نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال دهم، شماره ٤، زمستان ١٤٠٢

صفحات ۹۹ – ۱۱۲

ارزیابی پتانسیل انباشت کربن خاک در گونه‌های کلیر و کهور ایرانی (مطالعه موردی: منطقه کشتگان سراوان)

عاطفه عالی انوری؛ دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت و کنترل بیابان مجتمع آموزش عالی سراوان، سراوان، ایران

محمدرضا ریگی[1]؛ استادیار مجتمع آموزش عالی سراوان، سراوان، ایران

فرهاد ذوالفقاری؛ استادیار مجتمع آموزش عالی سراوان، سراوان، ایران

خالد سلیمی؛ استادیار مجتمع آموزش عالی سراوان، سراوان، ایران

دریافت مقاله :۱۴۰۲/۰۷/۰۹ پذیرش نهایی:۱۴۰۲/۰۹/۲۵

چکیده

امروزه تغییر اقلیم و افزایش گرمای جهانی ناشی از افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای به‌ویژه گاز دی‌اکسیدکربن یکی از چالش‌های مهم در بحث توسعه پایدار می‌باشد. ترسیب کربن در زیست‌توده گیاهی و خاک‌های تحت آن، از ساده‌ترین و از نظر اقتصادی عملی‌ترین راهکار ممکن به منظور کاهش دی‌اکسیدکربن اتمسفری می‌باشد. این پژوهش به منظور ارزیابی انباشت کربن خاک در گونه‌های گیاهی کلیر و کهور ایرانی در منطقه کشتگان شهرستان سراوان انجام شد. بدین منظور نمونه‌های خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری زیر تاج پوشش گونه‌های گیاهی کلیر و کهورایرانی و منطقه شاهد (بدون پوشش گیاهی) از هر ناحیه ۲۰ نمونه به صورت تصادفی برداشت گردید و میزان انباشت کربن خاک، وزن مخصوص ظاهری خاک، اسیدیته، شوری، درصد رس، سیلت و شن اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که میزان انباشت کربن خاک در منطقه تحت پوشش گونه گیاهی کلیر (۱/۳۲ تن در هکتار) به‌طور معنی‌داری ($p<0.01$) بیشتر از منطقه تحت پوشش گونه گیاهی کهور ایرانی (۰/۷۵ تن در هکتار) و منطقه شاهد (۰/۲۵ تن در هکتار) بود. محتوی ماده آلی خاک و درصد شن در زیر سایه‌انداز هر دو گونه گیاهی بیشتر از شاهد بود. با توجه به نتایج می‌توان اظهار داشت که وجود گونه‌های گیاهی سبب افزایش میزان انباشت کربن خاک و در نتیجه تعدیل گرمایش جهانی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: ترسیب کربن، ماده آلی، ویژگی‌های خاک، کشتگان سراوان.

[1] . نویسنده مسئول: Email:rezarigi@gmail.com

مقدمه

در قرن حاضر چندین چالش عمده زیست محیطی شامل تخریب زمین و بیابان‌زایی، کاهش تنوع زیستی، اتلاف منابع آب، تخریب جنگل‌ها و مراتع و تغییر اقلیم از مسائل مهم در توسعه پایدار و فقرزدایی به‌شمار می‌روند (امیراصلانی، ۱۳۸۳). از جمله پیامدهای پدیده تغییر اقلیم می‌توان به تخریب اراضی، کاهش پایداری تولید و کیفیت زیست‌توده، آلودگی هوا، آب و خاک و مشکلات زیست‌محیطی، افزایش وقوع مخاطرات طبیعی مانند سیل و طوفان و انقراض گونه‌های متعدد گیاهی و جانوری اشاره کرد. تغییر اقلیم و افزایش گرمایش جهانی ناشی از پیامدهای افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در جو می‌باشد. افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی و تغییر کاربری اراضی و پوشش گیاهی باعث انتشار حجم عظیمی از گازهای گلخانه‌ای از جمله دی‌اکسیدکربن به جو شده است (Stockmann et al., ۲۰۱۳). پالایش کربن با روش‌های مصنوعی مثل فیلتر، با صرف هزینه‌های سنگین قابل انجام است، بنابراین کربن موجود در اتمسفر بایستی جذب و در شکل‌های متعدد ترسیب شود. ترسیب کربن در زیست‌توده گیاهی و خاک‌هایی که در زیر این زیست‌توده هستند، ساده و به لحاظ اقتصادی عملی‌ترین راهکار ممکن برای کاهش دی‌اکسیدکربن جو است (Whilliam,۲۰۰۲). خاک بزرگترین ذخیره‌گاه کربن در جهان پس از اقیانوس‌ها می‌باشد و سالانه مقدار قابل توجه‌ای از کربن را در خود جای می‌دهد (نصرتی و همکاران، ۱۳۹۳). این امر موجب توجه‌ویژه به خاک و توانایی آن در ترسیب پایدار کربن شده است (Lal,۲۰۱۰). میزان ترسیب کربن در خاک تحت تاثیر عوامل اقلیمی به خصوص شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک قرار می‌گیرد که در این میان بافت خاک نقش بسزایی ایفا می‌کند. برخی از تفاوت‌های موجود در ماده آلی خاک در بین کلاس‌های بافتی خاک‌های مختلف، به دلیل تفاوت در زیست‌توده تولید شده در این خاک‌ها است. مقدار زیست‌توده تولید شده اغلب نشان‌دهنده اختلاف رطوبت و محتوای عناصر غذایی در این کلاس‌های بافتی است (Weil & Brady,۲۰۱۷). خاک‌های شنی معمولاً کمترین میزان را به دلیل محدودیت رطوبت و عناصر غذایی دارا می‌باشند. مقدار بیشتر ماده آلی در خاک‌های با بافت ریزتر، نه‌تنها نتیجه مقادیر بیشتر زیست‌توده تولید شده در این خاک‌ها است، بلکه مقدار کمتر اکسیژن موجود در این خاک‌ها نیز تجزیه ماده آلی خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Hoyle et al.,۲۰۱۱). مقدار کمتر اکسیژن علاوه بر تهویه ضعیف، به دلیل تنفس زیاد ناشی از تجزیه ماده آلی زیاد در این خاک‌ها می‌باشد (Weil & Brady,۲۰۱۷).

