فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران
جلد ۲۵، شماره ۲، صفحه ۳۲۳-۳۱۰ (۱۳۹۷)
شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/ijrdr.2018.116843

تعیین ظرفیت ترسیب کربن در روش‌های مختلف مرتع‌کاری در مناطق مختلف جغرافیایی کشور

یحیی پرویزی[۱*]، محمد قیطوری[۲]، رضا بیات[۳]، علیرضا شادمانی[۴] و افشین پرتوی[۵]

۱*- نویسنده مسئول، دانشیار، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران، پست الکترونیک: yparvizi1360@gmail.com

۲- استادیار، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران

۳- استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۴- مربی پژوهشی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۵- مربی پژوهشی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۵/۵/۱۹ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۲/۲۳

چکیده

ترسیب کربن از اتمسفر در اکوسیستم‌های زمینی رهیافتی پایدار برای مقابله و سازگاری با تهدید تغییرات اقلیمی در عصر حاضر تلقی می‌شود. این پژوهش با هدف بررسی ظرفیت روش‌های مختلف مرتع‌کاری در مناطق مختلف اقلیمی و جغرافیایی کشور در ترسیب کربن اتمسفری انجام شد. برای این کار، در استان‌های لرستان، فارس، کرمانشاه، خراسان رضوی، مازندران، کردستان، کرمان، مرکزی و اصفهان سایت‌های معرف عملیات مرتع‌کاری انتخاب گردید. سپس با عملیات میدانی، ضمن ثبت ویژگی‌های سایت‌های انتخاب شده، نمونه‌برداری خاک، زیست‌توده هوایی و ریشه و لاشبرگ به صورت سیستماتیک تصادفی در سایت‌های مطالعاتی و شاهد انجام شد. نتایج نشان داد که عملیات مرتع‌کاری اجرا شده در مناطق جنگل‌های نیمه‌خشک واقع در دامنه‌های زاگرس مرکزی بیشترین ظرفیت ترسیب کربن را دارند. عملیات بذرکاری، بذرپاشی و کپه‌کاری گراس‌ها و لگوم‌های چندساله مانند فستوکا، یونجه، جاشیر و اسپرس اجرا شده در این مناطق موفق به ترسیب ۱۷/۴ تا ۸۰ تن کربن در هکتار شده است. همچنین سهم ترسیب کربن در خاک از کل کربن ترسیب یافته در این مناطق کمینه ۹۳ درصد از کربن ذخیره شده را شامل می‌شد. عملیات مرتع‌کاری همراه با قرق، ترسیب کربن را تا حدود دو برابر افزایش داده بود. در این مناطق کپه‌کاری موفق‌تر از سایر شکلهای عملیات بود. در مناطق هیرکانی، عملیات بذرکاری گراس‌های مرتعی حدود ۱۸ تن کربن ترسیب نموده و از نظر ظرفیت ترسیب کربن در ایران پس از عملیات مرتع‌کاری در دامنه‌های زاگرس مرکزی در رده دوم قرار داشت. عملیات مرتع‌کاری اجرا شده در مناطق خشک و نیمه‌خشک مرکز و نیمه شرقی کشور در قیاس با دیگر مناطق ذکرشده بالا تأثیر چندانی در افزایش ظرفیت ترسیب کربن در عرصه نداشته‌اند. به‌طوری‌که بیشترین کمیت ترسیب کربن را قرق مراتع در دو حوزه کارده مشهد و شمس‌آباد اراک به‌ترتیب با ترسیب ۵/۶۳ و ۶/۵۱ تن کربن در هکتار به خود اختصاص داده‌اند. تغییر کاربری دیمزار به مرتع در حوزه کارده مشهد منجر به ترسیب ۴/۷ تن کربن در هکتار شده است.

واژه‌های کلیدی: گرمایش جهانی، ترسیب کربن، کپه‌کاری، مدیریت اراضی، بذرکاری.

مقدمه

امروزه گرمایش و تغییر اقلیم کره زمین ناشی از تصاعد گازهای کربنی به جو زمین، از مهمترین تهدیدها در توسعه پایدار، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان مانند ایران می‌باشد. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که میانگین دمای کره زمین حدود ۰/۱۸ تا ۰/۷۴ درجه سانتی‌گراد طی قرن بیستم افزایش یافته است (IPCC, 2007). در پی اقدامات انسانی تا سال ۲۱۰۰ میزان گاز کربنیک به مقدار ۵۴۰ تا ۹۷۰ پی‌پی‌ام افزایش خواهد یافت (Lal, 2008). بخش کشاورزی و منابع طبیعی یکی از منابع اصلی تولید این گازها می‌باشد. در دهه ۱۹۹۰، این بخش مسئول انتشار ۱۵٪ از گازهای گلخانه‌ای بود، اما اکنون حدود ۳۴ درصد از گازهای گلخانه‌ای منتشر شده به جو، معلول این عرصه‌هاست (Lal, 2008). ایران در سال ۱۹۵۰ به لحاظ انتشار گازهای گلخانه‌ای در رتبه ۲۸ دنیا بود. ایران در سال ۲۰۰۰ به رتبه ۱۷ صعود نمود و گزارش‌ها در سال ۲۰۱۰ حکایت از صعود ایران به رتبه ۱۱ بود. بر اساس گزارش سال ۲۰۱۲، ایران با داشتن حدود ۱٪ از جمعیت دنیا، ۱/۸۴٪ از مجموع گاز گلخانه‌ای دی‌اکسیدکربن را در سطح دنیا تولید می‌کند. ازاین‌رو مقام هفتم را در تولید این گاز در میان کشورهای جهان دارد (Burck *et al*., 2014). با توجه به اثرات اجتناب‌ناپذیر تغییرات اقلیمی و گرمایش جهانی بر بخش‌های کشاورزی و منابع طبیعی، باید کلیه گزینه‌های ممکن در اصلاح یا سازگاری با پدیده تغییر اقلیم مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد. به دام انداختن کربن اتمسفری یا ترسیب کربن به شکل طبیعی از طریق اقدامات مدیریتی به‌ویژه در عرصه اراضی ازجمله راهکارهای شناخته شده می‌باشد (Lal, 2004). عملیات مدیریتی در پایداری و ذخیره کربن در خاک و در نتیجه چرخه جهانی کربن تأثیر بسزایی داشته است (Lal, 2011). در بوم‌سازگان‌های زراعی به‌ویژه در دیمزارها، عمدتاً رویکرد اصلی مدیریتی باید به سمت حفظ مخزن کربن موجود و اصلاح نقاط تخریب یافته باشد. یک مطالعه موردی در آمریکا نشان داد که می‌توان در عرصه‌های زراعی با اعمال خاک‌ورزی حفاظتی، بین ۳۰ تا ۱۰۵ میلیون تن کربن به ذخیره کربن اراضی افزود. ضمن آنکه اعمال سامانه تناوب حفاظتی بین ۱۴ تا ۲۹ میلیون تن کربن آلی به ذخیره این خاک‌ها اضافه نموده است. همچنین ذخیره کربن آلی خاک را می‌توان با مدیریت بقایای گیاهی، اصلاح ترکیب و نظام کشت و کنترل فرسایش بهبود بخشید (Lal, 2008). تغییر کاربری اراضی در تخریب و تلفات خاک نقش داشته و منجر به کاهش ذخیره‌سازی کربن خاک می‌شود (Eaton, 2008). در این زمینه مطالعات زیادی تأیید کرده‌اند که ذخیره کربن به تغییر کاربری بسیار حساس است (Novara, 2013; Smith, 2008). بنابراین تغییر کاربری اراضی یا اعمال شیوه‌های مدیریتی مختلف، ممکن است موجب تبادل مقادیر قابل توجه کربن بین خاک و اتمسفر شود (Houghton, 2003). به‌عنوان مثال، در جنوب اسپانیا تغییر اراضی زراعی به باغ و جنگل، منجر به افزایش ۱۴ درصدی کربن آلی در خاک شده است (Munoz, 2012). تغییرات کاربری معمولاً باعث کاهش کربن آلی خاک، غلظت عناصر غذایی و تخریب ساختمان خاک می‌شود (Emadi *et al*., 2009). عملیات شخم ساختمان خاک را به‌هم می‌ریزد و اکسیداسیون کربن آلی خاک را با افزایش هوادهی تشدید می‌کند (Novara *et al*., 2013). سوابق مطالعاتی نسبتاً متعدد و پراکنده‌ای در مورد تأثیر عملیات مرتع‌کاری در سطح کشور وجود دارد. Lashani و همکاران (۲۰۱۶) نشان دادند که عملیات مرتع‌کاری در دو حوزه معرف ریمله و آبخوانداری کوهدشت در استان لرستان منجر به ترسیب به‌ترتیب ۱۶۰۴ و ۱۲۲ کیلوگرم کربن در هکتار در بیوماس گیاهی ناحیه مرتع‌کاری نسبت به شاهد شده بود. گایکانی (۱۳۹۰) مقدار کل ترسیب کربن در عملیات مرتع‌کاری کشت گونه‌های گیاهی *Haloxylon persicum* و *Atriplex canescens* و مناطق قرق با تیپ‌های گیاهی طبیعی *Atriplex verrucifera* و *Salsola incanescens*، در حاشیه شمال‌غربی کویر میقان اراک را به‌ترتیب ۳۰/۱۷، ۲۶/۱۱، ۲۶/۰۷ و ۲۵/۲۱ تن در هکتار برآورد کرد. Mahmoudi و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که عملیات ایجاد مرتع مصنوعی در محدوده دیمزار کم‌بازده از طریق

