مطالعه اثرات تغییر کاربری اراضی بر میزان کربن‌آلی و سایر ویژگی‌های خاک‌های ورتی‌سول (مطالعه موردی دشت بیله‌ور استان کرمانشاه)

نوشین پارسامنش[1*]، منوچهر زرین کفش[1]، سید صابر شاهویی[2] و وریا ویسانی[3]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۰/۱۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۷/۱۲)

چکیده

کاهش کیفیت و قدرت باروری خاک ناشی از هدررفت کربن‌آلی از مهم‌ترین پیامدهای تغییر کاربری اراضی است، که اثرات جبران‌ناپذیری را بر خاک به جای می‌گذارد. به‌منظور بررسی اثر تغییر کاربری اراضی بر میزان کربن‌آلی خاک در خاک‌های ورتی‌سول، سری سرتیپ‌آباد به وسعت ۱۸۵۰ هکتار در جنوب دشت بیله‌ور با استفاده از طرح پایه کاملاً تصادفی در قالب آزمایش فاکتوریل با ۱۰ تکرار در دو کاربری زراعی و مرتع مورد مطالعه قرار گرفت و برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در دو کاربری با هم مقایسه شدند. نتایج مطالعات نشان داد که کربن‌آلی خاک در افق‌های سطحی در کاربری مرتع بیشتر از کاربری زراعی بوده و به تبع آن میزان کربن ترسیب‌شده نیز در کاربری مرتع بیشتر می‌باشد، در افق‌های پایینی اختلاف معنی‌داری در میزان کربن‌آلی خاک در دو کاربری مشاهده نشد، در اثر تغییر کاربری اراضی از مراتع به زمین‌های زراعی میزان جرم مخصوص ظاهری، نیتروژن، اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک به‌طور چشمگیری افزایش و درصد کربن‌آلی خاک کاهش می‌یابد. فرایند فعال پدوتوربیشن، میزان رس (بالای ۵۰ درصد)، خاکدانه‌های کوچک فراوان و ساختمان پایدار از جمله عوامل مهم در ذخیره کربن‌آلی در خاک‌های ورتی‌سول بوده که می‌توانند اثرات تغییر کاربری اراضی را بر میزان کربن‌آلی خاک کاهش دهند. به‌طورکلی می‌توان گفت که تغییر کاربری اراضی نه‌تنها می‌تواند لطمه شدیدی بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بر جای بگذارد بلکه با هدررفت کربن و تصاعد بیشتر گازهای گلخانه‌ای حیات کره زمین را نیز به مخاطره می‌اندازد.

کلمات کلیدی: استان کرمانشاه، ترسیب کربن، کربن‌آلی خاک، کاربری اراضی، ورتی‌سول‌ها

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج

۲. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان

۳. گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان

*:مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: parsamanesh.noushin@gmail.com

مقدمه

کربن‌آلی خاک کلیدی‌ترین عنصر در باروری، کیفیت خاک و حفاظت محیط زیست به‌ویژه در مناطق نیمه‌خشک می‌باشد. کربن آلی به‌عنوان عنصر اصلی تشکیل‌دهنده بدن جانداران و ترکیبات آلی بسیار حائز اهمیت بوده و بدون آن حیات تهدید می‌شود. کربن به اشکال متعددی در طبیعت یافت می‌شود که از سخت‌ترین جامدات تا گازکربنیک موجود در محیط گازی و موادآلی موجود در توده زنده جانداران و بقایای آلی غیرزنده را در بر می‌گیرد (۳). از چالش‌های اصلی قرن ۲۱ می‌توان به رشد سریع جمعیت جهان، تخریب خاک‌های کشاورزی و آزادسازی گازهای گلخانه‌ای اشاره کرد. این سه عامل به‌دلیل نقش اقدامات مدیریتی و کاربری اراضی در کاهش تخریب خاک، کاهش تصاعد گازهای گلخانه‌ای، افزایش تثبیت کربن و افزایش امنیت غذایی با آنها پیوند نزدیکی دارد (۲۰).

مقدار کربن کل بین کاربری‌های مختلف تا بیش از ۱۵ برابر متفاوت است (۳۷). به‌طوری‌که کربن کل خاک در خاک‌های جنگلی دو برابر اراضی زراعی برآورد شده‌است (۳۲ و ۳۴). جنگل‌های واقع در اراضی مرطوب در مقایسه با جنگل‌های مرتفع، مراتع و اراضی کشاورزی موادآلی بیشتری در سطح خود (۲۰-۰ سانتی‌متری) دارند، اما تفاوت معنی‌داری در خاک عمقی این مناطق مشاهده نشده‌است.

موادآلی در خاک سطحی به تغییرات کاربری اراضی و مدیریت حساس هستند. هدررفتن موادآلی خاک در این موارد در اثر کاهش ورودی موادآلی و کاهش محافظت فیزیکی آنها در اثر شخم صورت می‌گیرد. تبدیل مراتع به اکوسیستم‌های کشاورزی باعث کاهش کربن‌آلی خاک به‌میزان ۵۰ درصد در ۲۰ سانتی‌متری فوقانی و ۳۰ – ۲۵ درصد در یک متری سطحی خاک در مدت ۵۰ – ۳۰ سال می‌شود (۴۰). کشاورزی و تغییر کاربری اراضی مسئول تصاعد ۲۰ درصد گازهای گلخانه‌ای است (۲۴). تغییر مدیریت اراضی می‌تواند باعث تبدیل اکوسیستم‌های کشاورزی موجود در مناطق نیمه‌خشک از منبع تولید دی‌اکسیدکربن به مخزن ذخیره آن گردد (۲۸).

