تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۴۵، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۳ (ص ۱۸۸-۱۷۹)

پیامد تبدیل کاربری زمین از جنگل به تاکستان بر بخش‌های کربن آلی خاک

حمید محمودزاده[۱]، محسن شکل‌آبادی*[۲]، علی‌اکبر محبوبی[۳]

۱. کارشناس ارشد دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه بوعلی‌سینای همدان

۲. استادیار دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه بوعلی‌سینای همدان

۳. استاد گروه مهندسی خاک‌شناسی دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه بوعلی‌سینای همدان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۷/۱۴ ـ تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۲/۱)

چکیده

هدف این پژوهش بررسی پیامد تبدیل کاربری جنگل به تاکستان بر بخش‌های مختلف کربن آلی خاک در حوضهٔ آبخیز دریاچهٔ زریبار مریوان بود. از دو کاربری جنگل و باغ در سه لایهٔ ۳۰ سانتی‌متر نمونه‌برداری و بخش‌بندی اندازه‌ای کربن آلی در خاک انجام شد. بیشترین و کمترین مقدار کربن آلی موجود در ذرات هم‌اندازهٔ شن در لایهٔ ۰تا ۳۰ سانتی‌متر به‌ترتیب در کاربری جنگل و باغ بود. با افزایش عمق، مقدار کربن آلی همراه با ذرات هم‌اندازهٔ شن در هر دو کاربری کاهش یافت. مقدار مادهٔ آلی سبک در هر سه لایهٔ کاربری جنگل بیشتر از کاربری باغ بود. بخش‌های سبک و هم‌اندازهٔ شن در لایهٔ سطحی هر دو کاربری بیشترین واکنش را به تبدیل مدیریت نشان داد. سهم لایهٔ سطحی در ذخیرهٔ کربن آلی بیشتر از دو لایهٔ دیگر بود.

کلیدواژگان: باغ، تبدیل کاربری زمین، جنگل، کربن آلی

مقدمه

مواد آلی خاک در تولید محصول، از طریق کنترل حاصل‌خیزی و پایداری سیستم خاک، نقش مهمی ایفا می‌کند. مدیریت مواد آلی خاک برای پایداری تولید محصول و کیفیت خاک در همهٔ زمین‌ها ضروری است (Shan *et al*, 2010). شواهد نشان می‌دهد خاک بزرگ‌ترین اندوختهٔ کربن فعال در زیست‌بوم‌های طبیعی و بیشترین توانایی را برای ذخیرهٔ کربن در کاربری‌های دست‌نخورده دارد (Lal, 2004). پویایی مواد آلی خاک، کیفیت و کمّیّت مواد آلی ورودی، تجزیه و فعالیت جامعهٔ ریزجانداران تجزیه‌کننده، سرعت و مقدار هدرروی مواد آلی خاک با معدنی‌شدن، آب‌شویی، و فرسایش تحت تأثیر اقلیم و نوع خاک و مدیریت زمین است. فعالیت‌های انسانی، از جمله مدیریت زمین و کوددهی و نظام‌های کشت، بر زمین‌های کشاورزی تأثیر می‌گذارند. از این رو، خاک‌های کشاورزی در صورتی که مدیریت صحیح، مانند شخم حداقل و مکمل‌های آلی و تناوب زراعی، اجرا شود، می‌تواند بزرگ‌ترین مخزن کربن آلی خاک باشد (Lal, 2004).

در چشم‌انداز تغییر اقلیم جهانی، مدیریت کاربری زمین بر توانایی خاک‌ها در ذخیره یا رهاسازی کربن آلی تأثیرگذار است. از این رو شناسایی عامل‌های مؤثر در پویایی کربن آلی خاک و تعیین پیامد فعالیت‌های مدیریت زمین بر آن ضروری است (Feller and Beare, 1997). تغییرات اقلیمی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای به سبب فعالیت‌های انسان- شامل تبدیل کاربری زمین، زهکشی مانداب‌ها، جنگل‌زدایی، آتش‌زدن بقایا، عملیات کشاورزی، کاربرد سوخت‌های فسیلی- است. در مقیاس جهانی در دویست و پنجاه سال گذشته حدود ۲۰۰ پتاگرم کربن در اثر تبدیل کاربری و پوشش زمین به اتمسفر آزاد شده است (Feller and Beare, 1997; Lal, 2004). کاهش کربن آلی خاک‌های جهان در اثر فعالیت‌های کشاورزی بین سال‌های ۱۸۵۰ تا ۱۹۹۸ حدود ۱۲±۷۸ گیگاتن بوده، که یک‌سوم این مقدار از طریق فرسایش و دوسوم باقی‌مانده از طریق معدنی‌شدن کربن آلی انجام شده است (Lal, 2004).

تغییر کاربری می‌تواند با اثر بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و زیستی خاک، مقدار و کیفیت کربن آلی خاک را کاهش دهد. خاک‌ورزی شرایط فیزیکی خاک (دما، رطوبت، تهویه، وزن مخصوص ظاهری) را دگرگون می‌کند و سرعت تجزیهٔ کربن آلی خاک و بقایای گیاهی را افزایش می‌دهد. کیفیت و کمیت مواد آلی ورودی به خاک و حفاظت کربن آلی موجود در خاک‌دانه‌ها به طور گسترده تحت تأثیر کشاورزی و تخریب زمین است (Shan *et al*, 2010). خاک‌ورزی، با شکستن

* نویسنده مسئول: Sheklabadi@basu.ac.ir

Archive of SID

www.SID.ir

خاک‌دانه‌های درشت و تولید خاک‌دانه‌های ریز، هدرروی کربن و تجزیهٔ بقایای آلی خاک را بیشتر می‌کند.

تبدیل کاربری زمین‌های جنگلی به کشاورزی از فرآیندهایی است که باعث هدررفت کربن آلی خاک (Six *et al*, 2002) و ذخیرهٔ کربن آلی در خاک کمتر از پتانسیل کربن‌اندوزی آن می‌شود. تبدیل زمین کشت‌نشده به زمین کشاورزی بخش مهمی از کربن آلی پایدار خاک را ناپایدار می‌کند و با افزایش اکسیداسیون کربن آلی خاک و هدرروی مواد آلی باعث افزایش دی‌اکسید کربن اتمسفر می‌شود (Murty *et al*, 2002). پژوهش‌ها نشان می‌دهد تبدیل چمنزار یا جنگل بومی به جنگل غرس‌شده (تبدیل جنگل به باغ) موجب تغییر قابل ملاحظهٔ مقدار یا سرشت شیمیایی کربن آلی خاک می‌شود (Huang *et al*, 2008). جنگل‌زدایی و زیرکشت‌بردن زمین‌های دست‌نخورده، با کاهش ورودی بقایای گیاهی به خاک و افزایش سرعت تجزیه، موجب فرسایش و کاهش کربن آلی خاک در این زمین‌ها می‌شود (Feller and Bear, 1997). به طور میانگین هر ساله حدود ۱۲ میلیون هکتار جنگل به زمین زراعی تبدیل و حدود ۱/۷ پتاگرم کربن در اثر جنگل‌زدایی و ۰/۱ پتاگرم در اثر فرسایش به اتمسفر رها می‌شود (Evrendilk *et al*, 2004).