مرتع‌کاری با کاشت یونجه‌های چندساله ظرفیت ذخیره کربن را در دو اکوسیستم دیمزار کم‌بازده بطور متوسط ۱/۵۵ و ۱/۶۲ برابر نمود. همچنین میزان ذخیره کربن در بیوماس تولیدی با این عملیات حدود ۳۷/۸ تن در هکتار افزایش نشان داد. از سوی دیگر Joneidi و همکاران (۲۰۱۴) در سنندج نشان دادند که تغییر کاربری مرتع به کشت نخود و گندم دیم منجر به تخلیه به‌ترتیب ۴۴/۵ و ۴۴/۸ درصدی ذخیره کربن آلی خاک و تصاعد آن به اتمسفر خواهد شد. مقنی‌زاده اشکذری (۱۳۸۷) قابلیت عملیات مرتع‌کاری با کشت گونه آتریپلکس را در ترسیب کربن در مناطق خشک مرکزی کشور بررسی کرد. او نشان داد که این گونه قادر است کربن را به صورت زیست‌توده از ۱/۲ تا ۲/۴ تن در هکتار و به‌صورت کربن کل از ۵۹/۱ تا ۵۹/۸ تن در هکتار ذخیره نماید. Sheidai karkaj و همکاران (۲۰۱۳) نیز نشان دادند که مرتع‌کاری با آتریپلکس و آگروپیرون در چپرقویمه شهرستان گنبد توانسته به‌ترتیب ۲۱/۹۷ و ۱۲/۸۷ تن کربن را در خاک ترسیب نماید. اگرچه بررسی‌ها و مطالعات پراکنده‌ای که در سطرهای قبل بیان شد در سطح کشور انجام شده است، ولی به صورت جامع و برای مقایسه ظرفیت مناطق مختلف در این راستا پژوهش علمی انجام نشده است. بنابراین، این تحقیق با هدف کمی کردن اثرات اقدامات اصلاحی مختلف مرتع‌کاری و به‌طور ویژه شیوه‌های رایج مرتع‌کاری اعم از بذرپاشی، بذرکاری، کپه‌کاری و نیز سامانه مدیریتی قرق همراه با عملیات یادشده در ترسیب کربن اتمسفری در نه استان کشور شامل استان‌های فارس، خراسان رضوی، کرمان، لرستان، کرمانشاه، مرکزی، مازندران، اصفهان و کردستان انجام شد.

مواد و روش‌ها

برای انتخاب سایت‌های مطالعاتی در سطح استان‌های هدف اجرای طرح، با مشاوره کارشناسان سازمان جنگلها، مراتع و آبخیزداری کشور استان‌های مرکزی، کرمانشاه، اصفهان، لرستان، کردستان، خراسان رضوی، کرمان، مازندران و فارس انتخاب شدند. سپس گزارش‌های موجود در سطح هر استان در زمینه طرح‌های احیایی مرتع‌کاری بررسی و یک یا چند سایت معرف در هر استان که در آن پروژه‌های یادشده انجام شده بود، برای مطالعه انتخاب شد. این پروژه‌ها دارای بیشترین فراوانی در سطح استان بوده و در مرحله تثبیت و اثربخشی کامل بودند. پس از انتخاب سایت‌های مطالعاتی که برخی مختصات آنها در جدول ۱ نشان داده شده است، انجام بازدیدهای صحرایی و عملیات میدانی به‌منظور نمونه‌برداری خاک و زیتوده کل (آسمانه، ریشه) و لاشبرگ به صورت سیستماتیک تصادفی بر اساس نقشه واحدهای کاری و همزمان در سایت مطالعاتی و سایت شاهد انجام شد. تهیه نقشه واحد کاری به کمک نقشه اجرایی پروژه انجام شد. نمونه‌برداری زیست‌توده و لاشبرگ با اعمال روش ترانسکت و پلات انجام شد. تعداد ترانسکت در عرصه هر عملیات و شاهد مربوطه سه عدد و طول ترانسکت و تعداد پلات در هر ترانسکت با توجه به تغییرپذیری هندسی زمین و یکنواختی عرصه عملیات و شاهد متغیر و حداقل سه پلات بود. در مجموع تغییرپذیری هندسی عملیات مورد ارزیابی در استانهای کرمانشاه، کردستان، خراسان رضوی، مازندران و لرستان بیش از عملیات مورد ارزیابی در دیگر استانها بود. ازاین‌رو تعداد پلات در ترانسکت در مناطق یادشده بیش از سه پلات در نظر گرفته شد. ابعاد پلات با روش حداقل سطح (minimum area) تعیین شد. بدین‌ترتیب تعیین کننده ابعاد پلات ترکیب پوشش گیاهی و تنوع پوشش بود. نمونه‌برداری خاک با حفر پروفیل در عمق سالوم (افق‌های روی زمین و زیرزمین) و مواد مادری انجام شد. نمونه‌برداری خاک به دو روش دست‌خورده و دست‌نخورده و با Core sampler انجام گردید. نمونه‌برداری بیوماس و لاشبرگ در سطح پلات و به‌صورت زیر انجام شد.

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی و اقلیم مناطق سایتهای مطالعاتی

شماره	استان	حوزه آبخیز	مختصات UTM X	مختصات UTM Y	اقلیم (آمبرژه)
۱	کرمانشاه	روانسر	۶۴۸۷۸۱	۳۸۵۰۲۶۶	مرطوب
۲		ورمنجه	۶۹۱۲۳۸	۳۸۲۵۷۷۴	مرطوب
۳		سیاه‌کمر	۶۸۰۸۳۲۰	۳۸۰۱۰۰۸	مدیترانه‌ای
۴		گون‌بان	۷۴۳۹۸۱	۳۸۰۱۷۲۱	مدیترانه‌ای
۵		پاوه	۶۲۳۶۳۳	۳۸۷۶۳۳۸	مرطوب
۶		جوانرود	۶۴۰۹۶۳	۳۸۵۱۳۵۷	مرطوب
۷		عین‌الکش	۶۴۳۷۶۲	۳۸۰۲۴۶۲	مرطوب
۸		سرفیروزآباد	۷۱۶۶۳۴	۳۷۷۱۵۰۱	نیمه‌خشک
۹	فارس	کلستان	۶۲۲۰۰۰	۳۳۰۷۰۰۰	مرطوب
۱۰	لرستان	کوهدشت	۷۴۸۷۲۴	۴۷۱۶۴۰۳	نیمه‌خشک
۱۱			۷۴۹۴۷۴	۳۷۱۷۳۴۷	نیمه‌خشک
۱۳			۷۳۸۸۰۵	۳۶۸۴۲۴۴	نیمه‌خشک
۱۴		ریمله	۲۶۰۵۰۰	۳۷۲۴۵۰۰	نیمه‌مرطوب
۱۵			۲۶۲۰۰۰	۳۷۲۶۰۰۰	نیمه‌مرطوب
۱۶	کرمان	دره‌مرید	۴۶۸۴۲۴	۳۲۵۱۱۸۳	نیمه خشک
۱۷	مشهد	کارده	۷۳۱۳۱۶	۴۰۷۰۹۵۴	نیمه‌خشک
۱۸	مرکزی	شمس‌آباد	۷۱۸۲۸۸	۵۶۲۱۲۴۴	نیمه‌خشک
۱۹	کردستان	گاودره	۶۶۵۴۷۴	۳۹۳۰۷۰۷	نیمه‌مرطوب
۲۰	مازندران	سنگده	۴۹۸۹۶۶	۶۰۰۴۱۴۰	خیلی مرطوب
۲۱	اصفهان	دهاقان	۵۵۵۹۵۵	۳۵۲۰۹۴۹	خشک