فعالیت‌هایی مانند حفظ پوشش گیاهی و بالا بردن توان تولیدی خاک، تأثیر بسزایی در افزایش ترسیب کربن خاک دارند (علیزاده و همکاران، ۱۳۹۲). مطالعه تأثیر نوع پوشش گیاهی بر ویژگی‌های مختلف خاک حاکی از آن است که مقدار کربن آلی خاک بیشتر از زیست‌توده میکروبی، کربن آلی محلول، پایداری خاکدانه‌ها، تنفس پایه و برخی نسبت-های اکوفیزیولوژیکی تحت تأثیر نوع گونه گیاهی قرار می‌گیرد (Perez Bejarano et al.,۲۰۱۰). گونه‌های سازگار در مناطق بیابانی توانایی ترسیب کربن را دارند. هر چند مقدار ترسیب کربن در واحد سطح مناطق بیابانی بسیار کم می‌باشد و به صورت میانگین حدود ۱۶۲ کیلوگرم در هکتار در سال می باشد (Lal,۲۰۰۴)، اما با انجام عملیات اصلاحی، قابلیت ترسیب در این بیوم تقریباً به سالانه یک میلیارد تن می‌رسد (UNDP,۲۰۰۱). روانشادی و همکاران (۱۳۹۶) در بررسی تأثیر جنگل‌کاری با گونه‌های اکالیپتوس و بادام کوهی به این نتیجه رسیدند که مقدار ترسیب کربن در منطقه جنگل‌کاری شده و شاهد به ترتیب ۲۰/۸ و ۸/۷۳ تن بر هکتار بود. همچنین میزان ترسیب کربن خاک در توده اکالیپتوس (۲۳/۲۱ تن در هکتار) بیشتر از بادام کوهی (۱۸/۴۷) بوده و عمق خاک تأثیری بر میزان کربن خاک و

سایر خصوصیات خاک نداشته است. قاسمی و همکاران (۱۳۹۶) با بررسی توانایی ترسیب کربن پوشش درختی، علفی و خاک حاشیه جاده در بزرگراه خرم آباد- اندیمشک نشان دادند که مقدار کربن ترسیب شده در پلات‌های نمونه-برداری شده به ترتیب افزایش فاصله از بزرگراه (با فواصل ۱، ۳۰، ۵۰ و ۷۰ متری از هم)، در درختان به ترتیب ۱۰۴/۳۰، ۴۱/۱۵، ۳۳/۷۶ و ۲۹/۰۱ تن در هکتار، در پوشش علفی به ترتیب ۴۹/۰۳، ۱۵۵/۳۶، ۸۲/۴۳ و ۱۱۳/۰۳ تن در هکتار، در خاک به ترتیب ۳۲/۱۷، ۳۹/۸۲، ۴۷/۳۷ و ۴۷/۸۰ تن در هکتار و در خاک عاری از پوشش گیاهی ۶/۱۹ تن در هکتار بود. بردبار (۱۳۹۸) با بررسی میزان ترسیب کربن توده‌های شاخه‌زاد بلوط ایرانی نشان داد که میزان کربن ترسیب شده در هر هکتار ۲۷/۸ تن بوده که ۱۶ تن آن در خاک و ۱۱/۸ تن مربوط به اندام‌های مختلف درختان بلوط ایرانی می‌باشد که معادل ۱۰۲/۰۹ تن (۵۸/۹۵ تن در خاک و ۴۳/۱۴ تن در اندام‌های مختلف) دی‌اکسید کربن جذب‌شده در هکتار است. جعفری‌سرابی و همکاران (۱۴۰۰) در پژوهشی به بررسی تغییرات ترسیب کربن و برخی ویژگی های خاک در تیپ های جنگلی زاگرس میانی (مطالعه موردی: جنگل های استان لرستان) پرداختند. نتایج نشان داد که بیشترین مقادیر ترسیب کربن، شن، پتاسیم، نیتروژن، کربن آلی و رطوبت اشباع در خاک جنگلی بلوط ایرانی مشاهده شد. به‌طور کلی نتایج نشان می‌دهد که تغییرات ترسیب کربن و عناصر غذایی خاک در تیپ‌های جنگلی مورد مطالعه بیشتر تحت تأثیر نوع تیپ جنگلی و ارتفاع تاج پوشش قرار می‌گیرد.

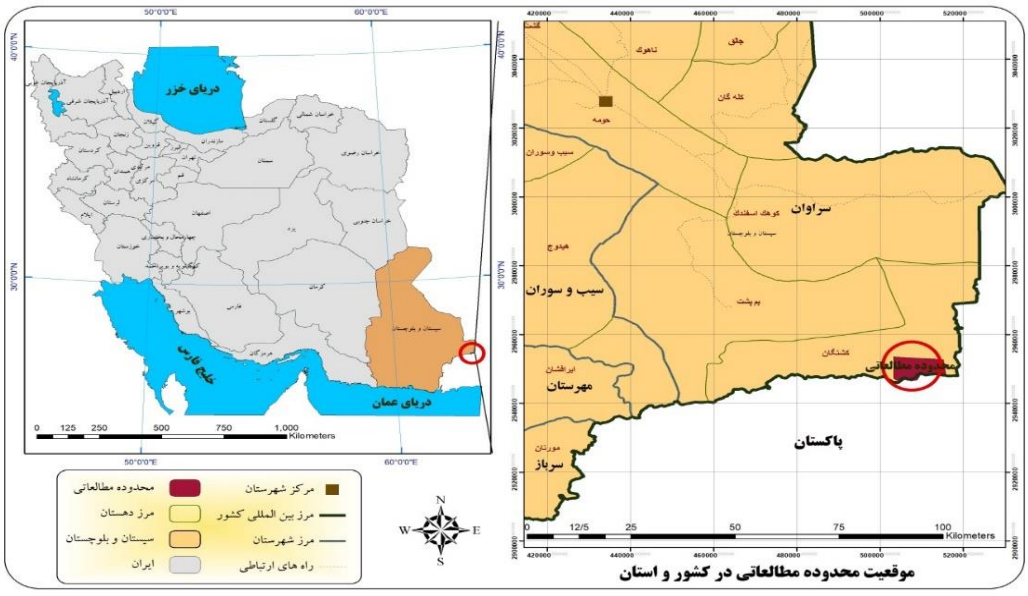
قربانی و همکاران (۱۴۰۱) ظرفیت ترسیب کربن و ارتباط آن با برخی خصوصیات خاک و پوشش سطح خاک را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که آنالیز همبستگی ترسیب کربن در رویشگاه‌ها و طبقات ارتفاعی مختلف، حاکی از رابطه منفی با درصد شن، اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک بوده و همبستگی مثبت با درصد رس و سیلت، درصد کربن آلی و ماده آلی، درصد کربن و ماده آلی ذره‌ای و نیتروژن خاک دارد. شی و گوی (Shi and Gui, ۲۰۰۳) اثر گونه‌های جنگل‌کاری شده بر کربن خاک را مثبت ارزیابی کردند و میزان کربن خاک در عمق ۲۰-۰ و ۴۰-۲۰ سانتی‌متری خاک را به ترتیب ۴۲/۰۵ و ۳۰/۰۷ گرم در مترمربع برآورد نمودند. آنها اظهار داشتند که مقدار ذخیره کربن در مناطق سرد و نیمه‌مرطوب بیشتر از مناطق نیمه‌خشک بوده و همچنین در توده‌های آمیخته و پهن‌برگ، بیشتر از سوزنی‌برگان است. گرانزویگ و همکاران (Grunzweig et al.,۲۰۰۳) بیان کردند توسعه جنگل کاری‌ها در مناطق خشک اثر معنی‌داری بر ترسیب کربن داشته و باعث احیاء پوشش گیاهی در اراضی تخریب شده، کاهش رواناب و فرسایش، جلوگیری از فشردگی خاک‌ها و بهبود شرایط زیستی حیات وحش خواهد شد. فوتس و همکاران (Foets et al.,۲۰۲۱) پتانسیل ترسیب کربن و تولید بیوماس جنگلکاری‌های صنوبر در چین را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که پتانسیل تولید بیوماس و ذخیره سازی کربن در تراکم‌های کاشت ۱۱۲۵ و ۸۳۳ پایه در هکتار و با دوره برداشت ۵ و ۶ ساله به ترتیب بالاترین مقدار بود. و اگر دوره برداشت ۳ یا ۴ ساله باشد تراکم درختان باید بالاتر از ۱۱۲۵ پایه در هکتار باشد. لال (Lal, ۲۰۲۱) در پژوهشی به بررسی مدیریت خاک برای ترسیب کربن پرداخته و مشاهده نمود که همبستگی مثبتی بین غلظت کربن آلی خاک و تجمع آن، ظرفیت آب در دسترس گیاه، حفظ مواد مغذی، چگالی ظاهری و تخلخل وجود دارد. البسیونی و همکاران (Elbasiouny et al.,۲۰۲۲) در پژوهشی به بررسی تغذیه گیاهان تحت تغییرات آب و هوا و ترسیب کربن خاک پرداختند. نتایج نشان داد که ترسیب کربن خاک نه تنها در کاهش تغییرات آب و هوایی بلکه در دسترسی به مواد مغذی گیاه و حاصلخیزی خاک نقش اساسی ایفا می کند. در نتیجه، علاقه قابل توجهی در سطح جهانی در جذب کربن خاک از CO_2 جو و جداسازی در

