



ارزیابی پویایی ماده آلی خاک تحت مدیریت بقایای گیاهی با استفاده از ایزوتوپ کربن-۱۳

مراد میرزایی^۱، منوچهر گرجی^۱، ابراهیم مقبسه^{۲*}، حسین اسدی^۱

۱. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، صندوق پستی: ۳۱۵۸۷-۷۷۸۷۱، کرج - ایران
۲. پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی، صندوق پستی: ۳۱۴۸۵-۱۴۹۸، کرج - ایران

*Email: emoghiseh@aeoi.org.ir

مقاله‌ی پژوهشی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۵/۱۵ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۱۱/۱۷

چکیده

استفاده از فن‌آوری‌های هسته‌ای در انتخاب و اجرای عملیات زراعی مطلوب و همچنین ارایه راهبردهای مدیریتی مناسب در حفاظت از منابع خاک و آب و دستیابی به اهداف توسعه پایدار می‌تواند مفید باشد. هدف این تحقیق بررسی اثرات استفاده از بقایای گیاهی گندم و ذرت در پنج مقدار شامل صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد بر تغییرات ماده آلی ذره‌ای خاک در اعماق ۰-۱۰ و ۱۰-۲۰ سانتی‌متر تحت سامانه‌های خاک‌ورزی مرسوم و بی‌خاک‌ورزی، و تعیین منشأ آن بود. به این منظور، از روش فراوانی طبیعی کربن-۱۳ استفاده شد. نتایج نشان داد در سامانه خاک‌ورزی مرسوم با افزایش بقایا، فراوانی طبیعی کربن-۱۳ ماده آلی ذره‌ای در دو عمق ۰-۱۰ و ۱۰-۲۰ سانتی‌متر نسبت به تیمار حذف بقایا افزایش یافت. در سامانه بی‌خاک‌ورزی افزایش بقایا منجر به افزایش فراوانی طبیعی کربن-۱۳ در عمق ۰-۱۰ سانتی‌متر گردید و در عمق ۱۰-۲۰ سانتی‌متر اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای نگهداشت و حذف بقایا مشاهده نشد. مقایسه مقادیر فراوانی ایزوتوپ کربن-۱۳ نمونه‌های خاک و بقایای گیاهی نشان داد که منشأ اصلی ماده آلی ذره‌ای خاک از بقایای گندم می‌باشد که این نکته در مدیریت بقایای گیاهی بسیار حایز اهمیت است و بیانگر این است که نگهداشت بقایای گندم نسبت به ذرت اثر بارزتری در بهبود وضعیت ماده آلی خاک دارد.

کلیدواژه‌ها: ترسیب کربن، تولید پایدار، خاک‌ورزی حفاظتی، فن‌آوری هسته‌ای، مدیریت خاک

Evaluation of soil organic matter dynamics under crop residue management using carbon-13 isotope

M. Mirzaei¹, M. Gorji Anari¹, E. Moghiseh^{2*}, H. Asadi¹

1. Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, P.O.BOX: 31587-77871, Karaj - Iran
2. Nuclear Agriculture Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOI, P.O.Box: 31485-1498, Karaj - Iran

Research Article

Received 6.8.2021, Accepted 6.2.2022

Abstract

The use of nuclear techniques can be helpful in the selection and implementation of optimal agronomic practices as well as the provision of appropriate management strategies in soil and water conservation, achieving sustainable development goals. In this study, we investigated the effects of applying wheat and maize crop residue at five rates, including 0, 25, 50, 75, and 100 %, on the dynamics of soil particulate organic matter (POM) and its origin at depths of 0-10 and 10-20 cm under conventional tillage and no-tillage systems were aimed. For this purpose, the natural abundance of carbon-13 ($\delta^{13}\text{C}$) technique was used. The results showed that increasing residue rates in the conventional tillage system increased the amount of $\delta^{13}\text{C}$ at two soil depths of 0-10 and 10-20 cm. In the no-tillage system, increasing residue rates led to an increase of $\delta^{13}\text{C}$ only for the depth of 0-10 cm, and no significant differences were observed among residue treatments at a depth of 10-20 cm. In addition, the comparison of $\delta^{13}\text{C}$ values of soil and plant residues of wheat and corn confirmed that the main source of soil particulate organic matter originated from the wheat residue, indicating the more substantial effect of wheat residues on improving soil organic matter than maize.

Keywords: Carbon sequestration, Sustainable production, Conservation tillage, Nuclear technique, Soil management



۱. مقدمه

خاکها شامل بزرگترین مخزن کربن آلی خشکی می‌باشند (حدود ۱۵۰۰ پتا گرم کربن تا عمق یک متر و ۲۴۰۰ پتا^۱ گرم کربن تا عمق دو متر) است که حدود سه برابر دی اکسید کربن موجود در اتمسفر (تقریباً ۸۳۰ پتاگرم کربن) و ۲۴۰ برابر انتشارات سالانه سوخت‌های فسیلی (تقریباً ۱۰ پتاگرم) است [۱-۳]. کربن و ماده آلی خاک بر بسیاری از عملکردها و فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی موجود در خاک مؤثر است. به عنوان مثال، با تشکیل و تثبیت خاکدانه‌ها، باعث بهبود ساختمان خاک، افزایش رطوبت و تأمین هوا، افزایش فعالیت زیستی در خاک شده و زیستگاه و منبع غذایی برای ریزجانداران خاک را فراهم می‌کند [۴].