در زمان نمونه‌برداری که مصادف با اواخر فصل گلدهی مراتع و تولید حداکثری زیتوده گیاهی بود، بیوماس و لاشبرگ در هر پلات، تراکم بوته، ترکیب گونه‌ای، درصد سطح تاج پوشش و لاشبرگ در سایت عملیات و شاهد مربوطه تعیین شد. برای تعیین بیوماس هوایی و ریشه از روش قطع و توزین استفاده شد. سپس نمونه جمع‌آوری شده در آزمایشگاه و در آون خشک و توزین گردید. نمونه‌های خاک به صورت مرکب از محدوده پلات و به‌گونه‌ای برداشته شد که از پنج نقطه در محدوده زیر و بین بوته‌ها نمونه تهیه و پس از مخلوط کردن یک نمونه مرکب برداشته شد؛ پس از جمع‌آوری نمونه‌های خاک و پوشش گیاهی، عملیات آنالیزهای آزمایشگاهی برای اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و گیاه و نیز تعیین شاخص‌های ذخیره و ترسیب کربن به‌شرح موارد زیر انجام شد. با داشتن مقدار کربن آلی خاک عمق (d) و وزن مخصوص ظاهری، ذخیره کربنی (Cs) هر لایه در هر هکتار با استفاده از رابطه ۱

محاسبه شد (Jafari Joneidi *et al.* 2013).

$$Cs= 10000×\%SOC×Bd×d \quad (۱)$$

که در آن Cs: ذخیره کربن بر حسب کیلوگرم در مترمربع یا تن در هکتار برای لایه مورد نظر، Bd: وزن مخصوص ظاهری خاک لایه مورد نظر بر حسب تن در مترمکعب، %SOC: درصد کربن آلی خاک لایه مورد نظر و d: عمق لایه بر حسب متر می‌باشد. سپس با میانگین‌گیری وزنی از ذخایر کربن آلی خاک لایه‌ها یا افق‌های مختلف تا عمق پروفیل (عمق استاندارد پروفیل شامل مجموع افق‌های سالوم و مواد مادری)، ذخیره کربن خاک در کل پروفیل و در واحد سطح (هکتار یا مترمربع) محاسبه شد. در نهایت برای محاسبه ذخیره کربن آلی خاک برای کل عرصه هر سایت، از ارقام ذخایر کربن اندازه‌گیری شده پروفیل‌های حفر شده بر حسب عرصه پوشش هر پروفیل میانگین وزنی گرفته و میزان ذخیره کربن خاک هر سایت محاسبه شد. کربن ترسیب شده در خاک نیز از تفاضل ذخایر کربنی خاک در سایت عملیات از سایت شاهد محاسبه گردید. برای تعیین ضرایب تبدیل کربن در نمونه‌های زیتوده و لاشبرگ، نمونه‌های گیاه و لاشبرگ در آون خشک و توزین شده و آسیاب گردید. مقدار کمی از آنها در کوره و در دمای ۴۵۰ درجه به مدت ۶ ساعت سوزانده شد. سپس درصد ماده آلی گیاهی برای هر نمونه با تفاضل وزن نمونه اولیه از وزن خاکستر حاصل محاسبه شد. برای محاسبه درصد کربن در نمونه‌ها یا ضریب کربن گیاهی، مقدار ماده آلی در ضریب ۰/۵ ضرب شد (رابطه ۲ و ۳) (Joneidi Jafari *et al.* 2014). در نهایت شاخص‌های ذخیره کربن زیتوده و لاشبرگ با ضرب نمودن ضریب کربن بیوماس و لاشبرگ در مقادیر بیوماس و لاشبرگ اندازه‌گیری شده در هر هکتار محاسبه شد.

$$\% OM = \frac{DW-AW}{DW} \times 100 \quad (۲)$$

$$\% OC = \%OM \times 0.5 \quad (۳)$$

که در آن OM= ماده آلی، OC= کربن آلی، AW= وزن خاکستر نمونه و DW= وزن خشک نمونه بود. معنی‌دار بودن تفاوت میانگین ذخایر کربن در بخش‌های مختلف خاک، زیتوده و لاشبرگ در هر سایت عملیات نسبت به شاهد مربوطه با تحلیل آماری تجزیه واریانس و آزمون‌های آماری مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن مشخص شد. در پایان در صورت معنی‌دار بودن تفاوت مقادیر ذخایر کربنی در هر سایت نسبت به شاهد، مقادیر شاخص‌های ترسیب کربن (ترسیب کربن خاکی، زیتوده و لاشبرگ و کل کربن ترسیب‌شده) در هر هکتار و برای مصادیق عملیات مورد ارزیابی و کل سایت مطالعاتی تعیین شد. برای این منظور، مقدار کربن ترسیب شده در خاک، زیتوده و لاشبرگ از تفاضل ذخایر کربنی مربوطه در سایت عملیات از سایت شاهد مربوطه محاسبه شد. در پایان، با محاسبه اثر عملیات مرتع‌کاری مورد ارزیابی در ترسیب کربن، پروژه‌های موفق در ترسیب کربن در مناطق مختلف کشور انتخاب و اولویت‌بندی گردید.

نتایج

در ابتدا ذکر این نکته ضروری است که بیان جزئیات کلیه جدولهای آنالیز واریانس و مقایسه میانگین‌ها در بخش‌های مختلف خاک، بیوماس و لاشبرگ و کل ذخیره کربن در سایت عملیات نسبت به شاهد برای کلیه عملیات در کلیه سایت‌های مطالعاتی خارج از حوصله این مقاله است. ولی برای تبیین چگونگی اعمال روش آماری و شیوه تحلیل یک مورد از نتایج آنالیز واریانس در عملیات مطالعاتی در استان فارس در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج ارائه شده در این جدول مربوط به تحلیل واریانس ارقام میانگین ذخیره کربنی خاک در سایت‌های مطالعاتی نسبت به شاهد است. همانگونه که از جدول یادشده پیداست اختلاف ذخایر کربنی در کلیه بخش‌های خاک، زیست‌توده و کل در مصادیق عملیات مطالعاتی در استان فارس تفاوت معنی‌داری را نسبت به شاهد نشان داد. این بدان معنی است که عملیات یادشده توانسته است به شکل معنی‌داری کربن اتمسفری را طی

سالهای پس از اجرا ترسیب نماید. به همین شیوه، تک‌تک آزمون‌های آماری و مقایسه میانگین‌ها برای کلیه سازه‌ها و مصادیق عملیات مرتع‌کاری با شاهد مربوطه، آن هم برای کلیه بخش‌های ذخایر کربنی خاک، بیوماس، لاشبرگ و کل انجام شد. در این مقاله، ارقام نهایی ترسیب کربن که از تفاضل متوسط مقادیر ذخایر کربنی سایت‌های عملیات مرتع‌کاری نسبت به شاهد مربوطه محاسبه شده مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرد که در سطرهای بعدی ارائه خواهد شد.

