تأثیر نوع پوشش/کاربری زمین بر ذخیره کربن آلی خاک در منطقه ابرکوه، استان یزد

چکیده

تبدیل خاک‌های بیابانی (بدون کشت) به خاک‌های کشاورزی ممکن است باعث ایجاد تغییراتی در برخی از ویژگی‌های خاک شود. این پژوهش با هدف بررسی اثر تبدیل خاک‌های بیابانی به کشاورزی (گندم و پسته) بر ذخیره کربن آلی و کربن آلی ذره‌ای خاک در منطقه ابرکوه (استان یزد) انجام شد. برای انجام این کار، سه کاربری شامل خاک‌های بیابانی، مزارع گندم و باغ‌های پسته مورد ارزیابی قرار گرفت. ۱۰ نمونه خاک مرکب از هر کاربری و از هر یک از دو عمق ۲۰–۰ و ۴۰–۲۰ سانتی‌متری جمع‌آوری شد. pH، هدایت الکتریکی، بافت، چگالی ظاهری، کربنات‌کلسیم معادل، درصد کربن آلی کل و کربن آلی ذره‌ای خاک اندازه‌گیری شد. بر اساس نتایج بدست‌آمده، با زیر کشت‌بردن خاک‌های بیابانی، چگالی ظاهری، درصد سنگریزه و هدایت الکتریکی خاک کاهش یافت. میزان کربن آلی در خاک‌های کشت شده ۵/۸–۳/۴ برابر بیشتر از خاک‌های بیابانی بود. همچنین نتایج نشان‌دهنده افزایش ۵/۷ الی ۱۵/۸ برابری کربن آلی ذره‌ای در خاک‌های مزارع گندم و باغ‌های پسته در مقایسه با خاک‌های بیابانی بود. کمترین میزان ذخیره کربن آلی در خاک‌های بیابانی (۱۹/۲۴–۰/۰ کیلوگرم در مترمربع) مشاهده شد و بیشترین میزان آن مربوط به خاک باغ‌های پسته (۱/۱–۰۸/۱۲ کیلوگرم در مترمربع) بود. با توجه به یافته‌های این پژوهش، به نظر می‌رسد کشاورزی و آبیاری پایدار خاک‌های بیابانی می‌تواند روش مناسبی جهت افزایش ذخایر کربن آلی خاک در منطقه مورد مطالعه باشد.

واژه‌های کلیدی: باغ پسته، ذخایر کربن، خاک بیابانی، کربن آلی ذره‌ای، مزرعه گندم.

مقدمه

افزایش دی‌اکسیدکربن اتمسفر باعث مشکلات زیست‌محیطی جدی می‌شود. ذخایر کربن آلی خاک[۱] (SOC) به عنوان یک استراتژی کارآمد برای جبران انتشار جهانی دی اکسید کربن پیشنهاد شده است (Wang *et al*., 2023). ترسیب کربن آلی خاک[۲] فرایندی است که طی آن دی‌اکسیدکربن اتمسفر در خاک ذخیره می‌شود. این فرایند عمدتاً توسط گیاهان و فرایند فتوسنتز صورت گرفته و کربن به شکل آلی در خاک ذخیره می‌شود. همچنین در اقلیم خشک و نیمه خشک، ترسیب کربن خاک می‌تواند از تبدیل دی‌اکسید کربن هوا به اشکال معدنی مانند کربنات ثانویه رخ دهد. با این حال، میزان تشکیل کربن معدنی نسبتاً پایین است. مقدار کربن ذخیره شده در خاک به ترتیب بیش از دو و سه برابر کربن موجود در اتمسفر و گیاهان می‌باشد (Lal, 2008).

تقریباً ۳۵ درصد از سطح زمین را اکوسیستم‌های بیابانی تشکیل می‌دهند (Liu *et al*., 2022) و در سال‌های اخیر مورد توجه جامعه علمی قرار گرفته‌اند، زیرا می‌توانند مقادیر زیادی CO_2 را ذخیره کنند و نقش مثبتی در کاهش گرمایش آب و هوا ایفا کنند (Gao *et al*., 2021). بیابان‌ها نقش مهمی در ذخیره کربن و کاهش تغییرات آب و هوایی دارند، بنابراین نمی‌توان وضعیت بیابان‌ها در چرخه جهانی کربن را نادیده گرفت (Yang *et al*., 2022). مطالعات اخیر نشان می‌دهد که میزان جذب کربن در مناطق خشک بیشتر از میزان کربن آزاد شده است و در حقیقت این مناطق به عنوان ذخیره‌کننده کربن عمل می‌کنند (Xu *et al*., 2023). احیای اکولوژیک خاک‌های بیابانی یک راهبرد موثر برای افزایش ذخیره کربن خاک و کاهش تغییرات آب و هوایی در نظر گرفته می شود (Li *et al*., 2023).

حدود یک چهارم مساحت ایران را مناطق بیابانی (بدون کشت) تشکیل می‌دهد که معمولاً بدون پوشش گیاهی یا دارای پوشش گیاهی خیلی ضعیف هستند. بارش‌های جوی کم و زیادبـودن تبخیـر در برخی از این مناطق، پیدایش خاک‌های شور را در پی داشته است. این خاک‌ها دارای مواد آلی کم و حاصلخیزی ضعیفی هستند و این عوامل به همراه اقلیم گرم و کمبود آب آبیاری مانع از توسعه کشاورزی در این مناطق شده است. بنابراین برای تولید محصولات کشاورزی آبیاری این خاک‌ها اجتناب ناپذیر است. همچنین به منظور افزایش حاصلخیزی این خاک‌ها سالیانه مقادیر زیادی از کودهای شیمیایی و گاهاً کودهای آلی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در نتیجه تبدیل خاک‌های بیابانی به خاک‌های کشاورزی ممکن است ذخایر کربن آلی خاک و کربن آلی ذره‌ای را تغییر دهد.

Moved down [۱]: در حالی که مواد آلی نقش مهمی در ساختمان خاک (خاک‌دانه‌سازی) ایفا می‌کند، خاک‌های مناطق خشک مرکزی ایران دارای مواد آلی کمی هستند و به‌منظور تولید محصولات کشاورزی نیاز به آبیاری و کاربرد کودهای شیمیایی و آلی دارند. تا به امروز پژوهش‌های کمی در مورد ذخایر کربن آلی خاک و کربن آلی ذره‌ای در خاک‌های بیابانی و خاک‌های کشاورزی (زراعی یا باغی) مجاور آن، انجام شده است. بنابراین هدف از انجام این پژوهش بررسی آثار تبدیل خاک‌های بیابانی به کشاورزی (گندم و پسته) بر میزان کربن آلی، کربن آلی ذره‌ای و ذخایر کربن خاک در منطقه ابرکوه (استان یزد) بود.¶

۱. Soil organic carbon
2. Soil organic carbon sequestration

خاک‌های بیابانی مناطق خشک و نیمه‌خشک با چالش‌هایی مانند کمی مقدار کربن آلی خاک (حاصلخیزی) مواجه هستند. تغییر کاربری اراضی به طور گسترده‌ای به عنوان یک عامل کلیدی تغییرات کربن در جهان محسوب می‌شود (Gao *et al*., 2017; Zhang *et al*., 2018). نوع کاربری و پوشش گیاهی آن، از طریق ورود بقایای گیاهی به خاک و تجزیه آن، از مهمترین عوامل موثر بر ذخایر کربن آلی در محیط پیرامون محسوب می‌شود (Liu *et al*., 2017). مناطق خشک و نیمه‌خشک بیش از ۸۲ درصد مساحت کشور ایران را تشکیل می‌دهند. بنابراین، به دلیل سرعت تخریب بالای خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک و سطح زیر کشت این خاک‌ها در کشور، مدیریت کربن آلی خاک‌ها در این شرایط اهمیت ویژه‌ای دارد (فیضی و همکاران، ۱۳۹۹). مطالعات در مناطق خشک نشان می‌دهد که تبدیل اراضی طبیعی دست نخورده به اراضی کشاورزی ممکن است باعث افزایش ذخایر کربن آلی خاک شود. نتایج Fallahzade and Hajabbasi (2012) نشان داد که عملیات کشاورزی در بیابان‌های خشک مرکز ایران به طور قابل توجهی میزان کربن آلی خاک را افزایش می‌دهد. همچنین Jia *et al*. (2017) مشاهده کردند که استقرار گیاه در بیابان خشک چین به طور قابل توجهی میزان کربن توده زنده و کربن آلی خاک را افزایش می‌دهد. در شمال غربی چین، Dong *et al*. (2016) اراضی شنی طبیعی و اراضی کشاورزی (یونجه و گندم) مجاور آنرا مورد بررسی قرار دادند و مشاهده کردند که مواد آلی خاک در اراضی کشاورزی به صورت معنی‌داری بیشتر از اراضی طبیعی است.

در قسمت‌های شمال غربی چین، Zhang *et al*. (2017) مشاهده کردند با زیر کشت بردن اراضی بیابانی کربن آلی و نیتروژن کل خاک ۷/۳ و ۶/۷ برابر افزایش یافته است. Li and Shao (2014) ملاحظه کردند که میزان کربن آلی خاک بعد از ۴۰ سال احیاء اراضی بیابانی در شمال غربی چین افزایش یافته است. ایشان ذخایر SOC در پروفیل‌های ۳ متری برای بیابان و خاک‌های زراعی را به ترتیب ۵۹/۳۵ و ۱۴۹/۶ مگاگرم در هکتار گزارش کردند. با این حال این محققین مشاهده کردند که کشت کوتاه مدت اراضی بیابانی نمی‌تواند تاثیر معنی‌داری بر ذخایر کربن آلی خاک داشته باشد. Raiesi (2007) گزارش کرد که تفاوت در نتایج حاصله از تأثیر تغییر کاربری اراضی بر خصوصیات شیمیایی و بیولوژی خاک در مناطق خشک و نیمه خشک با مناطق معتدله و گرمسیر به ویژگی های ذاتی مراتع مثل قدرت تولید، وضعیت مواد آلی، مواد غذایی خاک و مدیریت مراتع، نوع گیاه استفاده شده در تغییر کاربری زمین و انعطاف پذیری مرتع به تغییرات ایجاد شده مربوط می‌شود. یافته‌های Li *et al*. (2022b) نشان داد که احیای پوشش گیاهی طولانی‌مدت در مناطق بیابانی چین، درصد آزاد شدن CO_2 از خاک را کاهش داد، بنابراین منجر به تجمع SOC شد.