خاک از طریق گیاهان وجود دارد. اتخاذ روش‌های مدیریتی و افزایش ورودی‌های کربن خاک نسبت به خروجی‌ها، در نتیجه نقش مهمی در ترسیب کربن خاک و تغذیه گیاه خواهد داشت. از جمله خدمات ناشی از سیاست‌های ترسیب کربن می‌توان بهبود تنوع زیستی، جلوگیری از فرسایش خاک، کاهش مخاطرات آلودگی‌های ناشی از گردوغبار، تقویت منابع آب زیرزمینی، افزایش ظرفیت نفوذ و نگهداری آب در خاک، کاهش وزن مخصوص ظاهری و بهبود شرایط فیزیکی خاک برای رشد گیاه و فعالیت ریزجانداران اشاره نمود (فروزه و همکاران، ۱۳۸۷). با توجه به این که پژوهش-های بسیار کمی در مورد ارزیابی پتانسیل ترسیب و انباشت کربن در خاک صرفا" در گونه کهور ایرانی صورت گرفته و هیچ پژوهشی در این خصوص در منطقه مورد مطالعه صورت نگرفته، لذا در این راستا پژوهش حاضر به منظور بررسی پتانسیل انباشت کربن در خاک در اراضی تحت پوشش گونه‌های کلیر و کهور ایرانی در منطقه گشتگان سراوان برای کمک در تصمیم‌گیری‌های توسعه کشت جهت حفاظت منابع آب و خاک انجام شد.

داده‌ها و روش کار

- **قلمرو جغرافیایی مورد مطالعه**

منطقه مورد بررسی به وسعت ۷۰۰۰ هکتار در ۱۷۰ کیلومتری شهرستان سراوان استان سیستان و بلوچستان واقع شده است. این منطقه در محدوده ً۵۷ ً۰۱ ً۶۳ تا ً۳۵ ً۰۹ ً۶۳ طول شرقی و ً۴۳ ً۳۸ ً۲۶ تا ً۲۹ ً۴۲ ً۲۶ عرض شمالی قرار گرفته است. این منطقه بر اساس سیستم دومارتن دارای اقلیم خشک و بیشینه و کمینه دمای آن در سال به ترتیب حدود ۴۳ و ۴- درجه سانتی‌گراد است. میانگین بارش سالانه در این شهرستان ۱۰۴/۶ میلی‌متر می‌باشد. خاک-های این منطقه اکثراً دارای بافت لومی‌شنی می‌باشند. پوشش گیاهی عرصه مطالعاتی در ناحیه رویشی خلیج عمانی واقع شده است و دارای گونه‌های درختی کلیر، کهور ایرانی و پیر می‌باشد. برخی از گونه‌های گیاهی غالب شامل Zygophyllum eurypterum، Whitania cangulans ،Dianthus orientalis ،Cymbopogon olivieri، Asphodelus tenuifolius می‌باشند (هاشمی، ۱۳۸۴). موقعیت منطقه مورد مطالعه در شکل (۱) نشان داده شده است.



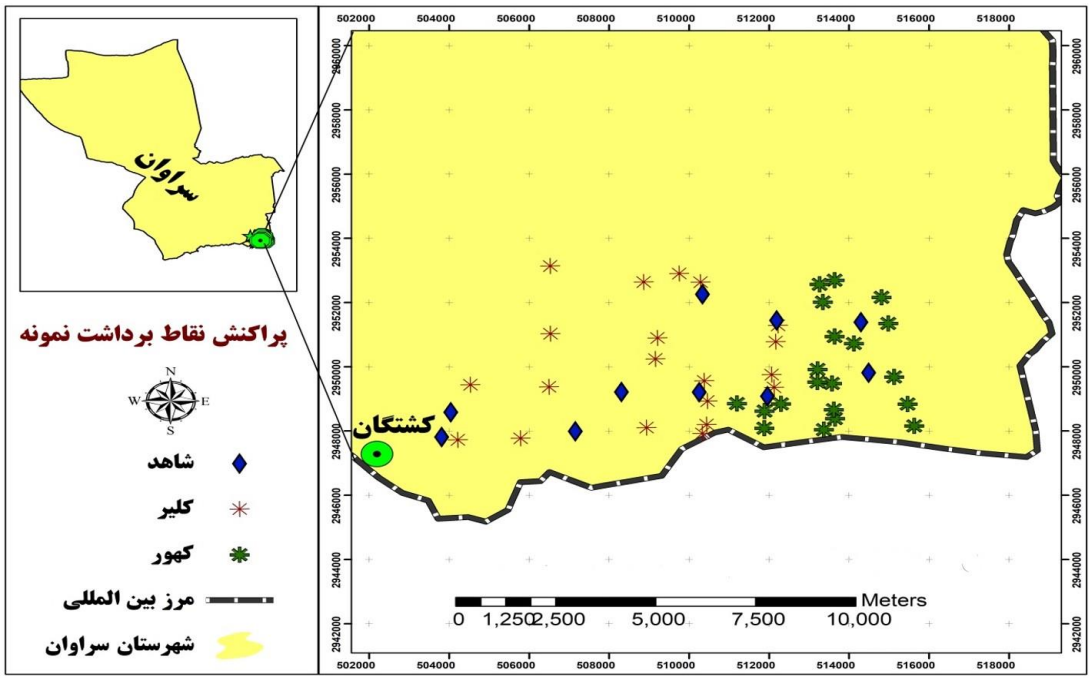
شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