جدول ۲- نتایج مقایسه میانگین ذخایر کربنی زیست‌توده، خاک و کل بین سایت‌های عملیات و شاهد در استان فارس (تن در هکتار) با آزمون دانکن و میزان ترسیب کربن در اثر دو عملیات مورد ارزیابی

ذخیره کربن	حفاظت و قرق	بذرکاری	شاهد
زیست‌توده	a۰/۶۴	b۰/۴۲	c۰/۲۵
خاک	۵۳/۴ a	۴۱/۱ b	۲۳/۸۶ c
کل ذخیره کربن	۵۴/۰۴ a	۴۱/۵۲ b	۲۴/۱۱c
ترسیب کربن	۲۹/۹۴	۱۷/۴۱	

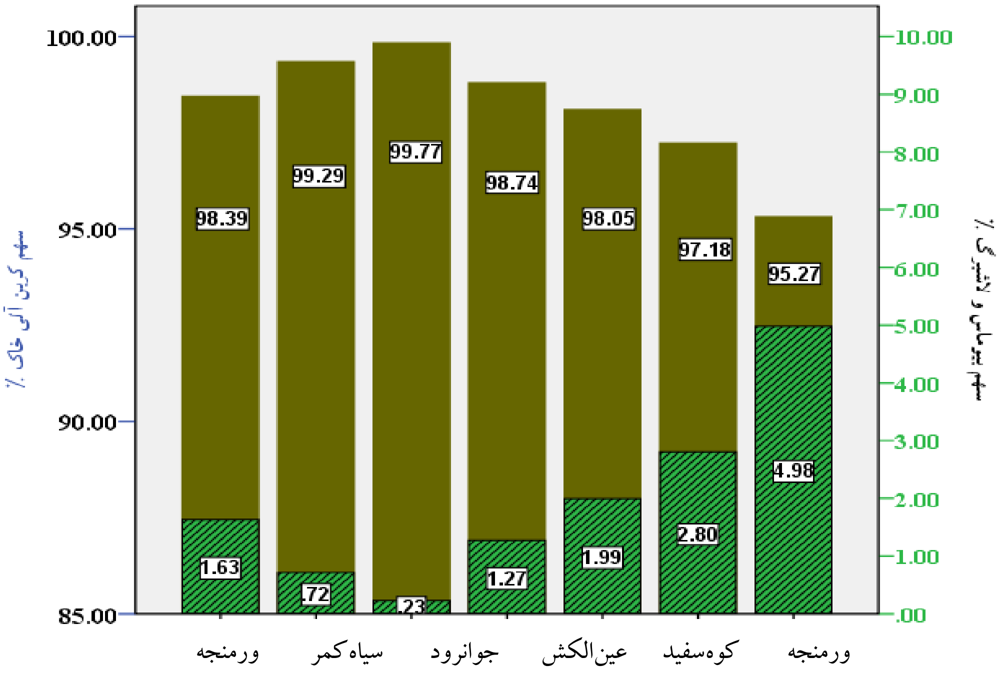
*: تفاوت میانگین‌هایی که در هر ردیف در یک حرف کوچک مشترک هستند از نظر آماری با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد معنی‌دار نیستند.

مقایسه کمیت نتایج نشان داد که شرایط فیزیکی، اقلیمی و اکولوژیک منطقه در ظرفیت ترسیب کربن ناشی از عملیات احیایی مرتع‌کاری بسیار مؤثر است. ازاین‌رو بر حسب ظرفیت ترسیب کربن و مؤلفه‌های آن و نیز شرایط جغرافیایی مناطق مورد ارزیابی در قالب مناطق همگن دسته‌بندی شدند. مناطق موجود در دامنه‌های زاگرس با ساختار اکولوژیک مشابه که از منظر تقسیم‌بندی اکولوژیک در محدوده جنگل‌های خشک و نیمه‌خشک کشور قرار دارند، یعنی حوزه‌های موجود در استان‌های لرستان، کرمانشاه، فارس و کردستان در گروه اول قرار گرفتند. مصادیق عملیات مکانیکی ارزیابی شده در منطقه هیرکانی در استان مازندران، در گروه دوم و مناطق ایرانوتورانی واقع در مرکز و نیمه شرقی کشور در استان‌های مرکزی، اصفهان، خراسان رضوی و کرمان در گروه سوم قرار گرفتند. حال، در ادامه به بررسی وضعیت شاخص‌های ذخایر کربنی و ترسیب کربن در عملیات مورد ارزیابی در هر گروه می‌پردازیم.

مناطق رده اول

عملیات مرتع‌کاری مورد ارزیابی، در این گروه از مناطق یعنی حوزه زاگرس میانی که در عرصه جنگل‌های نیمه‌خشک در استان‌های لرستان، فارس و کرمانشاه و تا حدودی در استان کردستان بیشترین قابلیت ترسیب کربن را نشان دادند. نکته قابل توجه در مورد مصادیق عملیات مرتع‌کاری در این مناطق آن است که این عملیات عمدتاً به صورت بذرکاری، بذرپاشی و کپه‌کاری گونه‌های علفی یک یا چندساله مانند گراس‌ها و گونه‌های مختلف گیاهان تیره لگومینوز مانند یونجه (*Medicago Sativa*) و اسپرس (*Onobrychis sativa*) انجام می‌شود. به‌علاوه کشت گیاهانی مانند جاشیر *Prangos ferulaceae* در سطح مراتع منطقه به‌صورت کپه‌کاری یا بذرکاری موفق عمل می‌کند. خلاصه نتایج حاصل از ارزیابی‌های انجام شده در حوزه‌های مورد مطالعه در این مناطق در جدول ۳ نشان داده شده است. عملیات مرتع‌کاری و قرق در مناطق یادشده موفق به ترسیب ۱۷/۴ تا حدود ۸۰ تن کربن در هکتار شده است. بررسی نتایج به‌دست آمده نشان داد که ترسیب کربن خاکی بیشترین و لاشبرگ کمترین سهم را از کل کربن ترسیب‌شده به خود اختصاص داده‌اند. به گونه‌ای که سهم خاک در ترسیب کربن در این منطقه از ۹۳ تا بیش از ۹۹

درصد از کربن ذخیره شده را در اثر اجرای عملیات مرتع‌کاری شامل می‌شد (جدول ۳ و شکل ۱). شکل ۱ نمودار مقایسه‌ای سهم نسبی خاک را با سهم نسبی مجموع زیست‌توده و لاشبرگ در نقاط مطالعاتی مختلف در سطح استان کرمانشاه به‌عنوان معرف منطقه نشان داده است. ستون آخر مربوط به عملیات تغییر کاربری دیمزار به مرتع از طریق بذرکاری و بذرپاشی یونجه دیم در منطقه ورمنجه است. باید توجه کرد معمولاً در این منطقه هرچه سابقه اجرای عملیات طولانی‌تر باشد، سهم نسبی بخش خاک از ترسیب کربن بیشتر خواهد شد. بررسی بیشتر نتایج تحقیق در منطقه نشان داد که بیشترین مقادیر کربن ترسیب‌شده مربوط به عملیات مرتع‌کاری توام با قرق مراتع بوده است. به‌نحوی‌که اعمال قرق در برخی مناطق مانند خانقاه پاوه در استان کرمانشاه کارآیی این عملیات را در ترسیب کربن حدود دو برابر افزایش داده است. در گاودره کردستان اعمال عملیات مدیریتی قرق به تنهایی و بدون کشت هیچ‌گونه همراهی مؤثرتر از عملیات احیایی مرتع‌کاری مانند کپه‌کاری بدون اعمال قرق عمل نموده است. کمینه ظرفیت ترسیب کربن در مناطق این گروه جغرافیایی و اقلیمی مربوط به عملیات مرتع‌کاری انجام شده در کلستان فارس، یعنی بذرکاری گراس‌های مرتعی بود که توانسته بود ۱۷/۴ تن کربن در هکتار ترسیب نماید. با وجود این اعمال قرق همراه با عملیات بیولوژیک در همین حوزه منجر به ترسیب حدود ۳۰ تن کربن در هکتار شده بود.



شکل ۱- مقایسه سهم نسبی خاک، بیوماس و لاشبرگ در عملیات بیولوژیک ارزیابی شده در مناطق مختلف استان کرمانشاه

بررسی موردی تأثیر تغییر کاربری دیمزارهای کم‌بازده به کشت علوفه از طریق کشت یونجه دیم چندساله، نشان داد که این عملیات در ترسیب کربن بسیار موفق عمل نموده است. این عملیات به تنهایی توانسته است بیش از ۷۲ تن در هکتار کربن ترسیب نماید. به‌عبارت دیگر، کمینه میزان سالانه ترسیب کربن هفت تن در هکتار می‌تواند باشد.

جدول ۳- قابلیت ترسیب کربن در پروژه‌های احیایی و مرتع‌کاری مناطق گروه اول

محل اجرا	شرح پروژه	مدت اجرا	ترسیب کربن زیست‌توده و لاشبرگ (تن در هکتار)	ترسیب کربن خاکی (تن در هکتار)	کل ترسیب کربن پروژه (تن در هکتار)
ریمله لرستان	بذرکاری، بذرپاشی و کپه‌کاری	۱۵	۱/۹۴	۴۰/۰۲	۴۱/۹۶
کوهدشت لرستان	بذرپاشی	۱۵	۰/۷	۵۸/۳	۵۹
گاودره کردستان	بذرکاری	۱۰	۲/۹۳	۴۰/۸	۴۳/۷۳
	بذرپاشی	۱۰	۱/۶۸	۴۰/۸	۴۲/۴۸
	کپه کاری	۱۰	۲/۸۳	۵۴/۸	۵۷/۶۳
	بذرکاری با قرق	۱۰	۳/۴۳	۵۸/۵	۶۱/۹۳
کرمانشاه- خانقاه	کپه کاری و بذرپاشی همراه با قرق - یونجه، فستوکا، اسپرس	۱۵	۱/۲۸	۷۸/۴۵	۷۹/۷۳
کرمانشاه- ورمنجه	کپه کاری و بذرپاشی همراه با قرق - جاشیر، بروموس، فستوکا و آگروپیرون	۱۸	۰/۵۵	۷۶/۸	۷۷/۳۵
کرمانشاه- سیاه‌کمر	کپه کاری و بذرپاشی همراه با قرق - فستوکا، بروموس	۱۰	۰	۴۴/۴	۴۴/۴
کرمانشاه- جوانرود	کپه کاری و بذرپاشی همراه با قرق - یونجه، فستوکا، بروموس	۱۳	۰/۸۹	۶۹/۸۵	۷۰/۷۴
کرمانشاه- عین الکش	کپه کاری و بذرپاشی همراه با قرق - یونجه، بروموس و اسپرس	۱۶	۱/۱۵	۵۷/۷	۵۸/۸۵
کرمانشاه- کوه سفید	کپه کاری و بذرپاشی همراه با قرق - یونجه، فستوکا، بروموس و اسپرس و بذرکاری بادام	۱۵	۱/۷۱	۶۱/۰۳	۶۲/۸
کرمانشاه- ورمنجه	مرتع‌کاری دیمزار - یونجه	۱۴	۳/۴۳	۶۸/۸۴	۷۲/۲۶
کلستان فارس	بذرکاری همراه با حفاظت و قرق		۰/۳۹	۲۹/۵۴	۲۹/۹۴
	بذرکاری		۰/۱۷	۱۷/۲۴	۱۷/۴۱

در حوزه‌های واقع در این مناطق جغرافیایی شرایط متفاوتی حاکم بوده است. بارندگی حدود ۵۰۰ میلی‌متری و خاک نسبتاً سنگین این حوضه‌ها شرایط را برای افزایش تولید زیست‌توده در اثر عملیات مدیریتی بیولوژیک و ذخیره پایدارتر کربن در خاک فراهم نموده است. از سوی دیگر شرایط تناوب خشک و تر در خاک و نیز فصول گرم و سرد سال (که از مشخصه‌های اقلیم‌های مدیترانه‌ای نیمه‌مرطوب تا نیمه‌خشک است) و نیز حاکمیت رژیم رطوبتی زریک در

خاک، فرصت را برای تجزیه و بازترکیب مواد آلی خاک و ایجاد ترکیبات هوموسی پایدار فراهم نموده است. ازاین‌رو همان‌گونه که ملاحظه می‌شود در این مناطق اقلیمی در میان مدت امکان تجمع پایدار کربن در خاک و افزایش ذخایر کربنی خاک و در نتیجه ترسیب پایدار کربن اتمسفری در آن فراهم است. از نظر مصادیق عملیات مرتع‌کاری نیز بررسی نتایج عملیات مختلف اعمال شده در مناطق یادشده نشان داد که کپه‌کاری گراس‌ها و گونه‌های مرتعی موفق‌تر از سایر شکلهای عملیات بیولوژیک مانند بذرکاری و البته بذرپاشی قادر به ترسیب کربن است. به‌علاوه اینکه اعمال مدیریت قرق یا مدیریت چرای دام از طریق اعمال مدیریت چرای دوره‌ای و ممانعت از چرای زودرس، قادر است ظرفیت عملیات بیولوژیک در ترسیب کربن را تا دو برابر افزایش دهد.

مناطق رده دوم

در مناطق این رده، مصادیق عملیات مرتع‌کاری شامل بذرکاری گراس‌های مرتعی و قرق بود. در حوزه مورد مطالعه در استان مازندران شرایط اقلیمی و فیزیکی با دیگر مناطق کشور تفاوت داشت. بررسی ارقام ترسیب کربن به‌وسیله عملیات مرتع‌کاری در این منطقه نیز نشان داد که ظرفیت ترسیب کربن در این منطقه میان دو منطقه دیگر قرار دارد (جدول ۴). به‌طور کلی در منطقه پشتکوه مازندران که جزء مناطق هیرکانی است، عملیات مرتع‌کاری کشت گراس‌های مرتعی توانسته پس از حدود ۶ سال بیش از ۱۸ تن کربن در هکتار را در خاک و زیست‌توده ترسیب نماید. از این مقدار حدود ۳ تن در هکتار در زیست‌توده گیاهی ترسیب‌شده است. در منطقه مورد مطالعه که یک منطقه جنگلی است ذخیره بومی خاک نسبتاً بالاست. با وجود این منطقه نسبت به تخریب مخازن کربنی خاک حساس است. پویایی و چرخه کربن بین زیست‌توده، لاشبرگ و در نهایت خاک در این منطقه باعث شده است که عملیات مرتع‌کاری بین ۸۳ تا ۹۸ درصد کربن ترسیبی قابل اندازه‌گیری را به‌صورت پایدارتری در خاک ذخیره نماید (جدول ۴).

جدول ۴- قابلیت ترسیب کربن در پروژه‌های مرتع‌کاری مناطق رده دوم

محل اجرا	شرح عملیات	ترسیب کربن زیست‌توده و لاشبرگ (تن در هکتار)	ترسیب کربن خاکی (تن در هکتار)	کل ترسیب کربن پروژه (تن در هکتار)
پشتکوه مازندران	بذرکاری	۳/۰۶	۱۵	۱۸/۰۶
	قرق	۰/۰۶	۳	۳/۰۶

مناطق رده سوم

در مناطق رده سوم روند تأثیر عملیات در ترسیب کربن با دو گروه دیگر متفاوت است. عملیات مرتع‌کاری مدیریت اجرا شده در این مناطق تأثیر چندانی در افزایش ظرفیت ترسیب کربن در عرصه نداشته‌اند (جدول ۴). عملیات انجام شده و مورد ارزیابی در استان اصفهان شامل بذرکاری آگروپیرون و کپه‌کاری جاشیر به‌ترتیب در دو منطقه گلیسر و آستانه بود. نتایج نشان داد که عملیات بذرکاری آگروپیرون تأثیری در ترسیب کربن نداشته است. اما کپه‌کاری جاشیر منجر به ترسیب حدود ۲۴۷ کیلوگرم کربن در هکتار و آن هم عمدتاً در خاک شده است (جدول ۵). عملیات مرتع‌کاری دیگری که در این حوزه جغرافیایی ارزیابی شد، کپه‌کاری گیاه اروشیا *Eurotia ceratoides* در دره مرید کرمان بود. این عملیات منجر به ترسیب ۱/۶ تن کربن شده بود. این میزان کربن عمدتاً متشکل از زیست‌توده تولید شده به‌وسیله عملیات کپه‌کاری بود. به‌عبارت دیگر این عملیات

نتوانسته بود تأثیر چندانی در ذخیره کربن خاک ایجاد نماید. در حوزه‌های انتخابی در دو استان مرکزی و خراسان شرایط اقلیمی نیمه‌خشک سرد حاکم بود. نتایج بررسی‌ها نشان داد که در هر دو حوزه مورد مطالعه در این گروه اقلیمی، تغییر کاربری مرتع به دیم باعث تخریب مشهود ذخیره کربنی است و بعکس رها نمودن دیمزار به صورت اراضی مرتعی باعث افزایش ذخیره کربنی خاک می‌شود. از سوی دیگر عملیات مدیریتی تغییر کاربری دیمزار به مرتع در حوزه کارده منجر به ترسیب حدود ۴/۷ تن کربن در هکتار شده است.

جدول ۵- قابلیت ترسیب کربن در پروژه‌های احیایی و مرتع‌کاری مناطق رده سوم

محل اجرا	شرح پروژه	مدت اجرا	ترسیب کربن زیست‌توده و لاشبرگ (تن در هکتار)	ترسیب کربن خاکی (تن در هکتار)	کل ترسیب کربن پروژه (تن در هکتار)
کارده مشهد	کپه‌کاری آگروپیرون		۰/۸۳	-	۰/۸۳
	تغییر کاربری دیمزار رها به مرتع طبیعی		-	۴/۷	۴/۷
	مرتع قرق		۰/۱۱	۵/۵۲	۵/۵۳
شمس‌آباد اراک	یونجه‌کاری		۱/۹۱	۰/۳۸	۲/۲۹
	مرتع قرق		-	۶/۵۱	۶/۵۱
دره مرید کرمان	کپه‌کاری اروشیا		۱/۶۳	۰	۱/۶۳
گلیسر- اصفهان	بذرکاری آگروپیرون		۰/۰۱	۰	۰/۰۱
آستانه- اصفهان	کپه‌کاری جاشیر		۰/۴۴	۲/۰۳	۲/۴۷

شاید بارزترین تأثیر در ترسیب کربن را در این مناطق اقلیمی، قرق نمودن مراتع بدون اقدامات مستقیم بیولوژیک داشته است. به‌طوری که اراضی قرق شده در هر دو حوزه آبخیز کارده و شمس‌آباد به‌ترتیب با ترسیب ۵/۶۳ و ۶/۵۱ تن کربن در هکتار بیشترین کمیت ترسیب را در میان عملیات مورد ارزیابی به خود اختصاص داده‌اند (جدول ۵). سایر شکلهای عملیات اصلاحی مرتع‌کاری مانند بذرکاری بادام *Prunus amygdalus* و یونجه *Medicago sativa* در شمس‌آباد اراک و کپه‌کاری آگروپیرون *Agropyron elongatum* در کارده مشهد موفق به ترسیب مقادیر کربن کمتر و آن هم عمدتاً به صورت کربن زیست‌توده شده‌اند.

بحث

بررسی کلی نتایج حاصل در اقلیم‌ها و شرایط جغرافیایی و مدیریتی مختلف نشانگر تغییرپذیری نسبتاً زیاد قابلیت ترسیب کربن در عرصه‌های منابع طبیعی کشور است. نتایج نشان داد که اولین گزینه به‌منظور هدف‌گذاری اجرایی و برنامه‌ریزی مدیریتی برای ترسیب کربن، منطقه‌بندی کشور بر حسب اقلیم‌های اصلی است. نتایج بررسی‌ها مبین آن است که عرصه‌های منابع طبیعی واقع در دامنه‌های زاگرس با اقلیم‌های نیمه‌خشک و نیمه‌مرطوب و رژیم اقلیمی مدیترانه‌ای بالاترین ظرفیت ترسیب کربن را دارند. اعمال عملیات احیایی و توان‌بخشی مرتع‌کاری در عرصه منابع طبیعی در دشت‌ها و کوهپایه‌های زاگرس، قادر به ترسیب

۴۲ تا ۸۰ تن کربن در هکتار در یک بازه زمانی ۱۰ تا ۱۵ ساله است. Mahmoudi و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که عملیات مرتع‌کاری کشت یونجه دیم منجر به افزایش ذخیره حدود ۶۰ درصد کل مخزن کربنی خاک و زیست‌توده شد که برابر ترسیب ۳۸ تن در هکتار کربن بود. در این منطقه اقلیمی گزینه اول مدیریتی بیولوژیک اعمال کپه‌کاری یا بذرکاری گونه‌های یونجه دیم، جاشیر و اسپرس همراه با مدیریت قرق یا چرای کنترل شده است. گزینه دوم و شاید در برخی مناطق اول برای مدیریت عرصه به‌منظور ترسیب کربن، تغییر کاربری دیمزارهای کم‌بازده و شیب‌دار همراه با مرتع‌کاری این عرصه‌ها از طریق بذرکاری یونجه دیم و اسپرس است. این عملیات در صورتی که با مدیریت قرق، دست‌کم برای دو سال به‌منظور استقرار گونه‌های کشت شده باشد، ظرفیت غیرمنتظره و شگرفی را در ترسیب کربن در یک بازه میان مدت نشان می‌دهد. Haidarian و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که قرق باعث افزایش میزان کربن آلی خاک شده است. سطح بسیار گسترده‌ای از اراضی زراعی در استان‌های واقع در این منطقه در پهنه دیمزارهای کم‌بازده با شیب‌های متنوع ۱۲ تا ۴۵ درصد قرار دارد. به‌نحوی‌که این اراضی، در برخی از استان‌ها تا ۲۰ درصد از گستره استان و بیش از ۵۰ درصد اراضی زراعی استان را دربر می‌گیرند. به‌علاوه این اراضی منشأ بسیاری از مشکلات زیست محیطی مانند فرسایش خاک، تخریب آب، خاک و منابع زیستی هستند. بر اساس آمار و اطلاعات موجود و نیز متوسط عملکرد محصولات زراعی دیم عمده در منطقه، میزان تولید در این اراضی در دو کشت غالب منطقه یعنی گندم و نخود به‌ترتیب نشانگر تولید بیشینه حدود یک تن گندم و ۳۰۰ کیلوگرم نخود در هکتار است. با احتساب سهم ۴۰ تا ۵۰ درصدی هزینه‌ها از تولید ناخالص، ارزش جهانی محصول تولیدی برای گندم و نخود به‌ترتیب ۲۰۰ و ۱۰۰ دلار برای هر هکتار است. حال، با توجه به میزان سالانه کربن ترسیبی، ارزش اسمی کربن ترسیبی بر مبنای برآورد Lal (۲۰۰۸) (یعنی ۲۰۰ دلار به ازاء هر تن کربن) برابر حدود ۱۲۰۰ تا ۱۴۰۰ دلار است. این در حالی است که ارزش علوفه تولیدی در این عرصه‌ها در این محاسبه لحاظ نشده است. به‌علاوه با تولید علوفه از این عرصه‌ها فشار چرای دام بر مراتع کوهستانی منطقه نیز تقلیل یافته و همچنین با توجه به سهولت دسترسی دام به این عرصه‌ها و کیفیت مطلوب علوفه لگوم تولیدی ضریب تبدیل دام نیز ارتقاء خواهد یافت.