یکی از بخش‌های مهم مواد آلی ناپایدار خاک کربن آلی ذره‌ای[۱] (POC) بوده که بیشتر شامل بقایای گیاهی کمتر تجزیه‌شده است (Cambardella and Elliott, 1992). Six *et al*. (2000) گزارش کردند POC نقش بسیار مهمی در تشکیل و پایداری خاک‌دانه‌ها دارد و همچنین بیشترین حساسیت را نسبت به تغییرات مدیریتی و کاربری به خود اختصاص داده است. POC از طریق تشکیل هسته‌های آلی که توسط ذرات رس و سیلت احاطه شده، ساختمان خاک را بهبود می‌بخشد. نتایج پژوهش Wang *et al*. (2023b) نشان داد که خاک‌ورزی عمیق می‌تواند ویژگی‌های خاک، ذخایر و از دست دادن SOC را تغییر دهد. خاک‌ورزی عمیق به طور قابل توجهی (۷/۴ درصد) ذخایر SOC را نسبت به خاکورزی مرسوم افزایش داد. بر اساس تجزیه و تحلیل متاآنالیز[۲]، بافت ریز خاک، بقایای باقی‌مانده، کشت مضاعف و میزان بالای کود نیتروژن، ذخیره SOC را در مقایسه با بافت شنی، حذف بقایای گیاهی، سیستم تک‌کشتی و ورودی کود نیتروژن کم به میزان زیادی ارتقا داده است.

در حالی که مواد آلی نقش مهمی در ساختمان خاک (خاک‌دانه‌سازی) ایفا می‌کند، خاک‌های مناطق خشک مرکزی ایران دارای مواد آلی کمی هستند و به‌منظور تولید محصولات کشاورزی نیاز به آبیاری و کاربرد کودهای شیمیایی و آلی دارند. تا به امروز پژوهش‌های

۱. Particulate organic carbon
۲. Meta–analysis

Deleted: پیشینهٔ پژوهش¶

Moved (insertion) [1]

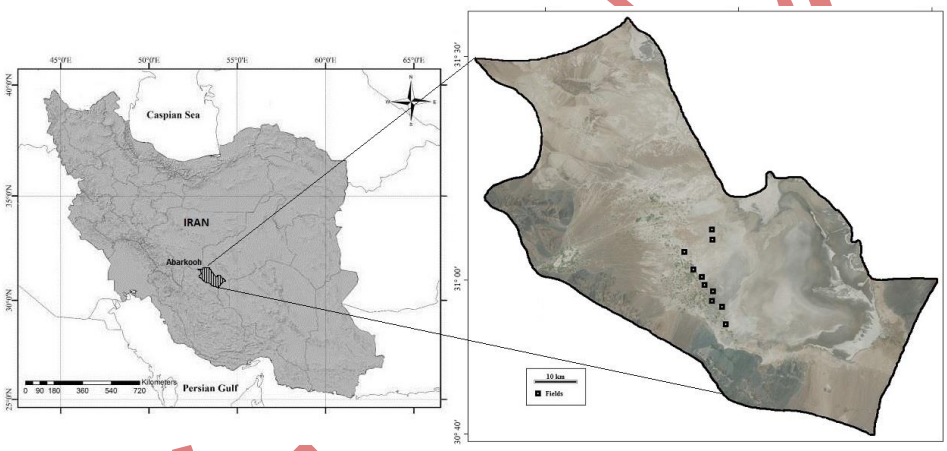
کمی در مورد ذخایر کربن آلی خاک و کربن آلی ذره‌ای در خاک‌های بیابانی و خاک‌های کشاورزی (زراعی یا باغی) مجاور آن انجام شده است. بنابراین هدف از انجام این پژوهش بررسی آثار تبدیل خاک‌های بیابانی به کشاورزی (گندم و پسته) بر میزان کربن آلی، کربن آلی ذره‌ای و ذخایر کربن خاک در منطقه ابرکوه (استان یزد) بود.

Deleted: ¶

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی محل مطالعه

منطقه مورد مطالعه بخش بهمن در جنوب شرقی شهرستان ابرکوه واقع شده است (شکل ۱). این شهرستان در ۱۴۰ کیلومتری جنوب غربی شهر یزد واقع شده و میانگین ارتفاع آن از سطح دریا ۱۵۰۰ متر است. بر اساس آمار ایستگاه سینوپتیک واقع در شهرستان ابرکوه، آب و هوای این شهرستان خشک با تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های نیمه‌سرد بوده و میانگین بارندگی و تبخیر سالیانه آن به ترتیب ۶۰ و ۲۸۰۰ میلی‌متر است (Fallahzade and Hajabbasi, 2012).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی شهرستان ابرکوه، بخش بهمن و ۱۰ مکان نمونه‌برداری

نمونه‌برداری خاک

در این پژوهش سه نوع کاربری شامل خاک‌های بیابانی، خاک‌های زراعی–آبی تحت کشت گندم و خاک‌های باغی تحت کشت پسته انتخاب شد و نمونه‌برداری خاک به صورت تصادفی انجام گرفت. پوشش گیاهی خاک‌های بیابانی بسیار ضعیف بوده و شامل بوته‌های گز (*Tamarix hispida Willd*) است. عملیات کشاورزی طی سال‌های ۱۳۵۰ تا ۱۳۶۰ در خاک‌های بیابانی آغاز گردید و سیستم آبیاری غرقابی به منظور کاهش سطح شوری خاک و همچنین تامین آب برای تولید محصولات کشاورزی اجرا شد. از آنجایی که گندم و پسته دو محصول کشاورزی مهم در این منطقه محسوب می‌شوند و دارای بیشترین سطح زیر کشت (۴۷۰۰ هکتار خاک‌های زیر کشت پسته و ۳۲۰۰ هکتار خاک‌های زیر کشت گندم) هستند، این دو نوع گیاه برای آزمون فرضیه‌های این پژوهش انتخاب شده‌اند. در خاک‌های کشت شده، کودهای شیمیایی مانند اوره، دی‌آمونیوم فسفات و سولفات پتاسیم (بیشتر در باغ‌های پسته) برای افزایش حاصلخیزی خاک استفاده می‌شود. همچنین کشاورزان در باغ‌های پسته سالانه ۲۰ تا ۴۰ تن در هکتار از کودهای گوسفندی و گاوی در قسمت سایه‌انداز

درخت استفاده می‌کنند. خاک‌ورزی خاک بیشتر بوسیله شخم با گاوآهن برگردان‌دار همراه با دیسک صورت می‌پذیرد. هر سال، در باغ‌های پسته زیر تاج پوشش یا سایه انداز درختان شخم زده می‌شود.

آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۰ تکرار انجام شد. لازم به ذکر است مکان‌های نمونه‌برداری که در شکل ۱ مشخص هستند، به‌عنوان بلوک در نظر گرفته شدند. به این دلیل که ۱۰ مکان نمونه‌برداری از نظر کیفیت و مدیریت آب آبیاری، مصرف کودهای شیمیایی و آلی و برخی ویژگی‌های خاک (بافت، شوری و میزان آهک) با هم تفاوت داشتند، طرح پایه بلوک انتخاب شد. در اواخر مردادماه سال ۱۳۹۷ (پس از برداشت محصول گندم و بیست روز پس از آخرین آبیاری باغ‌های پسته)، ده مکان نمونه‌برداری که هر یک از این مکان‌ها دارای سه کاربری (گندم، پسته و خاک‌های بیابانی بدون کشت) بود، انتخاب شدند. نحوه انتخاب ۱۰ مکان به صورتی بود که سه کاربری در هر مکان در مجاورت هم بوده و از نظر مواد مادری، توپوگرافی، بافت خاک (بر اساس نقشه خاک‌ها) و دیگر شرایط محیطی تقریباً مشابه باشند تا بتوان تفاوت در ویژگی‌های خاک‌های کشاورزی نسبت به خاک‌های بیابانی را ناشی از عملیات آبیاری، کوددهی و خاک‌ورزی در خاک‌های کشاورزی دانست.

در زمان نمونه‌برداری، خاک‌های هر سه کاربری خشک بودند. در باغ‌های پسته، نمونه‌برداری خاک در سایه‌انداز درخت انجام شد. در هر کاربری ده کرت با مساحت تقریبی ۱۰ مترمربع انتخاب شد و نمونه‌های خاک به‌طور تصادفی از دو عمق ۲۰–۰ و ۴۰–۲۰ سانتی‌متری در مکان‌های مختلف هر کرت با بیل برداشته شدند. سپس نمونه‌های خاک ۱۰ کرت مخلوط شد و به عنوان یک نمونه مرکب (۵ کیلوگرم) در نظر گرفته شد. از آنجایی که در هر مکان نمونه‌برداری، هر سه کاربری در توپوگرافی مشابه (مسطح) قرار داشتند و همه خاک‌ها دارای بافت یکسان و سنگ بستر مشترک (سنگ آهک) بودند، بنابراین با در نظر گرفتن همگن‌بودن خاک‌ها، می‌توان نمونه خاک مرکب را به‌عنوان نمونه‌ای معرف از هر کاربری در نظر گرفت. در مجموع ۶۰ نمونه مرکب خاک (۱۰ مکان × ۳ کاربری × ۲ لایه) جمع‌آوری و برای آماده‌سازی و تجزیه به آزمایشگاه منتقل شدند.

آماده‌سازی خاک‌ها

نمونه‌های ترکیبی خاک در دمای اتاق (۲۵ درجه سلسیوس) حداقل به مدت یک هفته هوا خشک شدند. پس از خشک‌شدن، نمونه خاک ها برای انجام آزمایش‌های شیمیایی (pH، هدایت الکتریکی، کربنات‌کلسیم، کربن آلی و کربن آلی ذره‌ای) و فیزیکی (بافت) کوبیده شد و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد.

اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک

pH خاک در گل اشباع، هدایت الکتریکی در عصاره اشباع و کربنات‌کلسیم معادل خاک از طریق خنثی‌سازی با اسید کلریدریک و تیتراسیون برگشتی با هیدروکسید سدیم اندازه‌گیری شد. درصد کربن آلی کل خاک با اکسیداسیون تر اندازه‌گیری شد (Jones, 1999). کربن آلی ذره‌ای خاک از روش کاهش وزن به وسیله سوزاندن[۱] اندازه‌گیری شد (Cambardella and Elliott, 1992). به این صورت که به ۳۰ گرم از خاک، ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول ۵ درصد کالگون (هگزامتافسفات سدیم) اضافه گردید و به مدت ۱۶ ساعت با سرعت ۱۲۰ دور در دقیقه توسط دستگاه شیکر تکان داده شد. در مرحله بعد سوسپانسیون حاصله روی الک ۵۳ میکرومتر ریخته شد و با آب مقطر به خوبی شسته شد تا آب خروجی شفاف گردد. مواد باقی‌مانده روی الک که شامل ماده آلی و ذرات شن می‌شوند در آون دمای ۵۵ درجه سلیسیوس خشک گردید و توزین شد (وزن اولیه). سپس این مواد برای مدت زمان ۴ ساعت درکوره الکتریکی (دمای ۴۵۰ درجه سلیسیوس) قرار داده

۱. Loss on Ignition

شد تا تمام مواد آلی به خاکستر تبدیل شود. در مرحله بعد، خاکستر و ذرات شن توزین گردید (وزن ثانویه) و مقدار ماده آلی ذره‌ای خاک[1] (POM) از تفاوت وزن اولیه و ثانویه به دست آمد. در نهایت مقدار کربن آلی ذره‌ای از رابطهٔ (۱) محاسبه گردید:

رابطهٔ ۱) $$POC = (\frac{POM}{1.724})$$

که در آن: POM مقدار مواد آلی ذره‌ای و POC مقدار کربن آلی ذره‌ای خاک است.

درصد سنگریزه سطحی با استفاده از الک با قطر منافذ ۲ میلی‌متری و به روش حجمی بدست آمد. به منظور اندازه‌گیری چگالی ظاهری خاک، در زمان نمونه‌برداری، با استفاده از استوانه فلزی (قطر ۵/۵ و ارتفاع ۴/۲ سانتی‌متر) نمونه‌های خاک جمع‌آوری شد و بعد از انتقال به آزمایشگاه در آون (دمای ۱۰۵ درجه سلیسیوس) به مدت زمان ۲۴ ساعت خشک گردید و سپس چگالی ظاهری از رابطهٔ (۲) محاسبه شد:

رابطهٔ ۲) $$P_b = \frac{M_t}{V_t}$$

که در آن: P_b چگالی ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌مترمکعب)، M_t وزن خاک آون خشک (گرم) و V_t حجم کل خاک (سانتی‌مترمکعب) است.

با تعیین چگالی ظاهری و استفاده از رابطهٔ (۳) تخلخل کل نیز محاسبه شد:

رابطهٔ ۳) $$n = \left(1 - \frac{P_b}{P_s}\right) \times 100$$

که در آن: n تخلخل کل، P_b چگالی ظاهری و P_s چگالی حقیقی (۲/۶۵ گرم بر سانتی‌مترمکعب) است.

از روش پیپت برای اندازه‌گیری توزیع اندازه ذرات خاک استفاده شد (گی و بادر، ۱۹۸۶) و سپس بافت خاک بر اساس سیستم USDA طبقه‌بندی شد.

مقدار ذخیره کربن آلی خاک از رابطهٔ (۴) محاسبه شد (Zhang *et al*., 2008):

رابطهٔ ۴) $$C\ Pool = SOC \times P_b \times D \times (1 - \frac{G}{100})$$

که در آن: C Pool ذخیره کربن آلی خاک ($kg.m^{-2}$)، SOC کربن آلی خاک ($g.kg^{-1}$)، P_b چگالی ظاهری ($g\ cm^{-3}$)، D عمق خاک (۰/۲ متر) و G درصد حجمی سنگریزه می‌باشد. با توجه به ارزش ۵۰ دلاری هر تن ذخیره کربن (Luciuk *et al*., 2000) و میزان ذخایر کربن اضافه شده در خاک‌های کشاورزی (عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری)، ارزش ذخیره کربن به ازای هر هکتار محاسبه شد. میزان ذخایر کربن اضافه شده در خاک‌های کشاورزی نیز از تفاضل ذخیره کربن خاک‌های کشاورزی و بیابانی بدست آمد. از آنجایی که کیفیت آب آبیاری روی شوری خاک و رشد گیاه تأثیرگذار است، بنابراین آب آبیاری ۱۰ مکان جمع‌آوری شد و در آزمایشگاه، pH و هدایت الکتریکی آب‌ها اندازه‌گیری شد.

تجزیه و تحلیل آماری

مقایسه برخی از ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک در کاربری‌های مختلف بوسیله تجزیه واریانس (ANOVA) و آزمون توکی (در سطح آماری ۵ درصد) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و با ۱۰ تکرار انجام شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 انجام شد. به منظور بررسی و مقایسه ویژگی‌های خاک در دو عمق ۲۰-۰ و ۴۰-۲۰ سانتی‌متری از نسبت لایه‌بندی[2] (SR) استفاده شد. طبق تعریف، نسبت لایه‌بندی ویژگی‌های خاک عبارت از مقادیر ویژگی‌های سطحی خاک تقسیم بر مقادیر همان ویژگی‌ها

۱. Particulate organic matter
۲. Stratification ratio (SR)

در لایه زیر سطحی است (Franzluebbers, 2002). بنابراین در این پژوهش، نسبت لایه‌بندی ویژگی‌های خاک تحت تأثیر تغییر کاربری با تقسیم مقادیر در عمق ۲۰–۰ سانتی‌متر بر مقادیر مربوطه در عمق ۴۰–۲۰ سانتی‌متر محاسبه شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکی خاک

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، هرچند اثر کاربری بر درصد سنگریزه خاک در هر دو لایه معنی‌دار گردید، ولی تبدیل خاک‌های بیابانی به کشاورزی تأثیر معنی‌داری بر درصد ذرات شن، سیلت، رس نداشت (جدول ۱) که احتمالاً دلیل آن می‌تواند یکسان بودن مواد مادری در خاک‌های بیابانی و کشاورزی باشد.

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس اثر کاربری بر سنگریزه و ذرات معدنی تشکیل‌دهنده خاک

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		۲۰–۰ سانتی‌متری				۴۰–۲۰ سانتی‌متری			
		سنگریزه	شن	سیلت	رس	سنگریزه	شن	سیلت	رس
بلوک	۹	۰/۲۹	۶۹/۴۸	۴۳/۶۱	۲۸/۹۶	۰/۳۰	۵۰/۲۸	۱۴/۹۸	۲۴/۸۷
کاربری	۲	۲/۹۲**	۱۶۶/۶	۹۷/۶۳	۲۳/۶۳	۰/۷۹*	۸/۸۳	۲۸/۳۳	۵/۹۶
خطا	۱۸	۰/۳۳	۵۴/۱۸	۳۴/۹۵	۱۳/۰۳	۰/۲۱	۶۵/۵۴	۷۰/۵۸	۱۴/۸۶

* و **: به ترتیب معنی‌دار شدن در سطح آماری ۵ و ۱ درصد.

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که درصد سنگریزه در لایه رویین خاک‌های بیابانی بیشتر از خاک مزارع گندم بود (جدول ۲) که احتمالاً دلیل آن جابجایی مواد ریز از سطح خاک‌های بیابانی توسط نیروی باد باشد. با این وجود درصد رس، سیلت و شن در خاک‌های بیابانی و کشت‌شده از نظر آماری تفاوت معنی‌داری نداشتند و بافت همه خاک‌ها لوم رسی بود. Li *et al.* (2009) با مقایسه ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک بعد از ۱۰ سال تبدیل خاک‌های بیابانی به کشاورزی بیان کردند که هرچند میزان رس خاک بین کاربری‌های مختلف مشابه بود، ولی خاک‌های زیر کشت گندم– یونجه میزان شن بیشتر و سیلت کمتری نسبت به خاک‌های بیابانی داشتند.

جدول ۲. ویژگی‌های فیزیکی در خاک‌های بیابانی، مزارع گندم و باغ‌های پسته در دو لایه

ویژگی	کاربری	۲۰–۰ سانتی‌متری		۴۰–۲۰ سانتی‌متری	
		میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار
سنگریزه (٪)	بیابان	۳/۶ a	۰/۷	۲/۸ ab	۰/۵
	گندم	۲/۵ b	۰/۵	۲/۵ b	۰/۴
	پسته	۳/۰ ab	۰/۵	۳/۰ a	۰/۵
شن (٪)	بیابان	۳۹/۴	۷/۵	۴۲/۸	۸/۰
	گندم	۴۲/۶	۸/۱	۴۱/۸	۸/۰
	پسته	۴۷/۵	۷/۴	۴۳/۷	۷/۳
سیلت (٪)	بیابان	۳۱/۲	۶/۸	۲۹/۷	۷/۴
	گندم	۳۰/۸	۶/۳	۳۱/۸	۶/۴

	پسته	۲۵/۶	۵/۳	۲۸/۵	۷/۸
	بیابان	۲۹/۴	۲/۶	۲۷/۶	۲/۷
رس (٪)	گندم	۲۶/۶	۴/۹	۲۶/۴	۵/۲
	پسته	۲۶/۹	۴/۹	۲۷/۸	۴/۶

برای هر ویژگی و در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف متفاوت هستند، در سطح پنج درصد آزمون توکی اختلاف معنی‌دار دارند.

چگالی ظاهری و تخلخل خاک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر کاربری بر چگالی ظاهری و تخلخل خاک در هر دو لایه معنی‌دار شد (جدول ۳). چگالی ظاهری خاک‌های بیابانی (عمق ۲۰—۰ سانتی‌متری) به طور معنی‌داری بیشتر از خاک باغ‌های پسته بود (شکل ۲). این نتایج با یافته‌های Zhang *et al.* (2017) هم‌خوانی داشت. آنها کاهش ۸/۸ درصدی چگالی ظاهری خاک را پس از تبدیل خاک‌های بیابانی به خاک‌های کشاورزی که در آنها کود شیمیایی و حیوانی استفاده شده است، گزارش نمودند. احتمالاً کاربرد کودهای شیمیایی و حیوانی باعث کاهش چگالی ظاهری خاک شده است که این کاهش ممکن است منعکس‌کننده افزایش حجم ریشه گیاه بخاطر استفاده از این کودها باشد. لازم به ذکر است در اکثر خاک‌های کشت‌شده، ریشه گیاهان مشاهده شد و سعی گردید در زمان نمونه‌برداری و آماده‌سازی، جداسازی و حذف شوند. بر خلاف این نتایج، Li *et al.* (2009) بیان کردند که چگالی ظاهری در تمام خاک‌های کشت‌شده بیشتر از خاک‌های بیابانی بود.

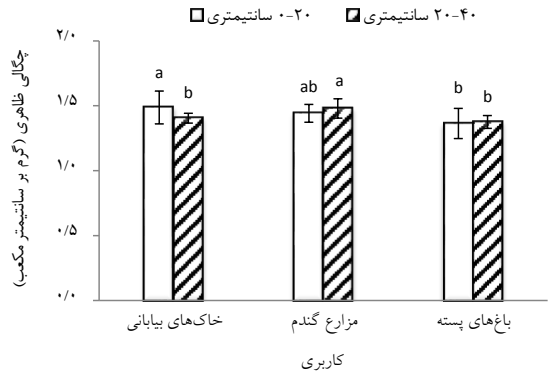
جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس اثر کاربری بر چگالی ظاهری و تخلخل کل خاک

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		۲۰—۰ سانتی‌متری		۴۰—۲۰ سانتی‌متری	
		چگالی ظاهری	تخلخل کل	چگالی ظاهری	تخلخل کل
بلوک	۹	۰/۰۱۲	۱۷/۶۶	۰/۰۰۳	۳/۲۱
کاربری	۲	۰/۰۳۹*	۵۵/۴۴*	۰/۰۲۸**	۴۰/۹۰**
خطا	۱۸	۰/۰۱۱	۱۵/۵۹	۰/۰۰۳	۴/۱۶

* و **: به ترتیب معنی‌دار شدن در سطح آماری ۵ و ۱ درصد.

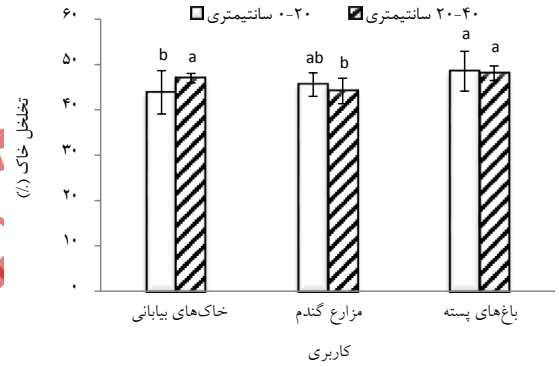
خاک‌ورزی خاک به عنوان یکی دیگر از دلایل کاهش چگالی ظاهری خاک باغ‌های پسته در نظر گرفته شد، به‌طوری‌که نتایج پژوهش Salem *et al.* (2015) نشان داد که خاک‌ورزی مرسوم در مقایسه با روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی (بدون خاک‌ورزی و خاک‌ورزی حداقل) چگالی ظاهری خاک را به‌طور محسوسی کاهش می‌دهد. بنابراین، احتمال دارد کاهش چگالی ظاهری به دلیل به‌هم خوردن خاک در اثر شخم زدن باشد.

ویرایش اولیه نشده



شکل ۲. مقایسه چگالی ظاهری خاک در کاربری‌های مختلف. در هر لایه، میانگین‌ها با حروف متفاوت، در سطح ۵ درصد آزمون توکی تفاوت معنی‌داری دارند.

تخلخل در خاک باغ‌های پسته (۴۸/۵۲ درصد) بیشتر از خاک‌های بیابانی (۴۳/۸۷ درصد) بود (شکل ۳). این نتایج نیز با یافته‌های Zhang *et al*. (2017) و فیضی و همکاران (۱۳۹۹) هم‌خوانی داشت. دلیل کاهش چگالی ظاهری و همچنین افزایش تخلخل خاک باغ‌های پسته در مقایسه با خاک‌های بیابانی احتمالاً افزایش کربن آلی خاک به دلیل استفاده از کود آلی و افزودن بقایای گیاهی بیشتر در خاک باغ‌های پسته باشد (Brar *et al*., 2013; Chaudhary *et al*., 2017). افزایش محتوای کربن آلی خاک می‌تواند تهویه و فعالیت بیولوژیک خاک را بهبود بخشد. این اثر می‌تواند یک بازخورد مثبت برای توسعه بیشتر تخلخل خاک باشد (Zhang *et al*., 2017).

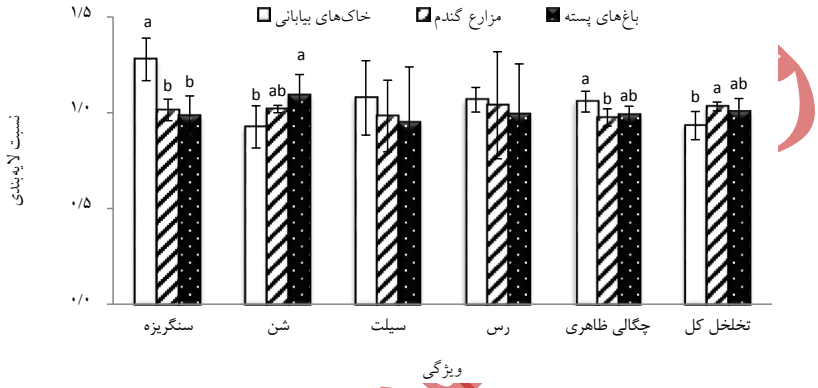


شکل ۳. مقایسه تخلخل کل خاک در کاربری‌های مختلف. در هر لایه، میانگین‌ها با حروف متفاوت، در سطح ۵ درصد آزمون توکی تفاوت معنی‌داری دارند.

نسبت لایه‌بندی ویژگی‌های فیزیکی خاک

شکل ۴، نسبت لایه‌بندی ویژگی‌های فیزیکی خاک در کاربری‌های مختلف را نشان می‌دهد. نسبت لایه‌بندی سنگریزه در خاک‌های بیابانی (۱/۲۸) در مقایسه با مزارع گندم (۱/۰۱) و باغ‌های پسته (۰/۹۹) به صورت معنی‌داری بیشتر بود که دلیل اصلی آن آماده‌سازی بستر در کاربری کشاورزی و باغ پسته می‌باشد. همچنین جابجایی ذرات ریز فرسایش‌پذیر از سطح خاک‌های بیابانی توسط نیروی باد نیز

ممکن است باعث افزایش درصد سنگریزه در عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری شده باشد. نسبت لایه‌بندی درصد شن در خاک‌های بیابانی (۰/۹۳) در مقایسه با باغ‌های پسته (۱/۰۹) کمتر بود (شکل ۴-۵) که احتمالاً دلیل آن جابجایی ذرات شن از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری خاک‌های بیابانی توسط فرایند فرسایش بادی باشد. نسبت لایه‌بندی چگالی ظاهری در خاک‌های بیابانی (۱/۰۶) از مزارع گندم (۰/۹۸) بیشتر بود و برعکس، نسبت لایه‌بندی تخلخل در خاک‌های بیابانی (۰/۹۳) از مزارع گندم (۱/۰۳) کمتر بود که احتمالاً دلیل آن تجمع ریشه گندم در عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری باشد.



شکل ۴. نسبت لایه‌بندی ویژگی‌های فیزیکی خاک در کاربری‌های مختلف. میانگین‌ها با حروف متفاوت، در سطح ۵ درصد آزمون توکی تفاوت معنی‌داری دارند. میانگین ± انحراف معیار.

ویژگی‌های شیمیایی خاک

هدایت الکتریکی، pH و کربنات‌کلسیم معادل

جدول ۴ نتایج تجزیه واریانس اثر کاربری بر برخی از ویژگی‌های شیمیایی خاک را نشان می‌دهد. هر چند اثر تغییر کاربری بر هدایت الکتریکی (در هر دو لایه) و pH (در عمق ۰-۲۰ سانتی‌متری) معنی‌دار شد ولی تبدیل خاک‌های بیابانی به کشاورزی تأثیر معنی‌داری بر کربنات‌کلسیم معادل نداشت.

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس اثر کاربری بر برخی از ویژگی‌های شیمیایی خاک

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری			عمق ۴۰-۲۰ سانتی‌متری		
		هدایت الکتریکی	pH	کربنات‌کلسیم معادل	هدایت الکتریکی	pH	کربنات‌کلسیم معادل
بلوک	۹	۸/۶۶	۰/۰۱۴	۱۹/۲۸	۷/۸۷	۰/۰۲۲	۱۷/۱۳
کاربری	۲	۱۷۴۱**	۰/۴۸**	۱۵/۴۷	۱۴۱۵**	۰/۱۶	۱۹/۵۶
خطا	۱۸	۸/۷۶	۰/۰۳۵	۲۲/۰۵	۷/۶۵	۰/۰۴۳	۲۰/۱۳

* و **: به ترتیب معنی‌دار شدن در سطح آماری ۵ و ۱ درصد.

هدایت الکتریکی در هر دو لایه خاک‌های زیر کشت گندم و پسته به طور معنی‌داری نسبت به خاک‌های بیابانی کمتر بود (جدول ۵). در طول کشت مداوم در خاک‌های کشاورزی، آبیاری دراز مدت باعث شستشوی نمک‌های محلول خاک گردیده و هدایت الکتریکی خاک

را کاهش داده است (Fallahzade and Hajabbasi, 2012). لازم به ذکر است هدایت الکتریکی آب آبیاری ۱۰ مکان نمونه‌برداری ۵/۳–۱/۲ دسی‌زیمنس بر متر و pH آنها ۷/۵۴–۶/۹۱ بود. در این راستا، Li *et al.* (2009) با بررسی تغییرات ویژگی‌های خاک پس از تبدیل خاک‌های بیابانی به خاک‌های قابل‌کشت آبی در شمال‌غربی چین، مشاهده کردند هدایت الکتریکی در خاک‌های کشت‌شده به طور معنی‌داری کمتر از خاک‌های بیابانی بدون کشت است. pH خاک در هر سه کاربری قلیایی بوده (۷/۲۱ > pH > ۷/۶۲) و محتوای کربنات‌کلسیم معادل آن‌ها از ۴۲/۷ –۳۹/۹ درصد متغیر بود (جدول ۵).

جدول ۵. ویژگی‌های شیمیایی در خاک‌های بیابانی، مزارع گندم و باغ‌های پسته در دو لایه

ویژگی	کاربری	عمق ۲۰–۰ سانتی‌متری		عمق ۴۰–۲۰ سانتی‌متری	
		میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار
هدایت الکتریکی ($dS\ m^{-1}$)	بیابان	۲۵/۷۰ a	۵/۰۰	۲۳/۴۰ a	۴/۷۰
	گندم	۲/۹۰ b	۰/۳۹	۲/۴۶ b	۰/۵۵
	پسته	۲/۷۸ b	۰/۹۸	۳/۱۴ b	۱/۰۵
pH	بیابان	۷/۵۷ a	۰/۲۳	۷/۴۸	۰/۲۶
	گندم	۷/۲۱ b	۰/۱۵	۷/۲۵	۰/۱۴
	پسته	۷/۶۲ a	۰/۱۰	۷/۴۷	۰/۱۵
کربنات‌کلسیم معادل (٪)	بیابان	۴۰/۰۸	۴/۰۲	۳۹/۹۲	۳/۹۵
	گندم	۴۰/۷۹	۴/۹۱	۴۱/۰۴	۴/۵۲
	پسته	۴۲/۵۰	۴/۸۱	۴۲/۷۰	۴/۶۳

برای هر ویژگی و در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف متفاوت هستند، در سطح پنج درصد آزمون توکی اختلاف معنی‌دار دارند.

کربن آلی، کربن آلی ذره‌ای و ذخیره کربن آلی خاک

بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر کاربری بر کربن آلی، کربن آلی ذره‌ای و ذخیره کربن آلی خاک (در هر دو لایه) در سطح آماری یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۶).

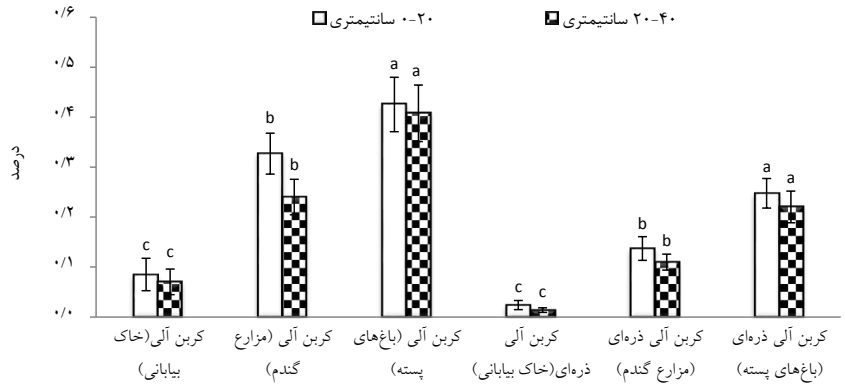
جدول ۶. نتایج تجزیه واریانس اثر کاربری بر کربن آلی، کربن آلی ذره‌ای و ذخیره کربن آلی خاک

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		عمق ۲۰–۰ سانتی‌متری			عمق ۴۰–۲۰ سانتی‌متری		
		کربن آلی	کربن آلی ذره‌ای	ذخیره کربن	کربن آلی	کربن آلی ذره‌ای	ذخیره کربن
بلوک	۹	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۲	۰/۰۱۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۹
کاربری	۲	۰/۳۱۰**	۰/۱۲۵**	۲/۱۲۸**	۰/۲۸۰**	۰/۱۰۷**	۲/۰۱۴**
خطا	۱۸	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۱۷	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۲	۰/۰۱۵

* و **: به ترتیب معنی‌دار شدن در سطح آماری ۵ و ۱ درصد.

همانطور که در شکل ۵ نشان داده شده است، با تبدیل خاک‌های بیابانی به خاک‌های کشاورزی، کربن آلی و کربن آلی ذره‌ای خاک به طور چشم‌گیری افزایش یافته است. در عمق ۲۰–۰ سانتی‌متری، میزان کربن آلی خاک‌های بیابانی، گندم و پسته به ترتیب ۰/۰۹،

۰/۳۳ و ۰/۴۳ درصد و در عمق ۴۰–۲۰ سانتی‌متری، به ترتیب ۰/۰۷، ۰/۲۴ و ۰/۴۱ درصد بود که نشان‌دهنده افزایش ۳/۴۱ الی ۵/۷۸ برابری کربن آلی در اثر کشاورزی در خاک‌های بیابانی است (شکل ۵).



شکل ۵. مقایسه کربن آلی و کربن آلی ذره‌ای خاک در کاربری‌های مختلف. در هر لایه، میانگین‌ها با حروف متفاوت، در سطح ۵ درصد آزمون توکی تفاوت معنی‌داری دارند. میانگین ± انحراف معیار.

Fallahzade and Hajabbasi (2012) و Zhang *et al.* (2017) نیز افزایش چشم‌گیر کربن آلی خاک پس از تبدیل خاک‌های بیابانی به خاک‌های کشاورزی را گزارش نمودند. Hu *et al.* (2018) گزارش کردند که با کشت گیاه در اکوسیستم کویری نیمه‌خشک چین، ذخایر کربن زیست‌بوم خاک–گیاه به صورت معنی‌داری افزایش یافت. نتایج Li *et al.* (2022a) نشان داد که درخت کاری در بیابان‌های شمال چین به طور قابل توجهی تجمع SOC را افزایش داده است. افزایش قابل توجه ذخایر SOC در درجه اول در عمق ۲۰–۰ سانتی‌متری خاک رخ داده است.

افزایش کربن آلی خاک پس از تبدیل خاک‌های بیابانی به خاک‌های زراعی آبی می‌تواند به دلیل افزودن بقایای گیاهی به خاک باشد. پژوهش‌های گذشته تأیید کردند که تبدیل خاک‌های بیابانی بدون کشت به خاک‌های زراعی آثار چشم‌گیری بر افزایش رطوبت خاک، ورودی زیست‌توده[۱] (Biomass) گیاهی به خاک و فراهمی مواد مغذی دارد (Zhang *et al.*, 2017). آبیاری و کوددهی عملکرد محصول را بهبود می‌بخشد و این به نوبه خود باعث افزایش تولید ریشه و سایر بقایای گیاهی می‌شود. در مرحله بعد تجزیه بقایای محصول توسط فعالیت میکروبی (Amos and Walters, 2006; Chen *et al.*, 2020) منجر به افزایش کربن آلی و مواد مغذی خاک می‌گردد (Zhang *et al.*, 2017). Amos and Walter (2006) نشان دادند که کوددهی می‌تواند فعالیت میکروبی خاک را بهبود داده و منجر به برگشت سریع‌تر مواد آلی به خاک شود. Chen *et al.* (2020) افزایش چشم‌گیری در فراوانی جمعیت و تنوع میکروبی خاک را در پی تبدیل خاک‌های بیابانی به خاک‌های زراعی–آبی مشاهده کردند. Shang *et al.* (2019) گزارش کردند که محتوای کربن آلی در خاک‌های زیر کشت جو در مقایسه با خاک‌های بیابانی بدون کشت به طور معنی‌داری بیشتر بود. آنها به این نتیجه رسیدند که افزایش کربن آلی در خاک‌های زراعی احتمالاً به دلیل آبیاری این خاک‌ها است که به طور چشم‌گیری رشد گیاهان و ریزجانداران خاک را افزایش داده است. محتوای کم کربن آلی خاک‌های بیابانی ممکن است تا حدود زیادی به پوشش گیاهی ضعیف این خاک‌ها نسبت داده شود که منجر به کاهش ترکیب بقایای گیاهی با خاک شده است. استفاده از کودهای شیمیایی نیز از دیگر دلایل بیشتر بودن کربن آلی در خاک‌های

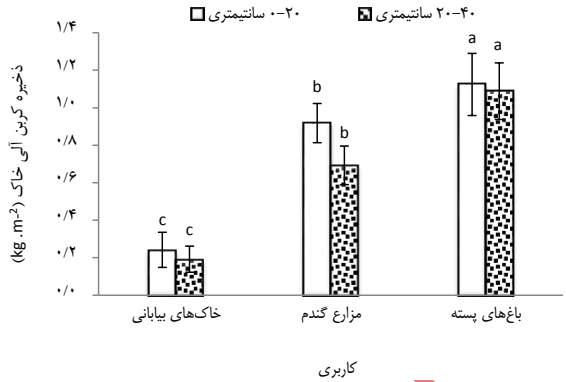
۱. Biomass

کشاورزی در مقایسه با خاک‌های بیابانی است. Ghosh *et al.* (2018) با بررسی اثر ۴۴ سال کوددهی ذخایر کربن آلی خاک به این نتیجه رسیدند که کربن آلی خاک در اراضی که تحت تیمار کود شیمیایی بودند به صورت معنی‌داری بیشتر از اراضی شاهد (بدون کوددهی) بود.

بر اساس نتایج بدست آمده، در هر دو لایه خاک، کربن آلی خاک باغ‌های پسته نسبت به مزارع گندم بیشتر بود که از دلایل آن می‌توان به استفاده از کود حیوانی و وجود لاشبرگ زیاد درختان پسته اشاره کرد. Mozaffari *et al.* (2021) نیز گزارش کردند که محتوی مواد آلی خاک در کاربری باغ بیشتر از خاک مزارع زیر کشت (هر ساله)، آیش و مرتع بود. یافته‌های Zuo *et al.* (2023) نیز نشان داد که افزایش ذخایر کربن آلی خاک عمدتاً با افزایش ورودی بقایای گیاهی و کود دامی در ارتباط است. Wang *et al.* (2023c) دریافتند که ذخایر کربن آلی خاک با مصرف بلندمدت کود به طور چشم‌گیری افزایش یافته است. همچنین این پژوهشگران افزایش ۲۷۹ درصدی ذخایر کربن آلی در خاک‌های زراعی که قبلاً بیابان با ذخایر کم کربن آلی بودند، را گزارش نمودند.

میزان کربن آلی ذره‌ای خاک عمق ۲۰–۰ سانتی‌متری در خاک‌های بیابانی، گندم و پسته به ترتیب ۰/۰۲، ۰/۱۴ و ۰/۲۵ درصد و در عمق ۴۰–۲۰ سانتی‌متری، به ترتیب ۰/۰۱، ۰/۱۱ و ۰/۲۲ درصد بود که به ترتیب نشان‌دهنده افزایش ۷/۹–۵/۷ و ۱۵/۸–۱۰/۳ برابری کربن آلی ذره‌ای در خاک‌های مزارع گندم و باغ‌های پسته در مقایسه با خاک‌های بیابانی بود (شکل ۵). مقادیر بیش‌تر کربن آلی ذره‌ای خاک در باغ‌های پسته احتمالاً به کاربرد کود آلی و همچنین برگشت بقایای گیاهی درخت پسته به خاک مرتبط باشد. همچنین افزایش بیشتر کربن آلی ذره‌ای در مقایسه با کربن آلی خاک، ممکن است به دلیل اضافه شدن بقایای گیاهی در خاک‌های کشاورزی باشد. POC شامل بقایای گیاهی است که کمتر دچار تجزیه شده‌اند (Cambardella and Elliott, 1992). نتایج نشان داد که در خاک‌های بیابانی، مزارع گندم و باغ‌های پسته POC به ترتیب ۳۲–۲۴، ۴۷–۴۲ و ۵۹–۵۵ درصد از کربن آلی خاک را تشکیل داده است. در این راستا، Cambardella and Elliott (1992) گزارش کردند که POC حدود ۳۹ درصد از کربن آلی خاک را شامل می‌شود. Li *et al.* (2023) با بررسی احیای پوشش گیاهی در بیابان‌های شمال چین مشاهده کردند محتوای SOC و POC به طور قابل توجهی افزایش یافته است. بر اساس نتایج این پژوهشگران، محتوای SOC و POC ارتباط نزدیکی با ورودی گیاه، متغیرهای خاک و جامعه میکروبی خاک دارد و به طور کلی، پوشش گیاهی، پایداری SOC را بهبود می‌بخشید. مطالعه این پژوهشگران بر اهمیت پوشش گیاهی نواحی بیابانی برای کاهش بیشتر تغییرات آب و هوایی تاکید می‌کند.

شکل ۶ مقایسه ذخایر کربن آلی خاک در کاربری‌های مختلف را نشان می‌دهد. در عمق ۲۰–۰ سانتی‌متری، میزان ذخیره کربن آلی خاک‌های بیابانی، گندم و پسته به ترتیب ۰/۲۴، ۰/۹۲ و ۱/۱۲ کیلوگرم در مترمربع و در عمق ۴۰–۲۰ سانتی‌متری، به ترتیب ۰/۱۹، ۰/۶۹ و ۱/۰۹ کیلوگرم در مترمربع بود (شکل ۶). به بیان دیگر، کمترین میزان ذخیره کربن آلی در خاک‌های بیابانی مشاهده شد و بیشترین میزان آن مربوط به خاک باغ‌های پسته بود. مرادی و همکاران (۱۳۹۹) پژوهشی در مورد ذخیره کربن آلی خاک در کاربری‌های مختلف (مزرعه جو و یونجه، آیش، باغ انار و مرتع) در منطقه علا شهرستان سمنان انجام دادند. نتایج این پژوهشگران نشان داد که بیشترین میزان ذخیره کربن آلی در عمق ۵–۰ سانتیمتری مربوط به خاک مزرعه یونجه و جو (به ترتیب ۱۶/۱۴ و ۱۴/۴۷ تن در هکتار) و کمترین آن مربوط به خاک‌های مرتع و آیش (به ترتیب ۶/۲۳ و ۶/۵۳ تن در هکتار) بود. به نظر این پژوهشگران خاک‌های مرتعی بعلت اقلیم خشک، فقر پوشش گیاهی و شرایط خاکی نامناسب نسبت به خاک‌های کشاورزی ذخیره کربن کمتری دارند.



شکل ۶. مقایسه ذخایر کربن آلی خاک در کاربری‌های مختلف. در هر لایه، میانگین‌ها با حروف متفاوت، در سطح ۵ درصد آزمون توکی تفاوت معنی‌داری دارند. میانگین ± انحراف معیار.

در منطقه بجستان استان خراسان رضوی، فیضی و همکاران (۱۳۹۹) ذخیره کربن آلی خاک در کاربری‌های مختلف باغی (انار، پسته و زعفران)، زراعی (جو)، بیابانی (زیر اشکوب درختان تاغ و فضای بین درختان) و مرتعی را بررسی کردند. این پژوهشگران مشاهده کردند ذخیره کربن آلی خاک زیر پوشش تاغ در عرصه‌های بیابانی در لایه سطحی ۲۰-۰ سانتیمتری ($kg.m^{-2}$ ۳/۱۷) و باغ‌های انار در دو عمق ۲۰-۰ سانتیمتری ($kg.m^{-2}$ ۲/۵۷) و ۴۰-۲۰ سانتیمتری ($kg.m^{-2}$ ۱/۶۳) در مقایسه با دیگر کاربری‌ها بیشتر بود. Wang *et al*. (2023a) گزارش نمودند که خاک‌های کشت شده در چین پتانسیل ذخیره حدود ۲/۱۳ کیلوگرم در متر مربع کربن آلی در عمق ۲۰-۰ سانتی‌متر را دارند.

ارزش اقتصادی ذخیره کربن اضافه‌شده به خاک به ازای هر هکتار در جدول ۷ آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد در مزارع گندم و باغ‌های پسته ذخیره کربن اضافه‌شده به خاک به ترتیب ۶/۷۶ و ۸/۸۲ تن در هکتار می‌باشد. بایبوردی و همکاران (۱۴۰۰) میزان کربن آلی ذخیره شده در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری مزارع گندم را ۱/۲۱ الی ۱۲/۱۲ کیلوگرم بر مترمربع برآورد کردند. ارزش ذخایر کربن در خاک‌های مزارع گندم و باغ‌های پسته در سطح کل شهرستان به ترتیب ۱/۰۸ و ۲/۰۷ میلیون دلار است. بر این اساس، آگاهی داشتن از تغییرات ذخایر کربن آلی خاک برای ارزیابی آثار تغییر در کاربری خاک‌های بیابانی و مدیریت خاک‌های کشاورزی بر ذخایر کربن آلی، می‌تواند در مدیریت پایدار اراضی به خصوص در مناطق خشک کشور مهم باشد. هرچند این نتایج مبین کارایی سودمند کشاورزی در خاک‌های بیابانی می‌باشد، اما در این رابطه بایستی وضعیت منابع آبی این مناطق نیز مد نظر قرار گیرد. در مجموع، با در نظر گرفتن مدیریت صحیح اراضی از قبیل افزایش پوشش گیاهی بر روی خاک، مدیریت بهینه آبیاری، مدیریت کوددهی، رعایت تناوب و تراکم مناسب کشت می‌توان ذخایر کربن آلی خاک را افزایش داد (Raphael *et al*., 2016).

جدول ۷. ارزش اقتصادی ذخایر کربن در خاک‌های کشاورزی مورد مطالعه

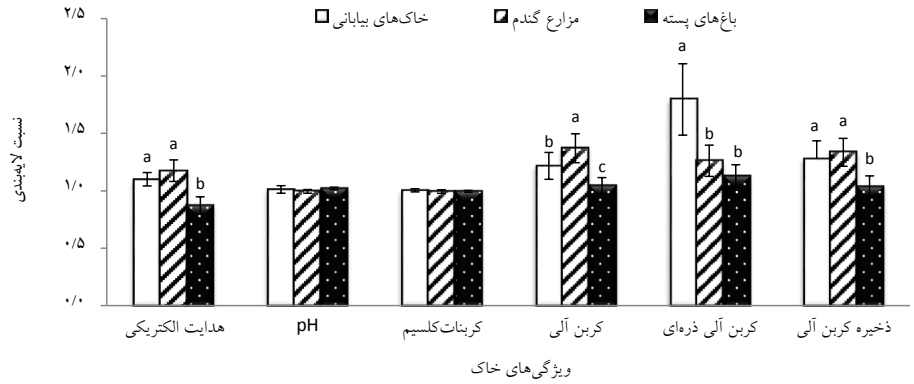
کاربری	ذخایر کربن آلی در خاک‌های کشاورزی (تن در هکتار)	ارزش ذخایر کربن در هکتار (دلار)	ارزش ذخایر کربن در کل شهرستان (میلیون دلار)
مزارع گندم	۶/۷۶	۳۳۸	۱/۰۸
باغ‌های پسته	۸/۸۲	۴۴۱	۲/۰۷

ویراستاری نشده

نسبت لایه‌بندی ویژگی‌های شیمیایی خاک

شکل ۷ نسبت لایه‌بندی ویژگی‌های شیمیایی خاک در کاربری‌های مختلف را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که نسبت لایه‌بندی هدایت الکتریکی خاک‌های بیابانی (۱/۱۰) و مزارع گندم (۱/۱۸) در مقایسه با باغ‌های پسته (۰/۸۷) بیشتر بود که احتمالاً علت آن تجمع املاح در لایه رویین خاک‌های بیابانی و مزارع گندم به دلیل عدم بارندگی و آبیاری باشد. در خاک باغ‌های پسته به دلیل آبیاری، تجمع املاح در لایه رویین خاک صورت نمی‌گیرد. نسبت لایه‌بندی کربن آلی خاک مزارع گندم (۱/۳۷) در مقایسه با خاک‌های بیابانی (۱/۲۲) و باغ‌های پسته (۱/۰۵) بیشتر بود که به نظر می‌رسد علت آن تجمع ریشه گندم در لایه رویین و ترشحات بیشتر ریشه در این لایه باشد. با این وجود، نسبت لایه‌بندی کربن آلی ذره‌ای خاک‌های بیابانی (۱/۸۰) از مزارع گندم (۱/۲۶) و باغ‌های پسته (۱/۱۳) بیشتر بود که دلیل آن ممکن است میزان خیلی ناچیز (نزدیک به صفر) کربن آلی ذره‌ای خاک در عمق ۴۰–۲۰ سانتی‌متری خاک‌های بیابانی باشد.

در پژوهشی Franzluebbers (2002) تغییرات نسبت لایه‌بندی ماده آلی خاک تحت تأثیر خاک‌ورزی سنتی و بدون خاک‌ورزی در برخی از نقاط آمریکا را مورد مطالعه قرار داد. نتایج این پژوهشگر نشان داد که نسبت لایه‌بندی ماده آلی خاک در کشت بدون خاک‌ورزی در مقایسه با خاک‌ورزی سنتی افزایش معنی‌دار نشان می‌دهد. Deng *et al.* (2018) و فیضی و همکاران (۱۳۹۹) نیز میزان کربن آلی در لایه سطحی را بیشتر از لایه‌های زیرین گزارش نمودند.



شکل ۷. نسبت لایه‌بندی ویژگی‌های شیمیایی خاک در کاربری‌های مختلف. میانگین‌ها با حروف متفاوت، در سطح ۵ درصد آزمون توکی تفاوت معنی‌داری دارند. میانگین ± انحراف معیار.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج این پژوهش به وضوح نشان داد که شرایط کشت در منطقه مورد مطالعه آثار مثبتی بر ذخایر کربن آلی خاک داشت. به طورکلی، به نظر می‌رسد که کوددهی همراه با آبیاری در خاک‌های کشاورزی باعث افزایش مقدار بقایای گیاهی برگشتی به خاک شده که این منجر به افزایش کربن آلی خاک می‌گردد. با این حال، لازم است در مورد دوام و پایداری کربن آلی خاک بدون نیاز به شارژ مجدد سالانه کود حیوانی ارزیابی شود. نتایج این پژوهش نشان داد که بیشترین میزان ذخایر کربن آلی خاک به ترتیب در باغ‌های پسته و مزارع گندم رخ داده است. در مناطق خشکی مانند مرکز ایران که پوشش گیاهی خاک‌های بیابانی ضعیف یا بدون پوشش بوده و سهم خیلی کمی در ذخایر کربن دارند، خاک‌های کشاورزی (زراعی و باغی) مجاور آنها دارای ذخایر کربن آلی بالاتری هستند. البته با توجه به حساسیت‌های مربوط به تغییر کاربری اراضی، نیاز به بررسی‌های علمی بیشتر قبل از هرگونه اقدام عملی می‌باشد. بنابراین نتایج اعلام شده در این

پژوهش، مجوزی برای تبدیل اراضی بیابانی منطقه به مزارع گندم و باغ پسته نیست. همچنین عملیات خاکورزی، کوددهی و آبیاری در اراضی بیابانی به منظور تولید محصول زراعی یا باغی از نظر علمی و اجرایی مورد تایید نمی‌باشد و بیابان‌ها بایستی با گونه‌های بومی احیا شوند. از آنجایی‌که سطح قابل توجهی از باغ پسته فاقد تاج پوشش درختان پسته هست از اینرو پیشنهاد می‌شود در مطالعات بعدی تعدادی نمونه خاک از قسمت‌های فاقد پوشش نیز برداشت شود تا بیانگر شرایط خاک کل باغ پسته باشد. همچنین پیشنهاد می‌شود بحث جزایر حاصلخیز در مناطق خشک و نیمه خشک نیز مورد مطالعه قرار گیرد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

منابع

بابیوردی، ا.، مشیری، ف.، کلانتری اسکویی، ع.، چاخرلو، س. (۱۴۰۰). اثر کاربرد کودهای آلی و سیستم‌های کشت بر عملکرد ترسیب کربن (مطالعه موردی دشت تبریز). تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۹: ۱۳۰-۱۴۲.

فیضی، ح.، ملکی، ص.، پوزشی، ر. (۱۳۹۹). اثر پوشش‌های گیاهی بر ذخیره کربن آلی خاک و میزان تثبیت دی‌اکسید کربن در کاربری‌های دراز مدت، منطقه بجستان. ۸ (۴): ۱۹۶-۱۸۱.

مرادی، ا.، صادقی‌پور، ا، نیکو، ش.، پرویزی، ی. (۱۳۹۹). تاثیر کاربری اراضی و ویژگی‌های خاک بر تغییرپذیری کربن آلی خاک (منطقهٔ مورد مطالعه: علا سمنان). مدیریت بیابان. ۱۶: ۱۲۵-۱۳۶.

REFERENCES

Amos, B., & Walters, D. T. (2006). Maize root biomass and net rhizodeposited carbon: an analysis of the literature. *Soil Science Society of America Journal*, 70(5): 1489–1503.

Bongiovanni, M. D., & Lobartini, J. C. (2006). Particulate organic matter, carbohydrate, humic acid contents in soil macro– and microaggregates as affected by cultivation. *Geoderma*, 136: 660–665.

Brar, B. S., Singh, K., & Dheri, G. S. (2013). Carbon sequestration and soil carbon pools in a rice–wheat cropping system: effect of long–term use of inorganic fertilizers and organic manure. *Soil and Tillage Research*, 128: 30–36.

Bybordi, A., Moshiri, F., Kalantari, Oskuyi, A., & Chakherlou, S. (2021). Effect of organic fertilizers and cropping systems on carbon sequestration performance (case study of Tabriz plain). *Applied Soil Research*, 9(1): 130-142. (In Persian).

Cambardella, C. A. & E. T. Elliott. (1992). Particulate soil organic–matter changes across a grassland cultivation sequence. Soil Science Society of America Journal. 56: 777–782.

Chaudhary, S., Dheri, G. S., & Brar, B. S. (2017). Long–term effects of NPK fertilizers and organic manures on carbon stabilization and management index under rice–wheat cropping system. *Soil and Tillage Research*, 166: 59–66.

Chen, L. F., He, Z. B., Zhao, W. Z., Liu, J. L., Zhou, H., Li, J., & Wang, L. S. (2020). Soil structure and nutrient supply drive changes in soil microbial communities during conversion of virgin desert soil to irrigated cropland. *European Journal of Soil Science*, 71(4): 768–781.

Deng, L., Wang K., Zhu G., Liu Y., Chen L., & Shangguan, Z. (2018). Changes of soil carbon in five land use stages following 10 years of vegetation succession on the Loess Plateau, China. *Catena*, 171: 185-192.

Dong, W. H. Zhang, S. Rao X., & Liu, C. A. (2016). Newly-reclaimed alfalfa forage land improved soil properties comparison to farmland in wheat–maize cropping systems at the margins of oases. *Ecological Engineering*, 94:57–64.

Fallahzade, J., & Hajabbasi, M. A. (2012). The effects of irrigation and cultivation on the quality of desert soil in central Iran. *Land Degradation and Development*, 23(1): 53–61.

Feizi, H., Maleki, S., & Poozeshi, R. (2021). Impact of vegetation cover on soil carbon storage and CO_2 fixation in long-term land uses in Bajestan, Khorasan Razavi. *Applied Soil Research*, 8(4):181-196. (In Persian).
Franzluebbers, A. J. (2002). Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil and Tillage Research*, 66(2): 95–106.
Gao, X., Meng, T., & Zhao, X. (2017). Variations of soil organic carbon following land use change on deep-loess hillsopes in China. *Land Degradation and Development*, 28: 1902–1912.
Gao, Y., Zhao, Z., Zhang, Y., & Liu, J. (2021). Response of abiotic soil CO_2 flux to the difference in air-soil temperature in a desert. *Science of The Total Environment*, *785*, 147377.
Gee, G.W., & Bauder, J.W. (1986). Particle size analysis. In: Klute, A. (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical properties. American Society of Agronomy. Madison. Wisconsin. pp. 383–411.
Ghosh, A., Bhattacharyya, R., Meena, M.C., Dwivedi, B.S., Singh, G., Agnihotri, R., & Sharma, C. (2018). Long–term fertilization effects on soil organic carbon sequestration in an Inceptisol. *Soil and Tillage Research*, 177: 134–144.
Hu, Y.-F., Shu, X.-Y., & He, J. 2018. Storage of C N and P affected by afforestation with Salix cupularis in an alpine semiarid desert ecosystem. *Land Degradation and Development*, 29: 188–198.
Jia, X., Li, Y., Wu, B., Zhou, Y., & Li, X. 2017. Effects of plant restoration on soil microbial biomass in an arid desert in northern China. *Journal of Arid Environments*,144: 192-200.
Jones, J. B. (1999). Soil Analysis Handbook of Reference Methods. CRC Press.382p.
Lal, R. 2008. Carbon sequestration. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 363: 815-830.
Li, D., & Shao, M. 2014. Soil organic carbon and influencing factors in different landscapes in an arid region of northwestern China. *Catena*, 116:95–104.
Li, X. G., Li, Y. K., Li, F. M., Ma, Q., Zhang, P. L., & Yin, P. (2009). Changes in soil organic carbon, nutrients and aggregation after conversion of native desert soil into irrigated arable land. *Soil and Tillage Research*, 104(2): 263–269.
Li, X., Li, Y., Xie, T., Chang, Z., & Li, X. (2022a). Recovery of soil carbon and nitrogen stocks following afforestation with xerophytic shrubs in the Tengger Desert, North China. *Catena*, *214*, 106277.
Li, Y., Xie, T., Yang, H., & Li, X. (2022b). Revegetation enhances soil organic carbon mineralization and its temperature sensitivity in the Tengger Desert, North China. *Catena*, *218*, 106541.
Li, Y., Zhang, X., Wang, B., Wu, X., Wang, Z., Liu, L., & Yang, H. (2023). Revegetation promotes soil mineral-associated organic carbon sequestration and soil carbon stability in the Tengger Desert, northern China. *Soil Biology and Biochemistry*, *185*, 109155.
Liu, H., Xu, C., Allen, C. D., Hartmann, H., Wei, X., Yakir, D., & Yu, P. (2022). Nature-based framework for sustainable afforestation in global drylands under changing climate. *Global change biology*, *28*(7): 2202-2220.
Liu, X., Du, H., Li, S., Liu, X., Fan, Y., & Wang, T. (2023). Dynamics of soil wind erosion in the Mu Us sandy land (in northern China) affected by cropland reclamation from 2000 to 2020. *Ecological Indicators*, 154, 110717.
Liu, Y., Dang, Z. Q., Tian, F. P., Wang, D., & Wu, G. L. (2017). Soil organic carbon and inorganic carbon accumulation along a 30-year grassland restoration chronosequence in semi-arid regions (China). *Land Degradation and Development*, 28: 189–198.
Luciuk G. M., Boonneau M. A., Boyle D. M., & Vibery E. (2000). Prairie farm rehabilitation. Administration paper, carbon sequestration additional environmental, benefits of forests in the Prairie Farm Rehabilitation Administration (PFRA), *ID N: 1967, Session*, 22: 191-194.
Moradi, A., Sadeghipour, A., nikoo, S., & Parvizi, Y. (2021). Effects of Land Use and Soil characteristics on Changes in Soil Organic Carbon (Case Study: Ala Area- Semnan). *Desert Management*, 8(16), 125-136. (In Persian).
Mozaffari, H., Rezaei, M., & Ostovari, Y. (2021). Soil sensitivity to wind and water erosion as affected by land use in southern Iran. *Earth*, 2(2): 287–302.

Powlson, D. S., Whitmore, A. P., & Gouldi, K. W. T. 2011. Soil carbon sequestration to mitigate climate change: a critical re-examination to identify the true and the false. *European Journal of Soil Sciences*, 62: 42-55.

Raiesi, F. (2007). The conversion of overgrazed pastures to almond orchards and alfalfa cropping systems may favor microbial indicators of soil quality in Central Iran. *Agriculture, ecosystems & environment*, *121*(4), 309-318.

Salem, H. M., Valero, C., Muñoz, M. Á., Rodríguez, M. G., & Silva, L.L. (2015). Short–term effects of four tillage practices on soil physical properties, soil water potential, and maize yield. *Geoderma*, 237: 60–70.

Shang, Z. H., Cao, J. J., Degen, A. A., Zhang, D. W., & Long, R. J. (2019). A four year study in a desert land area on the effect of irrigated, cultivated land and abandoned cropland on soil biological, chemical and physical properties. *Catena*, 175: 1–8.

Six, J., Paustian, K., Elliott, E. T., & Combrink, C. (2000). Soil Structure and Organic Matter: I. Distribution of Aggregate–Size Classes and Aggregate–Associated Carbon. *Soil Science Society of America Journal*, 64: 681–689.

Wang, S., Xu, L., Adhikari, K., & He, N. (2023a). Soil carbon sequestration potential of cultivated lands and its controlling factors in China. *Science of The Total Environment*, *905*, 167292.

Wang, X., Xu, X., Qiu, S., Zhao, S., & He, P. (2023b). Deep tillage enhanced soil organic carbon sequestration in China: A meta-analysis. *Journal of Cleaner Production*, *399*, 136686.

Wang, Y., Luo, G., Li, C., Ye, H., Shi, H., Fan, B., & Zhang, Y. (2023c). Effects of land clearing for agriculture on soil organic carbon stocks in drylands: A meta-analysis. *Global Change Biology*, 29(2): 547–562.

Xu, X., Wu, B., Bao, F., Gao, Y., Li, X., Cao, Y., & Liu, M. (2023). Different Responses of Growing Season Ecosystem CO_2 Fluxes to Rain Addition in a Desert Ecosystem. *Plants*, 12(5), 1158.

Yang, F., Huang, J., Zheng, X., Huo, W., Zhou, C., Wang, Y., & Sun, Y. (2022). Evaluation of carbon sink in the Taklimakan Desert based on correction of abnormal negative CO_2 flux of IRGASON. *Science of the Total Environment*, 838, 155988.

Zhang, Q., Wu, J., Lei, Y., Yang, F., Zhang, D., Zhang, K., Zhang, Q., & Cheng, X. 2018. Agricultural land use change impacts soil CO_2 emission and its 13C-isotopic signature in central China. *Soil and Tillage Research*, 177: 105–112.

Zhang, Y. Y., Zhao, W. Z., & Fu, L. (2017). Soil macropore characteristics following conversion of native desert soils to irrigated croplands in a desert–oasis ecotone Northwest China. *Soil and Tillage Research*, 168:176–186.

Zhang, Y., Zhao, Y.C., Shi, X.Z., Lu, X.X., Yu, D.S., Wang, H.J., Sun, W.X., & Darilek, J.L. (2008). Variation of soil organic carbon estimates in mountain regions: a case study form Southwest China. *Geoderma* 146: 449–456.

Zhao, J., Chen, S., Hu, R., & Li, Y. (2017). Aggregate stability and size distribution of red soils under different land uses integrally regulated by soil organic matter and iron and aluminum oxides. *Soil and Tillage Research*, 167: 73–79.

Zuo, W., Gu, B., Zou, X., Peng, K., Shan, Y., Yi, S., & Bai, Y. (2023). Soil organic carbon sequestration in croplands can make remarkable contributions to China's carbon neutrality. *Journal of Cleaner Production*, 382: 135268.

Effects of land use/land cover changes on soil organic carbon stocks in Abarkooh region (Yazd province)

Abstract

Conversion of the desert soils to cropland may cause changes some soil properties. The objective of this study was to analyse the effects of converting desert soils to cropland (wheat) and orchard (pistachio) on the soil organic carbon (SOC) content and storage, particulate organic carbon in Abarkooh region (Yazd province). Three land uses included wheat, pistachio, and desert soils were assessed. In order to compare the soil properties in different land uses, In September 2018, soil samples from desert, wheat, and orchard sites were taken at 0–20 and 20–40 cm depths. From each depth, 10 composite soil samples were taken. After pretreatments of soil samples, the soil properties including electrical conductivity, pH, gravel, sand, silt, clay, bulk density, organic carbon, calcium carbonate, were measured according to standard protocols. According to obtained results, bulk density, gravel content and electrical conductivity decreased after the cultivation of desert soils. The SOC contents in the croplands and orchard were about 3.4-5.8 times higher than those of desert soils. Also, the results showed an increase of 5.7 to 15.8 times of soil particulate organic carbon in the wheat fields and pistachio orchards compared to desert soils. The lowest SOC storage was observed in desert soils (0.19-0.24 $kg.m^{-2}$) and the highest was obtained in pistachio orchards (1.08-1.12 $kg.m^{-2}$). According to the findings of this study, it seems that sustainable cultivation and irrigation of desert soils could be an appropriate method which considerably enhances soil organic carbon sequestration in the study area.

Keywords: Carbon stocks, desert soil, particulate organic carbon, pistachio orchard, wheat field.

Effects of land use/land cover changes on soil organic carbon stocks in Abarkooh region (Yazd province)

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Soil organic carbon sequestration is a process by which atmospheric CO_2 is stored in the soil. Desert soils cover approximately 35% of the Earth's surface and have attracted the attention of the scientific community in recent years because they can store large amounts of CO_2, reduce the gap in lost carbon, and play a positive role in reducing climate warming. However, available data regarding soil organic carbon stocks of desert and the cultivated desert soils in central Iran is scarce. Therefore, the purpose of this research was to investigate the effects of converting desert soils into agriculture (wheat and pistachio) on the amount of soil organic carbon, particulate organic carbon and carbon sequestration in Abarkooh region (Yazd province).

Materials and Methods

For this purpose, three land uses included wheat, pistachio, and desert soils were assessed. In order to compare the soil properties in different land uses, 10 composite soil samples from two layers (0–20 and 20–40 cm) were collected from each land uses. Then, the soil samples were collected for laboratory analyses. The soil properties including electrical conductivity, pH, gravel, sand, silt, clay, bulk density, organic carbon, particulate organic carbon and calcium carbonate were measured according to standard protocols. The effect of cultivation of desert soils on soil properties was determined by one-way analysis of variance (ANOVA) and means were compared by Tukey test.

Results and Discussion

The results showed that bulk density, gravel content and electrical conductivity decreased after the cultivation of desert soils. At a depth of 0–20 cm, the amounts of organic carbon of desert, wheat and

pistachio soils were 0.09, 0.33 and 0.43%, respectively. These values for depth of 20–40 cm were 0.07, 0.24 and 0.41%, respectively. Amount of particulate organic carbon was greater in wheat (0.11–0.14%) and pistachio (0.22–0.25%) than of the desert soils (0.01–0.02%). The lower organic carbon contents in desert soils may partly be attributed to reduced plant residues input to the soil because of high soil salinity, low soil moisture and scarce vegetation cover. The contents of soil organic carbon and particulate organic carbon in croplands were about 3.4–5.8 and 5.7–15.8 times higher than those of desert soils, respectively. The greater increase of particulate organic carbon than soil organic carbon may be due to the application of animal manure and the addition of plant residues in cropland and orchard. The lowest organic carbon storage amount was observed in desert soils (0.19–0.24 $kg.m^{-2}$) and the highest was obtained in pistachio orchards (1.08–1.12 $kg.m^{-2}$).

Conclusion

The soil organic carbon is a very important characteristic for studying soil quality and it is also a main source for atmospheric CO_2. Conversion of the desert soils to cropland may cause changes some soil properties. Therefore, this study was conducted to determine the effects of converting desert soils to cropland (wheat and pistachio) on the soil organic carbon content and storage, particulate organic carbon and organic carbon sequestration in central Iran. The positive impacts of cultivation, irrigation and fertilization of desert soils led to enhancement soil organic carbon, particulate organic carbon and soil organic carbon sequestration. Economic value of soil carbon sequestration in wheat fields and pistachio orchards were 1.08 and 2.07 million dollars, respectively. Based on this, knowing the changes in soil organic carbon reserves to evaluate the effects of desert soils conversion into cultivated soils can be important in sustainable land use management, especially in dry areas of the country. We suggest that the effects of desert soils conversion into agriculture soils should be studied along with its impacts on other elements of desert ecosystem like erosion and sustainable ground water table.

Keywords: Carbon stocks, desert soil, particulate organic carbon, pistachio orchard, wheat field.

ویرایش نشده