در سال‌های گذشته در زمینهٔ اثر تبدیل کاربری زمین بر ویژگی‌های خاک مطالعات فراوانی انجام شده است. Dawson and Smith (2007) مشاهده کردند تغییر کاربری زمین جنگلی به کشاورزی موجب کاهش مادهٔ آلی خاک و تبدیل زمین کشاورزی به پوشش گیاهی طبیعی موجب افزایش مادهٔ آلی خاک می‌شود. Hajabbasi *et al* (1997) نیز اعلام کردند با تغییر کاربری از جنگل به زراعی مواد آلی خاک کاهش یافته و پ‌ـ اچ خاک افزایش می‌یابد. اما مطالعات اندکی اثر تغییر کاربری زمین را بر بخش‌های کربن آلی خاک بررسی کرده‌اند. یافته‌های محققان نشان می‌دهد بخش‌های اندازه‌ای و چگالی می‌توانند به تغییرات انجام‌گرفته در زیست‌بوم حساس‌تر باشند و سریع‌تر واکنش نشان دهند (Wang *et al*, 2009). بخش‌های گوناگون فیزیکی کربن آلی خاک با توجه به ماهیت آن‌ها در برابر تبدیل جنگل به باغ واکنش نشان می‌دهد و کاهش چشمگیری در اغلب بخش‌های آن، بعد از تبدیل کاربری، مشاهده می‌شود (He *et al*, 2009).

سرشت مواد آلی خاک ناهمگون است و از اندوخته‌های خیلی فعال تا غیر فعال را شامل می‌شود. به همین علت بررسی اثر مدیریت‌های گوناگون بر پویایی آن دشوار است. روش‌های بخش‌بندی فیزیکی بر اساس چگالی و اندازهٔ ذرات می‌تواند در شناسایی بخش‌هایی از کربن آلی خاک، که از نظر ترکیب و کارآیی زیستی متفاوت و به تغییر کاربری و مدیریت اراضی حساس‌ترند، مؤثر باشد (Hassink *et al*, 1997). از این روش‌ها می‌توان برای جداکردن بخش‌های کربن آلی خاک، که در مقیاس بلندمدت پایدار و بر ذخیرهٔ کربن و تغییر اقلیم جهانی مؤثرند، بهره گرفت (Six *et al*, 2002). بخش‌بندی اندازه‌ای نشان می‌دهد مواد آلی هم‌اندازهٔ شن (مواد آلی درشت، بزرگ‌تر از ۱۵۰ میکرومتر) نسبت به کربن آلی همراه بخش سیلت+رس ناپایدارتر است. در حالی که همراهی مواد آلی خاک با ذرات سیلت+رس و پیوند با آن‌ها یکی از مسیرهای اصلی حفاظت فیزیکی از کربن آلی خاک‌هاست. همچنین بخش‌بندی مواد آلی بر اساس چگالی نشان می‌دهد در طول هوموسی‌شدن بخش‌هایی از مواد آلی با ذرات معدنی همراه می‌شود. بنابراین در بخش با چگالی بالاتر قرار می‌گیرد (Hassink *et al*, 1997).

تبدیل کاربری و استفادهٔ نابه‌جا از زمین در ایران طی چندین سال اخیر به برهم‌خوردن تعادل بوم‌شناختی انجامیده است. یکی از این مناطق جنگل‌های حوضهٔ آبخیز دریاچهٔ زریبار مریوان است که در حدود سی سال پیش در مناطق شیب‌دار به باغ تبدیل شد و بر تشدید فرسایش و خروج کربن آلی خاک تأثیر گذاشت. مدیریت درست مناطق جنگلی زاگرس می‌تواند باعث بهبود ذخیرهٔ کربن آلی خاک از طریق نگهداری کربن آلی در خاک یا به صورت گیاه شود. در این زمینه شناسایی و درک تغییرات صورت‌گرفته در اثر تبدیل کاربری می‌تواند به انتخاب شیوهٔ صحیح مدیریت زمین کمک کند. هدف این پژوهش بررسی تأثیر تبدیل کاربری زمین جنگلی به تاکستان بر تغییرات بخش‌های فیزیکی کربن آلی خاک در منطقهٔ مریوان است.

مواد و روش‌ها

ویژگی‌های منطقهٔ مورد پژوهش

محدودهٔ مورد پژوهش شامل مناطق جنگلی و تاکستان‌های داخل عرصه‌های جنگلی حوضهٔ آبخیز دریاچهٔ زریبار در شهرستان مریوان استان کردستان است. این منطقه در طول جغرافیایی ´۵ °۴۶ تا ´۱۰ °۴۶ شرقی و عرض جغرافیایی ´۲۹ °۳۵ تا ´۳۷ °۳۵ شمالی امتداد دارد. بیشترین و کمترین ارتفاع در حوضهٔ آبخیز زریبار به‌ترتیب ۲۱۴۷ و ۱۲۶۱ متر از سطح دریاست. مساحت حوضهٔ ۱۰۷۱۸ هکتار است که کاربری‌های غالب آن شامل زراعت دیم، آبی، جنگل، باتلاق، باغ، و مرتع است. بر