بسیاری از خاک‌های کشاورزی ۲۵ تا ۷۵ درصد ذخیره کربن آلی خود را از دست داده‌اند [۵]. علاوه بر این، بسیاری از خاک‌های جهان در نتیجه تخریب اراضی، تخلیه منابع آب، کاهش تنوع زیستی و استفاده از روش‌های ناپایدار مدیریتی تحت فشار هستند که مجموعه این عوامل باعث کاهش قابل توجه کیفیت خاک‌ها در دنیا شده است [۵]. مضاف بر این، خاک متأثر از اثرات تغییر اقلیم نیز می‌باشد به عنوان مثال افزایش دما منجر به تشدید تجزیه ماده آلی خاک می‌شود و بسته به الگوهای بارشی و رژیم رطوبتی خاک باعث ذخیره کم‌تر کربن در خاک‌ها و افزایش هدررفت کربن ذخیره شده در خاک‌ها می‌شود [۶]. محافظت از ذخایر کربن خاک و درک فرایندهای ترسیب کربن و انتشار آن در خاک برای مدیریت متعادل کربن ضروری است. دلیل این امر به آن خاطر است که عوامل زیادی بر ورود و خروج کربن از خاک‌ها مؤثرند و این عوامل مستقیماً متأثر از عملیات مدیریت اراضی هستند. بنابراین به‌کارگیری عملیات مدیریتی و حفاظتی مطلوب خاک منجر به افزایش ماده آلی خاک، عملکرد بهتر محصول و بهبود کیفیت محیط زیست می‌شود [۴].

استفاده از فن‌آوری‌های هسته‌ای در انتخاب و اجرای عملیات زراعی مطلوب و همچنین ارایه راهبردهای مدیریتی مناسب در حفاظت از منابع خاک و آب و دستیابی به اهداف توسعه پایدار ضروری است. به عنوان مثال، ایزوتوپ‌های کربن در تحقیقات خاک و گیاه اطلاعات ارزشمند و جدیدی در مورد ترسیب و تثبیت کربن در سامانه‌های زراعی فراهم می‌کنند که استفاده از این اطلاعات باعث بهبود حفاظت و مدیریت ماده آلی

خاک در سامانه‌های زراعی می‌گردد [۷]. در تحقیقات اخیر، فراوانی طبیعی کربن-۱۳ به عنوان یک روش برای پایش سرنوشت کربن درجا یا ورودی به خاک استفاده شده است. در برخی مطالعات ایزوتوپ پایدار کربن برای درک مکانیسم‌های تجزیه بقایا، تشکیل و چرخش ماده آلی خاک [۸، ۹]، و پویایی ماده آلی خاک [۱۰] استفاده شده است. بوساری و همکاران [۱۱] در ارزیابی اثرات خاک‌ورزی و کود شیمیایی بر ترسیب کربن و نیتروژن با استفاده از ایزوتوپ‌های پایدار کربن-۱۳ و نیتروژن-۱۵، به این نتیجه رسیدند که خاک‌ورزی حفاظتی مانند بی‌خاک‌ورزی و استفاده تلفیقی از کودهای آلی و شیمیایی راهبردهای خوبی برای کاهش انتشار کربن و نیتروژن از خاک است. استفاده از شاخص فراوانی طبیعی کربن-۱۳ در مطالعه هائو و همکاران [۱۲] نشان داد که با افزودن مداوم بقایای گیاهی کربن آلی خاک افزایش می‌یابد و بقایای ذرت سهم بیش‌تری در کربن آلی خاک ذرت نسبت به بقایای سویا دارد.

با توجه به اهمیت منابع خاک و اثرات جبران‌ناپذیر تخریب کیفیت آن بر جوامع، مدیریت، محافظت و افزایش توانایی خاک‌ها در سطح جهانی عامل اصلی در دستیابی به اهداف توسعه پایدار است و نیازمند تلاش و توجه جدی می‌باشد [۴]. مدیریت بقایای گیاهی^۲ پس از برداشت محصول، یکی از روش‌های مدیریت خاک می‌باشد که اجرای مطلوب آن‌ها مزیت‌های قابل توجهی را در مورد افزایش ماده آلی خاک، بهبود تولید محصول و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به دنبال دارد [۱۳]. خاک‌های کشاورزی در ایران در وضعیت نامطلوبی از نظر میزان مواد آلی، حاصل‌خیزی و فرسایش‌پذیری قرار دارند. با توجه به وسعت اراضی در عرصه‌های کشاورزی و منابع طبیعی در ایران و قابلیت مدیریت صحیح خاک‌ها در ترسیب کربن، به‌کارگیری فن‌آوری‌های هسته‌ای به منظور انتخاب راهبرد مناسب مدیریت پایدار بقایای محصول جهت دستیابی به اهدافی از قبیل بهبود کیفیت خاک، حفظ محیط زیست و تولید پایدار از اهمیت زیادی برخوردار است. امروزه به منظور ارزیابی دقیق وضعیت ماده آلی خاک از ایزوتوپ‌های کربن استفاده می‌شود. از جمله این ایزوتوپ‌ها می‌توان به فراوانی طبیعی ایزوتوپ پایدار کربن-۱۳ و ایزوتوپ رادیواکتیو کربن-۱۴ اشاره کرد [۷].

هدف این تحقیق ارزیابی پویایی ماده آلی ذره‌ای خاک^۳ و تعیین منشأ آن با استفاده از ایزوتوپ پایدار کربن-۱۳ (^{۱۳}C)



نمونه‌های خاک به آزمایشگاه، نمونه‌ها در معرض هوا خشک گردید و از الک دو میلی‌متری عبور داده و سپس برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی اندازه‌گیری شد. بافت به روش هیدرومتری [۱۹]، میزان pH و EC در عصاره اشباع، نیتروژن کل به روش کج‌دال، فسفر قابل جذب به روش اولسن و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر، پتاسیم قابل جذب با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر [۲۰] و کربن آلی نیز به روش والکلی و بلک [۲۱] اندازه‌گیری شد. خصوصیات خاک هر دو سامانه زراعی در جدول ۱ آورده شده است. مرحله اول آزمایش، پس از برداشت محصول گندم سال قبل، در تیرماه ۱۳۹۷، و پس از آماده‌سازی زمین و با کاشت ذرت انجام شد. به این منظور در هر قطعه زمین ابتدا تیمارهای مدیریتی مختلف بقایای گیاهی اعمال گردید. این تیمارها شامل افزودن ۵ سطح وزنی مختلف از بقایای تازه گندم به صورت صفر درصد (R_0)، ۲۵ درصد (R_{25})، ۵۰ درصد (R_{50})، ۷۵ درصد (R_{75}) و ۱۰۰ درصد (R_{100}) تن در هکتار، ۳/۵ تن در هکتار، بود.