- **روش پژوهش**

در این پژوهش به منظور تعیین میزان کربن ذخیره شده در خاک، نمونه‌برداری از خاک با روش تصادفی- سیستماتیک صورت گرفت. ترانسکت‌های ۱۰۰ متری به‌صورت تصادفی در مناطق مورد پژوهش در نظر گرفته و نقاط برداشت در فواصل مشابه در طول ترانسکت برای نمونه‌برداری حفاری شد. تعداد نقاط برداشت در بخش حضور هرکدام از گونه‌های گیاهی جداگانه ۲۰ نقطه و بخش عدم حضور گونه گیاهی (شاهد) نیز به همین تعداد در نظر گرفته شد (شکل ۲). در بخش حضور گونه گیاهی برای برداشت هر نمونه، پس از جمع‌آوری لاشبرگ سطحی موجود در زیر تاج پوشش یک نمونه ترکیبی تهیه شد. برای تهیه نمونه مرکب از ۵ نقطه در سایه انداز درخت نمونه خاک از عمق ۳۰ سانتی‌متری با وزن‌های یکسان برداشت، باهم مخلوط کرده و یک نمونه آزمایشگاهی به وزن مورد نیاز گرفته شد. نمونه‌های خاک پس از بسته‌بندی و شماره‌گذاری به آزمایشگاه انتقال یافت که پس از قرار گرفتن در معرض هوای آزاد و بدون قرارگیری در معرض نور مستقیم خورشید خشک و سپس از الک دو میلی‌متری عبور داده شد و جهت انجام آزمایش آماده گردید. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک شامل بافت خاک (Bouyoucos, ۱۹۶۲)، وزن مخصوص ظاهری (۱۹۸۶ Black and Hertag,)، اسیدیته خاک با دستگاه pH متر، شوری خاک با دستگاه EC متر و کربن آلی خاک (۱۹۳۴ Walkley and Black,) با استفاده از روش‌های استاندارد در سه تکرار اندازه‌گیری گردید. مقدار انباشت کربن بر حسب کیلوگرم در هکتار بر اساس رابطه (۱) زیر محاسبه شد (Lemma et al., ۲۰۰۶):

$$Cc = ۱۰۰۰۰ \times OC\% \times B_d \times E \qquad \text{رابطه ۱}$$

در این رابطه Cc کربن آلی برحسب کیلوگرم در هکتار، OC٪ درصد کربن آلی، B_d وزن‌مخصوص ظاهری خاک برحسب گرم بر سانتیمترمکعب، E عمق نمونه‌برداری خاک برحسب سانتی‌متر می‌باشد.



شکل ۲ - پراکنش دو نمونه گیاهی کهور ایرانی و کلیر در منطقه مورد مطالعه

- **تجزیه و تحلیل آماری**

ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف– اسمیرنوف و همگنی واریانس داده‌ها با آزمون لون مورد بررسی قرار گرفت و برای مشخص شدن اثر گونه گیاهی و همچنین عدم حضور گیاه بر ذخیره کربن از آنالیز واریانس یک‌طرفه و برای مقایسه میانگین‌ها در نقاط نمونه‌برداری شده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار[۱] (LSD) در سطح یک درصد استفاده شد. تجزیه و تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از نرم‌افزار SAS و ترسیم نمودارها با استفاده از نمودار Excel صورت گرفت.

شرح و تفسیر نتایج

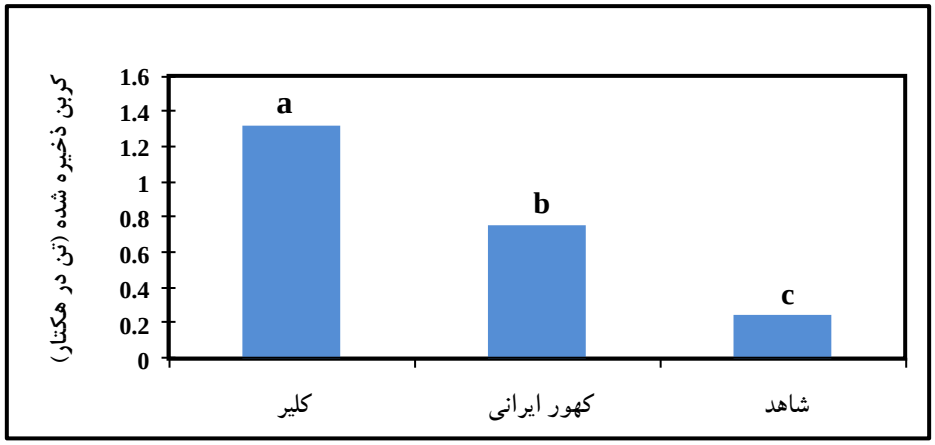
آنالیز واریانس داده‌ها نشان داد که بین تیمارهای مورد بررسی از لحاظ مقادیر رس، کربن آلی و میزان انباشت کربن تفاوت معنی‌داری وجود دارد (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بین خاک تحت پوشش گونه‌های گیاهی و خاک منطقه شاهد از لحاظ مقادیر رس، کربن آلی و انباشت کربن تفاوت معنی‌داری وجود دارد. در این منطقه با شرایط خاص دمایی و بارندگی سالانه آن در اقلیم گرم و خشک، متوسط پایه‌های گیاهی از دو گونه مورد مطالعه به تعداد ۱۸ پایه در هکتار بوده که سهم گونه‌های کلیر و کهور ایرانی به‌ترتیب ۵۵/۶ و ۴۴/۴ درصد می‌باشد. همچنین میزان کربن انباشت شده در منطقه دارای گونه کلیر (۱/۳۲ تن در هکتار) به‌طور معنی‌داری ($p<۰,۰۱$) بیشتر از منطقه دارای کهور ایرانی (۰/۷۵ تن در هکتار) و منطقه شاهد (۰/۲۵ تن در هکتار) بود (شکل ۳). میانگین مقدار کربن آلی در منطقه دارای گونه کلیر، منطقه دارای گونه کهور ایرانی و منطقه شاهد به‌ترتیب ۰/۷۵، ۰/۳۱ و ۰/۱ تن در هکتار به‌دست آمد (شکل ۴). همچنین میانگین درصد رس در منطقه دارای گونه کلیر ۱۳/۴، در منطقه دارای گونه کهور ایرانی ۱۵/۹۵ و در منطقه شاهد ۱۸ /۴۹ درصد اندازه‌گیری گردید (شکل ۵). از نظر سایر خصوصیات تفاوت معنی‌داری در سه منطقه مشاهده نشد (جدول ۱).

جدول ۱- تجزیه واریانس خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

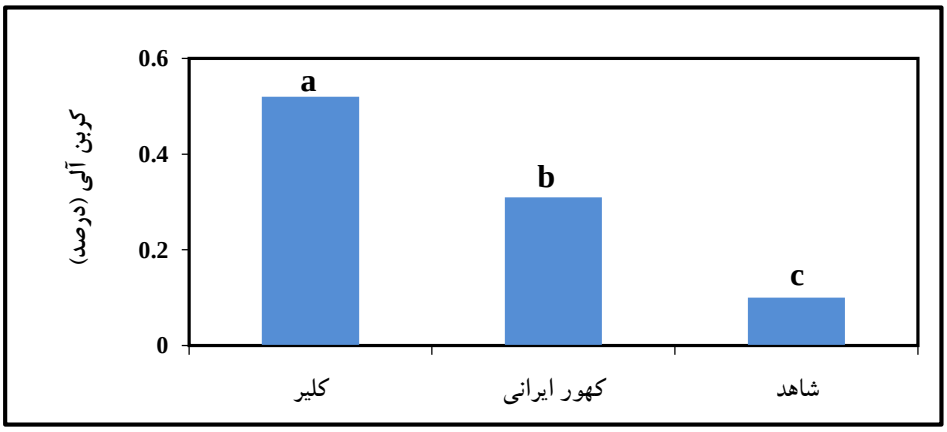
میانگین مربعات									
منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن مخصوص ظاهری	شوری	اسیدیته	انباشت کربن	کربن آلی	رس	سیلت	شن
بین تیمارها	۲	۰/۰۵ ns	۰/۰۷۴ ns	۰/۰۱۸ ns	۴/۱۰۴**	۰/۶۰۹**	۱۰۴/۱۶**	۰/۰۴۲ ns	۱۰۰/۴۰ ns
درون تیمارها	۵۷	۰/۰۳ ns	۰/۰۵۵ ns	۰/۰۳۹ ns	۰/۳۰۶ ns	۰/۰۴۶ ns	۱۱/۶۳ ns	۲۰/۶۶ ns	۴۱/۷۳ ns
ضریب تغییرات		۱۰/۶۷	۱۶/۶۹	۲/۴۱	۶۲/۵۵	۶۰/۶۷	۲۲/۲۷	۳۳/۱۵	۹/۱۰

** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و غیر معنی‌دار

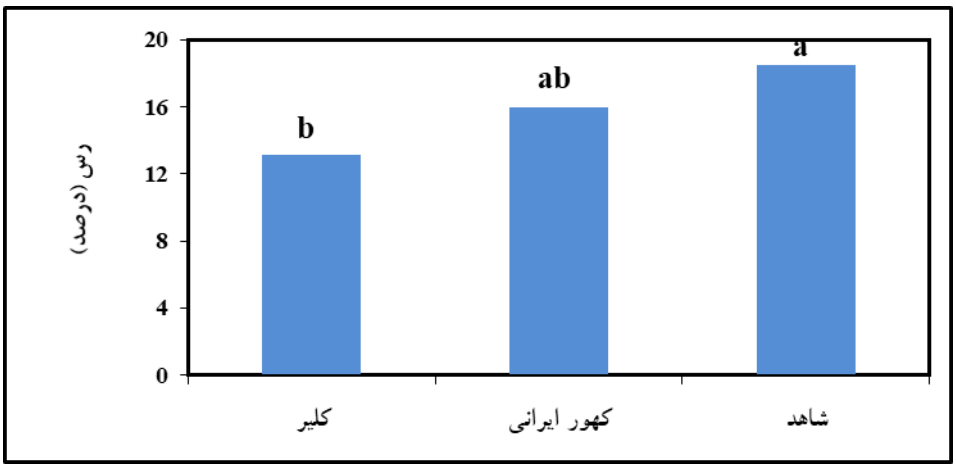
۱- Least Significant Difference



شکل ۳- میانگین میزان ذخیره کربن خاک در تیمارهای مختلف



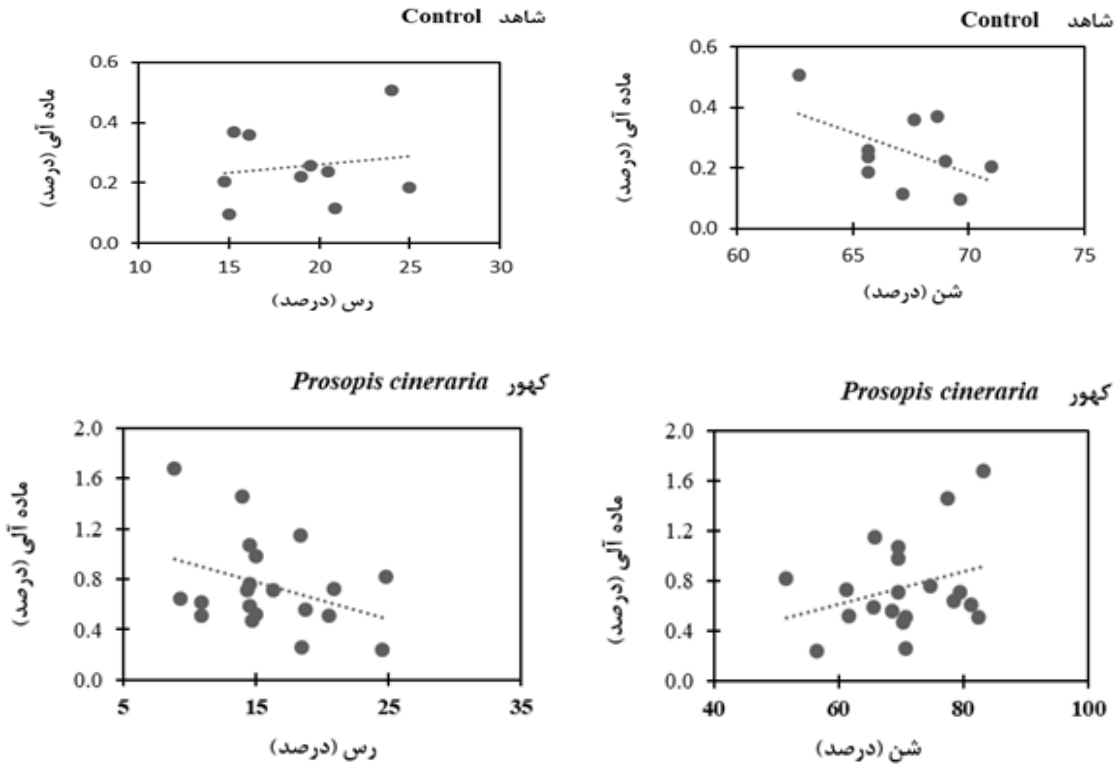
شکل ۴- میانگین میزان کربن آلی خاک در تیمارهای مختلف



شکل ۵- میانگین میزان رس خاک در تیمارهای مختلف

نتایج تجزیه رگرسیونی بر روی درصد ماده آلی خاک و محتوای رس و شن نشان داد که در منطقه دارای گونه کهور درصد ماده آلی خاک رابطه مستقیم و مثبتی با درصد شن خاک و رابطه مستقیم و منفی با درصد رس خاک

دارد (شکل ۶). اما در مقابل در منطقه شاهد درصد ماده آلی خاک رابطه مستقیم و منفی با درصد شن خاک و رابطه مستقیم و مثبت با درصد رس خاک دارد.



شکل ۶- رابطه بین میزان رس و شن خاک در تیمار شاهد و کهور

نتایج نشان داد که گونه‌های کلیر و کهور ایرانی به ترتیب منجر به انباشت کربن به میزان ۱/۳۲ و ۰/۷۵ تن در هکتار نسبت به منطقه شاهد (۰/۲۵ تن در هکتار) شده‌اند. این نتیجه بیانگر تأثیر مثبت گونه‌های کلیر و کهور ایرانی بر میزان انباشت کربن خاک است. نتایج پژوهش‌های پیشین در مورد تأثیر جنگل‌کاری بر انباشت کربن خاک همگی حاکی از آن است که افزایش سطح جنگل‌ها به ویژه در اراضی بایر و تخریب شده، باعث افزایش جذب کربن در خاک می‌گردد (Hopmans & Elms, ۲۰۰۹ ; Rossi et al., ۲۰۰۹) در این راستا گرانزویگ و همکاران (Grunzweig et al.,۲۰۰۳) در پژوهش خود بیان کردند که توسعه جنگل‌کاری‌ها در مناطق خشک اثر معنی‌داری بر انباشت کربن داشته که با نتایج این پژوهش، هم‌خوانی دارد. همچنین در این پژوهش، میزان کربن آلی خاک در منطقه دارای گونه‌های کلیر و کهور ایرانی بیشتر از منطقه شاهد بود. در مطالعه‌ای که در جنگل‌های اسکاتلند توسط کنل و میلن (Cannel and Milne, ۱۹۹۵) انجام گرفت به این نتیجه رسیدند که افزایش لاشبرگ سطحی باعث می‌شود که کربن آلی خاک افزایش یابد. در پژوهشی دیگر، احمدی و همکاران (۱۳۹۳) دریافتند که میزان انباشت کربن در منطقه دارای پوشش درختی بیشتر از منطقه شاهد بود. همچنین جعفری‌سرابی و همکاران (۱۴۰۰)، روانشادی و همکاران (۱۳۹۶) و میرزایی و همکاران (۱۳۹۲) در پژوهش خود، به نتیجه مشابه‌ای دست‌یافتند. بنابراین افزایش میزان ورودی مواد آلی از طریق افزایش میزان لاشبرگ ورودی به خاک منطقه، افزایش فعالیت‌های بیولوژیکی، تغییر میکروکلیما،