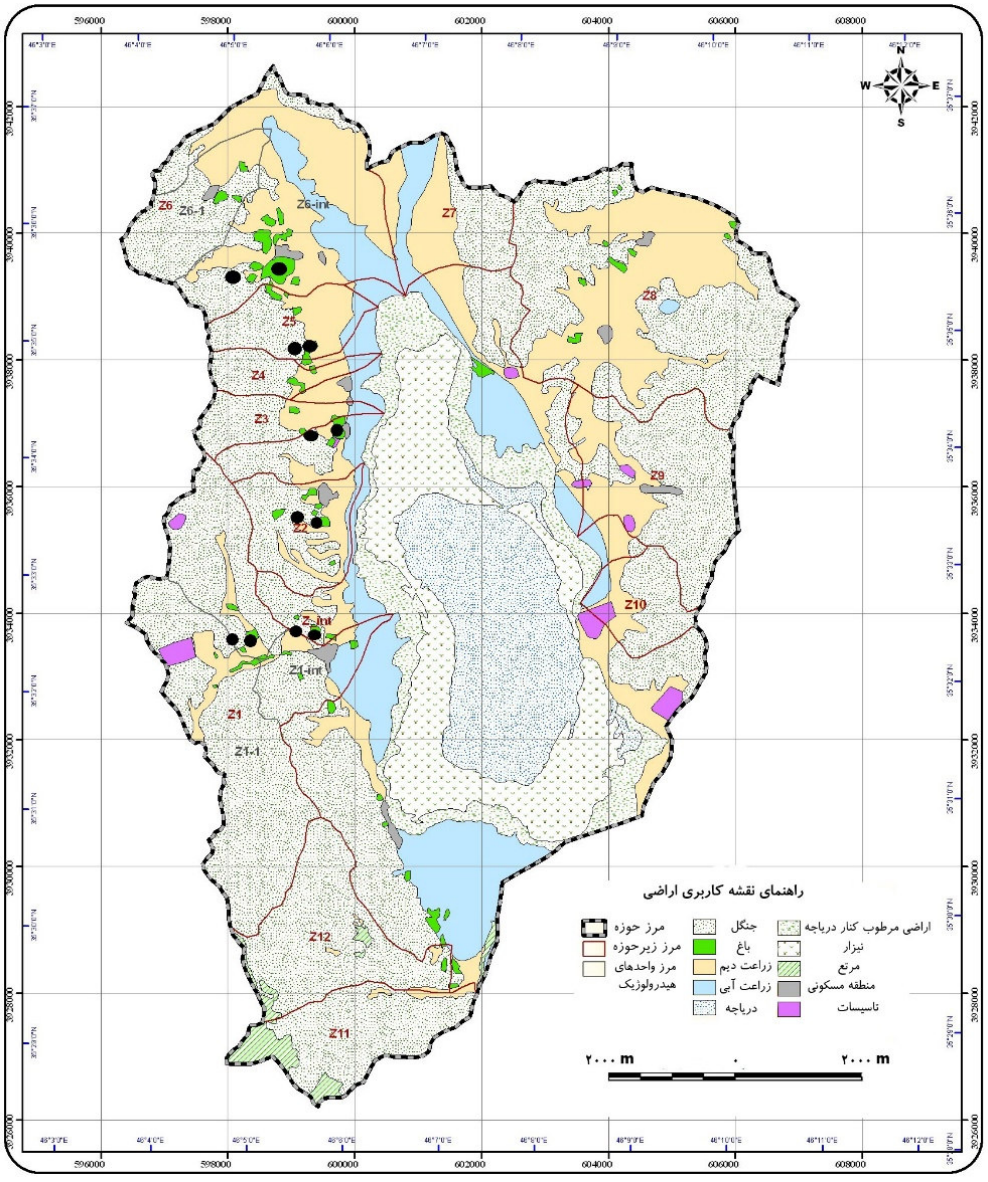
Archive of SID

www.SID.ir

اساس داده‌های ایستگاه هواشناسی سینوپتیک مریوان، اقلیم منطقه بر پایهٔ روش کوپن معتدل گرم با تابستان‌های گرم و خشک است. متوسط بارندگی سالیانه ۹۹۱٫۲ میلی‌متر در سال و متوسط دمای سالیانه ۱۲٫۰۸ درجهٔ سانتی‌گراد بود (Ide PardazaneTose'eh, 2006). گونه‌های جنگلی غالب منطقه بلوط و بنهٔ وحشی است. طی سال‌های گذشته بسیاری از عرصه‌های جنگلی در این حوضهٔ آبخیز جنگل‌تراشی شده و به‌رغم دشواری و عدم تناسب، حتی در شیب‌های بسیار شدید، تاکستان احداث شده است. تبدیل جنگل به باغ در این منطقه باعث تشدید فرسایش و حمل مقدار زیادی رسوبات به داخل دریاچه شده است.

نمونه‌برداری خاک

در حوزهٔ آبخیز دریاچهٔ زریبار شش نقطه با کاربری جنگل و تاکستان دیم، که در مجاورت جنگل دست‌نخورده قرار داشت، انتخاب شد (شکل ۱). صاحبان باغ‌های نمونه گفتند سابقهٔ تبدیل زمین‌های جنگلی به باغ بیش از سی سال است. در هر باغ و جنگل مجاور آن یک نیم‌رخ به عمق ۹۰ سانتی‌متر حفر شد (در مجموع ۱۲ نیم‌رخ خاک) و از هر نیم‌رخ در سه لایهٔ ۰ تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰ و ۶۰ تا ۹۰ سانتی‌متر نمونه‌برداری انجام شد. از آنجا که لایهٔ شخم در منطقه ۳۰ سانتی‌متر بود، تفکیک اعماق ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. فاصلهٔ نیم‌رخ‌ها و ترانسکت‌ها، با توجه به موقعیت منطقه، متغییر و اطراف دریاچهٔ زریبار بود.



شکل ۱. نقشهٔ کاربری زمین حوزهٔ آبخیز دریاچهٔ زریبار. نقاط نمونه‌برداری‌شده با دایره‌های توپر مشخص شده‌اند.

www.SID.ir

تجزیه‌های شیمیایی

در هر لایه، افزون بر نمونه‌برداری خاک، وزن مخصوص ظاهری خاک (BD) با کمک سیلندر نمونه‌های خاک دست‌نخورده اندازه‌گیری شد (Burt, 2004). بافت خاک به روش هیدرومتر تعیین شد (Burt, 2004). نمونه‌های سوسپانسیون خاک با نسبت ۱:۵ آب به خاک تهیه و هدایت الکتریکی عصاره‌ها به کمک دستگاه هدایت‌سنج اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری pH خاک در عصارهٔ ۱:۵ آب به خاک با دستگاه pH متر انجام گرفت (Burt, 2004). مقدار کربنات کلسیم معادل خاک به روش تیتراسیون برگشتی با اسید کلریدریک تعیین شد (Burt, 2004). کربن آلی کل خاک و مقدار کربن آلی در هر بخش اندازه‌ای و چگالی به روش اکسیداسیون تر اندازه‌گیری و محاسبه شد (Nelson and Sommers, 1982).

بخش‌های فیزیکی کربن آلی خاک

در بخش‌بندی فیزیکی کربن آلی خاک دو روش بخش‌بندی بر اساس اندازه و چگالی کربن آلی به‌کار رفت. برای جداسازی ذرات اولیه (ذرات هم‌اندازهٔ شن و سیلت+رس) ۵۰ گرم خاک خشک نرم (کوچک‌تر از ۲ میلی‌متر) با آب مقطر به نسبت ۱:۲/۵مخلوط و به مدت ۱۶ ساعت با دور رفت‌وبرگشتی و سرعت ۲۵۰ دور در دقیقه تکان داده شد (Puget *et al*, 1995). برای شکستن کامل ذرات از روش انرژی التراسونیک به مدت ۱۵ دقیقه استفاده شد. سوسپانسیون به‌دست‌آمده از الک ۰/۰۵۳ میلی‌متر عبور داده شده و خشک شد تا وزن بخش هم‌اندازهٔ شن به‌دست آید. ذرات رس و سیلت عبورکرده از الک از هم جدا نشدند و هر دو یک بخش در نظر گرفته شدند (Hassink *et al*, 1997).