ورتی‌سول‌ها از خاک‌های مهم کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشند (۱۷) و جزء حاصلخیزترین خاک‌های این مناطق محسوب می‌شوند (۳۳). ماده‌آلی یک جزء مهم ورتی‌سول‌ها می‌باشد که دارای نقش حیاتی در حفظ چرخه عناصر بوده و بسیاری از ویژگی‌های مورفولوژیکی، فیزیکوشیمیایی، بیوشیمیایی و هم‌چنین عملیات مدیریتی را در آنها تحت تأثیر قرار می‌دهد (۳۹). ورتی‌سول‌ها حدود ۲/۴۲ درصد از اراضی غیریخبندان جهان را تشکیل می‌دهند و وسعتی معادل ۳/۱۶ میلیون کیلومترمربع دارند (۱۹). وسعت ورتی‌سول‌ها در ایران برابر ۶۹۸۶۰ هکتار می‌باشد که معادل ۰/۰۴۲ درصد از کل اراضی کشور را شامل می‌شوند (۵). در ورتی‌سول‌ها کاهش ماده‌آلی با عمق در مقایسه با سایر خاک‌ها آهسته‌تر است و مقادیر قابل توجهی ماده‌آلی تا عمق یک‌متری دیده می‌شود. به‌عنوان یک قاعده کلی، ورتی‌سول‌های تشکیل‌شده روی موادمادری آهکی دارای مقادیر بیشتری ماده آلی با پایداری بالا هستند (۱۶).

محققان بسیاری طی مطالعات خود نشان دادند که ترسیب کربن خاک بخش مهمی از ترسیب کربن در اکوسیستم خشکی است و تأثیر شدیدی بر کاهش دی‌اکسیدکربن اتمسفری دارد که تغییرات کم در تراکم کربن خاک در اثر تغییر کاربری اراضی ممکن است تغییرات زیادی در تراکم دی‌اکسیدکربن اتمسفری ایجاد کند (۲۳). دیناکاران و همکاران (۱۸) معتقدند که نوع پوشش تأثیر معنی‌داری بر ترسیب کربن خاک می‌گذارد. به‌طوری‌که تغییر در مقدار ترسیب کربن خاک، به مقدار ورودی کربن به خاک از راه بقایای گیاهی و هدررفت کربن از راه تجزیه بستگی دارد. مطالعات چلیک (۱۴) بر روی اثرات تغییر کاربری اراضی در اراضی کوهستانی مدیترانه نشان داد که تبدیل اراضی طبیعی به اراضی زراعی، اثرات زیانبار جدی بر ویژگی‌های خاک داشته و منجر به کاهش معنی‌دار پایداری خاکدانه‌ها، هدایت هیدرولیکی و موادآلی خاک (تا ۴۹ درصد در مدت ۱۲ سال) گردیده است. تایسن و استوارت (۴۱) نیز بیان داشتند که تغییر کاربری اراضی مرتعی عموماً سبب کاهش ماده‌آلی خاک از طریق تسریع تجزیه زیستی و هدررفت خاک می‌شود.

شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

در ایران حاج‌عباسی و همکاران (۴) در جنوب و جنوب‌غربی اصفهان، حاج‌عباسی و همکاران (۲۲) در لردگان و بروجن، نیک‌نهاد قرماخر و همکاران (۸) در حوزه آبخیز کچیک استان گلستان، فتح اللهی و جلالیان (۶) در حوزه بازفت استان چهار محال و بختیاری، احمدی‌ایلخچی و همکاران (۱) در کوهرنگ استان چهار محال و بختیاری و نائل (۷) در اکوسیستم‌های مرتعی و جنگلی ایران مرکزی مطالعاتی در مورد اثرات تغییر کاربری اراضی داشته‌اند.

بررسی اثرات تغییر کاربری از مراتع به زمین‌های کشاورزی بر روی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های ورتی‌سول، نه تنها می‌تواند بیانگر پیامدهای این تبدیل باشد بلکه با توجه به نقش بالای خاک‌های ورتی‌سول در نگه‌داری کربن کل، مقدار بالای رس و کمپلکس پایدار رس ـ ماده‌آلی در این خاک‌ها می‌تواند به‌عنوان یکی از ذخایر دی‌اکسیدکربن در کاهش تغییرات آب و هوایی در نظر گرفته شود. لذا این پژوهش با هدف بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی از مرتع به زمین‌های زراعی بر میزان کربن‌آلی خاک در خاک‌های ورتی‌سول انجام پذیرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در محدوده جغرافیایی ۳۰ °۳۴ تا ′۴۵ °۳۴ عرض شمالی و ′۴۵ °۴۶ تا ′۰۰ °۴۷ طول شرقی، در ۳۰ کیلومتری شمال کرمانشاه، در جنوب دشت بیله‌ور واقع شده‌است (شکل ۱). اقلیم حیاتی منطقه مدیترانه‌ای، میانگین بلندمدت بارندگی آن ۳۷۰ میلی‌متر، دامنه ارتفاعی آن ۱۶۰۰– ۱۳۴۵ متر از سطح دریا می‌باشد. این منطقه دارای تابستان‌های گرم و زمستان‌های نسبتاً سرد بوده و یک دشت رسوبی رودخانه‌ای می‌باشد. مساحت کل این سری ۱۸۵۰ هکتار بوده و ۴/۶ درصد کل اراضی دشت بیله‌ور را تشکیل می‌دهد (۲). موادمادری تشکیل‌دهنده خاک این منطقه متشکل از رسوبات آهکی ریز بافت و سنگ آهک می‌باشد (۵). این اراضی زیر کشت نباتات یک‌ساله آبی (عموماً گندم و ذرت علوفه‌ای) بوده و گیاه طبیعی این منطقه شیرین بیان می‌باشد.

روش نمونه‌برداری

ابتدا با استفاده از تفسیر عکس‌های هوایی و با کمک نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی براساس مقیاس ۱/۵۰۰۰۰ ژئوفرم‌های منطقه از هم تفکیک شدند. پس از تعیین نقاط نمونه‌برداری در کاربری‌های مورد مطالعه با عوامل خاکسازی (توپوگرافی، زمین شناسی و ...) یکسان براساس مقیاس ۱/۲۰۰۰۰، در نقاط تعیین‌شده تعداد ۲۰ پروفیل حفر و از ۸ عمق پروفیل‌ها نمونه‌های به جرم ۲ کیلوگرم برداشت گردید. پس از تشریح نیمرخ‌ها در نقاط مشخص‌شده و نمونه‌برداری، نمونه‌های دست‌نخورده برای انجام تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه منتقل گردید.

جدول ۱. آنالیز واریانس یکطرفه صفات خاک در ۸ عمق کاربری‌های زراعی و مرتع

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات									
		Sand %	Silt %	Clay %	pH	EC (dS/m)	OC %	N %	$CaCO_3$ %	Bd (gr/cm^3)	CS (ton/ha)
کاربری اراضی	۱	۰/۰۰۴^{ns}	۱/۶۸^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}	۰/۴۰۶**	۰/۳۸*	۱/۱۳**	۰/۲۰۴^{ns}	۰/۱۹^{ns}	۰/۰۱۶**	۲۴۷۵۷**
عمق نمونه‌برداری	۷	۰/۵۶*	۱۲/۶۶^{ns}	۲۲/۰۶^{ns}	۰/۰۶۸^{ns}	۰/۰۰۹^{ns}	۵/۴۷**	۴/۸۹**	۹۸/۶۲**	۰/۱۶**	۱۳۴۷۱۶**
کاربری اراضی × عمق نمونه‌برداری	۷	۰/۳ ^{ns}	۱۹/۶۲^{ns}	۲۱/۱۶^{ns}	۰/۰۰۹^{ns}	۰/۱۲۲^{ns}	۰/۹۹**	۰/۴۲۷**	۱/۳۶^{ns}	۰/۰۰۳^{ns}	۲۹۷۸۷**
خطا	۶۴	۰/۲۵	۱۴/۲۶	۱۴/۴۱	۰/۳۷	۰/۰۶۸	۰/۰۶۲	۰/۳۵۲	۰/۷۴۵	۰/۰۰۱	۲۱۲۳
ضریب تغییرات		۱۶/۶۷	۱۲/۲۶	۶/۳۴	۲/۵۵	۲۹/۵۷	۲۳/۳	۱۲/۸۹	۳۷/۰۲	۳/۳۸	۲۳/۹

* و ** : به‌ترتیب بیان‌گر اثر معنی‌داری در سطح ۵ و ۱ درصد و **ns** بیان‌گر عدم وجود اثر معنی‌دار می‌باشند.

روش آزمایشگاهی

خصوصیات خاک شامل تعیین بافت به‌روش هیدرومتری بایوکاس (۱۱)، جرم مخصوص ظاهری خاک از روش کلوخه (۱۰)، اسیدیته خاک به‌روش پتانسیومتری با استفاده از دستگاه pH متر الکترونیکی (۳۱)، هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع و با استفاده از دستگاه EC متر الکترونیکی (۳۶)، کربن‌آلی خاک به‌روش والکی و بلاک (۴۲)، ازت کل خاک به‌روش کجلدال (۱۳) و کربنات کلسیم معادل خاک به‌روش تیتراسیون (۳۶) اندازه‌گیری شد. سپس با استفاده از نتایج حاصل از تجزیه‌های آزمایشگاهی میزان کربن‌آلی ترسیب‌شده براساس فرمول زیر محاسبه شد :

$$CS = ۱۰ \times OC \times Bd \times E$$

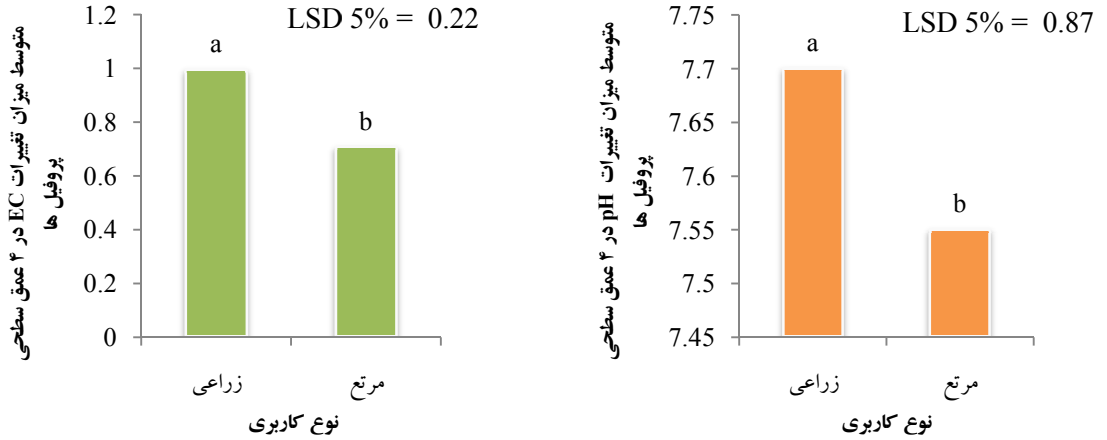
در این رابطه CS: مقدار ترسیب کربن‌آلی (ton/ha)، OC : کربن‌آلی (٪)، Bd : جرم مخصوص ظاهری خاک (gr/cm^3) و E : عمق نمونه‌برداری (cm) می‌باشد (۲۱).

روش آماری

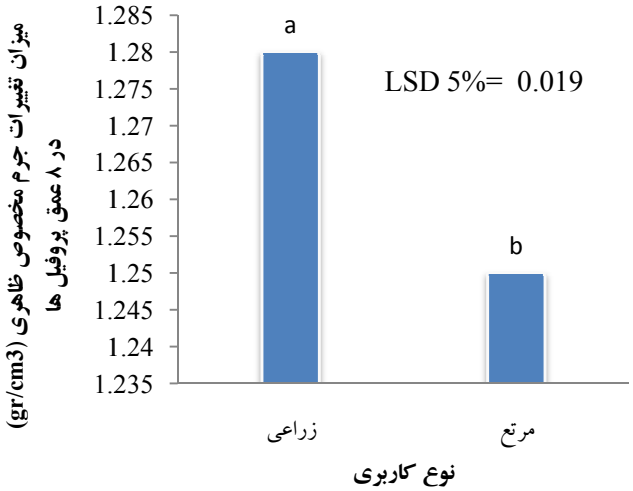
طرح آزمایشی فاکتوریل دو فاکتوره در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با ۱۰ تکرار مورد استفاده قرار گرفت و تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد. فاکتور اول شامل کاربری اراضی در دو سطح (مرتع و زراعی) و فاکتور دوم نمونه‌برداری در ۸ عمق با فواصل ۱۵ سانتی‌متری خاک بود. ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون Kolmogorov – Smirnov و همگنی واریانس‌ها براساس آزمون Levene بررسی شد. با توجه به نرمال بودن داده‌ها و همگنی واریانس داده‌ها برای مقایسه کلی دو تیپ از نظر ویژگی‌های خاک، از آنالیز واریانس یک‌طرفه (ANOVA) استفاده و برای مقایسه چندگانه میانگین‌ها از آزمون حداقل تفاوت‌های معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد. برای رسم نمودارها نیز نرم‌افزار Excel مورد استفاده قرار گرفت (۳۸).

نتایج

نتایج مطالعات نشان داد که میزان ترسیب کربن‌آلی خاک در کاربری مرتع بسیار بیشتر از کاربری زراعی می‌باشد. ترسیب کربن خاک در کاربری مرتع به‌طور معنی‌داری ($P<۰/۰۱$) بیشتر از کاربری زراعی بود. آنالیز واریانس یک‌طرفه صفات مورد بررسی نشان داد که مقدار جرم مخصوص ظاهری، کربن‌آلی، اسیدیته ($P<۰/۰۱$) و هدایت الکتریکی ($P<۰/۰۵$)در بین کاربری‌های مورد بررسی معنی‌دار و در بین اعماق مورد بررسی نیز جرم مخصوص ظاهری، کربنات کلسیم، نیتروژن و کربن‌آلی ($P<۰/۰۱$) و شن‌خاک ($P<۰/۰۵$) معنی‌دار بودند. بررسی اثرهای متقابل کاربری اراضی در عمق نمونه‌برداری به جز کربن‌آلی و میزان ترسیب کربن ($P<۰/۰۱$) معنی‌دار نبودند (جدول ۱). مقایسه میانگین ویژگی‌های خاک در کاربری‌های مرتع و زراعی نشان داد که میزان اسیدیته (شکل ۲ ـ الف)، هدایت الکتریکی (شکل ۲ـ ب)، نیتروژن و جرم مخصوص ظاهری (شکل ۳) در کاربری زراعی بیشتر از مراتع بود، درحالی‌که درصد کربن‌آلی خاک عکس این قضیه را نشان داد.



شکل ۲ . مقایسه میانگین اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک در ۴ عمق سطحی نمونه‌برداری در کاربری زراعی و مرتع. حروف یکسان نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت آماری در سطح ۵ و ۱ درصد آزمون LSD است

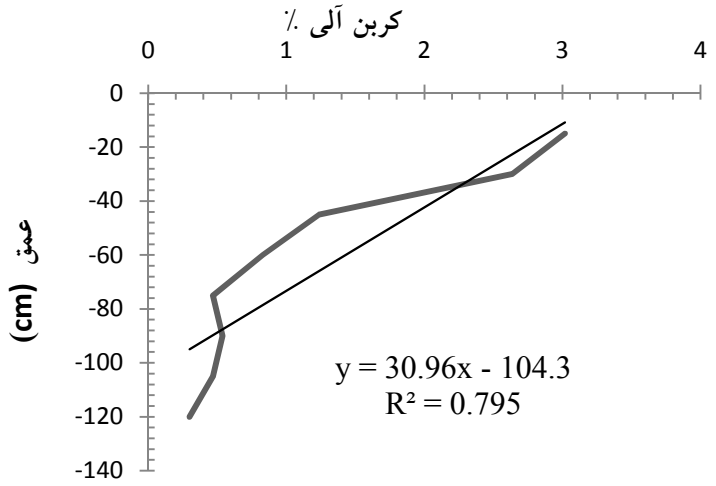


شکل ۳ . مقایسه میانگین جرم مخصوص ظاهری در ۸ عمق نمونه‌برداری در کاربری زراعی و مرتع. حروف یکسان نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت آماری در سطح ۱ درصد آزمون LSD است

بررسی ۸ عمق نمونه‌برداری نیز نشان داد که میزان کربنات کلسیم، شن، جرم مخصوص ظاهری در لایه‌های سطحی کمتر بوده و به‌سمت اعماق پایین یک روند افزایشی را طی می‌نماید. درحالی‌که میزان کربن‌آلی و نیتروژن تا عمق ۷۵ – ۶۰ سانتی‌متری روند کاهشی داشته در عمق ۹۰ – ۷۵ سانتی‌متری یک افزایش در میزان آنها مشاهده شده و دوباره روند کاهشی را طی می‌نماید (شکل ۴) که نیاز به بررسی بیشتری دارد. بررسی تأثیر متقابل کاربری اراضی در عمق نمونه‌برداری نشان داد که مقدار کربن‌آلی در عمق ۱۵ – ۰ سانتی‌متری کاربری مرتع بسیار بیشتر از کاربری زراعی (شکل ۵) و میزان نیتروژن در کاربری زراعی بیشتر بود.

بحث

محققان بسیاری در نتیجه مطالعات خود (۲۶ و ۲۸) بیان کردند بیشترین تأثیر تغییرکاربری اراضی بر روی سطوح کربن‌آلی خاک در افق سطحی جایی که بیشترین مقدار بقایای گیاهی با خاک مخلوط می‌شود اتفاق می‌افتد و با نتایج این تحقیق که



شکل ۴ . روند کاهش کربن‌آلی در خاک‌های ورتی‌سول منطقه مورد مطالعه

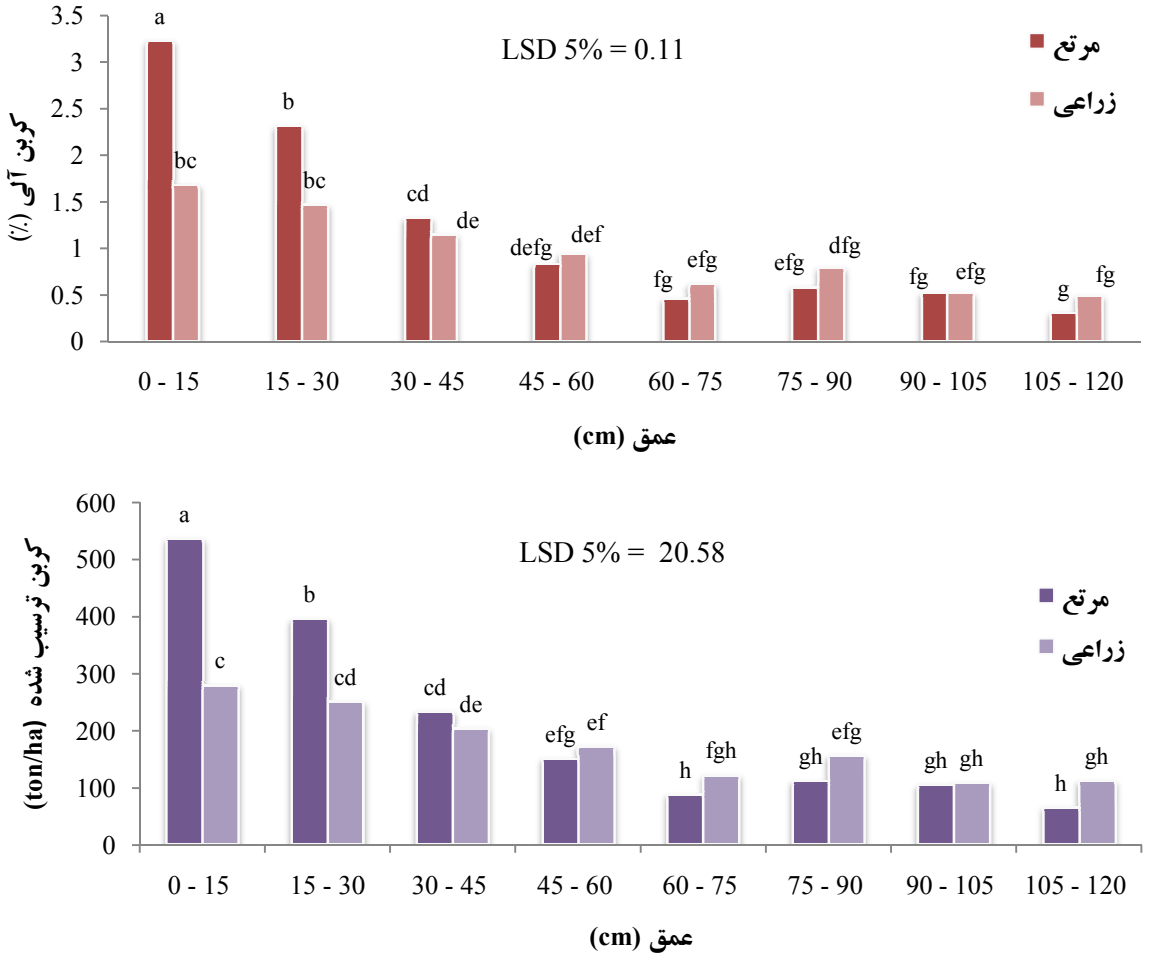
نشان داد میزان کربن‌آلی خاک در مقایسه کاربری مرتع و زراعی، بیشترین تغییرات در افق سطحی و تا عمقی که میزان پدوتوربیشن در آن حاکم است حاصل می‌شود و به‌سمت اعماق پروفیل این تغییرات بسیار ناچیز است.

در نتیجه تغییرکاربری اراضی از مراتع به زمین‌های کشاورزی در منطقه مورد مطالعه میزان کربن‌آلی خاک حدود ۵۰ درصد کاهش یافته‌است. بومن و همکاران (۱۲) گزارش کردند که تبدیل مراتع به زمین‌های کشاورزی سبب کاهش چشمگیر مقدار ماده‌آلی خاک می‌گردد. کینگل و همکاران (۲۵) نیز در نتیجه تحقیقات خود بیان کردند که برایند آثار تغییر کاربری اراضی مرتعی به زمین‌های کشاورزی سبب کاهش ماده‌آلی و افزایش تراکم خاک در اثر برخورد مستقیم قطرات باران با سطح خاک و در نتیجه فرسایش و تخریب خاک می‌شود. کونانت و همکاران (۱۵)، احمدی‌ایلخچی و همکاران (۱) و عجمی (۹) در تحقیقات خود بیان کردند که تغییرکاربری اراضی از علفزار به زمین‌های زراعی سبب کاهش ماده‌آلی خاک ناشی از انجام عملیات شخم و شیار و در نتیجه تسریع تجزیه ماده‌آلی خاک می‌شود زیرا عملیات زراعی، خاکدانه‌های درشت را شکسته و ماده‌آلی خاک را در معرض اتلاف قرار می‌دهد.

FAO (۲۰)، نیز دلیل افزایش سطوح کربن‌آلی را در خاک‌های چمن‌زار نسبت به اراضی زراعی حتی اگر تحت چرای کنترل شده باشند، بالا بودن کربن ورودی از طریق ریشه گیاهان می‌داند. تجزیه قطعات ریشه به‌دلیل دارا بودن مقادیر لیگنین بیشتر، کمتر از قطعات ساقه بوده و به‌علاوه چمن‌ها مقادیر کربن بیشتری نسبت به لگوم‌ها تثبیت می‌کنند. تجزیه ماده‌آلی خاک و گسیخته‌شدن خاکدانه‌ها در اثر عملیات زراعی و در نتیجه متراکم‌شدن خاک در کاربری‌های زراعی در منطقه مورد مطالعه سبب شد که جرم مخصوص ظاهری خاک به‌طور معنی‌داری نسبت به کاربری مرتع افزایش یابد.

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که در اثر تغییر کاربری از مراتع به زمین‌های زراعی حدود ۵۰ درصد از کربن‌آلی خاک (تا عمق ۳۰ سانتی‌متری) کاسته می‌شود که با نتایج مطالعات مان (۲۹) و مک‌گیل و همکاران (۳۰) مطابقت دارد.

نتایج این مطالعه ثابت کرد که تغییرکاربری اراضی از مرتع به زمین‌های زراعی سبب هدررفت کربن‌آلی خاک شده‌است به‌طوری‌که میزان کربن‌آلی در مراتع حدود ۲ برابر اراضی زراعی می‌باشد. این درحالی‌است که در زمین‌های زراعی به‌دلیل عملیات خاکورزی میزان جرم مخصوص ظاهری به‌طور چشمگیری افزایش یافته و به‌دلیل استفاده مداوم از کودهای شیمیایی اسیدیته، هدایت الکتریکی و درصد نیتروژن خاک نیز افزایش می‌یابد.



شکل ۵ . مقایسه میانگین کربن‌آلی و کربن ترسیب‌شده در کاربری زراعی و مرتع. حروف یکسان نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت آماری در سطح ۱ درصد آزمون LSD است

با توجه به این‌که در خاک‌های ورتی‌سول فرایند پدوتوربیشن پیوسته رخ می‌دهد، بقایای آلی مرتباً با خاک مخلوط می‌شوند. میزان رس بالای ۵۰ درصد، خاکدانه‌های کوچک فراوان و ساختمان پایدار از جمله عوامل مهم در ذخیره کربن‌آلی و ترسیب آن تا اعماق پایین‌تری از خاک‌های ورتی‌سول می‌باشند. که این نتایج با مطالعات مرموت و همکاران (۲۳)، لورنز و همکاران (۲۷) و رایس و همکاران (۳۵) مطابقت دارد.

با توجه به خصوصیات منحصر به‌فرد این خاک‌ها با اعمال مدیریت صحیح و متناسب با شرایط خاک می‌توان نه تنها به حاصلخیزی خاک و هدررفت کربن کمک کرد بلکه از اثرات مخرب تغییرکاربری اراضی بر میزان کربن‌آلی خاک نیز کاست.

تشکر و قدردانی

با سپاس و تشکر فراوان از همکاری برادران عزیز و ارجمند آقایان مهندس اسدی، مهندس صباغی و مهندس ملکی که با ارائه راهنمایی‌های علمی و اجرایی راه‌گشای بسیاری از مشکلات این تحقیق بودند.

منابع مورد استفاده

۱. احمدی ایلخچی، ع.، م.ع. حاج عباسی و ا. جلالیان. ۱۳۸۱. اثر تغییر کاربری اراضی مرتعی به دیم‌کاری بر تولید رواناب، هدررفت و کیفیت خاک در منطقه دوراهان چهارمحال و بختیاری. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، ۶(۴): ۱۰۳ – ۱۵.

۲. اسکندرزاده، ی.، س. مهجوری.، ش. فلاحی و ر. خوش فطرت. ۱۳۵۴. مطالعات خاک‌شناسی نیمه تفصیلی منطقه بیله‌ور استان کرمانشاه، وزارت جهاد کشاورزی و منابع طبیعی مؤسسه خاک‌شناسی و حاصلخیزی خاک کشور، کرمانشاه.

۳. پرویزی، ی. ۱۳۸۹. پهنه‌بندی تغییرپذیری مکانی کربن‌آلی خاک و بررسی تأثیر عوامل فیزیکی و مدیریتی بر آن با استفاده از تحلیل چند متغییره و شبکه‌های عصبی‌مصنوعی، رساله دکتری فیزیک و حفاظت خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.

۴. حاج‌عباسی، م.ع.، ا. بسالت‌پور و ا. مللی. ۱۳۸۶. اثر تبدیل مراتع به اراضی کشاورزی بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های جنوب و جنوب‌غربی اصفهان، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، ۱۱(۴۲)ک:۵۳۴ – ۵۲۵.

۵. حیدری، ا. ۱۳۸۲. تشکیل، طبقه‌بندی و تعیین خصوصیات ورتی‌سول‌ها در اقالیم مختلف ایران، رساله‌ی دکتری علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران، ص ۳۲.

۶. فتح اللهی، ح. و ا. جلالیان. ۱۳۸۰. بررسی اثر تغییرات استفاده از اراضی بر برخی از خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک در حوزه بازفت استان چهارمحال و بختیاری، (مطالعه موردی)، مرکز تحقیقات منابع طبیعی و امور دام استان چهارمحال و بختیاری، شهرکرد.

۷. نائل ، م. ۱۳۸۰. مطالعه تخریب اراضی به کمک شاخص‌های کیفیت خاک و تغییرات مکانی آنها در اکوسیستم‌های مرتعی و جنگلی ایران مرکزی. پایان نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۸. نیک‌نهاد قرماخر، ح و م. ق. مارامایی. ۱۳۹۰. مطالعه اثرات تغییر کاربری اراضی بر خصوصیات خاک (مطالعه موردی حوزه آبخیز کچیک). مجله مدیریت خاک و تولید پایدار، ۱(۲): ۹۶ – ۸۱.

9. Agami, M. 2007. Soil quality attributes micropedology and clay mineralogy as effected by land use change and geomorphicposition on some loess-derived soil in eastern Golestan province, Agh-su wastershed. Master Degree Thesis, Soil Science, Faculty of Agriculture, Gorgan University.
10. Blake, G. R and K. H. Hartge. 1986. Blak density, In: Klute. A. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part I. Physical and mineralogical methods. No. 9. part 1. PP. 363-376.
11. Bouyoucos, G. Y. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil, Agron. Y. 54-464-465.
12. Bowman, R. A and J. D. Reader. 1990. Change in soil properties in a central plains rangeland soil after 20, 30 and 60 years of cultivation. Soil Sci. J. 150: 851-857.
13. Bremner, J. M and C. S. Malvaney. 1982. Nitrogen total. In: page, A. l. Miller., R. H. Keeney. R. R (Eds.), Methods of soil Analysis. Part2. Second (Ed.), American Society of Agronomy, Madison, WI. PP. 595-624.
14. Celik. 2005. Land use effects on organic matter and physical properties of soil in a southern mediterranean highland of Turkey. Soil and tillage Res. 83:2 70-277.
15. Conant, R. T., Paustian. K and Elliott. E. T. 2001. Grassland management and conversion into grassland (Effect on soil carbon). Ecol .Appl. 11: 343-355.
16. Coulombe, C. E., J. B. Dixon and L. P. Wilding. 1996. Mineralogy and Chemistry of Vertisol. PP. 115-200.
17. Deckers, Y., O. Spaargaren and F. Nachtergaele. 2001. Vertisol: Genesis, Properties and Soil scape management for sustainable development, *In*: J. K. Syers., F. W. T. Penning de vries and phibion Nyamudeza, (Eds.), The Sustainable management of Vertisol. CABI publishing.
18. Dinakaran, J and N. S. R krishnayya. 2008. Variations in type of vegetal cover and heterogeneity of soil organic carbon in affecting sink copacity of tropical soils.Current Sci. 94: 1144-1150.

19. Eswaran, H., F. H. Beinorth., P. F. Reich and L. A. Quandt. 1999. Vertisol, USDA.
20. FAO. 2004. Carbon sequestration in dryland soils. World soil resources reports , 102. p.
21. Gobat, Y. M., M. Aragno and W. Matthey. 2003. Lesol vivant: base de la pedologie-biologie des sols. Edition press polytechniques et universitaire Romanoles (PPUR).
22. Hajabbasi, M. A., A. Jalalian and H. R. Karimzadeh. 1997. Deforestation effect on soil physical and chemical properties. Lordegan. Iran. Plant soil. J. 190: 301-308.
23. Harrison, K. G., W. S. Broecker and G. Bonani. 1993. The effect of changing land use on soil radio carbon. Science. 262:725-726.
24. Hutchinson, Y. Y., C. A. Campbel and R. L. Desjardins. 2007. Some perspective on carbon sequestration in agricultural and forest meteorology 124: 288-302.
25. Klingebiel, A. A and A. M. Oneal. 1992. Structure and influence on tilth of soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. J. 16: 77-80.
26. Liu, X., Herbert, S. J., Hashemi, A.M., Zhang, X. and G. Ding. 2006. Effect of agricultural management on soil organic matter and carbon transformation. Plant Soil Environ. (12): 531-543.
27. Lorenz, K and R. Lal. 2006. Subsoil organic carbon pool. Encyclopedia of soil science DOI: 10. 1081/E-ESS-12004I45I.
28. Lufafa, A., J. Bolte., D. Wrightc., M. Khouma., I. Diedhiou., R. P. Dick., F. Kizito., E. Dossa and J. S. Nollera. 2008. Regional carbon stocks and dynamics in native woody shrub communities of Senegal's Peanut Basin. Agriculture, Ecosystems and Environment 128: 1- 11.
29. Mann, L. K. 1986. Changes in soil carbon storage after cultivation. Soil Sic. 142: 279-288.
30. Mc Gill, W. B., J. F. Dormaar and E. Reinl-Dwyer. 1988. New perspectives on soil organic matter quality, quantity and dynamics on the canadian prairies. P. 30-80. In: proceedings of the 34th annual Csss /AICmeeting. Aug. 21-24 calgary. AB.
31. McLean, E. O. 1988. Soil pH and lime requirement. In: page. A. L (Ed.), Methods of soil Analysis. Part, American socitety of Agronomy, soil Sci .Soc .Am. Madison. Wis. PP. 199-224.
32. Merino, A. 2004. Responses of soil organic matter and greenhouse gas fluxes to soil management and land use change in a humid temperate region of Southern Europe. Soil Biology & Biochemistry. 36: 917-925.
33. Probert, M. E., I. F. Fergus., B. Y. Bridge., D. Mcgarry., C. H. Thompson and Y. S. Russall. 1987. The Properties and management of Vertisol. CAB International. Wallingfor. Oxon. 36 p.
34. Pulleman, M. M., Y. Bouma., E. A. Van Essen and E. W. Meiyles. 2000. Soil organic matter content as a function of different land use history. Soil Sci. Soc. Am. J. 64: 689-693.
35. Rice, C. W. 2000. Soil Organic C and N in Rangeland soils under Elevation CO_2 and land management. Advances in Terrestrial Ecosystem carbon inventory, measurements and monitoring conference in raleigh. North Carolina. October 3-5, 2000. 15-24.
36. Richards, A. L. (Ed.), 1954. Diagnnosis and Improvement of saline and Alkaline soils. us salinity laboratory staff. USDA. Handbook. No 60. Washington DC. USA.
37. Sharma, P and S. C. Ray. 2007. Carbon sequestration with land-use cover change in a Himalayan Watershed, Geoderma. 139: 371-378.
38. Statistical Analysis System. 1996. User Guide: Statistical. Version8. SAS Institate Inc, Cary. NY.
39. Syers, J., K. P. Nyamundeza and Y. Ahenkurah. 2001. Sustainable nutrient management of Vertisols. *In*: J. K. Syers., F. W. T. Penning de vries and phibion nyamudeza. The Sustainable management of Vertisol. CABI Publishing.
40. Tan, Z and R. Lal. 2005. Carbon sequestration potential estimates with changes in land use and tillage practice in Ohio. USA. Agriculture. Ecosystems and Environment 11: 140-152.
41. Tissen, H and J. W. Stewart. 1983. Particle size fractions and their use in studies of soil organic matter composition in size fraction. Soil Sci. Soc. Am. J. 47: 509-140.
42. Walkley, A and L. A. Black. 1934. An Examination of degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil. Sci. 37: 29-37.