افزایش فعالیت ریشه در گردش عناصر از دلایل قابل ذکر برای افزایش میزان کربن آلی خاک در منطقه دارای گونه‌های کلیر و کهور ایرانی نسبت به منطقه شاهد است.

نتایج به‌دست آمده از ماده آلی خاک در این پژوهش، نشان می‌دهد که میزان ذخیره کربن خاک در منطقه دارای گونه کلیر (۱/۳۲ تن در هکتار) بیشتر از گونه کهور ایرانی (۰/۷۵ تن در هکتار) می‌باشد. اختلاف ایجاد شده می‌تواند به دلیل استفاده از سرشاخه‌ها، برگ‌ها و میوه کهور ایرانی برای تغذیه دام‌ها توسط افراد بومی باشد. زیرا ارزش علوفه‌ای دارد و در نتیجه باعث کاهش در میزان ذخایر کربن ورودی به خاک شده است. احمدی و همکاران (۱۳۹۳) در پژوهشی به این نتیجه رسیدند که میزان انباشت کربن در گونه تاغ بیشتر از سوف است. بردبار (۱۳۹۸) پتانسیل ذخیره کربن در دو گونه اکالیپتوس و آکاسیا را در مناطق غربی استان فارس مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد میزان انباشت کربن توسط گونه اکالیپتوس بیشتر از آکاسیا است. نتایج این پژوهش‌ها، بیانگر پتانسیل متفاوت گونه‌ها در ترسیب کربن می‌باشد. مطالعه تأثیر نوع پوشش گیاهی بر ویژگی‌های مختلف خاک نشان داده است که مقدار کربن آلی خاک به طور آشکاری بیشتر از سایر مشخصه‌ها تحت تأثیر نوع گونه گیاهی قرار می‌گیرد. توان ترسیب کربن بر حسب گونه گیاهی، مکان و شیوه مدیریت متفاوت است و ارتباط مستقیمی بین میزان کربن ترسیب شده و گونه گیاهی وجود دارد به‌طوری‌که برای گونه‌های مختلف، ضرایب متفاوتی برای ترسیب کربن ارائه شده است (Mortenson ۲۰۰۴ & Schuman,).

بین خاک منطقه دارای پوشش گیاهی و منطقه شاهد به لحاظ مقادیر pH، شوری و وزن مخصوص ظاهری، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۱). بر خلاف نتایج این پژوهش، وزیریان و همکاران (۱۳۹۴) در بررسی نقش آتریپلکس بر ترسیب کربن و شاخص‌های فرسایش‌پذیری خاک دریافتند که بین میزان ترسیب کربن و برخی از خصوصیات خاک ارتباط معنی‌داری وجود دارد. به‌طورکلی با افزایش میزان رس، تجمع ماده آلی در خاک افزایش می‌یابد (Weil and Brady, ۲۰۱۷). این افزایش به دو مکانیزم بستگی دارد؛ ابتدا پیوندهای بین سطح ذرات رس و ماده آلی روند تجزیه را عقب می‌اندازند، سپس، خاک‌هایی که مقدار رس بیشتری دارند، توان تشکیل خاکدانه‌ها را افزایش می‌دهند. دانه‌های درشت از نظر فیزیکی از مولکول‌های ماده آلی در برابر معدنی‌شدن بیشتر ناشی از حمله میکروبی محافظت می‌کنند (Hoyle et al., ۲۰۱۱). در شرایط آب‌وهوایی مشابه، محتوای ماده آلی در خاک‌های ریز بافت (رسی) دو تا چهار برابر خاک‌های درشت بافت (شن و ماسه) است (Xu et al., ۲۰۱۶). اما در این پژوهش، نتایج متفاوتی حاصل شد (شکل ۶). به‌طوری‌که، درصد رس در عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری در منطقه شاهد بیشتر از منطقه دارای پوشش گیاهی کلیر و کهور ایرانی می‌باشد که نشان می‌دهد با افزایش درصد رس خاک درصد حضور گونه‌های درختی کاهش و به تبع آن میزان کربن آلی و در نتیجه ترسیب کربن کاهش یافته است. گراتن و چارلز (Garten and Charles, ۲۰۰۲) براساس بررسی‌های انجام شده، بیان کردند که خاک‌های دارای مقدار شن بیشتر و میزان کربن اولیه کمتر، کربن آلی بیشتری را می‌توانند جذب کنند. عبدی و همکاران (۱۳۸۷) و قاسمی و همکاران (۱۳۹۶) نیز در پژوهش‌های خود به این نتیجه دست یافتند که با افزایش درصد شن در بافت خاک میزان ترسیب کربن افزایش پیدا می‌کند، آنها دلیل این موضوع را سازگاری زیاد گونه‌ها با خاک‌های سبک نسبت دادند. همچنین در پژوهش جیمنز و همکاران (Jimenez et al., ۲۰۰۸) نیز نتیجه مشابه‌ای مشاهده گردید و میزان ترسیب کربن در چهار نوع جنگل مورد بررسی، در عمق ۴۰ تا ۵۰ سانتی‌متری خاک کاهش یافت. همچنین نتایج نشان داد که این

کاهش میزان کربن خاک توأم با افزایش میزان رس موجود در خاک بود. بر خلاف نتایج این پژوهش، ازلان و همکاران (Azlan et al., ۲۰۱۲) با بررسی ارتباط بافت خاک و ذخیره کربن خاک گزارش دادند که ذرات رس با ایجاد حایل از تجزیه میکروبی جلوگیری نموده و بر خلاف شن منجر به افزایش ذخیره کربن می‌شود. کریمی و همکاران (۱۳۹۴) نشان دادند که با افزایش رس، مقدار کربن آلی افزایش می‌یابد. به نظر می‌رسد اختلاف در نتایج به‌دست آمده بیشتر موید این واقعیت است که پراکنش پوشش گیاهی در مناطق خشک و نیمه‌خشک در خاک‌های با بافت شنی موفق‌تر است و دلیل افزایش ماده آلی در خاک‌های با بافت شنی به دلیل شانس بیشتر استقرار بوته‌ها در این میکروکلیما است. همان‌طور که در این پژوهش مشخص شد، محتوای بیشتر رس خاک در تیمار شاهد که زمین عاری از پوشش بود، این فرضیه را تقویت می کند.

نتیجه‌گیری

افزایش کربن آلی خاک نقش مهمی را در تعدیل تغییرات اقلیمی دارد. براساس نتایج این پژوهش، میزان انباشت کربن در گونه کلیر (۱/۳۲ تن در هکتار) بیشتر از گونه کهور ایرانی (۰/۷۵ تن در هکتار) و منطقه شاهد بود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت کاشت گونه‌های گیاهی باعث افزایش میزان انباشت کربن خاک می‌شود و همان‌گونه که مشاهده شد توان انباشت گونه‌های مختلف متفاوت است. با توجه به سازگاری گونه‌های کلیر و کهور ایرانی نسبت به خشکی و سایر تنش‌های موجود در بیابان، همچنین تاثیر آن‌ها در انباشت کربن و افزایش کربن آلی خاک که سبب حاصلخیزی خاک این مناطق و در مقیاسی وسیع‌تر کاهش اثرات گازهای گلخانه‌ای و کاهش گرمای جهانی می‌شود، لذا کشت این گونه‌ها در سایر مناطق بیابانی کشور توصیه می‌گردد. با توجه به اهمیت انباشت کربن در سطح جهانی و قرار گرفتن بخش وسیعی از اراضی کشور در مناطق بیابانی و وجود شرایط کم آبی و خشک‌سالی، شناسایی و کشت گونه‌های سازگار که پتانسیل انباشت کربن بیشتری دارند ضروری می‌باشد چرا که در ضمن تأمین حفاظت کمی و کیفی رویشگاه، می‌تواند راهکاری مناسب برای مقابله با گرمایش جهانی و بحران تغییر اقلیم و در نهایت، دستیابی به توسعه پایدار شود.

منابع

احمدی، حمزه؛ غلامعلی حشمتی و حمیدرضا ناصری. ۱۳۹۳. پتانسیل ترسیب کربن خاک در اراضی بیابانی تحت اثر دو گونهٔ تاغ و سوف (مطالعهٔ موردی: آران و بیدگل). *مجله مهندسی اکوسیستم بیابان*، **۳(۵)**: ۳۶-۲۹.

امیراصلانی، فرشاد؛ ۱۳۸۳. ترسیب کربن در اراضی بیابان زایی. *جنگل و مرتع*، **۶۲**: ۷۶-۷۱.

بردبار، سیدکاظم؛ ۱۳۹۸. برآورد میزان ترسیب کربن توده‌های شاخه‌زاد بلوط ایرانی (Quercus brantii Lindl.) در کامفیروز استان فارس. *حفاظت زیست بوم گیاهان*، **۷(۱۵)**: ۱۵۴-۱۴۱.

جعفری‌سرابی، حمزه؛ بابک پیله‌ور، کامبیز ابراری واجاری و سیدمحمد واعظ موسوی. ۱۴۰۰. تغییرات ترسیب کربن و برخی ویژگی‌های خاک در تیپ‌های جنگلی زاگرس میانی (مطالعه موردی: جنگل‌های استان لرستان). *بوم‌شناسی جنگل‌های ایران*، **۹ (۱۷)**: ۱۵۱-۱۴۲.

روانشادی، زهرا؛ سهراب الوانی‌نژاد و ابراهیم ادهمی. ۱۳۹۶. تاثیر جنگل کاری با گونه های اکالیپتوس (Eucalyptus camaldulensis Dehnh.) و بادام کوهی (Amygdalus scoparia Spach.) بر ترسیب کربن و برخی از ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک (مطالعه موردی: پارک جنگلی دشت مازه دهدشت). *نشریه مهندسی اکوسیستم بیابان*، **۶(۱۵)**: ۲۴-۱۱.

عبدی، نوراله؛ حسن مداح عارفی و قوام الدین زاهدی امیری. ۱۳۸۷. برآورد ظرفیت ترسیب کربن در گون‌زارهای استان مرکزی (مطالعه موردی منطقه مالمیر شهرستان شازند). *تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، **۱۵(۲)**: ۲۸۲-۲۶۹.

علیزاده، میثم؛ محمد مهدوی، محمد حسن جوری، خدیجه مهدوی و بهروز ملک پور. ۱۳۹۲. برآورد مقدار ترسیب کربن خاک در مراتع استپی (مطالعه موردی: مراتع استپی رودشور ساوه). *مرتع*، **۵(۲)**: ۱۷۰-۱۶۳.

فروزه، محمدرحیم؛ غلامعلی حشمتی، غلامعباس قنبریان و سیدحمید مصباح. ۱۳۸۷. مقایسه توان ترسیب کربن سه گونه بوته ای گل آفتابی, سیاه گینه و درمنه دشتی در مراتع خشک ایران (مطالعه موردی: دشت گربایگان فسا). *محیط شناسی*، **۳۴(۴۶)**: ۷۲-۶۵.

قاسمی آقباش، فرهاد؛ شریفه حیدریان و عیسی سلگی. ۱۳۹۶. بررسی میزان توانایی ترسیب کربن پوشش درختی و خاک حاشیه بزرگراه در زیست بوم جنگلی زاگرس (مطالعه موردی: بزرگراه خرم آباد - اندیمشک). *حفاظت زیست بوم گیاهان*، **۵ (۱۱)**: ۱۱۵- ۱۲۹.

قربانی، اردوان؛ مهدی معمری، معصومه عباسی، سیما لازمی زارع، مهسا بقایی، کاظم هاشمی مجد، میکاییل بدرزاده و بهنام بهرامی. ۱۴۰۱. بررسی تغییرات ترسیب کربن و برخی خصوصیات خاک در گرادیان ارتفاعی مراتع شمال سبلان. مدل سازی و مدیریت آب و خاک، Doi: ۱۰,۲۲۰۹۸/MMWS.۲۰۲۳,۱۲۲٤٥,۱۲۱۸

کریمی، علیرضا؛ صبا باقری فام و حسین شایسته زراعتی. ۱۳۹۴. قابلیت تاغ در ترسیب کربن آلی خاک در تپه های شنی سبزوار. *مدیریت خاک و تولید پایدار*، **۵(۱)**: ۲۰۰-۱۸۷.

میرزایی، جواد؛ فرزاد صیدی، سهیل سبحان اردکانی و مسعود بازگیر. ۱۳۹۲. اثرات جنگل‌کاری با گونه‌های بومی و غیر بومی بر میزان ترسیب کربن خاک در مناطق خشک زاگرس (مطالعه موردی: پارک جنگلی آبگرم دهلران). *تحقیقات جنگل و صنوبر ایران*، **۲۱(۳)**: ۵۱۶-۵۰۶.

نصرتی، کاظم؛ زینب محمدی و علی اکبر نظری سامانی. ۱۳۹۳. تاثیر عملیات پخش سیلاب دشت ذهاب کرمانشاه بر ذخیره کربن آلی خاک. *پژوهش های فرسایش محیطی*، **۴ (۲)**: ۱۲-۲۲.

هاشمی، سیدهادی. ۱۳۸۴. *طرح شناخت مناطق اکولوژیک کشور: پوشش گیاهی منطقه سراوان*. انتشارات موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع، تهران.