برای بخش‌بندی کربن آلی خاک ۱۰۰ گرم خاک خشک نرم با محلول چگال یدیدسدیم (NaI) با چگالی ۱/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب مخلوط گردید. مواد شناور با چگالی کمتر از ۱/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب جدا شد. به خاک باقی‌ماندهٔ مرحله قبل دوباره محلول چگال یدیدسدیم اضافه شد. این مرحله آن‌قدر تکرار شد تا دیگر مواد آلی شناوری در نمونه‌ها باقی نماند. مجموع مواد به‌دست‌آمده در این مرحله پس از پنج بار شست‌وشوی کامل و خشک‌کردن نمونه‌ها توزین شد و به صورت وزن بخش سبک مواد آلی خاک گزارش گردید. گفتنی است به علت مقدار بسیار کم مواد سبک امکان استفاده از روش اکسیداسیون تر برای اندازه‌گیری کربن آلی آن‌ها وجود نداشت. کربن آلی موجود در خاک ته‌نشین (چگالی بیشتر از ۱/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب) و پس از خشک‌کردن نمونه‌ها به عنوان بخش سنگین در نظر گرفته شد و مقدار کربن آلی آن به روش والکلی- بلاک به‌دست آمد (Wang *et al*, 2009). دمای خشک‌کردن در همهٔ مراحل ۵±۵۵ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت بود تا موجب سوختن کربن آلی نمونه‌ها نشود.

پژوهش حاضر در قالب آزمایش فاکتوریل با طرح پایهٔ کاملاً تصادفی در ۶ تکرار انجام شد و همهٔ داده‌ها با سطح خطای ۰/۰۵ با نرم‌افزار آماری SAS تجزیهٔ آماری شد.

یافته‌ها و بحث

جدول ۱ بعضی از ویژگی‌های خاک‌های مورد پژوهش را نشان می‌دهد. درلایهٔ ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر کاربری باغ مقدار آهک و چگالی ظاهری کمتر از جنگل بود. شخم و عملیات آماده‌سازی زمین در سطح باغ شرایط را برای انتقال و احتمالاً آب‌شویی آهک فراهم کرد. سطح باغ هر سال شخم می‌خورد و کاهش چگالی ظاهری ممکن است به این دلیل باشد. با افزایش عمقْ مقدار رس و آهک در کاربری باغ افزایش یافت که می‌تواند به دلیل تبدیل کاربری و به‌هم‌خوردن توزیع آن‌ها باشد.

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی منطقهٔ مورد پژوهش

عمق	کاربری	بافت	شن	سیلت	رس	آهک	pH	EC	SOC	چگالی ظاهری
(cm)			٪					dS/m	g C/Kg	g/m^3
۰-۳۰	جنگل	لوم سیلتی	۲۸/۴۵	۵۵/۸۸	۱۵/۶۵	۳/۲۵	۷/۱	۰/۱۳	۶۵/۹	۱/۲۷
	تاکستان	لوم سیلتی	۲۱/۶۰	۶۲/۷۵	۱۵/۷۰	۱/۷۵	۷/۵	۰/۱۱	۴۴/۵	۱/۲۰
۳۰-۶۰	جنگل	لوم سیلتی	۳۷/۲۵	۵۰/۹۸	۱۱/۶۷	۳/۷۵	۷/۳	۰/۰۷	۱۶/۸	۱/۵۲
	تاکستان	لوم سیلتی	۱۷/۶۵	۶۲/۷۵	۱۹/۶۱	۳/۷۵	۷/۲	۰/۰۹	۲۲/۹	۱/۳۰
۶۰-۹۰	جنگل	لوم سیلتی	۳۵/۲۹	۵۰/۰	۱۴/۷۱	۲/۷۵	۷/۴	۰/۰۵	۱۰/۵	۱/۴۳
	تاکستان	لوم سیلتی	۱۵/۶۹	۵۰/۹۸	۳۳/۳۳	۵/۲۵	۷/۵	۰/۰۷	۱۴/۹	۱/۳۹

Archive of SID

www.SID.ir

بخش‌بندی مواد آلی بر حسب اندازهٔ ذرات نشان داد لایهٔ ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر کربن آلی موجود در بخش هم‌اندازهٔ شن بین جنگل (۴۶٫۳ گرم کربن آلی خاک بر کیلوگرم خاک خشک) و باغ (۳۰٫۶ گرم کربن آلی خاک بر کیلوگرم خاک خشک) تفاوت معنادار در سطح ۵ درصد دارند (جدول ۲). در لایهٔ ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متری خاک مقدار کربن آلی موجود در بخش هم‌اندازهٔ شن در کاربری باغ و جنگل تفاوت معناداری داشتند. در لایهٔ ۶۰ تا ۹۰ سانتی‌متری کربن آلی موجود در ذرات اندازهٔ شن در دو کاربری تفاوت معناداری نداشتند. نتایج نشان داد مقدار کربن آلی موجود در ذرات هم‌اندازهٔ شن در لایهٔ ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر هر دو کاربری تفاوت برجسته‌ای با دو لایهٔ دیگر دارد و با افزایش عمق مقدار کربن در ذرات هم‌اندازهٔ شن کاهش می‌یابد.

در کاربری جنگل ورود بقایای گیاهی و ریشهٔ گیاهان و درختان به خاک بیشتر است. همچنین عدم خاک‌ورزی سطح جنگل باعث می‌شود کربن ذخیره‌شدهٔ بیشتری در ذرات هم‌اندازهٔ شن مشاهده شود. شخم‌زدن سطح خاک در باغ در اوایل بهار باعث مخلوط‌شدن و ورود مستقیم سالیانهٔ مقدار زیادی بقایای تازهٔ گیاهی به خاک شود. این بقایا با زیر خاک رفتن از دسترس تجزیهٔ میکروبی خارج و در بخش ذرات شن ذخیره می‌شود. تبدیل جنگل به باغ در طول سی سال باعث کاهش ۱۵٫۷ تن در هکتار کربن پیوندشده با ذرات هم‌اندازهٔ شن شده است. به طور متوسط این تبدیل کاربری به هدرروی سالیانه ۰٫۵۲ تن در هکتار کربن آلی هم‌اندزهٔ ذرات شن انجامیده است. تبدیل کاربری از جنگل به باغ برخلاف لایهٔ ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر در لایه‌های دیگر باعث افزایش مقدار کربن پیوندی با ذرات هم‌اندازهٔ شن شده است که می‌تواند به دلیل خاک‌ورزی و ورود مستقیم بقایای سبز گیاهی باشد. همچنین افزایش تنفس خاک و قطع‌شدن درختان شرایط را برای تجزیهٔ ریشهٔ به‌جای‌مانده از درختان فراهم می‌کند.

