اثر تغییر کاربری زمین بر اندوخته‌های کربن آلی خاک در زمین‌های حاشیه دریاچه زریبار مریوان

حمید محمودزاده، محسن شکل آبادی* و علی اکبر محبوبی[۱]

(تاریخ دریافت:۱۳۹۰/۰۹/۰۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۷/۰۹)

چکیده

اندوخته‌های کربن آلی خاک و ناپایداری کربن مستقیماً بر مشخصه‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک‌ها تأثیر دارند، به‌علاوه ظرفیت خود بازسازی خاک‌ها ارتباط مستقیمی با ذخیره‌های کربن خاک دارد. بررسی تغییرات بخش‌های کربن آلی می‌تواند به‌عنوان شاخصی در تعیین کیفیت خاک استفاده شود. هدف این پژوهش بررسی اثر تغییر کاربری اراضی بر بخش‌های اندازه‌ایی کربن آلی و شاخص ذخیره کربن خاک می‌باشد. نمونه‌برداری خاک در حاشیه دریاچه زریبار در اواخر تابستان ۱۳۸۹ انجام گردید. نمونه‌برداری به تفکیک در ۳ کاربری باتلاق، زمین‌های زیر کشت گندم و یونجه، که قبلاً به‌صورت زمین مرطوب و باتلاق بوده‌اند، در سه عمق صفر تا ۳۰، ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتی‌متر انجام شد. بخش‌بندی اندازه‌ای کربن آلی پس از استفاده از التراسونیک انجام شده و خاک‌ها به دو بخش کربن هم اندازه شن و هم اندازه سیلت + رس تقسیم گردید. مواد آلی هم‌اندازه شن (بزرگ‌تر از ۵۰ میکرون) نسبت به بخش هم‌اندازه رس + سیلت بیش‌تر ناپایدار بوده و جهت محاسبه شاخص ذخیره کربن استفاده گردید. نتایج به‌دست آمده از بخش‌بندی اندازه‌ایی نشان داد که در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر بیشترین مقدار کربن آلی در ذرات هم‌اندازه شن در کاربری باتلاق بوده (۶۷/۰۱ گرم کربن بر کیلوگرم خاک) و کمترین مقدار در کاربری گندم (۲۴/۵۷ گرم کربن بر کیلوگرم خاک) به‌دست آمده است. تبدیل باتلاق به یونجه و گندم به‌ترتیب باعث کاهش ۴۸/۳۹ و ۴۵/۱۴ تن در هکتار کربن آلی پیوندی با ذرات سیلت+رس در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر شده است.کربن ذخیره‌شده در ذرات هم‌اندازه سیلت+رس در عمق ۶۰-۳۰ سانتی‌متر دو کاربری زراعی بیش‌تر از کربن بخش هم‌اندازه شن می‌باشد. شاخص اندوخته کربن در یونجه و گندم نسبت به باتلاق به‌ترتیب ۵۰ و ۶۰ درصد کاهش نشان داده است، هم‌چنین شاخص مدیریت کربن در یونجه ۴۴/۹۰ و در گندم ۶۶/۷۰ درصد کاهش یافته است.

واژه‌های کلیدی: تغییر کاربری، کربن آلی، بخش‌بندی، شاخص مدیریت کربن

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: sheklabadi@basu.ac.ir

مقدمه

تغییر کاربری اراضی و اعمال مدیریت‌های گوناگون بر خاک می‌تواند بر حاصلخیزی، قدرت بافری و هم‌چنین پتانسیل بازسازی شرایط ایده‌آل پایداری خاک تأثیر بگذارد. مفهوم کیفیت خاک بر توانایی خاک در انجام وظایفی خاص مانند حفظ فعالیت بیولوژیکی، تنظیم جریان آب و هوا، ظرفیت بافری و نگهداری و هم‌چنین چرخه عناصر غذایی متمرکز شده است (۱۸). تبدیل اراضی طبیعی به زمین‌های کشاورزی مولفه‌های کیفیت خاک را تغییر می‌دهد و در جهت کاهش کیفیت آن و به‌تبع آن کاهش قدرت باروری خاک عمل می‌کند. برآورد شاخص‌های اندوخته کربن و شاخص مدیریت کربن آلی خاک می‌تواند کاربر را در اعمال مدیریت صحیح بر زمین و هم‌چنین برآورد میزان تخلیه یا انباشت کربن آلی کمک نماید. اندوخته‌های کربن آلی خاک و ناپایداری کربن مستقیماً بر مشخصه‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک‌ها تأثیر می‌گذارد و هم‌چنین ظرفیت خود بازسازی خاک‌ها نیز به مقدار و کیفیت کربن آلی خاک وابستگی قابل توجهی دارد (۱۰ و ۲۶). پژوهش‌های اندکی از ترکیب ذخیره کربن خاک و ناپایداری آن در بررسی شاخص مدیریت کربن و برآورد ظرفیت مدیریت و کاربری زمین در ارتقای کیفیت خاک استفاده کرده‌اند (۱۱ و ۱۲). ناپایداری کربن نسبت کربن آلی ناپایدار به مقدار پایدار آن در خاک می‌باشد.

تغییر کاربری اراضی با تخریب ساختمان خاک و افزایش دسترسی ریزجانداران به ترکیبات آلی می‌تواند منجر به تشدید سرعت تجزیه بقایای آلی شود. با توجه به تفاوت ویژگی‌های گوناگون بخش‌های متفاوت کربن آلی و هم‌چنین ناهمسان بودن دور بازگشت آنها، انتظار می‌رود که تغییر کاربری زمین نتایج گوناگونی بر بخش‌های کربن آلی داشته باشد. از این میان می‌توان گفت که بخش‌های ناپایدار کربن آلی بیشتر دستخوش تغییرات ناشی از تبدیل اراضی می‌شود. باسیل- دوش و همکاران (۶) بیان داشتند تغییر کاربری اراضی به‌منظور کشاورزی مواد آلی پایدار اولیه در سطح خاک را ناپایدار می‌کند و شرایط را برای تخلیه خاک از کربن آلی فراهم می‌کند. شخم زدن اندوخته‌های آلی را که محافظت شده‌اند در دسترس میکروب‌ها قرار داده و سرعت تجزیه زیستی آن‌ها را افزایش می‌دهد (۵ و ۶). بررسی اثرات کاربری زمین و مدیریت بر کیفیت مواد آلی به‌علت سرشت ناهمگون آن‌ها، نیازمند رسیدگی همزمان کمی و کیفی مواد آلی در بخش‌های مختلف می‌باشد(۱۷).

روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری و تعیین کربن آلی پایدار و ناپایدار در منابع گزارش گردیده‌اند. بلایر و همکاران (۹) کربن ناپایدار را به‌عنوان کربن قابل اکسید شدن در محلول شیمیایی $KMnO_4$ در نظر گرفت. ویرا و همکاران (۲۷) بیان داشتند که بخش‌بندی فیزیکی کربن آلی خاک می‌تواند روش جایگزین مناسبی برای تعیین کربن ناپایدار و بنابراین محاسبه ناپایداری کربن و شاخص مدیریت کربن باشد. در هر دو روش شاخص نسبی ناپایداری کربن خاک قابل محاسبه بوده و اجازه بررسی سیستم‌های مدیریتی را فراهم می‌کند. روش‌های اکسیداسیون شیمیایی کربن آلی باعث حذف بخشی از کربن آلی خاک می‌گردد که با بخش کانی پیوند دارد و به‌آسانی در دسترس فعالیت‌های بیولوژیکی قرار نمی‌گیرد. هم‌چنین اکسیداسیون شیمیایی تنها در سطح رخ می‌دهد، پس ممکن است برخی از ترکیبات ناپایدار در داخل خاکدانه‌ها اکسید نشوند (۲۷). درصورتی‌که در بخش‌بندی اندازه‌ای بخشی از کربن آلی که با بخش معدنی پیوند ندارد جداسازی می‌شود که همان بخش فعال کربن آلی خاک می‌باشد(۴).

در بخش‌بندی اندازه‌ای بخش جوان و فعال ماده آلی همراه با ذرات شن از بخش مسن و غیرفعال همراه با سیلت و رس تفکیک می‌شود (۲۸). محققان نشان داده‌اند که مواد آلی هم‌اندازه شن (بزرگ‌تر از ۵۰ میکرون) نسبت به بخش هم‌اندازه رس و سیلت ناپایداری بیشتری دارد. افزایش پایداری و زمان زیاد دوره بازگشت ذرات هم‌اندازه رس در مقایسه با بخش شن به‌وسیله تغییر شیمیایی در کیفیت کربن آلی خاک، کاهش دسترسی ویژه به‌علت تشکیل ریزخاکدانه‌ها و جذب سطحی

مـواد آلـی خـاک روی سـطوح معـدنی ایجـاد مـی‌گـردد (۱۴و ۱۶).ذرات کوارتز که در بخش شن غالب می‌باشد پیوند ضعیفی با مواد آلی خـاک دارنـد، درصـورتی‌کـه ذرات هـم‌انـدازه رس (سـزکویی اکـسیدها و سـیلیکات‌هـای لایـه‌ای) سـطح ویـژه و مکان‌های واکنش‌پذیر متعددی را فراهم می‌کنند کـه کـربن آلـی خاک به‌وسیله تبادل لیگانـدی قـوی و پـل‌هـای کـاتیونی چنـد ظرفیتی جذب می‌شود و به این علت کربن آلی خاک هم‌نـشین با این اندازه کمتر به مدیریت زمین پاسخ نشان می‌دهد (۲۴). با توجه به این‌که جذب مواد آلی مکانیسمی مهم در پایداری آنهـا می‌باشد، مواد آلی در داخـل بخـش هـم‌انـدازه شـن بـه‌عنـوان اندوخته فعال و مواد آلـی در بخـش هـم‌انـدازه رس و سـیلت به‌صورت اندوخته نیمه فعال و غیرفعال درنظر گرفته مـی‌شـود. تغییر کاربری زمین‌های بکر در ایران در گذشـته و حـال انجـام شده و می‌گردد. یکـی از منـاطقی کـه در اثـر تغییـر کـاربری و دخالت انسان اکوسیستم آن صدمه دیده‌اند، زمـین‌هـای حاشـیه دریاچه زریبار در شهرستان مریوان می‌باشد. در سال‌های گذشته با کاهش سطح آب دریاچه و خشک شدن زمین‌هـای مرطـوب حاشیه آن کشت محصولات زراعی افزایش یافته کـه منجـر بـه تصاعد بخش زیادی دی‌اکسید کـربن بـه اتمـسفر شـده اسـت. هرچند هنوز مقدار هدر رفت دی اکسید کربن خاک این اراضی به‌صورت مستقیم اندازه‌گیری نشده اسـت. بـا توجـه بـه مقـدار کربن آلی زیاد ذخیره شده در این زمین‌های مرطوب و باتلاقی، تبدیل این اراضی به کشاورزی می‌تواند روند هـدررفـت کـربن آلی خاک را افـزایش دهـد، بنـابراین لازم اسـت در ایـن نقـاط مدیریت ویژه‌ای صـورت گیـرد. هـدف ایـن پـژوهش بررسـی تغییرات اجزاء اندازه‌ای کربن آلی خاک و شاخص‌های مدیریت کربن خاک در اثر تبدیل کاربری مناطق مرطوب حاشیه دریاچـه زریبار می‌باشد.

مواد و روش‌ها

ویژگی‌های منطقه مورد پژوهش

محدوده مورد بررسی حـوزه آبریـز داخلـی دریاچـه زریبـار در شهرستان مریوان در استان کردستان می‌باشـد. ایـن دریاچـه در شمال غربی شهر مریـوان و طـول جغرافیـایی ´۱۰ °۴۶ شـرقی و عرض جغرافیایی ´۳۱ °۳۵ شمالی و ارتفاع ۱۲۵۰ متری از سطح دریا قرار گرفته است. وسعت دریاچه زریوار بـه‌دلیـل تغییـرات حجم آبی در فصول مختلف متغیر می‌باشد و به‌علـت مـدیریت نادرست در منطقه هر سـال بـر وسـعت نیزارهـا و نیلوفرهـای اطراف دریاچه افزوده شده است. پیش‌بینی می‌شود با ادامه ایـن روند در آینده‌ای نزدیک اثری از دریاچه باقی نماند. اقلیم منطقه بر اساس روش کوپن معتدل گرم با تابستان‌های گرم و خـشک می‌باشد.

میانگین بارندگی سالانه ۹۹۱/۲ میلـی‌متـر و میـانگین دمـای سالانه ۱۲/۰۸ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی سالانه ۵۱ درصد و تعداد روزهای یخبندان در محـدوده مـورد بررسـی ۱۱۶ روز برآورد شده است. رژیم رطوبتی و حرارتی خاک‌های منطقه بـه ترتیب زریک و مزیک می‌باشند (۱). گونه‌هـای جنگلـی غالـب منطقه بلوط و بنه وحشی است. کـاربری کنـونی حـوزه آبخیـز شامل اراضی باتلاقی، زراعت دیم، زراعت آبی، باغـات، مرتـع، جنگل و مناطق مسکونی می‌باشد.

نمونه‌برداری خاک

نمونه‌برداری خـاک در اواخـر تابـستان ۱۳۸۹ در سـه کـاربری باتلاق، زمین‌های زیر کشت گندم و یونجه که از تبدیل کاربری اراضی باتلاقی به وجود آمده‌اند، انجـام گردیـد. بـرای بررسـی تغییرات کربن به‌صورت عمودی در پروفیل خاک در هر یک از کاربری‌ها یک پروفیل به عمق ۹۰ سانتی‌متر حفر شـد و از هـر پروفیـل در سـه عمـق ۳۰-۰، ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سـانتی‌متـر نمونه‌برداری شد. از آنجایی‌که عمق شخم ۳۰ سانتی‌متر می‌باشد تفکیک اعماق به‌صـورت ۳۰ سـانتی‌متـر بـوده اسـت. همزمـان نمونـه‌بـرداری بـه روش اسـتوانه‌هـای دسـت نخـورده جهـت اندازه‌گیری وزن مخصوص ظـاهری خـاک در هـر لایـه انجـام گردید.

بخش‌بندی اندازه‌ای

برای تفکیک ترکیبات آلی- معدنی اولیه (ذرات هم‌اندازه شن و

سیلت+رس)، ۵۰ گرم خاک خشک نرم (کوچک‌تر از ۲ میلی‌متر) در آب مقطر به نسبت ۱:۲/۵مخلوط کرده و به مدت ۱۶ ساعت با دور رفت و برگشتی و کورس ۲۵۰ دور در دقیقه تکان داده شد و تحت پراکنش قرار گرفت. روش پراکنش پاجت و همکاران (۲۰)، سبب انتشار کامل خاکدانه‌های درشت گردید. تکان دادن دارای انرژی کافی برای خرد کردن خاکدانه‌های ریز (۰/۰۵۳ میلی‌متر) نمی‌باشد، لذا برای پراکندن آنها از روش انرژی فراصوت با فرکانس ۳۵ کیلوهرتز به‌مدت ۱۵ دقیقه استفاده شد. مدت زمان فوق براساس آزمایش مکرر و مقایسه نتایج پراکنش ذرات با روش استاندارد اندازه‌گیری ذرات بافت خاک انتخاب گردید. سپس سوسپانسیون، از الک ۰/۰۵۳ میلی‌متر عبور داده شد تا ذرات شن و ماده آلی پیوندی با آن جدا گردد. پس از خشک شدن در آون با دمای۵۰ درجه سانتی‌گراد، بخش شن توزین شد. ذرات رس وسیلت عبور کرده از الک از هم جدا نشدند و هر دو به‌عنوان یک بخش در نظر گرفته شد و کربن آلی آنها به‌عنوان بخش هم‌اندازه رس+ سیلت به‌دست آمد. کربن آلی در هر دو بخش به روش اکسیداسیون تر والکلی بلاک اندازه‌گیری شد (۱۹).

شاخص مدیریت کربن

شاخص مدیریت کربن (CMI) به روش بلیر و همکاران (۹) و از رابطه ۱ به‌دست آمد:

$$CMI=CPI\times LI\times 100 \quad [1]$$

که در این رابطه CPI شاخص ذخیره کربن بوده و از رابطه ۲ به‌دست می‌آید:

$$CPI=\frac{\text{مقدار کربن آلی در شاهد}}{\text{مقدار کربن آلی در تیمار}} \quad [2]$$

در رابطه ۱، LI شاخص ناپایداری کربن بوده و براساس رابطه ۳ قابل محاسبه است:

$$LI=\frac{L \text{ در تیمار}}{L \text{ در شاهد}} \quad [3]$$

هم‌چنین در رابطه ۳ مقدار L به ناپایداری کربن برمی‌گردد و از رابطه ۴ به‌دست می‌آید:

$$L=\frac{\text{مقدار کربن ناپایدار}}{\text{مقدار کربن پایدار}} \quad [4]$$

جهت محاسبه شاخص‌های CPI و LI به مقدار کربن در کاربری شاهد نیاز است. بنابراین با توجه به اینکه کاربری زمین‌های مرطوب و باتلاقی حاشیه دریاچه به زراعی تغییر یافته، کاربری زمین باتلاقی و مرطوب مجاور مزارع گندم و یونجه به‌عنوان شاهد درنظر گرفته شده و شاخص‌های ناپایداری و ذخیره کربن و هم‌چنین شاخص مدیریت آنها به ترتیب ۱ و ۱۰۰ درنظر گرفته شد. کربن موجود در ذرات هم‌اندازه شن که روی الک ۰/۰۵۳ میلی‌متر باقیمانده است، نیز به‌عنوان کربن ناپایدار و بخشی که با ذرات کوچک‌تر از این اندازه از الک عبور کرده است (کربن موجود در ذرات هم‌اندازه سیلت+رس) به‌عنوان بخش پایدار کربن آلی در نظر گرفته شد. پژوهش حاضر در قالب آزمایش کرت‌های خرد شده با طرح پایه کاملاً تصادفی اجرا شد.

نتایج و بحث

بخش‌بندی اندازه‌ای

نتایج تجزیه واریانس بخش‌بندی براساس اندازه ذرات در جدول ۱ نشان داده شده است. اثر کاربری و عمق برای هر دو بخش شن و سیلت + رس در سطح خطای ۱ درصد معنی‌دار می‌باشد. اثر متقابل عمق و کاربری هم بر بخش شن در سطح ۱ درصد و روی بخش سلت + رس در سطح ۵ درصد معنی‌دار بوده است.

بخش هم‌اندازه شن

نتایج به‌دست آمده از بخش‌بندی اندازه‌ای برای کاربری‌ها نشان داد که در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر بیشترین مقدار کربن آلی بخش هم‌اندازه شن در کاربری باتلاق بوده (۶۷/۰۱ گرم کربن بر کیلوگرم خاک) و کمترین مقدار در کاربری گندم (۲۴/۵۷ گرم کربن بر کیلوگرم خاک) به‌دست آمده است. این بخش از کربن آلی در کاربری یونجه (۳۳/۸۵ گرم کربن بر کیلوگرم خاک) و گندم به‌طور چشمگیری کمتر از باتلاق می‌باشند (شکل ۱). تبدیل باتلاق به یونجه بعد از ۲۰ سال باعث کاهش

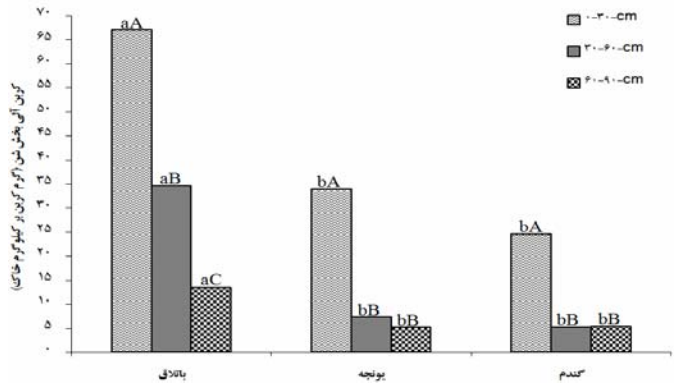
جدول ۱. تجزیه واریانس بخش‌بندی اندازه‌ای کربن آلی خاک

منابع تغییر	درجه آزادی	مقدار F
کاربری زمین	۲	۱۰۹/۵۵**
عمق	۲	۱۱۸/۶۸**
بخش‌های کربن آلی	۱	۲۴/۴۲**
کاربری ×عمق	۴	۱۴/۰۷**
کاربری ×بخش‌های کربن	۲	۱۴/۶۸**
عمق ×بخش‌های کربن	۲	۴۵/۷۴**
کاربری ×بخش‌های کربن×عمق	۴	۲/۴۱*
کاربری×تکرار	۱۵	۱/۸۷

** و *: به‌ترتیب معنی‌دار بودن در سطح خطای ۵ و ۱ درصد را نشان می‌دهند.

۳۳/۱۶ تن در هکتار کربن ذخیره شده در ذرات هم‌اندازه شن شده است. زیر کشت بردن این زمین منجر به تصاعد و خروج سالانه ۱/۶۶ تن در هکتار کربن آلی در ذرات هم‌اندازه شن شده است. هم‌چنین تبدیل آن به گندم کاهش بیشتری در کربن آلی خاک را درپی داشته است، به‌گونه‌ایی که بعد از گذشت ۲۰ سال ۴۲/۴۴ تن در هکتار از کربن هم‌اندازه شن در این کاربری تقلیل یافته است که سهم انتشار سالانه دی‌کسیدکربن از این تغییر کاربری ۲/۱۲ تن در هکتار بوده است. نوع مدیریت در دو کاربری زراعی هم به‌گونه‌ای بوده که سهم گندم در هدر روی کربن آلی بیشتر از یونجه می‌باشد. نتایج بخش‌بندی اندازه‌ای در افق ۶۰-۳۰ سانتی‌متر کاربری‌ها نشان داد که کربن آلی موجود در ذرات هم‌اندازه شن، در باتلاق (۳۴/۵۵ گرم کربن آلی بر کیلوگرم خاک) به‌طور معنی‌داری بیشتر از یونجه (۷/۴۰ گرم کربن آلی بر کیلوگرم خاک) و گندم (۵/۲۷ گرم کربن آلی بر کیلوگرم خاک) می‌باشد (شکل ۱). تبدیل باتلاق به یونجه و گندم باعث کاهش قابل ملاحظه‌ای در مقدار کربن آلی همراه با ذرات هم‌اندازه شن شده است. این تغییرات بعد از ۲۰ سال به‌ترتیب باعث کاهش ۸۲/۶۶ و ۹۲/۳۶ تن در هکتار کربن آلی پیوندی با ذرات هم‌اندازه شن شده است. این کاهش ممکن است به‌علت افزایش تهویه خاک و اکسید شدن مواد آلی باشد. به‌طور متوسط سالانه ۴/۱۳ تن در هکتار به‌علت تغییر کاربری باتلاق به یونجه و ۴/۶۲ تن در هکتار به‌علت تبدیل آن به گندم کربن آلی به‌صورت معدنی در محیط زیست آزاد می‌شود یا در خاک انتقال می‌یابد. لازم به ذکر است که تجزیه کربن آلی خاک بعلت سرشت ناهمگون آنها و هم‌چنین شرایط اقلیمی در سال-های ابتدایی سریع‌تر بوده و با گذشت زمان سرعت آن کاهش می یابد.

بررسی‌ها در عمق ۹۰-۶۰ سانتی‌متر نشان داد که کاربری باتلاق (۱۳/۴۱ گرم کربن آلی بر کیلوگرم خاک) تفاوت قابل ملاحظه‌ایی با دیگر کاربری‌ها دارد (شکل ۱). مقادیر ۵/۲۷ و ۵/۴۱ گرم کربن آلی بر کیلوگرم خاک به‌ترتیب در کاربری‌های یونجه و گندم در این عمق نگهداشت شده است. نتایج نشان داد که زیر کشت بردن باتلاق به‌طور میانگین منجر به کاهش ۸ تن در هکتار کربن آلی پیوندی با ذرات شن شده است. مقدار میانگین خروج سالانه کربن به‌صورت معدنی در اثر این تغییر کاربری ۰/۴ تن در هکتار می‌باشد. به‌علت دخالت خیلی کم مدیریت در این عمق مشخص شد که تفاوت بین دو نوع سیستم زراعی گندم و یونجه چشم‌گیر نمی‌باشد.



شکل ۱. کربن آلی بخش هم‌اندازه شن در عمق‌های خاک مورد بررسی در کاربری‌های مختلف. حروف مشابه بزرگ نشان دهنده عدم تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد احتمال آماری بین اعماق مختلف در هر کاربری است. حروف مشابه کوچک نشان دهنده عدم تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد احتمال آماری بین کاربری‌های متفاوت در هر عمق مورد بررسی می‌باشد.

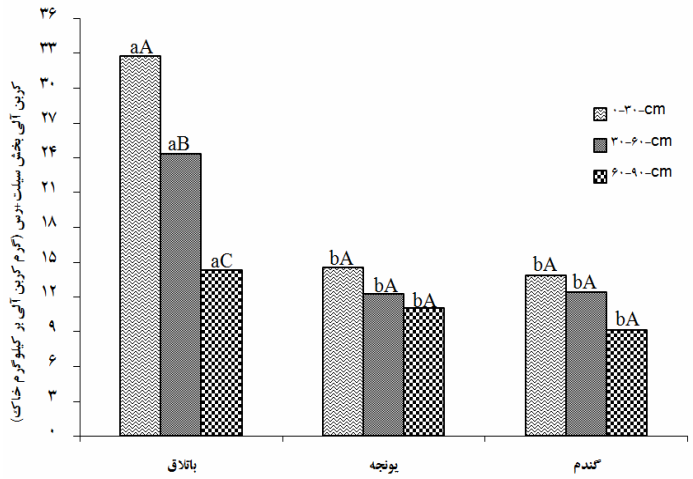
بخش هم‌اندازه سیلت+رس

نتایج نشان داد که مقدار کربن آلی همراه با ذرات هم‌اندازه سیلت+رس در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر در باتلاق (۳۳/۷۸ گرم کربن آلی بر کیلوگرم خاک) به‌طور معنی‌دار بیشتر از کاربری‌های یونجه (۱۴/۶۰ گرم کربن آلی بر کیلوگرم خاک) و گندم (۱۳/۹۲ گرم کربن آلی بر کیلوگرم خاک) می‌باشد (شکل ۲). تبدیل باتلاق به یونجه و گندم به‌ترتیب باعث کاهش ۴۸/۳۹ و ۴۵/۱۴ تن در هکتار کربن آلی پیوندی با ذرات سیلت+رس شده است. در اثر این عمل سالانه ۲/۴۲ و ۲/۲۶ تن در هکتار کربن آلی پیوندی با ذرات هم‌اندازه سیلت+رس به‌ترتیب کاهش یافته است. پژوهش‌ها نشان داده است که مدیریت زمین کمتر بر ذرات هم‌اندازه سیلت+رس تأثیر داشته است. عدم تفاوت بین یونجه و گندم و هم‌چنین جنگل و باغ می‌تواند به علت این ویژگی خاک باشد.

مقادیر کربن آلی نگهداشت شده در ذرات هم‌اندازه سیلت+رس در افق ۶۰-۳۰ سانتی‌متری نشان داد که تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین گندم (۵/۴۱ گرم کربن آلی بر کیلوگرم خاک) و یونجه (۵/۲۷ گرم کربن آلی بر کیلوگرم خاک) وجود ندارد ولی باتلاق (۱۳/۴۱ گرم کربن آلی بر کیلوگرم خاک) به‌طور معنی‌داری نسبت به دیگر کاربری‌ها بیشتر می‌باشد (شکل ۲). تبدیل باتلاق به گندم و یونجه به‌ترتیب باعث کاهش سالانه ۱/۱ و ۱/۱۶ تن در هکتار کربن آلی همراه با ذرات هم‌اندازه سیلت+رس شده است.

بیشترین مقدار کربن آلی پیوندی با ذرات هم‌اندازه سیلت+رس در عمق ۹۰-۶۰ سانتی‌متر در کاربری باتلاق (۱۴/۳۵ گرم کربن آلی بر کیلوگرم خاک) مشاهده شد و تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین یونجه (۱۱/۰۷ گرم کربن آلی خاک بر کیلوگرم خاک) و گندم (۹/۲۰ گرم کربن آلی خاک بر کیلوگرم خاک) وجود نداشت (شکل ۲). تبدیل باتلاق به یونجه و گندم به ترتیب منجر به کاهش ۰/۱۶ و ۰/۲۶ تن در هکتار در سال کربن آلی همراه با ذرات سیلت+رس در منطقه مورد بررسی شده است. با توجه به شرایط ویژه مناطق باتلاقی و ورود انواع بقایای گیاهی و جانوری، در این مناطق نگهداشت کربن در هر بخش از اندازه ذرات و عمق‌های مورد بررسی، بیشتر از سایر کاربری‌ها می‌باشد. نتایج نشان داد که بیشترین اختلاف بین کاربری‌ها در عمق صفر تا ۳۰ سانتی متر مربوط به بخش هم اندازه شن است. در همه کاربری‌ها درصد کربن آلی ذخیره شده در ذرات هم‌اندازه شن به‌طور معنی‌داری بیشتر از ذرات هم‌اندازه سیلت + رس می‌باشد (جدول۲). به‌طور میانگین ۶۷ درصد کربن آلی در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر کاربری‌ها در ذرات هم‌اندازه شن ذخیره شده است.

با توجه به نوع اقلیم و پوشش گیاهی در منطقه موردبررسی



شکل ۲. کربن آلی بخش هم‌اندازه سیلت+رس در عمق‌های خاک مورد بررسی در کاربری‌های مختلف. حروف مشابه بزرگ نشان دهنده عدم تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد احتمال آماری بین اعماق مختلف در هر کاربری است. حروف مشابه کوچک نشان دهنده عدم تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد احتمال آماری بین کاربری‌های متفاوت در هر عمق مورد بررسی می‌باشد.

ورود سالانه بقایای گیاهی به خاک زیاد می‌باشد که این عامل منجر به تجمع زیاد کربن در ذرات هم‌اندازه شن شده است.کاربری باتلاق با توجه به مهیا نبودن کامل شرایط تجزیه بقایای گیاهی، بخش زیادی از مواد آلی به‌صورت ناپایدار در همان اندازه ذرات شن باقی‌مانده است. عملیات خاک‌ورزی در کاربری یونجه و به‌خصوص گندم باعث به‌هم خوردن خاک و شکستن بیشتر خاکدانه‌ها شده است که کاهش زیاد مقدار کربن این بخش نسبت به باتلاق ممکن است به این علت می‌باشد. بهشتی و همکاران (۸) نیز مقدار کربن آلی هم اندازه شن را در خاک‌های جنگلی گیلان و گرگان، بین ۵۰ تا ۶۰ درصد کربن آلی خاک‌ها گزارش نمودند. مختاری کرچگانی و همکاران (۲) نیز بیشترین اختلاف کربن آلی خاک‌ها را در بخش هم اندازه شن در افق سطحی خاک‌ها مشاهده نموده و براساس تفاوت در شیب زمین مقدار کربن هم اندازه شن را بین ۴۰ تا ۷۰ درصد کربن آلی خاک‌ها گزارش نمودند. اشمیت و همکاران (۲۲) گزارش کردند که مقدار کربن آلی همراه با بخش شن در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر بیشتر از کربن آلی بخش هم اندازه سیلت- رس می‌باشد.

از طرفی دیگر، بایسدن و همکاران (۳) دریافتند که ۷ تا ۲۲ درصدکربن آلی خاک در ذرات هم‌اندازه شن بوده و ۷۲-۶ درصد به‌صورت پیوندی با بخش رس و سیلت بوده است. درصد کربن ذخیره شده در بخش‌های شن و سیلت+رس در باتلاق در عمق ۶۰-۳۰ سانتی‌متر تفاوت قابل ملاحظه‌ای با هم ندارند ولی کربن ذخیره شده در ذرات هم‌اندازه سیلت+رس در دو کاربری زراعی بیشتر از کربن بخش هم‌اندازه شن می‌باشد (جدول ۲). میانگین کربن آلی همراه با ذرات سیلت+رس در عمق ۶۰-۳۰ سانتی‌متر کاربری‌های زراعی ۶۶/۳۲ درصد بوده است، در حالی که این نسبت در باتلاق ۳۸/۴۱ درصد مشاهده شده است. عملیات زراعی در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر یونجه و گندم منجربه شکستن کمپلکس‌های آلی- معدنی شده و با ناپایدار شدن آنها انتقال عمقی هم آسان‌تر شده و در عمق‌های پایین تجمع یافته‌اند. مقدار زیاد کربن آلی پیوندی با ذرات سیلت و رس در عمق ۶۰-۳۰ سانتی‌متر (بیش از ۲ برابر) در کاربری‌های زراعی نسبت به بخش شن، در مقایسه با باتلاق تأییدی بر امکان انتقال ذرات ریز به اعماق پایین‌تر می‌باشد (جدول ۲). نتایج این بررسی نشان داد که در عمق ۹۰-۶۰ سانتی‌متری، کاربری‌های زراعی مقدار کربن آلی همراه با ذرات سیلت+رس بیشتری نسبت به بخش شن دارند ولی در باتلاق

جدول ۲. مقایسه میانگین اثرات متقابل توزیع کربن آلی در دو بخش شن و سیلت + رس به تفکیک عمق خاک و کاربری

کاربری زمین	عمق	بخش کربن آلی	مقدار کربن آلی (گرم بر کیلوگرم)
باتلاق	هم اندازه شن	۰–۳۰	۶۷/۰۱ a
		۳۰–۶۰	۳۴/۵۵ b
		۶۰–۹۰	۱۳/۴۱ de
	هم اندازه سیلت + رس	۰–۳۰	۳۲/۷۸ b
		۳۰–۶۰	۲۴/۳۹ c
		۶۰–۹۰	۱۴/۳۵ d
گندم	هم اندازه شن	۰–۳۰	۲۴/۵۷ c
		۳۰–۶۰	۵/۲۷ e
		۶۰–۹۰	۵/۴۱ e
	هم اندازه سیلت + رس	۰–۳۰	۱۳/۹۲ de
		۳۰–۶۰	۱۲/۴۵ de
		۶۰–۹۰	۹/۲۰ de
یونجه	هم اندازه شن	۰–۳۰	۳۳/۸۵ b
		۳۰–۶۰	۷/۴۰ de
		۶۰–۹۰	۵/۲۷ e
	هم اندازه سیلت + رس	۰–۳۰	۱۴/۶۰ d
		۳۰–۶۰	۱۲/۲۸ de
		۶۰–۹۰	۱۱/۰۷ de

حروف مشابه نشان دهنده عدم تفاوت معنی دار در سطح ۵ درصد احتمال آماری می‌باشد.

تفاوتی بین این بخش‌ها مشاهده نشده است. بهشتی و همکاران (۸) نیز تفاوت معنی‌داری بین افق‌های زیر سطحی خاک‌ها در کاربری‌های جنگل و زراعی مشاهده نکردند و تنها تغییرات معنی‌دار کربن آلی خاک‌ها را در افق سطحی گزارش نمودند.

وان لوتزو و همکاران (۲۸) دریافتند که در خاک‌های مناطق گرمسیری ۷۵–۵۰ درصد کربن آلی کل در ذرات هم‌اندازه رس، ۴۰–۲۰ درصد در ذرات هم‌اندازه سیلت و کمتر از ۱۰ درصد در ذرات هم‌اندازه شن قرار گرفته است. مواد آلی موجود در ذرات شن بیشتر ناشی از بقایای گیاهی است در حالی‌که مواد آلی موجود در ذرات رس ناشی از متابولیسم‌های میکروبی می‌باشد. کربن موجود در ذرات هم‌اندازه سیلت و رس بیشتر تحت تأثیر بافت خاک می‌باشد و کربن موجود در ذرات درشت و بخش سبک به مدیریت زمین وابسته هستند (۱۶و۲۱) که نتایج ما برخلاف این نتایج بود و نشان داد که مدیریت زمین در دراز مدت بر تمام بخش‌های فیزیکی کربن آلی خاک تأثیر دارد.

در منطقه مورد بررسی به‌علت بارش‌های جوی زیاد و پوشش گیاهی بالا در سطح خاک، سالانه مقدار زیادی مواد آلی تازه به خاک اضافه می‌شود و چون تجزیه شیمیایی خاصی روی آنها صورت نگرفته است پس در ذرات هم‌اندازه شن حضور می‌یابند و مقدار بیشتری را نسبت به کربن موجود در ذرات کوچکتر به خود اختصاص می‌دهند. سیکس و همکاران (۲۳) بیان داشتند که افزایش کربن آلی خاک و خاکدانه‌سازی در زمین‌های بدون خاک‌ورزی ممکن است در نتیجه افزایش مواد آلی ذره‌ای باشد.

خاکدانه‌های درشت بخش زیادی از مواد آلی تجزیه نشده را در خود نگهداری می‌کنند، مواد آلی تازه ممکن است عامل سیمانی مهمی در خاکدانه‌های کوچک برای تشکیل خاکدانه‌های درشت باشد، همزمان که ریزجانداران مواد آلی را

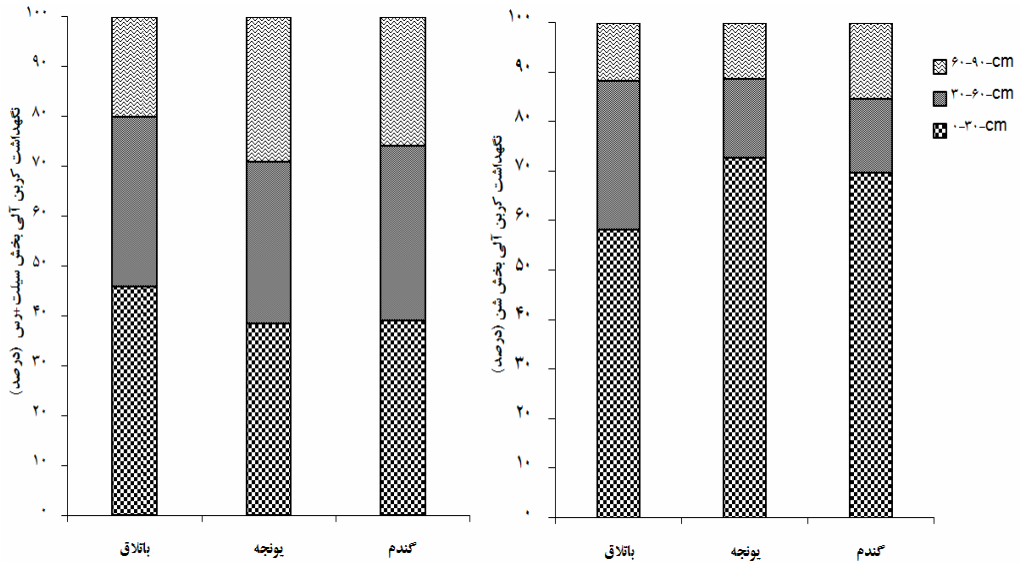
تجزیه می‌کنند ترشحات پلی‌ساکاریدی آنها هم به‌عنوان عاملی سیمانی عمل می‌کنند (۱۵). اینها می‌تواند دلایلی از زیادبودن مقدار کربن آلی موجود در ذرات هم‌اندازه شن و یا ذره‌ای در منطقه مورد بررسی این پژوهش باشد. بالسدنت و همکاران(۵) به این نتیجه رسیدند که مقدار زیاد کربن آلی پیوندی با بخش سیلت- رس در افق زیرین می‌تواند به‌علت شکسته‌شدن پیوند کمپلکس آلی-معدنی خاک رویین در اثر زراعت باشد، که مهاجرت عمودی مواد آلی به افق زیرین را در پی خواهد داشت. هم‌چنین خاک‌ورزی اراضی بکر می‌تواند با شکستن خاکدانه‌های درشت و تهویه مناسب‌تر شرایط را برای تجزیه کربن آلی در اندازه شن یا ذره‌ای فراهم نموده و باعث کاهش مقدار کربن آلی در این بخش گردد (۲، ۸ و ۲۷). در زمین‌های تغییر کاربری یافته، در اثر کشت و کار و شکستن خاکدانه ها، افزایش تهویه و کاهش رطوبت، شرایط مهاجرت کربن آلی به افق زیرین و هم‌چنین اکسیداسیون و معدنی شدن آن فراهم و به‌صورت دی اکسید کربن وارد اتمسفر شده است.

نتایج به‌دست آمده از بررسی عمقی کربن آلی پیوندی با ذرات هم‌اندازه شن در کاربری‌های مختلف نشان داد بیشترین درصد کربن آلی بخش شن در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر به‌دست آمده است (شکل ۳). بخش کربن آلی پیوندی با ذرات هم‌اندازه شن بخش ناپایدار و فعال می‌باشد که وابستگی مستقیمی با ورود سالانه بقایای گیاهی به خاک دارد که در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر به راحتی نسبت به مدیریت واکنش نشان می‌دهد. بهشتی و همکاران (۸) و وانگ و همکاران (۲۹) نشان دادند که بخش کربن آلی خاک همراه با شن با افزایش عمق کاهش یافته است. تغییرات عمقی کربن آلی بخش هم‌اندازه سیلت + رس در کاربری‌ها نشان داد که با افزایش عمق مقدار آن کاهش می‌یابد. تفاوت معنی‌داری بین عمق‌های سطحی کاربری‌های بکر با دو عمق دیگر وجود دارد ولی بجز کاربری باتلاق در دیگر خاک‌ها تفاوتی بین افق دوم و سوم مشاهده نشد (شکل۳). بهشتی و همکاران (۸)، مختاری کرچگانی و همکاران (۲) و وانگ و همکاران (۲۹) نیز روند مشابهی را برای کربن آلی در اندازه سیلت و رس مشاهده نمودند.

شاخص مدیریت کربن

نتایج شاخص مدیریت کربن نشان داد که در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر کربن ناپایدار و پایدار در کاربری باتلاق (شاهد) بیش از ۲ برابر هرکدام از کاربری‌های یونجه و گندم می‌باشد که به‌علت انباشته شدن مقدار زیادی کربن در شرایط غیرهوازی بوده است (جدول۳). شاخص اندوخته کربن در یونجه و گندم نسبت به باتلاق به‌ترتیب ۵۰ و ۶۰ درصد کاهش نشان داده است که برای هرکدام پس از ۲۰ سال به ترتیب کاهش سالانه ۱/۶۷ و ۲ درصد بوده است. هم‌چنین شاخص مدیریت کربن در یونجه ۴۴/۹۰ و در گندم ۶۶/۷۰ درصد پس از ۲۰ سال تغییر کاربری کاهش یافته است که سهم کاهش سالانه هرکدام به ترتیب ۲/۲۵ و ۳/۳۴ درصد به‌دست آمده است. نکته قابل ذکر دیگر در بررسی عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر زیاد بودن به‌ترتیب ۲۱/۸ و ۱۰ درصدی شاخص مدیریت کربن و شاخص اندوخته کربن در کاربری یونجه نسبت به گندم می‌باشد که نشان از انجام عملیات زراعی در کاربری گندم در جهت کاهش ظرفیت نگهداشت کربن خاک و هم‌چنین کاهش کیفیت خاک است. به‌نظر می‌رسد با توجه به‌اینکه در کاربری یونجه خاک‌ورزی به‌صورت هر چند سال یک‌بار صورت می‌گیرد شرایط تهویه آن نسبت به گندم کمتر بوده و درنتیجه مقدار و سرعت تجزیه مواد آلی در این کاربری کمتر از گندم است، هم‌چنین سیستم ریشه‌ایی یونجه نسبت به گندم قوی‌تر و عمیق‌تر بوده و مقدار بیشتری کربن آلی را در خاک ذخیره می‌کند.

نتایج نشان داد که در عمق ۶۰-۳۰ سانتی‌متر شاخص اندوخته کربن در یونجه و گندم۷۰ درصد کمتر از باتلاق بوده است، به عبارت دیگر سالانه به‌طور میانگین ۳/۵ درصد کاهش در شاخص اندوخته کربن آلی به‌خاطر تغییر کاربری زمین‌ها در این عمق اتفاق افتاده است. هم‌چنین شاخص مدیریت کربن در یونجه و گندم نسبت به باتلاق به‌ترتیب ۸۵/۸ و ۹۱ درصد



شکل ۳. درصد توزیع کربن آلی بخش‌های شن و سیلت+رس در عمق‌های خاک مورد بررسی تحت کاربری‌های مختلف

جدول ۳. تغییرات شاخص‌های کیفیت خاک در سه عمق کاربری‌های گوناگون

عمق (cm)	کاربری	کربن ناپایدار (gr/kg)	کربن پایدار (gr/kg)	ناپایداری	شاخص ناپایداری	شاخص اندوخته کربن	شاخص مدیریت کربن
۰-۳۰	باتلاق	۶۷/۰۱	۳۲/۷۸	۲/۰۴	۱	۱	۱۰۰
	یونجه	۳۳/۸۵	۱۴/۶۰	۲/۳۲	۱/۱	۰/۵	۵۵/۱
	گندم	۲۴/۵۷	۱۳/۹۲	۱/۸۰	۰/۹	۰/۴	۳۳/۳
۳۰-۶۰	باتلاق	۳۴/۵۵	۲۴/۳۹	۱/۴۲	۱	۱	۱۰۰
	یونجه	۷/۴۰	۱۲/۲۸	۰/۶۰	۰/۴	۰/۳	۱۴/۲
	گندم	۵/۲۷	۱۲/۴۴	۰/۴۲	۰/۳	۰/۳	۹/۰
۶۰-۹۰	باتلاق	۱۳/۴۱	۲۴/۳۹	۰/۹۳	۱	۱	۱۰۰
	یونجه	۵/۲۷	۱۲/۲۸	۰/۴۸	۰/۵	۰/۶	۳۰/۰
	گندم	۵/۴۱	۱۲/۴۴	۰/۵۹	۰/۶	۰/۵	۳۳/۱

کاهش نشان داده است که سهم کاهش سالانه هرکدام به‌ترتیب ۴/۲۵ و ۴/۵۵ درصد بوده است. در عمق ۹۰-۶۰ سانتی‌متر هم شاخص اندوخته کربن در یونجه و باتلاق به‌ترتیب ۴۰ و ۵۰ درصد کمتر از کاربری مرجع بوده است و هم‌چنین شاخص مدیریت کربن در این عمق هم نسبت به باتلاق سه برابر کمتر بوده است (جدول ۳).

کاربری کود ازته هم در افزایش شاخص ذخیره کربن و بازیابی مقدار کربن خاک مهم می‌باشد. افزودن کود منجر به افزایش پوشش گیاهی و ورود سالانه بقایا به خاک می‌شود، پس سیستم مدیریتی که در جهت افزایش کیفیت خاک باشد باید فعالیت بیولوژیکی زیاد، تولید آنزیم زیاد، پتانسیل زیاد برای پایداری و حفاظت هر آنزیمی به‌واسطه برهمکنش با کلوئیدهای آلی یا

حفاظت درون خاکدانه‌های خاک را داشته باشد (۲۷). بایر و همکاران (۷) و ویبرا و همکاران (۲۷) گزارش دادند که مقدار کربن ناپایدار به ورود سالانه کربن به خاک ارتباط مستقیمی دارد. شاخص ناپایداری (LI) برای کربن ناپایدار بخش اندازه‌ای در دامنه ۰/۴۱ تا ۰/۹۴ به‌دست آمد. نتایج کربن ناپایدار و شاخص اندوخته کربن نشان داد که سیستم کشت تناوبی لگوم دارای شاخص مدیریت کربن بیشتری نسبت به غلات می‌باشد. مقدار زیاد این شاخص در سیستم‌های لگوم ممکن است به‌علت نقش برجسته لگوم‌ها در افزودن کربن فتوسنتزی به خاک باشد (۱۱ و ۱۲).

همبستگی زیاد شاخص مدیریت کربن و خاکدانه خاک (۰/۸۸) نشان از اثر مفید کربن روی سطح خاک و بنابراین بر سیستم خود بازسازی خاک دارد (۲۶). کربن آلی و ساختمان خاک دارای برهمکنش دوطرفه می‌باشند. هم‌زمان که مواد آلی هوموسی شده دومین‌ها و خاکدانه‌های ریز را پایدار می‌کند و مواد آلی ذره‌ای خاکدانه‌ای درشت را پایدار می‌کند (۲۵)، این واحدهای ساختمانی حفاظت فیزیکی مواد آلی خاک در برابر حملات بیولوژیکی را در پی داشته و شرایط تجمع آنها در خاک را مهیا می‌کند (۱۳). پژوهش‌های زیادی بر این نکته تأکید دارند که شاخص مدیریت کربن به‌عنوان شاخص کیفیت خاک (۲۷)، به‌عنوان شاخصی قابل اطمینان در ارزیابی ظرفیت سیستم مدیریت در توسعه کیفیت خاک منطقی به‌نظر می‌رسد (۱۲). شاخص ذخیره و مدیریت کربن در این عمق در کاربری‌های یونجه و گندم نسبت به شاهد (باتلاق) کاهش شدیدی نشان داده است. شاخص اندوخته کربن برای هر کدام از این دو کاربری سالانه ۳/۵ درصد کاهش نسبت به باتلاق بوده است و هم‌چنین کاهش سالانه شاخص کیفیت خاک برای یونجه و گندم به‌ترتیب ۴/۳ و ۴/۵۵ درصد می‌باشد. در این عمق هم کاربری یونجه نسبت به گندم کیفیت بهتری را دارا می‌باشد. شاخص ذخیره کربن در افق ۹۰-۶۰ سانتی‌متر یونجه و باغ به‌ترتیب نسبت به باتلاق ۴۰ و ۵۰ درصد کاهش داشته که هر سال ۲ و ۲/۵ درصد از توانایی نگهداشت کربن در آنها کاسته شده است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

بخش‌های هم‌اندازه شن کربن آلی خاک نسبت به مدیریت زمین واکنش شدیدی داشته و مقدار زیادی کربن در اثر تغییر کاربری از این بخش به محیط زیست وارد شده است. لازم است در زمینه ممانعت از تغییر کاربری اراضی در منطقه اقدامات ضروری صورت گیرد. باتلاق‌ها در نگهداشت کربن آلی نقش زیادی داشته و زهکشی و تبدیل این اراضی به کشاورزی باعث معدنی شدن مقدار زیادی کربن آلی خاک می‌گردد. مدیریت درست در حفاظت از باتلاق‌ها می‌تواند مانع از انتشار دی‌اکسید کربن و تغییر اقلیم شود. حساس‌ترین عمق در کاربری‌های مورد بررسی، عمق سطحی بود که بیشترین پتانسیل نگهداری و تخلیه کربن آلی را داشته است، این نتایج نشان داد که باید مدیریتی در منطقه اعمال شود که کمترین اثر تخریبی را روی این عمق ایجاد کند. از نتایج شاخص مدیریت کربن می‌توان دریافت که تغییر کاربری باعث کاهش توانایی ذخیره کربن و هم‌چنین افت شاخص کیفیت خاک بخصوص در عمق صفر تا ۳۰ سانتی متر شده است. هم‌چنین یونجه نسبت به گندم شرایط بهتری را در رابطه با ظرفیت نگهداشت کربن آلی و شاخص مدیریت کربن داشته است. به‌طور کلی مدیریت زمین در منطقه در جهت کاهش ظرفیت نگهداشت کربن و هم‌چنین تخریب خاک بوده است.

منابع مورد استفاده

۱. شرکت ایده‌پردازان توسعه. ۱۳۸۵. مطالعات تفصیلی- اجرای آبخیزداری حوزه آبخیز زریوار مریوان. اداره کل منابع طبیعی کردستان. ۹۸ صفحه.

۲. مختاری کرچگانی، پ.، ش. ایوبی، م. ر. مصدقی، و م. ملکیان. ۱۳۹۰. اثر شیب و تغییر کاربری اراضی بر ذخایر مواد آلی خاک در اجزاء اندازه‌ای ذرات و برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در اراضی تپه ماهوری لردگان. مجله مدیریت خاک و تولید پایدار ۱: ۴۲-۲۳.

3. Baisden, W. T., R. Amundson, A. C. Cook and D. L. Brenner. 2002. Turnover and storage of C and N in five density fractions from California annual grassland surface soils. Global Biogeochem. Cycl. 16: 117–132.
4. Baldock, J. A. and P. N. Nelson. 2000. Soil organic matter. PP. 25-84. *In*: Sumner, M.E. (Ed.), Handbook of Soil Science. CRC Press, Boca Raton.
5. Balesdent, J., C. Chenu and M. Balabane. 2000. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. Soil Till. Res. 53: 215–230.
6. Basile-Doelsch, I., T. Brun, D. Borschneck, A. Masion, C. Marol and J. Balesdent. 2007. Effect of landuse on organic matter stabilized in organomineral complexes: A study combining density fractionation, mineralogy and $\delta^{13}C$. Geoderma 151: 77–86.
7. Bayer, C., J. Mielniczuk, T. J. C. Amado, L. Martin-Neto and S. V. Fernandes. 2000. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. Soil Till. Res. 54: 101–109.
8. Beheshti, A., F. Raiesi and A. Golchin. 2012. Soil properties, C fractions and their dynamics in land use conversion from native forests to croplands in northern Iran. Agri. Ecosys. and Environ. 148:121-133.
9. Blair, G. J., R. D. B. Lefroy and L. Lisle. 1995. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index, for agricultural systems. Australian J. of Agri. Res. 46: 1459–1466.
10. Blair, N. and G. J. Crocker. 2000. Crop rotation effects on soil carbon and physical fertility of two Australian soils. Aust. J. Soil Res. 38: 71–84.
11. Blair, N., R. D. Faulkner, A. R. Till and G. J. Crocker. 2006. Long-term management impacts on soil C, N and physical fertility. Part III. Tamworth crop rotation experiment. Soil Till. Res. 91: 48–56.
12. Diekow, J., J. Mielniczuk, H. Knicker, C. Bayer, D. P. Dick and I. Kogel-Knaber. 2005. Carbon and nitrogen stocks in physical fractions of a subtropical Acrisol as influenced by long-term no-till cropping systems and N fertilization. Plant and Soil 268: 319–328.
13. Golchin, A., J. M. Oades, J. O. Skjemstad and P. Clarke. 1994. Study of free and occluded particulate organic matter in soils by solid-state C-13 CP/MAS NMR-spectroscopy and scanning electron microscopy. Aust. J. Soil Res. 32: 285–309.
14. Hassink, J., L. A. Bouwmann, K. B. Zwart, J. Bloem, and L. Brussard. 1993. Relationship between soil texture, physical protection of organic matter, soil biota, and C and N mineralization in grassland soils. Geoderma 57: 105–128.
15. Jastrow, J. D. 1996. Soil aggregate formation and the accrual of particulate and mineral-associated organic matter. Soil Biol. and Biochem. 28: 656-676.
16. Kleber, M., C. Mertz, S. Zikeli, H. Knicker and R. Jahn. 2004. Changes in surface reactivity and organic matter composition of clay subfractions with duration of fertilizer deprivation. Eur. J. Soil Sci. 55: 381–391.
17. Ladd, J. N., R. C. Foster and J. O. Skjemstad. 1993. Soil structure: carbon and nitrogen metabolism. Geoderma 56: 401–434.
18. Manna, M. C., A. Swarup, R. H. Wanjari, H. N. Ravankar, B. Mishra, M.N. Saha, Y. V. Singh, D. K. Sahi and P. A. Sarap. 2005. Long-term effect of fertilizer and manure application on soil organic carbon storage, soil quality and yield sustainability under sub-humid and semi-arid tropical India. Field Crops Res. 93: 264–28.
19. Nelson, D.W. and Sommers, L.E. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. PP. 101-129. *In:* Page, A.L. (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 2. 2nd ed., Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
20. Puget, P., C. Chenu and J. Balesdent. 1995. Total and young organic matter distributions in aggregates of silty cultivated soils. European J. Soil Sci. 46: 449–459.
21. Quiroga, A. R., D. E. Buschaiazzo and N. Peinemann. 1996. Soil organic matter particle size fractions in soils of the semiarid Argentianian Pampas. Soil Sci. 161: 104–107.
22. Schmidt, M. W. I., C. Rumpel and I. Kogel-Knabner. 1999. Particle size fractionation of soil containing coal and combusted particles. Eur. J. Soil Sci. 50: 512–522.
23. Six, J., E. T. Elliott and K. Paustion. 1999. Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems. Soil Sci. Soc. of Am. J. 63:1350-1352.
24. Sposito, G., N. T. Skipper, R. Sutton, S. H. Park, A. K. Soper and J. A. Greathouse. 1999. Surface geochemistry of the clay minerals .Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 96: 3358–3364.
25. Tisdall, J. M. and J. M. Oades. 1982. Organic matter and water-stable aggregates. J. Soil Sci. 33: 141-163.

26. Vezzani, F. M. 2001. Quality of soil system in the agriculture production. PhD. Thesis, Federal University of Rio Grande doSul, Porto Alegre.
27. Vieira, F. C. B., C. Bayer, J. A. Zanatta, J. Dieckow, J. Mielniczuk and Z. L. He. 2007. Carbon management index based on physical fractionation of soil organic matter in an Acrisol under long-term no-till cropping systems. Soil Till. Res. 96: 195–204.
28. Von-Lutzow, M., I. Kogel-Knabner, K. Ekschmitt, H. Flessa, G. Guggenberger, E. Matzner, and B. Marschner. 2007. SOM fractionation methods: Relevance to functional pools and to stabilization mechanisms. Soil Biol. and Biochem. 39: 2183–2207.
29. Wang, X. L., Y. Jia, X. G. Li, R. J. Long, Q. Ma, F. M. Li, and Y. J. Song. 2009. Effects of land use on soil total and light fraction organic, and microbial biomass C and N in a semiarid ecosystem of northwest China. Geoderma 153: 285–290.