نتایج این تحقیق نشان داد که عرصه اراضی جنگلی ناحیه رویشی هیرکانی یا خزری در رتبه دوم تأثیرپذیری از سلسله اقدامات مرتع‌کاری از نظر ترسیب کربن هستند. بررسی‌های فائو (۲۰۰۸) نیز نشانگر آن است که اراضی واقع در اقلیم‌های مرطوب معتدل، با وجود تولید و ذخیره مقادیر بیشتر کربن، به دلیل دوره بازگشت کوتاه‌تر و نیز پویایی بیشتر مخازن کربنی، در میان مدت و بلند مدت، ظرفیت کمتری در ترسیب کربن ناشی از اقدامات احیایی نسبت به اقلیم‌های نیمه‌مرطوب و نیمه‌خشک دارند. Taleghani و همکاران (۲۰۰۹) در تحقیقی نشان دادند که کل ذخیره کربن خاک در هفت جامعه جنگل‌کاری مورد مطالعه آنها از ۱۲۳ تا ۲۸۳ تن کربن در خاک متغیر بود. Falahatkar و همکاران (۲۰۱۴) در جنگل‌های هیرکانی شمال ایران، تخمین زدند که بالاترین تلفات کربن آلی خاک در اثر تبدیل جنگل به مرتع در حدود $0/45 \times 10^4$ و تبدیل مرتع به زمین‌های کشاورزی نیز حدود $0/37 \times 10^4$ مگاگرم کربن در عمق ۴۰-۰ سانتی‌متری خاک است.

بررسی نتایج تحقیق در مناطق خشک و نیمه‌خشک مرکز و نیمه شرقی کشور مؤید اثر نسبتاً اندک عملیات احیایی مرتع‌کاری در ترسیب کربن بود. عملیات مرتع‌کاری اعمال شده در کلیه مناطق یادشده، اعم از عملیات بذرکاری و کپه‌کاری گونه‌های مرتعی و بادام‌کاری دیم، در نهایت موفق به ترسیب حدود ۰/۴ تا ۲/۴ تن کربن در هکتار شده‌اند. گزینه اول پیشنهادی در مراتع و عرصه‌های منابع طبیعی مناطق خشک و نیمه‌خشک مرکز، شمال‌شرقی و شرق کشور، اعمال مدیریت چرا و در صورت امکان قرق دوره‌ای مراتع است. Dianati Tilaki و همکاران (۲۰۱۰) نیز در تحقیق خود، تأثیر قرق بر میزان ترسیب کربن مراتع نیمه‌خشک استان

خراسان شمالی را سالانه حدود ۰/۵ تن کربن در هکتار برآورد نمودند. اگرچه قرق در نتایج یافته‌های Hassannejad و همکاران (۲۰۱۴) تأثیر معنی‌داری را از لحاظ آماری در ترسیب کربن کل نشان نداد، اما ذخیره کربن خاکی مناطق قرق نسبت به شاهد افزایشی برابر ۱۷/۵ تن کربن را در هکتار نشان داد. Dianati Tilaki و همکاران (۲۰۱۰) در عملیات مورد ارزیابی در استان خراسان شمالی نشان دادند که ۹۷ درصد کربن ترسیب شده در خاک ذخیره شده است. اگرچه داده‌های قابل استنادی برای توصیه این شیوه مدیریتی در مناطق مطالعاتی در استان‌های کرمان و اصفهان در دسترس نیست، ولی به دلیل تشابه اقلیمی و فیزیکی حوزه‌های مطالعه شده در استان‌های مرکزی و خراسان رضوی با این مناطق، انتظار روند تأثیر مشابه عملیات قرق در کلیه مناطق مطالعه شده در این گروه دور از انتظار نخواهد بود. پر واضح است که اعمال عملیات مرتع‌کاری در این عرصه‌ها روند احیاء را سرعت می‌بخشد و بدیهی است که ظرفیت ترسیب کربن را در آنها ارتقاء می‌دهد. با این حال، اعمال این عملیات بدون مدیریت بهره‌برداری و اعمال قرق چندان مؤثر واقع نخواهد شد. بنابراین، عامل اصلی تهدید کننده پایداری ذخایر کربن در این مناطق فشار بهره‌برداری است. به دیگر معنی، اکوسیستم‌های خاکی این مناطق شکننده بوده و به فشار بهره‌برداری و به‌ویژه چرای دام واکنش شدید نشان داده و به‌طور مشخص ذخایر کربنی اراضی را تخریب می‌کند. نکته حائز اهمیت از میان نتایج این پژوهش آن است که تقریباً تمام مناطق اقلیمی کشور در فرایند ترسیب و انبارش کربن خاک، سهم بسیار بالا و کلیدی دارد. این سهم از این نظر مهم است که دوره بازگشت کربن به اتمسفر را طولانی‌تر می‌نماید. ضمن آنکه نقش کلیدی در باروری خاک ایفا خواهد نمود. این نتایج با نتایج تحقیق Dianati Tilaki و همکاران (۲۰۱۰) همخوانی داشت. همچنین نتایج Gholami و همکاران (۲۰۱۴) نشان داد که در کشت ورک و آتریپلکس به‌ترتیب ۹۸ و ۸۷ درصد از کربن ترسیب‌شده در خاک ذخیره شده بود. نتایج تحقیق Mahmoudi و همکاران (۲۰۱۳) نیز نشان داد که در عملیات بیولوژیک کشت یونجه دیم حدود ۹۹ درصد کربن ترسیب‌شده در خاک ذخیره شده بود. Joneidi و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که در عملیات بیولوژیک آبخیزداری خاک، زیست‌توده و لاشبرگ به‌ترتیب ۸۷، ۱۲/۹ و ۰/۰۱ درصد کربن ترسیب‌شده را در خود جای می‌دادند. همچنین بر اساس نتایج این پژوهش مرتع‌کاری دیمزارهای کم‌بازده و تغییر کاربری آنها و ممانعت از شخم و شیار در این عرصه‌ها، می‌تواند ظرفیت خوبی را در راستای ترسیب کربن در منابع خاک در این عرصه‌ها ایجاد نماید. این عملیات مدیریتی، به‌عنوان گزینه دوم مدیریتی برای ترسیب کربن در این مناطق پیشنهاد می‌شود. تغییرات کاربری معمولاً باعث کاهش کربن آلی خاک، غلظت عناصر غذایی و تخریب ساختمان خاک می‌شود (Emadi *et al.,* 2009). این تغییر کاربری‌ها معمولاً با عملیات شخم همراه است. این عملیات ساختمان خاک را به‌هم می‌ریزد و اکسیداسیون کربن آلی خاک را با افزایش هوادهی تشدید می‌کند. نتایج مشابهی به‌وسیله میرطالبی (۱۳۹۰) در کویر میقان اراک به‌دست آمد که نشان داد تغییرکاربری مرتع تحت چرا به دیمزار باعث کاهش ۱۴ درصدی ذخیره کربن کل شده بود. به‌طور کلی در مناطق با اقلیم خشک‌تر ظرفیت ترسیب کربن تقلیل یافته بود، دلیل این امر مرتبط با کاهش ظرفیت ذخیره کربنی خاک بود. شرایط اقلیمی در این مناطق چندان اجازه نمی‌دهد که عملیات بیولوژیکی مانند کاشت گراس‌ها و زیست‌توده قابل ملاحظه‌ای تولید کند. از سوی دیگر خاک این مناطق نیز سبک بوده و شرایط لازم برای تشکیل کمپلکس‌های رس و هوموس و در نتیجه افزایش زمان بازگشت کربن در چرخه کربن وجود ندارد.

منابع مورد استفاده

– گایکانی، س.، ۱۳۹۰. بررسی اثرات مدیریت و کاربری اراضی بر میزان ترسیب کربن در اراضی حاشیه شمال غربی کویر میقان اراک، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اراک، ۱۶۴ ص.

– مقنی‌زاده اشکذری، ج.، آذرنیوند، ح.، مداح عارفی، ح.، جعفری، م. و سند گل، ع. ۱۳۸۷. بررسی ظرفیت ترسیب کربن در گونه آتریپلکس کانیسنس (مطالعه موردی: نودهک قزوین). پایان‌نامه

کارشناسی ارشد مرتعداری دانشگاه تهران، ۱۷۳ صفحه.

– میرطالبی، آ.، ۱۳۹۰. بررسی اثرات مدیریت و کاربری اراضی بر میزان ترسیب کربن در اراضی شمال شرقی کویر میقان اراک، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اراک، ۱۷۳ صفحه.

– Burck, J., Marten, F. and C. Bals., 2014. The Climate Change Performance Index (CCPI) 2014: A comparison of the 58 top CO2 emitting nations. Climate Action Network Europe. Brussels, Belgium, 29 page. ISBN: 978-3-943704-15-0.

– Dianati Tilaki, GH.A., Naghipour Borj, A.A., Tavakoli, H., Haidarian Aghakhani, M. and Afkham Shoara, M.R.S. 2010. Influence of Exclosure on Carbon Sequestration of soil and Plant Biomass in semi-arid rangelands of North Khorasan Province. 3(4):668-679.

– Eaton, J.M., McGoff, N.M., Byrne, K.A., Leahy P., and Kiely, G., 2008. Land cover change and soil organic Carbon stocks in the Republic of Ireland 1851–2000. Climate Change, 91:317-334.

– Emadi, M., Baghernejad, H. R. and Memarian, M., 2009. Effect of land-use change on soil fertility characteristics within water-stable aggregates of two cultivated soils in northern Iran. Land Use Policy. 26: 452–457.

– Falahatkar, S., Hosseini, S. M., Salman Mahiny, A., Ayoubi, S. and Wang. S. G., 2014. Soil organic carbon stock as affected by land use/cover changes in the humid region of northern Iran. Journal of Mountain Science, 11(2): 507-518.

– Gholami, H., Azarnivand, H. and Biniaz, M., 2014. Study and Comparison of the carbon sequestration by *Atriplex canescens* and *Hulthemia persica* in Nowdahak Range Research Station, Qazvin province. Environmental Erosion Rerearch. 2 (14): 40-45.

– Haidarian Aghakhani, M., Naghipour Borj, A.A. and Nasri, M. 2011. The effects of exclosure on vegetation and soil chemical properties in sisab rangelands, bojnord, Iran. Renewable Natural Resource Research. 1(2): 14-27.

– Hassannejad, M., Tamartash, R. and Tatian, M., 2014. Comparison of Carbon Sequestration of *Astragalus gossypinus* and *Dactylis glomerata* Species in Hezarjarib Mountainous Rangelands, Behshahr. 40(1):29-38.

– Houghton, R.A., 2003. Why are estimates of the terrestrial carbon balance so different?. Global Change Biology, 9:500-509.

– IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 4: Agriculture, Forestry and other Land Use. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme, Hayama, Japan.

– Joneidi Jafari, H., Azanivand, H., ZareChahooki, M., Jafari, M. and Kargari, E., 2013. Effect of contour furrow on carbon sequestration and nitrogen fixation in Artemisia sieberi rangelands of Semnan province. Iranian Journal of Rangeland and Desert Research. 20(2):298-308.

– Joneidi, H., Nazari, Z., Karami, P. and Gholinejad, B., 2014. The impact of Rangelands conversion to dry-farming on the loss of organic carbon and nitrogen of soil in the vicinity of Sanandaj. Environmental Erosion Rerearch, 3 (15): 19-32.

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

– Lal, R., 2008. The Role of Soil Organic Matter in the Global Carbon Cycle. Soil and Environment Pollution, 116: 353–362.

– Lal, R., 2011. Sequestering carbon in soils of agro-ecosystems. Food Policy, 36:33-39.

– Lashani Zand, M., Parvizi, Y., Ebrahimi, L., Masoudi, B. and Rafiee, B. 2016. Comparison of carbon sequestration resulting from biological operationsin Rimeleand Abkandari catchments. Iranian Journal of Range and Desert Research, 23(2): 219-230.

– Mahmoudi, E., Mahdavi, M. and Javadi, M.R. 2013. Increasing the carbon sequestration potential of ecosystem with planting the perennial alfalfa (*Medicago sativa* L.) in low-yield drylands (case study: Maydan watershed of Esfarayen). Journal of Plant Environmental Physiology. 8(1):1-11.

– Munoz -Rojas, M., Jord´an, A., Zavala, L. M., De la Rosa, D., Abd- Elmabod, S. K. and Anaya-Romero, M., 2012. Impact of land use and land cover changes on organic carbon stocks in Mediterranean soils (1956–2007). Journal of Land Degradation and Development, 24:61-80.

– Novara, A., Gristina, L., Rühl, J., Pasta, S., D’Angelo, G., La Mantia T. and Pereira, P., 2013. Grassland fire effect on soil organic carbon reservoirs in a semiarid Environment. Journal of Solid Earth, 4:381-385.

– Sheidai karkaj, e., Barani, H., Akbarlo, M., Heshmati, G.A. and Khormali, H., 2013. Cost comparing of soil carbon sequestration in rangeland reclamation practices through plantation of *Agropyron elongatum* and *Atriplex lentiformis* (Case Study: Chapr goymeh of Gonbad). Journal of Water and Soil Conservation, 20(1): 241-252.

– Smith, P., 2008. Land use change and soil organic carbon dynamics, Nutr.Cycl. Agroecosys., 81, 169–178.

– Taleghani, E., Zahedi, Gh., Adeli, E. and Sagheb-Talebi, Kh., 2009. Assessment of carbon sequestration in soil layers of managed forest. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 15(3):241-252.

Carbon sequestration potential of different range planting practices in different geographical areas of the country

Y. Parvizi[1*], M. Gheituri[2], R. Bayat[3], A.R Shadmani[4]and A. Partovi[4]

1*- Corresponding author, Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Depatement, Agriculture and Natural Resource Research Center of Kermanshah, AREEO, Kermanshah, Iran, Email: yparvizi1360@gmail.com
2- Assiatant Professor of Soil Conservation and Watershed Management Research Depatement, Agriculture and Natural Resource Research Center of Kermanshah, AREEO, Kermanshah, Iran
3- Assiatant professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, AREEO, Tehran, Iran
4- Research Instructor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, AREEO, Tehran, Iran
5 Research Instructor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, AREEO, Tehran, Iran

Received:6/9/2016 Accepted:12/16/2016

Abstract

This research was conducted to evaluate the potential of different rangeland planting practices for carbon sequestration in various climatic and geographical regions of the country. For this purpose, the key sites of rangeland planting practices were selected in the Lorestan, Fars, Kermanshah, Khorasan Razavi, Mazandaran, Kordestan, Kerman, Markazi, and Esfahan. Then, the characteristics of the sites selected were recorded and sampling of soil, aerial biomass, and root was performed in a random-systematic manner. The results showed that rangeland planting practices in the semi-arid forests of central Zagros slopes had the highest carbon sequestration capacity. The seeding and pit-seeding of perennial legumes and grasses such as *festuca, alfalfa, sainfoin* and *onobrichis* could sequester up to 17.4 to 80 tons of carbon per hectare. The contribution of soil in carbon sequestration was at least 93 percent of the total carbon stock of the study area. Rangeland planting practices together with exclosure caused to increased carbon sequestration up to two times. In these areas, pit-seeding was more successful than the other practices. In the Hyrcanian regions, the seeding of perennial legumes and grasses could sequester 18 tons carbon, ranked second after range planting practices in the central Zagros slopes. Rangeland planting practices in arid and semi-arid areas of the central and the eastern part of the country showed little effect on increasing the carbon sequestration capacity compared to other areas mentioned above. The highest carbon sequestration was recorded to be 5.63 and 6.51 tons carbon per hectare for the exclosure rangelands in Kardeh and Shamsabad watershed, respectively. Land use change from dry farming to rangeland in Kardeh watershed resulted in carbon sequestration of 4.7 tons per hectare.

Keywords: Global warming, carbon sequestration, pit-seeding, land management, seeding.