جدول ۲. تغییرات کربن آلی بخش‌های متفاوت اندازه‌ای و چگالی در کاربری‌ها و اعماق مختلف

عمق (سانتی متر)	کاربری	کربن هم‌اندازهٔ شن	کربن هم‌اندازهٔ سیلت+رس	کربن بخش سنگین	کربن بخش سبک
		گرم کربن آلی بر کیلوگرم			گرم مادهٔ آلی بر کیلوگرم خاک
۰-۳۰	جنگل	۴۶٫۳۳aA	۱۹٫۵۷aA	۲۶٫۹۱ aA	۷٫۳۷ aA
	باغ	۳۰٫۶۳ bA	۱۳٫۸۸ bA	۲۱٫۸۹ bA	۳٫۵۵ bA
۳۰-۶۰	جنگل	۸٫۸۵ bB	۷٫۹۲ bB	۱۵٫۹۸ aB	۲٫۳۰ aB
	باغ	۱۳٫۰۴ aB	۹٫۹۱aA	۱۶٫۹۵ aA	۱٫۸۳ aB
۶۰-۹۰	جنگل	۵٫۰۲ aB	۵٫۴۳ bB	۱۴٫۸۵ aB	۱٫۵۳ aB
	باغ	۴٫۷۶ aB	۱۰٫۱۶ aA	۱۴٫۴۸ aA	۳٫۵۵ bB

در هر ستون حروف کوچک مقایسهٔ میانگین کاربری‌ها را در هر لایهٔ خاک و حروف بزرگ مقایسهٔ میانگین لایه‌ها را در هر کاربری نشان می‌دهد. حروف مشابه نشان‌دهندهٔ عدم تفاوت معنادار در سطح آماری ۵ درصد است.

کربن آلی بخش هم‌اندازهٔ سیلت+رس در لایهٔ ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر جنگل بیشتر از باغ بود. مقدار این بخش در دو لایهٔ ۳۰ تا ۶۰ و ۶۰ تا ۹۰ سانتی‌متر در کاربری باغ بیشتر از جنگل بود. مقدار کربن ذخیره‌شده در ذرات هم‌اندازهٔ رس‌ـسیلت در لایهٔ ۶۰ تا ۹۰ سانتی‌متر در کاربری باغ (۱۰٫۲ گرم کربن آلی خاک بر کیلوگرم خاک خشک) دو برابر بیشتر از جنگل (۵٫۴ گرم کربن آلی خاک بر کیلوگرم خاک خشک) است (جدول ۲). افزایش کربن ذخیره‌شده در بخش ذرات هم‌اندازهٔ رس+سیلت می‌تواند ناشی از انتقال مواد آلی کمپلکس‌شده با بخش معدنی خاک به لایه‌های پایین در اثر آب‌شویی و عملیات شخم و خاک‌ورزی باغ باشد.

نتایج این بررسی نشان داد سهم لایهٔ ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر در هر دو کاربری بیش از ۷۰ درصد کربن آلی بخش هم‌اندازهٔ شن و سهم لایهٔ ۳۰ تا ۹۰ سانتی‌متر به طور متوسط حدود ۹ درصد است (شکل ۲). توزیع کربن آلی بخش هم‌اندازهٔ سیلت+رس در طول پروفیل‌های مورد پژوهش یکنواخت‌تر است. به عبارت دیگر، سهم مشارکت دو لایهٔ پایینی در نگه‌داشت این بخش کربن آلی بیشتر از لایه‌های مشابه در بخش هم‌اندازهٔ شن بود. سهم هر یک از لایه‌های ۰ تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰ و ۶۰ تا ۹۰ سانتی‌متر در توزیع مادهٔ آلی بر حسب اندازهٔ ذرات در کاربری‌ها مختلف به طور متوسط به‌ترتیب ۵۱ و ۲۶ و ۲۳ درصد به‌دست آمد (شکل ۲).

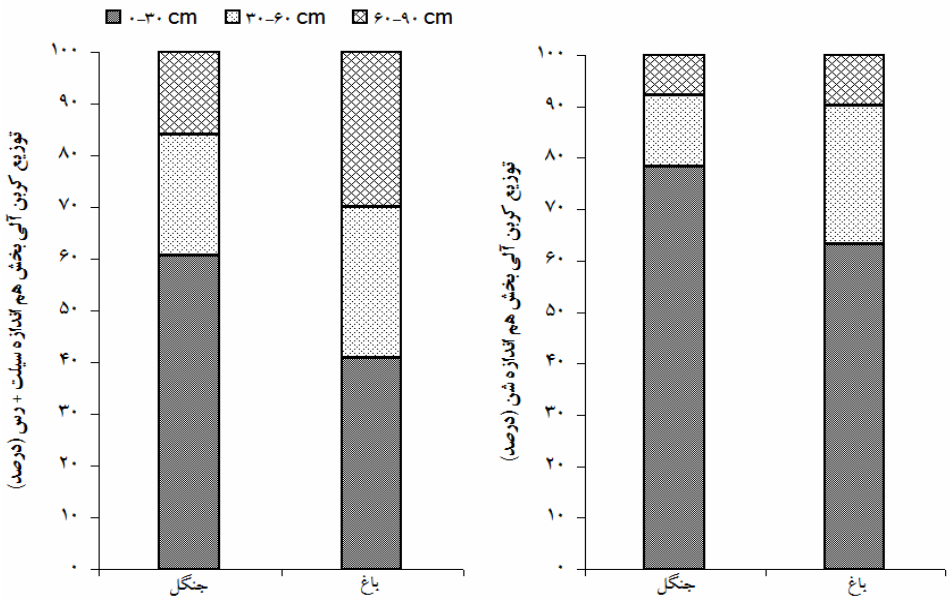
بیشترین اختلاف بین کاربری‌ها در لایهٔ ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر مربوط به بخش هم‌اندازهٔ شن بود. نتایج نشان داد در لایهٔ سطحی همهٔ کاربری‌ها درصد کربن آلی ذخیره‌شده در ذرات هم‌اندازهٔ شن به طور معنادار بیشتر از ذرات هم‌اندازهٔ

Archive of SID

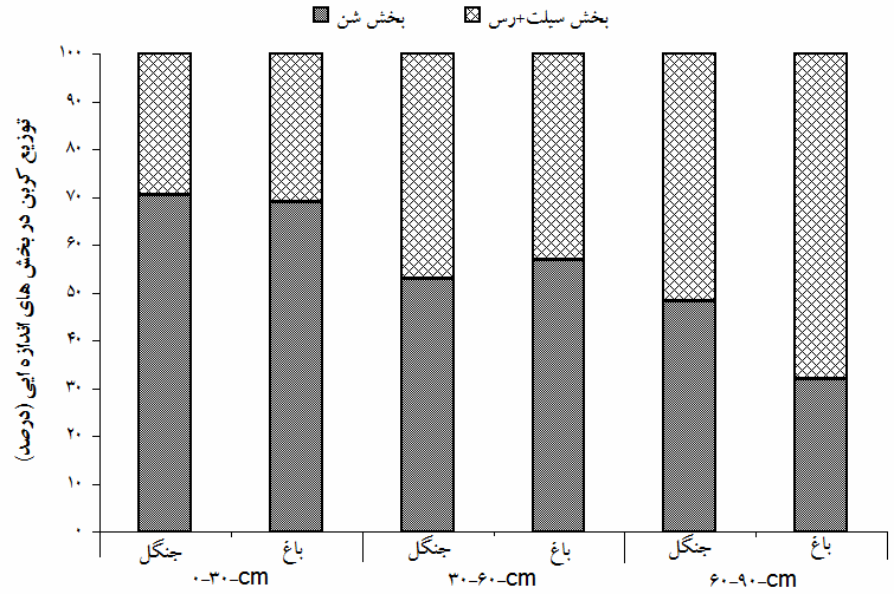
www.SID.ir

سیلت+رس است (شکل ۳). Schmidt *et al* (1999) گزارش دادند مقدار کربن آلی همراه بخش شن در لایهٔ ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر بیشتر از کربن آلی بخش هم‌اندازهٔ سیلت‌ـرس است.

تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین درصد کربن ذخیره‌شده در بخش‌های شن و سیلت+رس در لایهٔ ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متر دو کاربری مشاهده نشد. نتایج به‌دست‌آمده از درصد توزیع کربن آلی در لایهٔ ۳۰ تا ۹۰ سانتی‌متر هر یک از کاربری‌ها نشان داد بخش سیلت+رس در کاربری باغ به طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر (بیش از ۲ برابر) از بخش شن بود. مقدار زیاد کربن آلی پیوندی با بخش سیلت‌ـرس در لایهٔ زیر سطحی می‌تواند به دلیل شکستن پیوند کمپلکس آلی‌ـ معدنی خاک‌های سطحی در اثر زراعت باشد؛ که مهاجرت عمودی کربن آلی به لایهٔ زیر سطحی را در پی خواهد داشت (Murty *et al*, 2002; Balesdent *et al*, 2000).



شکل ۲. توزیع بخش‌های اندازه‌ای کربن آلی در لایه‌های مختلف نیم‌رخ خاک



شکل ۳. توزیع کربن آلی بین دو بخش اندازه‌ای شن و سیلت+رس در لایه‌های گوناگون

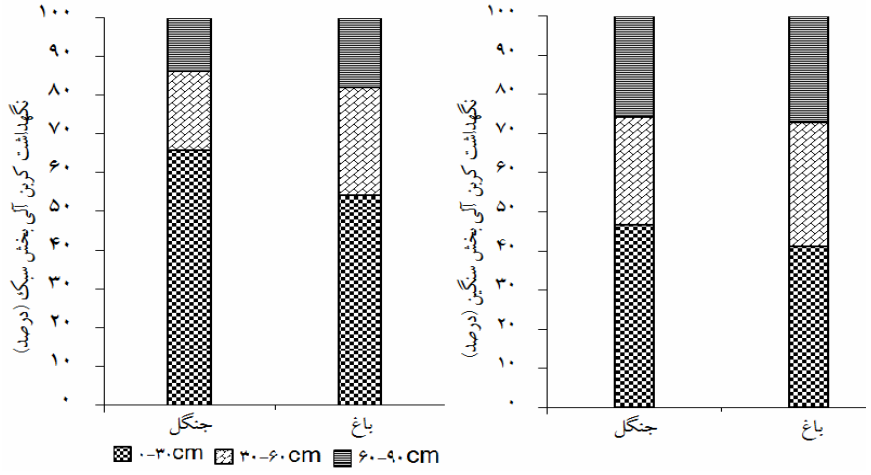
در افق سطحی مقدار کربن آلی موجود در ذرات هم‌اندازهٔ شن بیشتر از ذرات هم‌اندازهٔ سیلت+رس بود. مقدار کربن در ذرات شن در مناطق گرمسیری ۶۴-۲۹٪ کربن کل خاک را شامل می‌شود. در خاک‌های مناطق گرمسیری مقدار کربن آلی در ذرات هم‌اندازهٔ شن بیشتر از دیگر بخش‌هاست (Feller and Beare, 1997). کربن آلی همراه ذرات هم‌اندازهٔ سیلت+رس در

www.SID.ir

رابطه با همراهی آن‌ها با ذرات معدنی است. به عبارت دیگر، مواد آلی معمولاً با ذرات معدنی ترکیب‌های پیچیده تشکیل می‌دهد که در زمین‌های دست‌نخورده مقاوم است و می‌تواند مخزنی پایدار برای ذخیرهٔ کربن آلی باشد. کشاورزی در زمین‌های دست‌نخورده دسترسی این ترکیب‌ها را برای ریزجانداران افزایش می‌دهد و به سبب سطح ویژهٔ زیاد آن‌ها معدنی‌شدن کربن آلی در این ذرات تشدید می‌شود. این استدلال برای ذرات هم‌اندازهٔ شن صادق نیست؛ زیرا کربن آلی با ذرات شن کمپلکس تشکیل نمی‌دهد (Feller and Beare, 1997). اما در اثر فعالیت‌های کشاورزی خاک‌دانه‌های بزرگ می‌شکنند و کربن آلی حفاظت‌شده در آن‌ها در دسترس ریزجانداران قرار می‌گیرد و ذرات ریز خالی‌شده از کربن آلی تولید می‌شود. یافته‌های Catroux and Schnitzer (1987) نشان داد در مناطق معتدل، با کاهش اندازهٔ ذرات، معدنی‌شدن کربن آلی خاک افزایش می‌یابد.

بخش‌بندی کربن آلی بر حسب چگالی نشان می‌دهد مقدار کربن آلی بخش سنگین در لایهٔ ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر کاربری جنگل به طور چشمگیری بیشتر از کاربری باغ است. ولی در دو لایهٔ دیگر تفاوت قابل توجهی بین دو کاربری مشاهده نشد (جدول ۲). تبدیل جنگل به باغ منجر به کاهش ۵٫۰۲ گرم بر کیلوگرم کربن آلی در بخش سنگین لایهٔ ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر می‌شود. با افزایش عمق بخش سنگین کربن آلی خاک در جنگل کاهش نشان داد؛ ولی تفاوت قابل توجهی بین اعماق کاربری باغ مشاهده نشد.