به منظور تعیین درصد وزنی بقایا از یک قاب چوبی به ابعاد یک متر در یک متر از بقایای باقی مانده از چند نقطه نمونه‌برداری به عمل آمد و میانگین مقدار بقایا در این چند نقطه به عنوان میزان بقایای باقی مانده در سطح یک مترمربع تعیین گردید. در هر دو سامانه خاک‌ورزی، بقایا به طور یکنواخت در سطح کرت جای‌گذاری شد و اقدام به کاشت ذرت رقم سینگل گراس ۷۰۴ به میزان ۳۵ کیلوگرم در هکتار گردید. به منظور کاشت از دستگاه خطی کار استفاده گردید. در سامانه بی‌خاک‌ورزی کاشت بذر به طور مستقیم و بدون هر گونه به‌هم خوردگی خاک صورت گرفت ولی در سامانه خاک‌ورزی مرسوم ابتدا شخم با گاوآهن برگردان‌دار و سپس دیسک‌زنی و ماله‌کشی انجام شد و در نهایت بذریاشی صورت گرفت. هم‌زمان با کاشت، عملیات کوددهی نیز براساس شرایط موجود در مزرعه انجام شد. در مرحله اول ۵۰ کیلوگرم کود اوره، ۷۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم، و ۱۵۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار استفاده گردید. مراحل بعدی کوددهی نیز به ترتیب با اعمال ۸۰ و ۲۷۰ کیلوگرم کود اوره در مرحله ۸ تا ۱۰ برگی و قبل از گل‌دهی به صورت کود آبیاری انجام گرفت. عملیات آبیاری نیز بلافاصله پس از کاشت انجام گرفت و آبیاری‌های بعدی نیز تا پایان چرخه زراعی براساس شرایط محیطی و تقریباً هر ۷ تا ۱۰ روز یک بار صورت گرفت.

تحت مدیریت بقایای گیاهی در تناوب ذرت- گندم تحت سامانه‌های خاک‌ورزی مرسوم و بی‌خاک‌ورزی در منطقه نیمه‌خشک کرج بود. دلیل استفاده از ایزوتوپ پایدار کربن-۱۳ در این تحقیق به این خاطر بود که در این تحقیق از دو نوع بقایای گیاهی گندم (C_3) و ذرت (C_4) در تناوب استفاده شده است و چون این گیاهان سیستم‌های فتوسنتزی متفاوتی داشته در جذب C_{12} و C_{13} تبعیض قایل می‌شوند و دارای مقدار فراوانی طبیعی کربن-۱۳ متفاوتی هستند. از طرفی، تشخیص ردپای مواد آلی خاک هنگامی که گیاهان C_3 در تناوب با گیاهان C_4 کشت می‌شوند با استفاده از شاخص فراوانی طبیعی کربن-۱۳ امکان‌پذیر است [۷، ۱۲، ۱۴، ۱۵]. انتخاب جزء ماده آلی ذره‌ای به این دلیل بود که در منابع مختلف این جزء از ماده آلی خاک به عنوان یک عامل مهم ترسیب کربن مشتق شده از بقایای گیاهی در خاک در نظر گرفته شده است [۱۶] و مهم‌تر این‌که این جزء نسبت به ورودی مواد آلی تازه از قبیل بقایای گیاهی، کاربری اراضی و عملیات مدیریت زراعی سریعاً پاسخ می‌دهد [۱۷، ۱۸].

۲. مواد و روش‌ها

این پژوهش در تابستان سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۶ و زمستان و بهار سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه آموزشی و پژوهشی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج و مزرعه دانشکده دامپزشکی دانشگاه تهران با کاربری زراعی و در دو مرحله به اجرا درآمد. به منظور اجرای طرح دو قطعه زمین مجزا تحت مدیریت‌های مختلف خاک‌ورزی مرسوم^۱ و بی‌خاک‌ورزی^۲ انتخاب گردید. ابعاد هر قطعه زمین ۱۹×۲۲ متر، و طرح مورد استفاده در این آزمایش طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار بود. در مجموع برای هر دو قطعه زمین ۴۰ کرت با ابعاد ۳×۴ متر و با فاصله بین تکرارهای دو متر و فواصل کرت‌های یک متر برای این کار اختصاص یافت.

زمین‌های انتخاب شده در هر دو سامانه خاک‌ورزی دارای تاریخچه کاشت با تناوب ذرت- گندم به مدت تقریباً ۱۵ سال می‌باشد. قبل از اعمال تیمارهای آزمایشی، نمونه‌برداری مرکب از خاک به صورت تصادفی برای تعیین ویژگی‌های اولیه خاک از دو عمق ۰-۱۰ و ۱۰-۲۰ سانتی‌متر انجام شد. هم‌زمان با نمونه‌برداری از خاک جهت تعیین خصوصیات اولیه، جرم مخصوص ظاهری نیز به روش استوانه تعیین شد. پس از انتقال

1. Conventional Tillage (CT)
2. No-Tillage (NT)



جدول ۱. خصوصیات اولیه خاک در سامانه‌های خاک‌ورزی مرسوم و بی‌خاک‌ورزی قبل از شروع پروژه

بی‌خاک‌ورزی		خاک‌ورزی مرسوم		واحد	خصوصیات خاک
عمق خاک (سانتی‌متر)		عمق خاک (سانتی‌متر)			
۱۰-۲۰	۰-۱۰	۱۰-۲۰	۰-۱۰		
۷,۶	۷,۸۵	۷,۷۸	۷,۸۳	-	pH
۰,۷۳	۱,۰۶	۰,۷۵	۰,۹۱	dS m^{-1}	EC
۱,۰۱	۱,۲۵	۰,۸۶	۰,۹	%	کربن آلی
۰,۰۸	۰,۱۱	۰,۰۷	۰,۰۹	%	نیتروژن کل
۲۳۷,۳۷	۲۷۹,۰۴	۱۳۴,۲	۱۶۷,۹۳	mg kg^{-1}	پتاسیم قابل جذب
۱۵,۳۴	۱۵,۰۵	۹,۵۴	۸,۷۲	mg kg^{-1}	فسفر قابل جذب
۱,۳۸	۱,۳۲	۱,۵۶	۱,۵۲	Mg m^{-2}	جرم مخصوص ظاهری
لوم رسی	لوم رسی	لوم شنی	لوم شنی	-	بافت خاک

شد و در هر مرحله سم‌زنی ۴۰۰ لیتر آب استفاده گردید. در مورد کاشت گندم نیز ابتدا خاک آب و سپس آبیاری کمی ۱۰ روز پس از آبیاری اول و آبیاری‌های بعدی نیز با توجه به شرایط محیطی انجام شد.

۱.۲ اندازه‌گیری‌های ایزوتوپی کربن-۱۳ نمونه‌های خاک و گیاه

در پایان دوره آزمایش، نمونه‌برداری از خاک در کرت‌های آزمایشی از دو عمق ۰-۱۰ و ۱۰-۲۰ سانتی‌متر انجام شد. به این صورت که از نقاط مختلف هر کرت و از هر عمق، سه نمونه برداشت و با هم مخلوط شد و در نهایت یک نمونه مرکب برای عمق مذکور انتخاب و برای انجام آزمایشات مربوطه به آزمایشگاه منتقل و هوا خشک گردید. نمونه‌های بقایای گیاهی نیز پس از پایان هر فصل رشد و پس از برداشت محصول تهیه شد. به این منظور از یک قاب چوبی به ابعاد یک متر در یک متر از بقایای باقی مانده از چند نقطه نمونه‌برداری به عمل آمد و در نهایت یک نمونه همگن انتخاب شد. به منظور تجزیه بقایا، ابتدا نمونه‌های خشک بقایا توسط آسیاب خرد گردید. سپس کربن آلی به روش والکلی و بلک [۲۱] اندازه‌گیری شد. نیتروژن نمونه‌ها بعد از هضم با اسید سولفوریک و سالیسیلیک و آب اکسیژنه به روش کج‌لدال تعیین گردید. سپس خاکستری خشک به منظور تعیین سایر عناصر موجود در بقایا انجام شد به این صورت که قسمتی از نمونه‌ها در کوره الکتریکی در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس قرار داده شد سپس با اسید کلریدریک دو نرمال هضم و عناصر به شرح زیر اندازه‌گیری شدند. غلظت پتاسیم با استفاده از فلیم فتومتر، فسفر به روش رنگ‌سنجی و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر تعیین شد [۲۰] (جدول ۲).

مرحله دوم پژوهش پس از برداشت محصول ذرت علوفه‌ای و اعمال تیمارهای مدیریتی بقایای ذرت به اجرا درآمد. در این مرحله نیز تیمارهای بقایای گیاهی ذرت شامل صفر درصد (R_0)، ۲۵ درصد ($R_{۲۵}$) تن در هکتار، ۵۰ درصد ($R_{۵۰}$) تن در هکتار، ۷۵ درصد ($R_{۷۵}$) تن در هکتار، ۱۰۰ درصد ($R_{۱۰۰}$) تن در هکتار، بود. پس از اعمال تیمارهای بقایای گیاهی، کاشت گندم در آبان ماه ۱۳۹۷ صورت گرفت. به این صورت که میزان ۲۰۸ کیلوگرم بذر رقم سیوند در هکتار استفاده شد. در کل کوددهی در طی فصل رشد گندم در چهار مرحله، یک مرحله با کوددهی پایه و سه مرحله دیگر نیز به صورت سرک انجام شد. کوددهی پایه هم‌زمان با کاشت و با اعمال ۵۰ کیلوگرم اوره، ۲۰۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل و ۱۵۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم انجام شد. مرحله دوم کوددهی نیز با اعمال ۱۱۰ کیلوگرم اوره و در مرحله اتمام پنجه‌دهی و شروع ساقه‌دهی اعمال شد. کوددهی سوم نیز در مرحله اواسط ساقه‌دهی و به میزان ۱۱۰ کیلوگرم اوره استفاده شد. در انتهای ساقه‌دهی و شروع ظهور سنبله نیز مرحله آخر کوددهی با اعمال ۵۰ کیلوگرم اوره صورت پذیرفت. سه مرحله اول کوددهی با استفاده از دستگاه کودپاش سانتریفیوژ و مرحله آخر نیز به صورت کود آبیاری انجام گرفت. در مورد کاشت گندم نیز ابتدا خاک آب و سپس آبیاری کمی ۱۰ روز پس از آبیاری اول و آبیاری‌های بعدی نیز با توجه به شرایط محیطی انجام شد. در طی فصل رشد گندم از دو نوع علف‌کش استفاده گردید. علف‌کش نوع اول، پهن برگ کش برومایسید در دو مرحله و در هر مرحله یک و نیم لیتر اعمال گردید. سم باریک برگ کش تاپیک نیز به میزان یک لیتر در هکتار و همراه مرحله اول استفاده گردید. سم‌پاشی با دستگاه پشت تراکتوری بوم‌دار انجام



که در آن: $^{13}C/^{12}C$ spl، نسبت ایزوتوپ سنگین تر به سبک تر برای نمونه مورد آزمایش و $^{13}C/^{12}C$ std نسبت ایزوتوپ سنگین تر به سبک تر برای استاندارد می باشد. استاندارد مربوط به فسیل آهکی بلمنی از سازنده Pee Dee کرتاسه در جنوب کارولینای آمریکا می باشد که به استاندارد PDB دانشگاه شیکاگو معروف است

۲.۲ تجزیه و تحلیل آماری

به منظور تجزیه واریانس از نرم افزار SAS ۹.۴ استفاده شد. مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد و رسم شکل ها با استفاده از EXCEL انجام شد.

۳. یافته ها و بحث

۱.۳ اثر مقدار بقایا بر پویایی ماده آلی ذره ای خاک در سامانه های خاک ورزی مرسوم و بی خاک ورزی با استفاده از شاخص فراوانی طبیعی کربن-۱۳
نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای بقایا بر تغییرات شاخص فراوانی طبیعی کربن-۱۳ ($\delta^{13}C$) ماده آلی ذره ای خاک در عمق های ۱۰-۲۰ و ۱۰-۲۰ سانتی متر در سامانه های خاک ورزی مرسوم و بی خاک ورزی در جدول ۳ آورده شده است. همان طور که مشاهده می شود مقدار بقایا، عمق خاک و اثرات متقابل این دو عامل تأثیر معنی داری (سطح یک درصد) بر شاخص فراوانی طبیعی کربن-۱۳ در هر دو سامانه خاک ورزی نشان داد. اثر ساده بلوک و اثرات متقابل آن با مقدار بقایا اثر معنی داری بر شاخص مذکور ندارد.

جدول ۳. تجزیه واریانس شاخص تفکیک ایزوتوپی کربن-۱۳ ($\delta^{13}C$) متأثر از مقدار بقایا در سامانه های مختلف خاک ورزی

$\delta^{13}C\%$		درجه آزادی	منبع تغییرات
بی خاک ورزی	خاک ورزی مرسوم		
ns, ۰.۲	ns, ۰.۶۰	۳	بلوک
۰.۴۰**	۳.۶۳**	۴	مقدار بقایا
ns, ۰.۰۷	ns, ۰.۲۱	۱۲	بلوک*مقدار بقایا
۱.۰۷۰**	۱.۲۳**	۱	عمق خاک
۰.۲۱**	۰.۱۱**	۴	مقدار بقایا* عمق خاک
۰.۰۷	۰.۳۱	۱۵	خطا
۸.۲۷	۹.۳۴	-	ضریب تغییرات

** معنی دار در سطح احتمال یک درصد، * معنی دار در سطح احتمال پنج درصد، ns عدم معنی داری. (اعداد میانگین مربعات (MS) را نشان می دهد)

جدول ۲. خصوصیات نمونه های بقایای گیاهی

بقایا	نیترژن	فسفر	پتاسیم	کربن آلی	C,N	^{13}C
	%	%	%	%	-	‰
گندم	۰.۸۴	۰.۰۹	۱.۷۵	۵۵.۴	۶۶	-۲۸.۴۶
ذرت	۰.۹۲	۰.۲۵	۱.۰۸	۵۲.۶۵	۵۸	-۱۲.۸۲

سپس به منظور بررسی پویایی ماده آلی خاک در تیمارهای بقایای گیاهی تحت سامانه های خاک ورزی از روش فراوانی طبیعی کربن-۱۳ ($\delta^{13}C$) استفاده شد [۷]. مقدار کربن-۱۳ نمونه های خاک و هم چنین دو گیاه گندم و ذرت به روش زیر تعیین شد. در ابتدا نمونه های گیاهی در دمای ۶۵ درجه سانتی گراد خشک، و سپس آسیاب شد و حدود ۵ میلی گرم از نمونه ها در کپسول های قلع^۲ توزین شد. در مورد نمونه های خاک نیز در ابتدا حذف کربنات ها از نمونه های خاک به روش هضم با اسید انجام شد [۲۲] و سپس جزء ماده آلی ذره ای^۳ به روش کامباردلا و ویوت [۲۳] تعیین شد.

به منظور اندازه گیری کربن-۱۳ در جزء ماده آلی ذره ای، ابتدا نمونه های خاک از الک ۲ میلی متر عبور داده شدند. سپس ۲۰ گرم از هر نمونه خاک به یک بطری ۱۰۰ میلی لیتری منتقل و ۶۰ میلی لیتر از هگزامتافسفات سدیم (با غلظت ۵ گرم در لیتر) به آن اضافه شد. سپس مخلوط خاک و هگزامتافسفات سدیم به مدت ۱۵ ساعت به هم زده شد و پس از آن از الک ۵۳ میکرومتر عبور داده شد. مواد آلی باقی مانده بر روی الک به مدت یک شب در آون در دمای ۴۰ درجه سلسیوس خشک گردید و به عنوان جزء ماده آلی ذره ای خاک در نظر گرفته شد. در نهایت مقدار کربن-۱۳ نمونه های خاک و گیاه با استفاده از یک آنالیزور عنصری (vario Isotope Select, Elementar,) (Langensfeld, Germany) متصل به یک طیف سنج جرمی نسبت ایزوتوپ^۴ (Isoprime ۱۰۰, Elementar) در آزمایشگاه سایبرزدورف^۵ آژانس بین المللی انرژی اتمی واقع در وین، کشور اتریش تعیین شد. شاخص فراوانی طبیعی کربن-۱۳ ($\delta^{13}C$) نمونه های خاک و گیاه با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد [۷].

$$\delta^{13}C\% = \frac{\left(\frac{^{13}C}{^{12}C}\right)_{spl} - \left(\frac{^{13}C}{^{12}C}\right)_{std}}{\left(\frac{^{13}C}{^{12}C}\right)_{std}} \times \frac{1000}{1} \quad (1)$$

1. Natural Abundance $\delta^{13}C$ ‰
2. Tin Capsules
3. Particulate Organic Matter (POM)
4. Isotope Ratio Mass Spectrometer (Isoprime 100, Elementar)
5. Seibersdorf, International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria

مجله علوم و فنون هسته ای

جلد ۱۰۲، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۱، ص ۱۴۱-۱۴۸

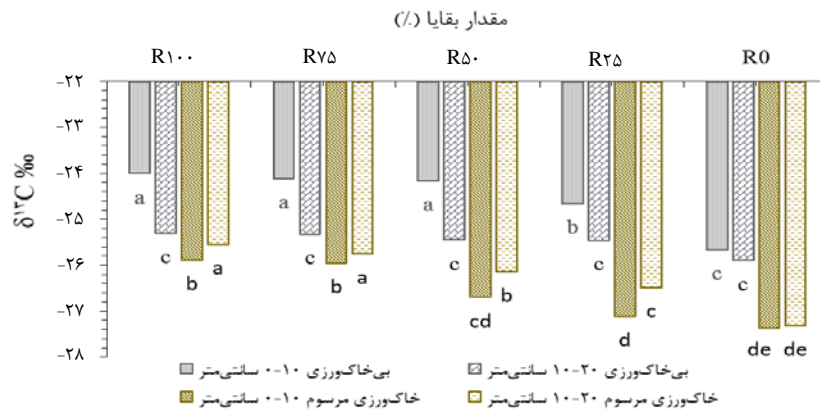


سانتی‌متر نسبت به عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متر را برای تیمارهای نگه‌داشت بقایا نشان داد (شکل ۱). که نشان‌دهنده تخلیه بیش‌تر لایه سطحی خاک از کربن-۱۳ و غنی شدن و انباشت آن در لایه پایین‌تر می‌باشد. در تأیید نتایج این تحقیق، هائو و همکاران [۱۲] نیز افزایش فراوانی طبیعی کربن آلی خاک را پس از افزودن بقایای گیاهی در سامانه خاک‌ورزی مرسوم گزارش کردند. از دلایل احتمالی افزایش شاخص فراوانی طبیعی کربن-۱۳ در عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متر می‌توان به انتقال جزء سبک ماده آلی از عمق سطحی به اعماق پایین‌تر در اثر خاک‌ورزی در این سامانه اشاره کرد که منجر به کاهش ذخیره کربن این جزء در عمق سطحی شده است. انتقال جزء سبک ماده آلی خاک از جمله ماده آلی ذره‌ای از عمق سطحی به اعماق پایین‌تر در تحقیقات قبلی نیز گزارش شده است [۲۶]. در تیمار حذف بقایای گیاهی اختلاف معنی‌داری در بین دو عمق مذکور مشاهده نشد. از طرفی در دو تیمار R_{100} و R_{75} تفاوت معنی‌داری در عمق‌های متناظر مشاهده نشد. بیش‌ترین مقدار شاخص فراوانی طبیعی کربن-۱۳ (۲۵/۵-) در تیمار نگه‌داشت ۱۰۰ درصد بقایا (R_{100}) و در عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متر و کم‌ترین مقدار آن (۲۷/۳-) در تیمار حذف بقایا (R_0) و در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر مشاهده شد. ماده آلی ذره‌ای بخش پویای ماده آلی خاک را تشکیل می‌دهد و عمدتاً از قطعات گیاهی نیمه‌تجزیه تشکیل شده است [۲۳، ۲۷]. این جزء به عنوان یک عامل مهم ترسیب کربن مشتق شده از بقایای گیاهی در خاک در نظر گرفته می‌شود [۱۶]. هم‌چنین این جزء نسبت به ورودی مواد آلی تازه از قبیل بقایای گیاهی، کاربری اراضی و عملیات مدیریت زراعی حساس بوده و سریعاً پاسخ می‌دهد [۱۷، ۱۸]. از طرفی، شاخص فراوانی طبیعی کربن-۱۳ کاربرد گسترده‌ای در مطالعات ترسیب کربن و پویایی آن در خاک تحت سناریوهای مختلف مدیریتی از جمله مدیریت بقایای گیاهی دارد [۱۲، ۲۸، ۲۹].

در سامانه بی‌خاک‌ورزی، افزایش بقایا، افزایش معنی‌دار (سطح یک درصد) شاخص فراوانی طبیعی کربن-۱۳ را تنها در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر نسبت به تیمار حذف بقایا نشان داد و در عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متر اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای نگه‌داشت بقایا و تیمار حذف بقایا مشاهده نشد (شکل ۱). دلیل نبود اختلاف معنی‌دار مقدار شاخص فراوانی طبیعی کربن-۱۳ در عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متر در بین تیمارهای بقایا در سامانه بی‌خاک‌ورزی را می‌توان به عدم به هم خوردگی خاک در این سامانه و در نتیجه عدم اختلاط بقایای گیاهی ورودی با اعماق زیرین نسبت داد. هم‌چنین عدم وجود زمان کافی برای اثرگذاری بقایای اعمال شده در عمق پایین‌تر می‌تواند از دیگر دلایل عدم معنی‌داری شاخص فراوانی طبیعی کربن-۱۳ در عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متر در بین تیمارهای بقایا باشد. در حالی که تمرکز بقایای گیاهی در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر باعث افزایش ماده آلی ذره‌ای و در نتیجه غنی شدن مقدار کربن-۱۳ موجود در آن‌ها شده است. از طرفی این امکان نیز وجود دارد که با توجه به نسبت زیاد کربن به نیتروژن در هر دو نوع بقایا (۵۳ و ۵۵، جدول ۲)، روند تجزیه بقایا به کندی صورت گرفته باشد که منجر به ماندگاری بیش‌تر کربن در خاک می‌گردد. از طرفی، تیمارهای R_5 و مقادیر بیش‌تر از آن اختلاف معنی‌داری در عمق‌های مشابه نشان ندادند. بیش‌ترین مقدار شاخص فراوانی طبیعی کربن-۱۳ (۲۴-) در تیمار R_{100} و در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر مشاهده شد. در مطالعات قبلی نیز گزارش شده است که منبع عمده این جز از مواد آلی خاک عمدتاً بقایای گیاهی ورودی به خاک می‌باشد [۲۴]. بلانکو-مور و همکاران [۲۵] نیز مقادیر بیش‌تر ماده آلی ذره‌ای را در عمق سطحی در سامانه بی‌خاک‌ورزی گزارش کردند که همسو با نتایج تحقیق حاضر است.

در سامانه خاک‌ورزی مرسوم، مقدار شاخص فراوانی طبیعی کربن-۱۳ برای تمامی تیمارهای نگه‌داشت بقایای گیاهی (R_{25} تا R_{100})، نسبت به تیمار حذف بقایا (R_0) در عمق‌های مشابه افزایش یافت. از طرفی، شاخص فراوانی طبیعی کربن-۱۳ کاهش معنی‌داری (سطح یک درصد) را در عمق ۱۰-۰





شکل ۱. اثر بقایا بر فراوانی طبیعی کربن-۱۳ ($\delta^{13}C$) خاک در اعماق ۰-۱۰ و ۱۰-۲۰ سانتی‌متر در سامانه‌های خاک‌ورزی مرسوم و بی‌خاک‌ورزی.

طبیعی کربن-۱۳ ماده آلی ذره‌ای خاک محدود به عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر بود ولی در سامانه خاک‌ورزی مرسوم افزایش این شاخص در عمق ۱۰-۲۰ سانتی‌متر مشاهده شد. در سامانه بی‌خاک‌ورزی اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای نگاه‌داشت ۵۰ تا ۱۰۰ درصد بقایا مشاهده نشد و در سامانه خاک‌ورزی مرسوم نیز تیمارهای ۷۵ و ۱۰۰ درصد بقایا تفاوت معنی‌داری را نشان ندادند. در کل نتایج این پژوهش پیشنهاد می‌کند که بقایای گیاهی پتانسیل قابل توجهی در ترسیب کربن خاک دارد. البته نتیجه‌گیری جامع و کامل جهت تعیین پتانسیل کامل مدیریت بقایای گیاهی در سامانه‌های زراعی مستلزم مطالعات بلند مدت می‌باشد.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از حمایت‌های مالی صندوق حمایت از پژوهشگران و فن‌آوران کشور تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

مراجع

1. K. Paustian, et al, *Climate-smart soils*, *Nature*, **532(7597)**, 49-57 (2016).
2. P. Ciais, et al, *Carbon and other biogeochemical cycles. In Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, *Cambridge University Press*, 465-570 (2014).
3. N.H. Batjes, *Total carbon and nitrogen in the soils of the world*, *Eur. J. Soil Sci.*, **47**, 151-163 (1996).
4. R. Lal, R. Horn, T. Kosaki, *Soil and sustainable development goals*, *Catena-Schweizerbart*, Stuttgart, (2018).

در این تحقیق مقدار شاخص فراوانی طبیعی کربن-۱۳ بقایای گندم برابر با 28.46% در حالی که در مورد بقایای ذرت این مقدار برابر با 12.82% بود (جدول ۲) که مشابه با مقادیر اندازه‌گیری شده در تحقیقات جهانی است [۷، ۱۲]. در مورد گیاهان C_3 از قبیل گندم مقدار شاخص فراوانی طبیعی کربن-۱۳ تقریباً 27% و در محدوده 35% تا 20% ($20\% \leq \delta^{13}C \leq 35\%$) و در مورد گیاهان C_4 تقریباً 13% و در محدوده بین 15% تا 7% ($7\% \leq \delta^{13}C \leq 15\%$) می‌باشد [۷]. لذا با توجه به نتایج به دست آمده شاخص فراوانی طبیعی کربن-۱۳ نمونه‌های خاک در هر دو سامانه خاک‌ورزی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که منشأ ماده آلی ذره‌ای خاک عمدتاً از بقایای گندم می‌باشد و سهم اندکی از آن مربوط به بقایای ذرت می‌باشد. بیش‌تر بودن مقدار بقایای گندم اضافه شده نسبت به بقایای ذرت از دلایل اصلی این امر است. همچنین از آنجایی که در سال‌های قبل این سامانه‌ها تحت تناوب کشت ذرت- گندم بوده‌اند و هر ساله مقادیر

بیش‌تری از بقایای گندم نسبت به بقایای ذرت در خاک باقی‌مانده است که نتیجه آن اثرگذاری بیش‌تر بقایای گندم بر ماده آلی ذره‌ای نسبت به بقایای ذرت می‌باشد.

۴. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

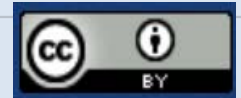
شاخص فراوانی طبیعی کربن-۱۳ ($\delta^{13}C$) ابزاری مفید در تعیین سرنوشت بقایای گیاهی اضافه شده به خاک است. نتایج این تحقیق نشان داد که مصرف بقایا باعث غنی شدن کربن-۱۳ ماده آلی ذره‌ای خاک در هر دو سامانه خاک‌ورزی مرسوم و بی‌خاک‌ورزی شد و با افزایش میزان مصرف بقایا این اثرات بارزتر بود. در سامانه بی‌خاک‌ورزی افزایش شاخص فراوانی



5. R. Lal, *Managing soils and ecosystems for mitigating anthropogenic carbon emissions and advancing global food security*, *BioScience.*, **60(9)**, 708-721 (2010).
6. R. Lal, B.A. Stewart, *Soil and Climate*, *CRC Press*, (2018).
7. F.A.O. Joint, *Use of Carbon Isotopic Tracers in Investigating Soil Carbon Sequestration and Stabilization in Agroecosystems* (No. IAEA-TECDOC--1823), *Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture*, (2017).
8. A.R. Wilts, et al, *Long-term corn residue effects: harvest alternatives, soil carbon turnover, and root-derived carbon*, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **68**, 1342–1351 (2004).
9. A. de Rouw, B. Souleleuth, S. Huon, *Stable carbon isotope ratios in soil and vegetation shift with cultivation practices (Northern Laos)*, *Agric. Ecosyst. Environ.*, **200**, 161–168 (2015).
10. A.O. Awiti, M.G. Walsh, J. Kinyamario, *Dynamics of topsoil carbon and nitrogen along a tropical forest–cropland chronosequence: evidence from stable isotope analysis and spectroscopy*, *Agric. Ecosyst. Environ.*, **127**, 265–272 (2008).
11. M.A. Busari, F.K. Salako, C. Tuniz, *Stable isotope technique in the evaluation of tillage and fertilizer effects on soil carbon and nitrogen sequestration and water use efficiency*, *Eur. J. Agron.*, **73**, 98-106 (2016).
12. X. Hao, et al, *Dynamics and composition of soil organic carbon in response to 15 years of straw return in a Mollisol*, *Soil. Till. Res.*, **215**, 105221 (2022).
13. J.M.F. Johnson, *Stover harvest impacts soil and hydrologic properties on three Minnesota farms*, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **81(4)**, 932-944 (2017).
14. Y. Kuz'yakov, G. Domanski, *Carbon input by plants into the soil*, *Review, J. Plant Nut. Soil. Sci.* **163(4)**, 421-431 (2000).
15. R.F. Follett, C.P. Jantalia, A.D. Halvorson, *Soil carbon dynamics for irrigated corn under two tillage systems*, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **77(3)**, 951-963 (2013).
16. J. Six, et al, *Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils*, *Plant and Soil*, **241(2)**, 155-176 (2002).
17. A.Y. Kong, J. Six, *Tracing root vs. residue carbon into soils from conventional and alternative cropping systems*, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **74(4)**, 1201-1210 (2010).
18. S.R. Mazzilli, et al, *Greater humification of belowground than aboveground biomass carbon into particulate soil organic matter in no-till corn and soybean crops*, *Soil Bio. Biochem.*, **85**, 22-30 (2015).
19. G.W. Gee, J.W. Bauder, *Partical-size analysis*, In: Klute A (ed.). *Methods of Soil Analysis: Physical and Mineralogical Methods*. Part 1, 2nd (ed.) Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, **United States of America**, 383-411 (1986).
20. J.B. Jones, *Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis* (No. BOOK), *CRC Press*, (2001).
21. A. Walkley, I.A. Black, *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 (1934).
22. D. Harris, W.R. Horwath, C. Van Kessel, *Acid fumigation of soils to remove carbonates prior to total organic carbon or carbon-13 isotopic analysis*, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **65(6)**, 1853-1856 (2001).
23. C.A. Cambardella, E.T. Elliott, *Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence*, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **56(3)**, 777-783 (1992).
24. M. Zimmermann, et al, *(Measured soil organic matter fractions can be related to pools in the RothC model*, *Eur. J. Soil Sci.*, **58(3)**, 658-667 (2007).
25. N. Blanco-Moure, et al, *Soil organic matter fractions as affected by tillage and soil texture under semiarid Mediterranean conditions*, *Soil. Till. Res.*, **155**, 381-389 (2016).
26. M.M. Wander, M.G. Bidart, S. Aref, *Tillage impacts on depth distribution of total and particulate organic matter in three Illinois soils*, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **62(6)**, 1704-1711 (1998).
27. K.P. Fabrizzi, A. Moron, F.O. Garcia, *Soil carbon and nitrogen organic fractions in degraded vs. non-degraded Mollisols in Argentina*, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **67(6)**, 1831-1841 (2003).
28. F. Cattaneo, et al, *13C abundance shows effective soil carbon sequestration in Miscanthus and giant reed compared to arable crops under Mediterranean climate*, *Bio. Fert. Soils.*, **50(7)**, 1121-1128 (2014).
29. G. Song, M.H. Hayes, E.H. Novotny, *A two-year incubation study of transformations of crop residues into soil organic matter (SOM) and a procedure for the sequential isolation and the fractionation of components of SOM*, *Sci. Total Environ.*, **763**, 143034 (2021).

COPYRIGHTS

©2021 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.



استناد به این مقاله

مراد میرزایی، منوچهر گرجی، ابراهیم مقیسه، حسین اسدی (۱۴۰۱)، ارزیابی پویایی ماده آلی خاک تحت مدیریت بقایای گیاهی با استفاده از ایزوتوپ کربن-۱۳، ۱۰۲، ۱۴۱-۱۴۸

DOI: 10.24200/nst.2022.1477

Url: https://jonsat.nstri.ir/article_1367.html