وزیریان، رویا؛ حمیدرضا عسگری، مجید اونق و چوقی بایرام کمکی. ۱۳۹۴. ارزیابی رابطهٔ بین تراکم کشت آتریپلکس (Atriplex halimus) با میزان کربن ترسیب‌شده در خاک (مطالعهٔ موردی: مراتع نیمه‌خشک اینچه‌برون، استان گلستان). *مرتع و آبخیزداری*، **۶۸(۱)**: ۱۸۰-۱۷۳.

Azlan, A.; E.R. Aweng, C.O. Ibrahim, and A. Noorhaidah. ۲۰۱۲. Carrelation between soil organic matter, total organic matter and water content with climate and depths of soil at different land use in Kelantan, Malasya. *Journal of Applied Sience and Environmental Management*, **۱٦(٤):** ۳٥۳- ۳٥۸.

Bardbar, S.K. and S.M. Mortazavi Jahromi. ۲۰۱٥. Investigating the potential of carbon storage in eucalyptus (Eucalyptus camaldulensis Dehnh) and acacia (Acacia salicina Lindl) forestry in the western regions of Fars province. *Journal of Research and Construction*, **۱۹(۱):** ۹٥-۱۰۳.

Black, G.R. and K.H. Hertag. ۱۹۸٦. Methods of Soil Analysis, part ۱, Physical and Mineralogical Methods. Soil Science Society of American Publication, Part ۱, pp ۳٦۳-۳۷٦.

Bouyoucos, G.J. ۱۹٦۲. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agronomy Journal*, **٥٤:**٤٦٤-٤٦٥.

Cannel, M.G.R. and R. Milne. ۱۹۹٥. Carbon pools and sequestration in forest ecosystems in Britain. Forestry. *International Journal of Forest Research*, **٦۸(٤):** ۳٦۱–۳۷۸.

Elbasiouny, H.; H. El-Ramady, F. Elbehiry, V.D. Rajput, T. Minkina, and S. Mandzhieva. ۲۰۲۲. Plant nutrition under climate change and soil carbon sequestration. *Sustainability*, **۱٤(۲):** ۹۱٤. https://doi.org/۱۰,۳۳۹۰/su۱٤۰۲۰۹۱٤

Foets, J.; J. Stanek-Tarkowska, A.J. Teuling, B. Van de Vijver, C.E. Wetzel, and L. Pfister. ۲۰۲۱. Autecology of terrestrial diatoms under anthropic disturbance and across climate zones. *Ecological Indicators*, **۱۲۲:** ۱۰۷۲٤۸.

Garten, J.R. and T. Charles. ۲۰۰۲. Soil carbon storage beneath recently established tree plantations in Tennessee and South Carolina United States of America. *Journal of Biomass and Bioenergy*, **۲۳(۲):** ۹۳-۱۰۲.

Grunzweig, J.M.; T. Lin, E. Rotenberg, A. Schwartz, and D. Yakir. ۲۰۰۳. Carbon sequestration in arid-land forest. *Journal of Global Change Biology*, **۹(۵):** ۷۹۱- ۷۹۹ .

Hopmans, P. and S.R. Elms. ۲۰۰۹. Changes in total carbon and nutrients in soil profiles and accumulation in biomass after a ۳۰ year rotation of Pinus radiata on podzolized sands: Impacts of intensive harvesting on soil resources. *Journal of Forest Ecology and Management*, **۲۵۸(۱۰):** ۲۱۸۳- ۲۱۹۳.

Hoyle, F.C.; J.A. Baldock, and D.V. Murphy. ۲۰۱۱. *Soil organic carbon–role in rainfed farming systems*. Rainfed farming systems. Springer Nature book, pp. ۳۳۹-۳٦۱.

Jimenez, J.; R. Lal, R.O. Russo, and H.A. Leblanc. ۲۰۰۸. The soil organic carbon in particle-size seperates under different regrowth forest stands of Northestern Costarica. *Journal of Ecological Engineering*, **۳٤:** ۳۰۰- ۳۱۰.

Lal, R. ۲۰۰٤. Carbon sequestration in dryland ecosystems. *Environmental management*, **۳۳:** ۵۲۸-۵٤٤.

Lal, R. ۲۰۱۰. Managing soils and ecosystems for mitigating anthropogenic carbon emissions and advancing global food security. *Journal of BioScience*, **٦۰(۹):** ۷۰۸-۷۲۱.

Lal, R. ۲۰۲۱. Soil management for carbon sequestration. South African Journal of Plant and Soil, ۳۸(۳): ۱-۷.

Lemma, B.; D. B. Kleja, I. Nilsson, and M. Olsson. ۲۰۰٦. Soil carbon sequestration under different exotic tree species in the Southwestern Highlands of Ethiopia. Geoderma, **۱۳٦:** ۸۸٦-۸۹۸.

Mortenson, M. and G.E. Schuman. ۲۰۰٤. Carbon sequestration in rangeland interseeded with yellow flowering Alfalfa (Medicago sativa spp. Falcata). Journal of *Environmental Management*, **۳۳(۱):** ٤۷۵- ٤۸۱.

Perez Bejarano, A.; J. Mataix-Solera, R. Zornoza, C. Guerrero, V. Arcenegui, J. Mataix-Beneyto, and S. Cano-Amat. ۲۰۱۰. Influence of plant species on physical, chemical and biological soil properties in a Mediterranean forest soil. *European Journal of Forest Research*, **۱۲۹(۱):** ۱۵–۲٤.

Rossi, J.; A. Govaearts, B. Vos, B. Verbist, A. Vervoort, J. Poesen, B. Muys, and J. Deckers. ۲۰۰۹. *Spatial structures of soil organic carbon in tropical forests (Case study of South eastern Tanzania)*. Catena, **۷۷(۱):** ۱۹-۲۷.

Shi, J. and I. Gui. ۲۰۱۰. Soil carbon change and its affecting factors following afforestation in China. *Journal of Landscape and Urban Planning*, **۹۸(۲):** ۷۵-۸۵.

Stockmann, U.; M.A. Adams, J.W. Crawford, D.J. Field, N. Henakaarchchi, and M. Jenkins. ۲۰۱۳. The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. *Journal of Agriculture, Ecosystems and Environment*, **۱٦٤:** ۸۰–۹۹.

UNDP. ۲۰۰۱. *Carbon sequestration in the desertified ranglands of Hossein Abad*, South Khorasan, through community-based management. GEF Project. Project ID: ٦۷۳.

Walkley, A. and I. A. Black. ۱۹۳٤. Estimation of soil organic carbon by the chromic acid titration method. *Soil Science*, **۳۷:** ۲۹-۳۸.

Weil, R.R. and N.C. Brady (Eds.). ۲۰۱۷. *The nature and properties of soils*. ۱٥th edition. Pearson, Columbus.

Whilliam, E. ۲۰۰۲. Carbon dioxide fluxes in a semiarid environment with high carbonate soils. *Journal Agricultural and Forest Meteorology*, **۱۱٦(۱):** ۹۱-۱۰۲.

Xu, X.; Z. Shi, D. Li, A. Rey, H. Ruan, J.M. Craine, and Y. Luo. ۲۰۱٦. Soil properties control decomposition of soil organic carbon: Results from data-assimilation analysis. Lawrence Berkeley National Laboratory. *Geoderma*, **۲٦۲:** ۲۳٥-۲٤۲.