مقدار کربن آلی بخش سبک مواد آلی در لایهٔ ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر کاربری جنگل بیشتر از باغ بود؛ ولی تفاوتی بین دیگر اعماق وجود نداشت (جدول ۲). با تبدیل کاربری جنگل به باغ ۱۵٫۳ تن در هکتار کاهش بخش سبک کربن آلی مشاهده می‌شود. پس از سی سال تبدیل کاربری در این منطقه و کاهش یکنواخت کربن آلی خاک، به صورت میانگین، سالیانه ۰٫۵ تن در هکتار بخش کربن سبک آلی در منطقه کاهش یافته است. در هر دو کاربری با افزایش عمق مقدار بخش سبک کاهش نشان داد و تفاوت بین لایهٔ سطحی با دو لایهٔ دیگر چشمگیر بود. کربن آلی بخش سنگین در هر سه لایه در کاربری‌ها تفاوت معناداری نشان نداد. در جنگل بیش از ۶۵٫۸ درصد کربن آلی بخش سبک تا لایهٔ ۹۰ سانتی‌متری خاک در لایهٔ شخم قرار گرفت. این لایه سهم بسزایی در نگه‌داشت کربن خاک ایفا می‌کند (شکل ۴). مقدار کربن آلی بخش سبک لایهٔ ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متر ۲۰٫۵ درصد و این نسبت برای لایهٔ ۳۰ تا۹۰ سانتی‌متر جنگل فقط ۱۳٫۶ درصد بود (شکل ۴). بیش از ۵۴ درصد کربن آلی سبک در سه لایهٔ بررسی‌شدهٔ کاربری باغ در لایهٔ ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر وجود داشت و در دو لایهٔ دیگر به‌ترتیب محتوی ۲۵٫۱۶ و ۱۷٫۸ درصد بود (شکل ۴). تبدیل جنگل به باغ باعث کاهش ۱۱٫۸ درصد نگه‌داشت کربن در لایهٔ ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر شد. ولی در دو لایهٔ دیگر نسبت به جنگل سهم این دو لایه در نگه‌داشت کربن به‌ترتیب ۴٫۶۶ و ۴٫۲ درصد افزایش داشت. این کاهش بخش سبک در لایهٔ ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر باغ نسبت به جنگل به دنبال اعمال مدیریت انسان بوده و باعث شده خاک باغ کربن آلی را کمتر از پتانسیل خود حفاظت کند. به‌هم‌زدن ساختمان خاک باغ باعث مهاجرت فیزیکی کربن آلی به لایه‌های پایین می‌شود. خاک‌ورزی شرایط را برای تجزیهٔ فیزیکی و شیمیایی کربن آلی در لایهٔ ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر فراهم می‌کند و عدم مدیریت صحیح جنگل به انتشار حجم زیادی دی‌اکسید کربن به اتمسفر و همچنین کاهش کیفیت خاک می‌انجامد (Murty *et al*, 2002; Balesdent *et al*, 2000).



شکل ۴. توزیع بخش‌های سبک و سنگین کربن آلی در اعماق مورد پژوهش

Archive of SID

www.SID.ir

یافته‌های Degrize *et al* (2004) نشان داد مقدار بخش سبک کربن آلی خاک در کاربری‌های جنگل بیش از جنگل غرس‌شده و در هر دو بیش از زمین کشاورزی است. همچنین Christensen (1992) گزارش کرد بخش سبک کربن آلی در جنگل بیشتر از زمین‌های کشاورزی است؛ زیرا در کاربری‌های کشاورزی ورودی کربن آلی به خاک محدود می‌شود. بخش سبک کربن آلی خاک یا بخش با چگالی کمتر از ۱٫۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب مترادف با بخش ناپایدار و کنش‌ور کربن آلی خاک است. بخش سبک کربن آلی خاک نسبت به بخش سنگین سریع‌تر به کارفرمایی زمین پاسخ نشان می‌دهد. پس، این بخش از کربن آلی خاک می‌تواند شاخصی در عملکرد کارفرمایی زمین روی کربن آلی خاک در نظر گرفته شود. محققان نشان دادند بعد از سی و پنج سال زراعت بخش سبک کربن آلی (چگالی کمتر از ۱٫۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب) ۱۲٫۶ درصد کاهش یافته است. از سوی دیگر، بعد از صد و هشتاد و شش سال تبدیل کاربری در لایهٔ ۰ تا ۲۰ سانتی‌متری ۹۰ درصد کربن آلی سبک در زمین تحت کشت کاهش یافته که معادل ۵٫۵ درصد کربن کل است (Basile-Doelsch *et al*, 2009). مطالعات نشان داده‌اند بخش زیادی از مواد آلی خاک در هر دو کاربری باغ و جنگل در بخش سنگین قرار گرفته است (He *et al*, 2009). جزء سبک کربن آلی خاک نسبت به کربن آلی سنگین بسیار متحرک و فعال است و حساسیت تبدیل در کربن آلی خاک ناشی از مدیریت زمین و تنش‌های محیطی را نشان می‌دهد (Wang *et al*, 2009). در این بررسی به علت فعالیت زراعی بالا در لایهٔ شخم (۰ تا ۳۰ سانتی‌متر) مشاهده شد که تبدیل کاربری بر بخش سبک کربن آلی خاک در لایهٔ ۳۰ تا ۶۰ اثر کمتری نسبت به لایهٔ ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر دارد. مقدار دگرگونی در لایهٔ ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر بسیار شدیدتر از سایر لایه‌ها بود که به دلیل حساسیت بیشتر کربن آلی این بخش به مدیریت انسانی است (Basile-Doelsch *et al*, 2007).

بخش سبک کربن آلی نسبت به مدیریت حساس‌تر بود و سهم لایهٔ ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر کل کاربری‌ها در نگه‌داشت کربن آلی بخش سبک به‌شدت قابل توجه است. برای جلوگیری از کاهش کیفیت خاک و همچنین تشدید گرمای جهانی لازم است در سطح جهانی مدیریت درستی در لایهٔ ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر خاک‌ها اعمال شود. هر گونه جنگل‌زدایی و تبدیل کاربری حجم بسیار زیادی از کربن آلی را سالیانه وارد محیط زیست می‌کند (Wang *et al*, 2009). از نتایج به‌دست‌آمده در بخش چگالی کربن آلی خاک در این پژوهش این است که بیشترین مقدار کربن آلی در همهٔ کاربری‌ها به عنوان بخش پایدار (بخش سنگین) موجود است و کمتر دستخوش دگرگونی مدیریتی می‌شود.

نتایج نشان داد تجمع مواد آلی تازه بیشتر در بخش شن اندازهٔ ذرات (Balesdent *et al*, 2000) و بخش سبک در بخش‌بندی بر اساس چگالی (Skjemstad *et al*, 1994) قرار می‌گیرد. پژوهش‌های بخش‌بندی اندازه‌ای نشان داد مواد تازه و تجزیه‌نشده در بخش هم‌اندازهٔ شن تجمع می‌یابد و سایر مواد پایدار و مقاوم مواد آلی در بخش‌های سیلت+رس قرار می‌گیرد (Rovira and Vallejo, 2003). مطالعهٔ Basile-Doelsch *et al* (۲۰۰۹) نشان داد ۸۰ تا ۵۸ درصد کربن آلی در پیوند با بخش معدنی خاک پایدار می‌شود و مکانیسم اصلی نگه‌داشت این مواد جذب سطحی کربن آلی است. بخش سنگین کربن آلی خاک می‌تواند ۲۵ تا ۹۸ درصد کربن داشته باشد (Schulten and Leinweber, 2000; Basile-Doelsch *et al*, 2005 and 2009). بنابراین، این بخش در نگه‌داشت کربن آلی خاک نقش مهمی دارد.

