کربن آلی (SOC) به دست آمده به روش‌های مختلف

Table 5- Spearman correlation between soil properties and organic carbon obtained by different methods

	SOC_{WB}	SOC_{CN}	SOC_{LOI}	TIC کربن معدنی کل	TN نیتروژن کل	TC کربن کل	Clay رس	Silt سیلت
SOC_{CN}	0.88**							
SOC_{LOI}	0.86**	0.73**						
TIC (کربن معدنی کل)	-0.08	-0.16	-0.30					
TN (نیتروژن کل)	0.76**	0.92**	0.74**	0.06				
TC (کربن کل)	0.33	0.30	0.11	0.85**	0.45			
Clay (رس)	0.43	0.46	0.51*	-0.09	0.51*	0.1		
Silt (سیلت)	0.47	0.52*	0.31	0.1	0.48	0.35	-0.32	
Sand (شن)	0.69**	-0.85	-0.66*	0.009**	-0.84	-0.40	-0.39	-0.71**

** و * به ترتیب در سطح ۰/۰۱ > و ۰/۰۵ ≤ معنی‌دار می‌باشد.

*and** significant at 0.05 level and 0.01 level.

نتیجه‌گیری

با توجه به هزینه بالای آنالیز با دستگاه CN، دو روش والکلی- بلک و LOI، می‌توانند روش‌های مناسبی برای اندازه‌گیری کربن آلی خاک در مناطق خشک باشند. روش LOI می‌تواند به عنوان یک روش ساده و ارزان، برای اندازه‌گیری TIC نیز در خاک‌ها مورد مطالعه قرار گیرد. ولی با توجه به ماهیت کربناتی این خاک‌ها، حساسیت‌هایی در مورد عدم تداخل اندازه‌گیری کربن آلی و معدنی وجود دارد. بنابراین این مطالعه استفاده از روش ترکیبی سوزاندن و آنالیز با دستگاه CN را به عنوان یک جایگزین مناسب برای تیمار با اسید در خاک‌های آهکی، معرفی می‌کند. روش LOI در دماهای مختلف نیز می‌تواند به عنوان یک روش ارزان و ساده برای اندازه گیری کربن آلی و معدنی خاک‌های آهکی مورد آزمایش قرار گیرد.

منابع

1- Abella S., and Zimmer B. 2007. Estimating organic carbon from loss-on-ignition in northern Arizona forest soils. Soil Science Society of America Journal 71: 545–550.

2- Ayoubi S., Khormali F., Sahrawat K.L., and Rodrigues de Lima A.C. 2011. Assessing Impacts of Land Use Change on Soil Quality Indicators in a Loessial Soil in Golestan Province, Iran. Agricultural Science and Technology 13: 727-742. (In Persian)

3- Beaudoin A. 2003. A comparison of two methods for estimating the organic content of sediments. Journal of Paleolimnology 29: 387–390.

4- Boden VDLUFA-Verlag, Darmstadt. 2016. Determination of organic carbon by combustion and gas analysis. In: Handbook of Agricultural Methods of Experimental and Investigation (VDLUFA-Methodenbuch) (In German).

5- Byers S.C., Mills E.L., and Stewart P.L. 1978. A comparison of methods of determining organic carbon in marine sediments, with suggestions for a standard method. Hydrobiologia 58: 43–47.

6- Celik I. 2005. Land-use effects on organic matter and physical properties of soil in a southern Mediterranean highland of Turkey. Soil and Tillage Research 83: 270-277.

7- Conyers M.K., Poile G.J., Oates A.A., Waters D., and Chan K.Y. 2011. Comparison of three carbon determination methods on naturally occurring substrates and the implication for the quantification of 'soil carbon'. Soil Research 49: 27–33.

8- De Vos B., Lettens S., Muys B., and Deckers J.A. 2007. Walkley–Black analysis of forest soil organic carbon: recovery, limitations and uncertainty. Soil Use and Management 23: 221–229.

9- Eswaran H., Reich P.F., Kimble J.M., Beinroth F.H., Padmanabhan E. et al. 2000. Global carbon stocks. In: R L, Kimble JM, Eswaran H, Stewart BA, editors. Global climate change and pedogenic carbonates. Boca Raton, FL: Lewis Publishers, 15–27.

10- Fang X., Xue Z., Li B., and An S. 2012. Soil organic carbon distribution in relation to land use and its storage in a

small watershed of the Loess Plateau, China. Catena 88: 6-13.
11- Hajabbasi M.A., Jalalian A., and Karimzadeh H.R. 1997. Deforestation effects on soil physical and chemical properties, Lordegan, Iran. Plant Soil 190: 301-308.
12- ISO 10694. 1995. Soil quality. Determination of organic and total carbon after dry combustion (elementary analysis). International Organization for Standardization. Geneva.
13- Khatirpasha N., Hojjati S.M., Pourmajidiyan M.R., and Asadiyan M. 2018. Impact of land use change on physical, chemical and biological soil properties in the Qalek forest-Ghaemshahr city. Water and Soil Conservation 24: 211-225. (In Persian with English abstract)
14- Khormeli F., Abtahi A. and Stoops G. 2006. Micromorphology of Calcitic Features in Highly Calcareous Soils of Fars Province, Southern Iran. Catena 132: 31-46.
15- Kiyani F., Jalalian A., Pashaii A., and Khademi H.Y. 2006. Effect of Deforestation, degraded lands Murat on loess soil quality indicators in Golestan Province. Journal of Soil and Water Sciences, Science and Technology of Agriculture and Natural Resources 11: 453-463. (In Persian)
16- Kolahchi N., Zahedi Amiri GH., and Khorasani N. 2008. Carbon sequestration in shrubs, perennial grasses and soil in closed range (Heidare) of Hamedan. Pajouhesh and Sazandegi 80: 18 -25. (In Persian with English abstract)
17- Lettens S., Van Orshoven J., van Wesemael B., De Vos B., and Muys B. 2005. Stocks and fluxes of soil organic carbon for landscape units in Belgium derived from heterogeneous data sets for 1990 and 2000. Geoderma 127: 11-23.
18- McKeague J. 1976. Manual of soil sampling and methods of analysis. Land Resource Research Inst., Res. Br. Agriculture Canada, Ottawa, Canada.
19- Nelson D.W., and Sommers L.E. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: Page, AL, editor. Methods of soil analyses. Chemical and microbiological properties. Madison (WI): ASA Monograph, P: 539–579.
20- Nelson D.W., Sommers L.E., Sparks D., Page A., Helmke P. et al., 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. Methods of soil analysis Part 3- Chemical Methods, 961–1010.
21- Niu X., and Duiker S. 2006. Carbon sequestration potential by afforestation of marginal agricultural land in the Midwestern U.S. Forest Ecology and Management 223: 415–427.
22- Owliaie H.R., Abtahi A., and Heck R.J. 2006. Pedogenesis and Clay Mineralogical Investigation of Soils Formed on Gypsiferous and Calcareous Materials, on a Transect, Southwestern Iran. Geoderma 134: 62-81.
23- Pribyl D.W. 2010. A critical review of the conventional SOC to SOM conversion factor. Geoderma 156: 75–83.
24- Schimel D., Enting I.G., Heimann M., Wigley T. M. L., Raynaud D., Alves D., and Siegenthaler U. 1995. CO_2 and the carbon cycle. In: Climate Change. 1994. Radiative Forcing of Climate Change and an Evaluation of IPCC IS92 Emission Scenarios. Houghton, J. T., Meira Filho, L. G., Bruce, J., Lee, H., Callander, B. A., Haites, E., Harris, N and Maskell, K (eds). Cambridge University Press. Cambridge. England. pp: 35-71.
25- Sleutel S., De Neve S., Singier B., and Hofman G. 2007. Quantification of organic carbon in soils: A comparison of methodologies and assessment of the carbon content of organic matter. Communications in Soil Science and Plant Analysis 38: 2647–2657.
26- Sperow M., Eve M., and Paustian K. 2003. Potential soil C sequestration on U.S. agricultural soils. Climate Change 57: 319–339.
27- Szava-Kovats R. 2009. Re-analysis of the Relationship between Organic Carbon and Loss-on-Ignition in Soil. Communications in Soil Science and Plant Analysis 40: 2712–2724.
28- Varamesh S., Hosseini S.M., Abdi N., and Akbarinia M. 2010. Increment of soil carbon sequestration due to forestation and its relation with some physical and chemical factors of soil. Iranian Journal of Forest 2: 25-35. (In Persian with English abstract)
29- Walkley A. 1974. A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soils- effect of variations in digestion conditions and inorganic soil constituents. Soil Science 63: 251–264.
30- Walkley A., and 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: 29–38.
31- Wang X., Wang J., and Zhang J. 2012. Comparisons of three methods for organic and inorganic carbon in calcareous soils of Northwestern China. PLOS ONE 7:1-6.
32- Wang X.J., and Smethurst P.J. 1996. Herbert A M. Relationships between three measures of organic matter or carbon in soils of eucalypt plantations in Tasmania. Australian Journal of Soil Research 34: 545–553.
33- Wang Y.Q., Zhang X.C., Zhang J.L., and Li S.J. 2009. Spatial variability of soil organic carbon in a watershed on the Loess Plateau. Pedosphere 19: 486–495.
34- Zhong B., and Xu Y.J. 2009. Topographic Effects on Soil Organic Carbon in Louisiana Watersheds. Environmental Management 43: 664-672.

Journal of Water and Soil
Vol. 34, No. 1, March-April 2020, p. 169-177

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۱، فروردین – اردیبهشت ۱۳۹۹، ص. ۱۷۷-۱۶۹

Comparison of Different Methods for the Determination of Organic Carbon in Calcareous Soils under Different Land Uses of Lorestan Province

H. Sepahvand[1]- M. Feizian[2*]- R. Mirzaeitalarposhti[3]- T. Mueller[4]

Received: 02-09-2019
Accepted: 11-11-2019

Introduction: Nowadays, because of climate change, there is a great interest in carbon cycle. In most of the soils, the main part of carbon is held as soil organic carbon (SOC) whereas, in soils of the arid and semiarid regions, inorganic carbon, primarily carbonate, is the majority of carbon in the soils. The major minerals found in the soils of arid regions of Iran are calcite ($CaCO_3$) and dolomite (Ca Mg, CO_3) which mainly exist in the soils of the southern and southwestern Iran. Thus, quantifying both SOC and soil inorganic carbon (SIC) is essential to know the way of occurrence of the carbon cycle in the soils. The aim of this study was to compare different methods for the determination of organic carbon in calcareous soils under different land uses of Lorestan province.

Materials and Methods: The study area is located in the Polhoro region of Khorram Abad district, Lorestan Province in western Iran. The sampling area spanned sides of the Polhoro region, which has various land uses, including forest land, cropland, and grassland. Dry and irrigated farming were between cultivated lands. In each land uses, a study plot was chosen. At each sampling point, five subsamples were taken at a depth of 0–30 cm (root zone) and mixed to form a composite sample including one central point and four other points by the distance of 15 m in the four cardinal directions. A total of 40 soil samples were taken across an agroecological region in southwest Iran. The soils had a clay-loam and sandy-clay-loam texture classes and pH above 7. Representative samples were analyzed for SOC and SIC measurements by different procedures. The procedures were included the modified traditional Walkley-Black method (WB) for SOC, Loss-on-Ignition (LOI) Procedure given by Nelson and Sommers (1982) for SOC, and CN analyzer (Vario-EL III) for SOC and SIC. The method presented by Boden, VDLUFA-Verlag, Darmstadt (2016) was chosen for organic carbon and carbonate measurement. This method was used as a reference method to compare results of different methods.

Results and Discussion: In the present study, the soil samples of forest land showed the highest values for TOC and TN, but lowest values for TIC. The measured SOC concentration by WB, LOI and CN analysis methods in the top soil varied among land uses. The highest C concentration (4.52%) was observed in the forest land while the lowest concentration (0.52%) was for dry farming land both by the use LOI method. SOC values varied from 0.8 to 2.3 in modified WB, 0.52 to 4.52 in LOI and 0.93 to 2.72 in CN analysis methods between different land uses. The differences in C concentrations between rangeland, forest, irrigated and dry farming lands were statistically significant and showed the following order for the WB and LOI methods: forest land > irrigated farming > rangeland > dry farming. As expected, C concentrations of LOI and WB were highest in the forest, intermediate in irrigated farming and rangeland and lowest in the dry farming. The relative content of SOC_{LOI} differed significantly across forest and irrigated farming land uses while the difference was not significant in the other two methods. A significant difference also observed in the SOC of forest and irrigated farming with dry and range lands obtained by all three methods. The results of the correlation between the bulk soil and SOC in different methods from the Spearman correlation analysis showed that there was a positive correlation between the TN, TC, clay, and silt of the bulk soil with SOC in the separated methods with the correlation coefficient ranging from 0.1 to 0.92. Conversely, the negative correlation was found between TIC and sand content of the bulk soil with the SOC in the different methods. It can be concluded that calcareous nature of these soils could be one of the reasons for low organic carbon in this research. By comparison between the SOC values measured by WB and LOI methods with CN analysis as a reference method, the WB method

1 and 2 - Ph.D. Former Student and Associate Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, Lorestan University, Khorrm Abad, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: feizian.m@lu.ac.ir)
3- Assistant Professor, Environmental Science Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
4 - Institute of Crop Science, University of Hohenheim, Stuttgart, Germany
DOI: 10.22067/jsw.v34i1.82568

showed the results were more near to CN analysis than LOI. The high SOC_{LOI} values for the forest and range land in this research may be related to weight loss from some non-SOM. The results of this study demonstrate that the CN method with combination of dry combustion is a potent method for the accurate estimation of SIC and SOC in calcareous soils. The common approach often involves pretreatment with acid to remove carbonate, which may cause remove organic matter in soil samples and also erosion the instrument. Thus, the combustion method could be a good substitute for acid treatment of soil samples.

Conclusion: Three methods were applied for determinations of SOC concentrations in calcareous soils of Polhoro region and the results were compared. There was a wide range of values in soil properties, but in general, TIC was more than SOC. The results show that the Walkley-Black method with external heating can provide precise estimation for soil organic carbon for these soils. This study illustrates that the WB and LOI technique could be comparable with the CN analysis method and regarded as potent methods to produce accurate results for estimating of organic carbon in arid soils. The results supported the elemental analysis as a precise method to the estimation of SOC and TIC in calcareous soils. Further study is suggested for testing TIC by LOI approach on a wider range of arid and semi-arid soils.

Keywords: Calcareous soils, Dry combustion, Organic carbon, Walkley-Black method