نتیجه‌گیری

بخش‌بندی اندازه‌ای و چگالی مواد آلی می‌تواند روشی مناسب برای شناسایی بخش‌های ناپایدار مواد آلی باشد. زیرا این بخش‌ها در مقایسه با مواد آلی کل به تغییر ورودی مواد آلی خاک و مدیریت سریع‌تر پاسخ می‌دهد و می‌تواند شاخصی در بررسی دگرگونی مقدار مواد آلی خاک باشد. کربن موجود در دانه‌های هم‌اندازهٔ سیلت+رس و بخش سنگین کربن آلی بیشتر تحت تأثیر بافت خاک است و کربن موجود در دانه‌های درشت و بخش سبک به کارفرمایی زمین وابسته است. فعالیت‌های زراعی و تبدیل کاربری زمین‌های دست‌نخورده باعث ناپایدارشدن کربن آلی خاک می‌شود. تبدیل کاربری زمین بیشترین اثر را روی بخش‌های سبک در روش چگالی بخش‌بندی و بخش هم‌اندازهٔ شن در بخش‌بندی اندازه‌ای به‌جا می‌گذارد که نشان می‌دهد بخش‌های یادشده می‌توانند شاخصی در تعیین کیفیت خاک و میزان پاسخ به مدیریت باشند. همچنین سهم لایهٔ ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر در هر دو کاربری در نگه‌داشت بخش‌های گوناگون کربن چشمگیرتر از سایر لایه‌هاست. به همین جهت برای ممانعت از خروج بیش از حد کربن به اتمسفر باید مدیریت ویژه‌ای روی لایهٔ سطحی خاک‌ها اعمال شود. هر گونه دخالت در به‌هم‌زدن زیست‌بوم‌های طبیعی به تخریب خاک و تشدید گرمای جهانی خواهد انجامید.

Archive of SID

www.SID.ir

REFERENCES

Balesdent, J., Chenu, C., and Balabane, M., (2000). Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. Soil and Tillage Research, 53: 215–230.

Basile-Doelsch, I., Amundson, R., Stone, W. E. E., Borschneck, D., Bottero, J. Y., Moustier, S., Masin, F., and Colin, F. (2007). Mineral control of carbon pools in a volcanic soil horizon. Geoderma, 137: 477–489.

Basile-Doelsch, I., Amundson, R., Stone, W., Masiello, C., Bottero, J., Colin, F., Masin, F., Borschneck, D., and Meunier, J. D. (2005). Mineral control of soil organic carbon dynamic in an allophanic soil (LaRéunion). European Journal of Soil Science 56: 689–703.

Basile-Doelsch, I., Brun, T., Borschneck, D., Masion, A., Marol, C., and Balesdent, J. (2009). Effect of landuse on organic matter stabilized in organomineral complexes: A study combining density fractionation, mineralogy and δ13C. Geoderma, 151: 77–86.

Burt, R. (2004). Soil survey laboratory methods manual. Soil Survey Investigations Report No. 42, Version 4.0. United State Department of Agriculture, Washington.

Catroux, G. and Schnitzer, M. (1987). Chemical, spectroscopic, and biological characterization of the organic matter in particle-size fractions separated from an Aquoll. Soil Science Society America Journal, 51: 1200-1207.

Christensen, B. T. (1992). Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates, Advances in Soil Sciences, 20:1-90.

Dawson, J. J. C. and Smith, P. (2007). Carbon Losses from Soil and its Consequences for Land Use Management, Sci. Total Environ. 382: 165–190.

Degryze, S., Six, J., Paustian, K., Morris, Sh., Paul, E., and Merck, R. (2004). Soil organic carbon pool changes following land-use conversions, Global Change Biology 10: 1120–1132.

Evrendilek, F., Celik, I., and Kili, S. (2004). Changes in soil organic carbon and other physical soil properties along adjacent Mediterranean forest, grassland, and cropland ecosystems in Turkey. Journal of Arid Environment 59: 743–752.

Feller C. and Beare, M. H. (1997). Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. Geoderma 79: 69-116.

Hajabbasi, M. A., Jalalian, A., and Karimzadeh, H. R. (1997). Deforestation effects on soil physical and chemical properties, Lordegan, Iran, Plant and Soil, 190: 301-308.

Hassink J., Whitmore, A. P., and Kubatb, J. (1997). Size and density fractionation of soil organic matter and the physical capacity of soils to protect organic matter. European Journal of Agronomy 7: 189–199.

He, Y., Chen, C., Xu, Z., Williams, D., and Xu, J., (2009). Assessing management impacts on soil organic matter quality in subtropical Australian forests using physical and chemical fractionation as well as 13C NMR spectroscopy. Soil Biology and Biochemistry 41: 640–650.

Huang, Z. Q., Xu, Z. H., Chen, C. R., and Boyd, S. (2008). Changes in soil carbon during the establishment of a hardwood plantation in subtropical Australia. Forest Ecology and Management 254: 46–55.

Ide PardazaneTose'eh (2006). Detailed- Executive Studies of Marivan Zrebar Lake Watershed. Kurdistan Natural Resource Office. (In Fars)

Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration to mitigate climate change. Geoderma, 123: 1–22.

Murty, D., Kirschbaum, M., McMurtrie, R., and McGilvray, H. (2002). Does conversion of forest to agricultural land change soil carbon and nitrogen? A review of the literature. Global Change Biology, 8: 105–123.

Nelson, D. W. and Sommers, L. E. (1982). Total carbon, organic carbon, and organic matter. 539-579. In A. L. Page *et al*. (eds.) Methods of Soil Analysis. Part 2. 2nd ed. Agron. Monogr. ASA and SSSA, Madison, WI.

Puget, P., Chenu, C., and Balesdent, J., (1995). Total and young organic matter distributions in aggregates of silty cultivated soils. European Journal of Soil Science, 46: 449–459.

Rovira, P. and Vallejo, V. R. (2003). Physical protection and biochemical quality of organic matter in Mediterranean calcareous forest soils: a density fractionation approach, Soil Biology and Biochemistry 35: 245–261.

Schmidt, M. W. I., Rumpel, C., and Kogel-Knabner, I. (1999). Particle size fractionation of soil containing coal and combusted particles, European Journal of Soil Science 50: 512–522.

Schulten, H. R. and Leinweber, P. (2000). New insights into organic-mineral particles: composition, properties, and models of molecular structure, Biology and Fertility of Soils 30: 399–432.

Shan H., Yan-Ni, S., Wen-Yi, R., Wu-Ren, L., and Wei-Jian, Z. (2010). Long-Term Effect of No-Tillage on Soil Organic Carbon Fractions in a Continuous Maize Cropping System of Northeast China. Pedosphere 20(3): 285–292.

Six, J., Callewaert, P., Lenders, S., De Gryze, S., Morris, S. J., Gregorich, E. G., Paul, E. A., and Paustian, K. (2002). Measuring and understanding carbon storage in afforested soils by physical fractionation, Soil Science Society of America Journal 66: 1981–1987.

Six, J., Elliott, E. T., Paustian, K., and Doran, J. W.

Archive of SID

www.SID.ir

311–321.
Wang, X. L., Jia, Y., Li, X. G., Long, R. J., Ma, Q., Li, F. M., and Song, Y. J. (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.

(1998). Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. Soil Science Society of America Journal 62: 1367–1377.
Skjemstad, J. O., Catchpole, V. R., and Le Feuvre, R. P. (1994). Carbon dynamics in vertisols under several crops as assessed by natural abundance 13C. Australian Journal of Soil Research 32: