مقاله پژوهشی

نشریه علمی تحقیقات مرتع و بیابان ایران شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/IJRDR.2020.115116.1631
جلد ۲۷ شماره ۲، صفحه ۲۸۶-۲۷۶، (۱۳۹۹) شناسه دیجیتال (DOR): 98.1000/1735-0875.1399.27.276.79.2.1576.1606

بررسی اثرها و پتانسیل عملیات بیولوژیکی در ذخیرهٔ کربن در حوزهٔ آبخیز گاودره کردستان

صلاح‌الدین زاهدی[۱*] و یحیی پرویزی[۲]

۱*- نویسنده مسئول، مربی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان، سنندج، ایران، پست الکترونیک:zahedi51@gmail.com

۲ - دانشیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۹/۰۵ تاریخ پذیرش:۹۸/۰۴/۱۵

چکیده

گرم شدن کره زمین بر اثر افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای، به‌ویژه دی‌اکسید کربن، تغییرات شدید آب و هوایی طی دهه‌های اخیر را بدنبال داشته است. این امر روند تخریب منابع طبیعی، خاک و آب را به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک تشدید نموده است. یکی از مهمترین ابزارهای سازگاری و یا اصلاح پیامدهای این بحران، همانا ترسیب و ذخیره کربن توسط اکوسیستم‌های طبیعی به کمک ابزارهای مدیریتی کارا مانند عملیات مدیریتی مرتع و آبخیزداری است. این پژوهش با هدف ارزیابی و تعیین کمی ذخیره کربن در انواع مختلف عملیات اصلاحی و احیائی بیولوژیکی شامل انواع کپه‌کاری و قرق در حوزه آبخیز گاودره استان کردستان اجرا شد. نمونه‌برداری در واحدهای کاری با اعمال روش نمونه‌گیری سیستماتیک تصادفی از اندام‌های هوایی، ریشه، لاشبرگ و خاک انجام و نمونه‌ها مورد تجزیه آزمایشگاهی قرار گرفتند. نتایج تجزیه آماری داده‌ها حکایت دارد که میزان ذخیره کربن پوشش گیاهی در تیمارهای آزمایشی دارای اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ است. حداقل اختلاف معنی‌دار تفاوت در این سطح احتمال برابر ۳۳۴/۳۵ کیلوگرم در هکتار بوده، همچنین نتایج مقایسه میانگین‌های عملکرد این تیمارها نشان می‌دهد که مقدار ذخیره کربن در عملیات اصلاحی قرق بیشتر از سایر تیمارها بوده و در مقایسه با شاهد آزمایش در کلاس برتر و بالاتری قرار می‌گیرد. متوسط کل کربن ذخیره شده در واحد سطح ۸۸۰۹ کیلوگرم در هکتار بوده که ۶۷ درصد آن مربوط به ذخیره کربن در خاک بوده است. به‌طور کلی نتیجه‌گیری می‌شود که عملیات اصلاحی بیولوژیک به‌ویژه قرق دارای قابلیت بالایی در ذخیره کربن بوده و خاک مهمترین مخزن کربن در این عملیات می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ذخیره کربن، تغییرات اقلیمی، عملیات بیولوژیک، حوزه آبخیز گاودره، استان کردستان.

مقدمه

ترسیب کربن توسط خاک، جنگل‌ها، مراتع و اکوسیستم-های طبیعی راهکاری منطبق با اصول توسعه پایدار و حفظ محیط‌زیست است که امروزه در مقیاس جهانی به آن توجه ویژه‌ای شده و نقطه امیدی است که به کاهش کربن اتمسفری و اصلاح وضع موجود کمک کند. به همین دلیل ترسیب کربن، به‌عنوان ارزش افزوده برای پروژه‌های اصلاح، احیاء و مدیریت عرصه‌های منابع‌طبیعی در حوزه‌های آبخیز در نظر گرفته می‌شود. ذخیرهٔ کربن خاک نتیجهٔ برهم‌کنش‌های فرایندهای اکولوژیکی است که فعالیت‌های انسانی می‌تواند این فرایندها را تحت تأثیر قرار دهد و منجر به ازدست‌رفتن و یا بهبود ذخایر کربن خاک شود (Ontl & Schulte, 2012). در کشور ما، عملیات اصلاحی و احیائی اجرا شده در عرصه‌های منابع‌طبیعی، با هدف حفاظت آب و خاک،

کنترل سیل و اصلاح پروفیل طولی آبراهه‌ها با اجرا و مدیریت سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور، بسیار متنوع و قابل ملاحظه است. ازجمله این عملیات می‌توان به بذرکاری و بذرپاشی، کپه‌کاری و قرق مراتع، پخش سیلاب، سامانه‌های استحصال آب باران و آب‌های سطحی و تراس بندی و بانکت‌بندی، سازه‌های مکانیکی اصلاحی که به‌منظور کنترل رواناب و رسوب و غیره احداث می‌شوند اشاره کرد. ازاین‌رو به نظر می‌رسد عملیات یادشده در ترسیب منابع کربنی مؤثر هستند، بنابراین در سطوح منطقه‌ای، ملی و بین المللی ارزش افزوده و توجیه اقتصادی بسیاری از این عملیات مدیریتی در حوزه‌های آبخیز قابل باز تعریف است (Boomabd Consulting Engineers, 2004). امروزه مناسب‌ترین گزینه‌های اقلیمی برای ترسیب کربن، مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشند و افزایش میزان بیوماس گیاهان خشبی در این مناطق، به دلیل کاهش هزینه ترسیب گاز کربنیک دارای مزیت فراوان است. این موضوع موجب شده که سازمانهای بین‌المللی مانند FAO و UNDP این مناطق را برای اجرای برنامه‌های ترسیب کربن به‌منظور کاهش گازهای گلخانه‌ای انتخاب نمایند (Ardo & Olsson, 2003). Mureva و همکاران (۲۰۱۸)، تغییرات در ذخایر کربن و نیتروژن را در افق سطحی خاک در علفزارهای آفریقای جنوبی کمی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که رابطه‌ای معکوس میان تغییرات ذخیرة کربن خاک و بارندگی وجود دارد، بدین‌ترتیب که مرطوب‌ترین منطقه (۱۵۰۰ میلی متر در سال) کمترین و خشک‌ترین منطقه (۳۰۰-۳۵۰ میلی‌متر در سال) بیشترین مقدار ذخیرة کربن را داشته است. حد آستانة بارندگی برای ذخیرة کربن در این مطالعه ۷۰۰-۹۰۰ میلیمتر در سال تعیین شده است. در کشور ما نیز در عرصه‌های جنگلی و مرتعی برای حفاظت از منابع آب و خاک، طرح‌های بیولوژیکی، بیومکانیکی و مکانیکی (سازه ای) متنوعی به روش‌های سنتی و نوین و همچنین نوآوری های بومی اعمال شده است که اثرهای بسیاری بر فرایند ترسیب کربن داشته است که مطالعه آنها ضروریست (Parvizi, 2012). Forouzeh و همکاران (۲۰۰۸)، در پژوهشی توان ترسیب کربن را در سه گونة مرتعی کشت شده در ایستگاه پخش سیلاب در گربایگان فسا مقایسه کردند. نتایج آنان نشان داد که گونة درمنه دشتی بالاترین توان را در ترسیب کربن دارد و در بین اندام‌های مختلف گیاه نیز بخش‌های خشبی مانند ساقه بیشترین ضریب ترسیب را دارند. Bordbar (۲۰۰۳)، قابلیت ترسیب کربن را در جنگل‌کاری دیم در دو گونة اکالیپتوس و آکاسیا در شرایط خشک و نیمه‌خشک در سیستم پخش سیلاب منطقه گریبایگان فسا و نورآباد ممسنی بررسی نمود. نتایج نشان داد که گونة اکالیپتوس توانسته در شرایط رویشگاهی مختلف از ۲/۲۷ تا ۸/۰۸ تن و آکاسیا ۱/۵ تن کربن در هکتار را در سال ترسیب نماید. Mahdavi و همکاران (۲۰۰۹)، در مطالعه‌ای نشان دادند که ذخیرة کربن بین دو منطقه با تراکم بوته‌ای متفاوت اختلاف معناداری نداشته است. Nobakht و همکاران (۲۰۱۱)، بیان کرده‌اند که انواع مختلف گونه‌های چوبی بر پدیدة ترسیب کربن اثر متفاوت داشته و دریافتند که میزان عناصری مانند نیتروژن بر ذخیرة کربن خاک تأثیرگذار است. Abdi و همکاران (۲۰۰۸)، در برآورد ظرفیت ترسیب کربن در شازند اراک، نتیجه گرفتند که گون زارها نقش مهمی در ذخیره کربن آلی خاک دارند. Mohammadi و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعة خود به‌منظور بررسی اثرهای پروژه‌های بیولوژیکی آبخیزداری بر ترسیب کربن در حوزة آبخیز گلستان فارس نشان دادند که بین میزان کربن ذخیره شده در عمق‌های مختلف خاک اختلاف معنادار وجود دارد و میزان ترسیب کربن در تمامی کاربری ها و گونه‌های مختلف در ۵۰ سانتی‌متر لایة سطحی خاک بیشتر از سایر قسمت‌های خاک بوده است.Naseri و همکاران (۲۰۱۶)، در مطالعه‌ای که به‌منظور بررسی اثرهای پروژه‌های مکانیکی آبخیزداری از قبیل سدهای اصلاحی گابیونی، سدهای سنگی ملاتی و سدهای کوچک خاکی بر پدیده ترسیب کربن داشته‌اند، اعلام کرده‌اند که بیشتر کربن ترسیب شده توسط این اقدامات در خاک (۹۹٪) انجام شده است و سدهای کوچک خاکی بالاترین کارکرد را داشته‌اند. Moradi Shahqarieh و Tahmasebi (۲۰۱۵) در مطالعه‌ای

با عنوان "بررسی تأثیر قرق بر میزان ترسیب کربن و صفات فیزیکی و شیمیایی خاک در مراتع نیمه‌استپی استان چهارمحال و بختیاری"نشان داده‌اند که میزان زیتوده هوایی، کربن خاک و کل کربن ترسیب شده در اکوسیستم در مراتع نیمه‌استپی گندمی بصورت معنی‌داری بیشتر از مراتع نیمه استپی بوته‌زار می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که میانگین ترسیب کربن کل و خاک در هر دو منطقه مورد مطالعه در تیمار قرق تفاوت آماری معنی‌داری با تیمار غیرقرق داردKhalifehzadeh و همکاران (۲۰۱۸)، مطالعه رفتارهای طیفی و غیرطیفی خاک به‌منظور برآورد کربن آلی خاک سطحی با استفاده از روشهای تحلیل عاملی و رگرسیون چندگانه را در مراتع نیمه‌استپی لزور فیروزکوه انجام دادند. نتایج آنان نشان داد متغیرهای آلبیدو، شاخص رس، شاخص گیاهی تفاضلی بهنجار، شاخص‌های روشنایی و سبزینگی تبدیل تسلدکپ و ارتفاع نسبی همبستگی معنی‌داری با کربن آلی خاک دارند .پژوهشی با هدف بررسی ظرفیت روشهای مختلف مرتع‌کاری در مناطق مختلف اقلیمی و جغرافیایی کشور در ترسیب کربن اتمسفری توسط Parvizi و همکاران (۲۰۱۸) 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. Aitkenhead و همکاران (۲۰۰۷)، در پژوهشی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی به پیش‌بینی جریان روزانه کربن آلی محلول در رواناب خروجی در چندین حوزة آبخیز پرداختند. آنان ضمن نمونه‌برداری از جریان، برای تعیین داده ورودی خاک در هر زیرحوضه با اعمال ترانسکت‌هایی در طول زیرحوضه از خاک نمونه‌گیری کردند. نتایج نشان داد که متغیرهای مربوط به خاک بیشترین تأثیر را در پیش‌بینی جریان خروجی کربن آلی فرسایش یافته داشته است. Fekedolegn (۲۰۰۳) و Han و همکاران (۲۰۰۹)، اثر توپوگرافی و نوع پوشش را بر ذخیره کربن آلی در چین بررسی کردند. نتایج کار آنان نشان داد که جهت شیب بر ترسیب کربن در اکوسیستم مؤثر بوده و این تأثیر با توجه به عمق خاک متغیر است. اثر عوامل اقلیمی به‌ویژه دما بر ترسیب کربن توسط Ardo و Olsoon (۲۰۰۳) بررسی شد. آنان با تحلیل‌هایی عنوان کردند که مناطق استپی و نیمه استپی و به‌طور کلی مناطق نیمه‌خشک و خشک، بهترین نقاط هدف برای ترسیب کربن در سطح جهان می‌توانند باشند. از آنجا که که عوامل فیزیکی و محیطی خارج از کنترل بشر می‌باشند عوامل مدیریتی در حوزه‌های آبخیز تنها ابزار قابل کنترل توسط بشر هستند. مطالعات مختلف نشان داده است که اثر عوامل مدیریتی در کنترل ترسیب کربن بسیار مهم می‌باشند (Hill *et al*., 2003., Derner and Schuman, 2007). اندازة اثر عوامل مدیریتی و احیائی بر میزان ترسیب کربن در واحد زمان به خصوصیات رشدی گونه‌های گیاهی، شیوة مدیریت در هر کاربری، نوع عملیات احیایی، شرایط فیزیکی و بیولوژیکی خاک و ذخیره قبلی کربن در خاک بستگی دارد (Liu *et al*., 2006). Quijas و همکاران (۲۰۱۹)، از مدل (LPJmL) به‌منظور تشخیص تفاوت ذخایر و کمی‌سازی ذخیره کربن در جنگل‌های آمازون در شرایط استاندارد و جامع استفاده کردند. نتایج آنان نشان داد که تا ٪۶۵ از ذخایر کربن بدلیل عدم توجه به کربن ذخیره شده در خاک و لاشبرگ محاسبه نمی‌شوند، همچنین مدیران و تصمیم‌گیران میزان کربن ذخیره شده را سهواً تا ۱۰۰ برابر بیش از میزان واقعی تخمین می‌زنند.

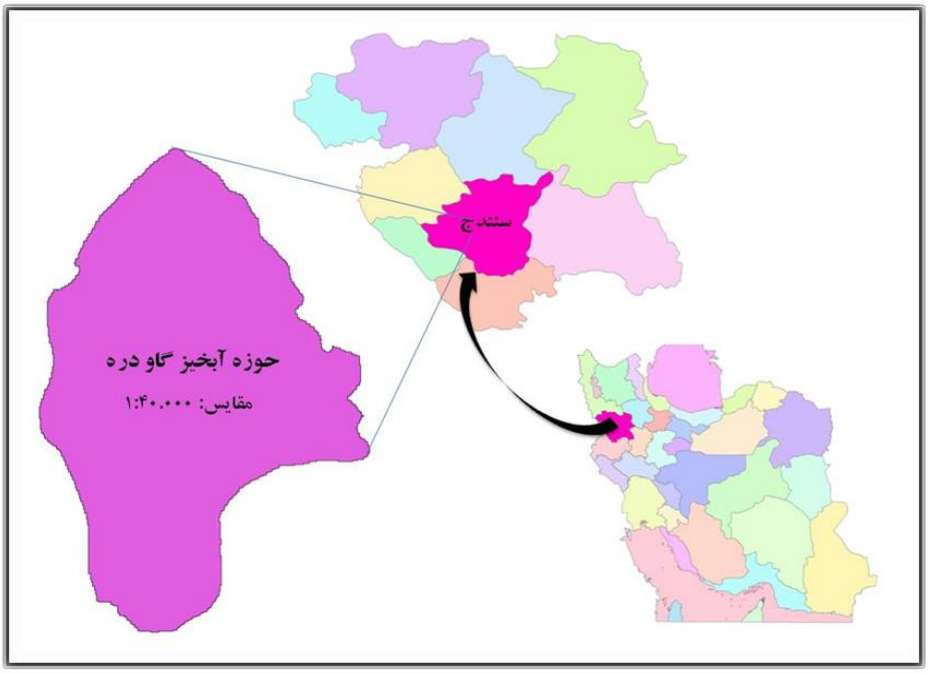
این مطالعه به‌منظور تعیین ظرفیت و بضاعت پروژه‌های مدیریتی مرتع و آبخیزداری در حوزة آبخیز گاودره، در ذخیرة کربن و کمی کردن اثرهای آنها انجام شده است. این کار علاوه بر اینکه ظرفیت عملیات اصلاحی را در ذخیرة کربن مشخص می‌نماید ما را در انتخاب و معرفی پروژه‌های بهینه در مناطق مختلف اقلیمی کشور با رویکرد ذخیرة کربن یاری می‌نماید. به‌طوری‌که شناسایی نقاط ضعف و قوت پروژه‌های یادشده از دیگر اهداف این پژوهش می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزة آبخیز گاودره از زیرحوضه‌های قشلاق سنندج بین عرض‌های ″۱۰ ′۲۹ °۳۵ و ″۱۸ ′۳۱ °۳۵ شمالی و

طول‌های ً۳۸ َ۴۸ ْ۴۶ و ً۳۰ َ۵۰ ْ۴۶ شرقی، در شهرستان سنندج، استان کردستان و در غرب ایران قرار دارد. شکل ۱ موقعیت حوضة مورد مطالعه را نشان می‌دهد. انتخاب حوضة مورد مطالعه بر اساس فراوانی و تنوع اجرای پروژه‌های احیائی و اصلاحی انجام شد که با مشورت ارگان اجرایی و نیز بررسی‌های گستردة میدانی به‌منظور تعیین میزان موفقیت و استقرار این پروژه‌ها انجام گردید. در بازدیدهای اولیه مشخصات فنی، فیزیکی و مدیریتی پروژه‌های اجرا شده برداشت گردید. اطلاعات یادشده عمدتاً شامل شناسایی موقعیت مکانی عملیات بیولوژیک و بیومکانیکی و سازه‌های اجرا شده در منطقه و عملکرد آنها بوده است.



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه و موقعیت آن در استان و کشور

جمع‌آوری داده‌های میدانی

در این مرحله ضمن بررسی جزئیات عملیات انجام شده و انجام کنترل‌های صحرایی، برداشت‌های لازم برای استفاده در مراحل مختلف مطالعه، ازجمله شناسایی بافت خاک و تهیة نمونة خاک از مناطق تحت اجرای پروژه‌های اصلاحی و مناطق شاهد، وضعیت آبهای سطحی، نفوذپذیری و اطلاعات پوشش گیاهی شامل تیپ‌های پوششی، گونه‌های گیاهی، برداشت تاج پوشش، لاشبرگ و ریشة گونه‌های مختلف گیاهی مستقر شده در مناطقی که پروژه‌های مرتع و آبخیزداری اجرا شده‌اند انجام شد. عملیات اصلاحی و احیائی انجام شده در حوضة گاودره شامل موارد زیر می‌باشند.

الف) عملیات بیولوژیکی: که شامل بذرکاری و کپه‌کاری، بذرپاشی، حفاظت و قرق است (عمر قرق هنگام این مطالعه ۳ سال است).

ب) عملیات بیومکانیکی: که شامل احداث بانکت‌های شیبدار و تراس‌بندی است که در سرتاسر حوزه پراکنش اجرایی دارند.

ج) عملیات مکانیکی: که شامل سازه‌های گابیونی و سازه‌های ملاتی است و در بسیاری نقاط حوضه و در آبراهه ها احداث شده‌اند.

تهیه نقشهٔ واحدهای کاری با استفاده از نقشهٔ اجرایی پروژه و نقشه‌های شیب و جهت انجام گردید. نمونه‌برداری مستقیم خاک و بیوماس (تاج پوشش و ریشه) و لاشبرگ در سایت انتخاب شده و سایت شاهد به صورت سیستماتیک تصادفی با استفاده از نقشهٔ واحدهای کاری انجام شد. سایت های شاهد در کنار محل‌های اجرای پروژه‌ها بوده و حتی المقدور دارای ویژگی‌های توپوگرافی و خاک نسبتا یکسان با آن می‌باشد.

تعداد نقاط نمونه‌برداری (پروفیل و پلات) در این طرح برای پروژه‌های انتخابی و نقاط شاهد به‌طور میانگین ۳۰ تا ۴۰ نقطه است. نمونه‌برداری خاک با حفر پروفیل در نقاط هدف و شاهد انجام شد. تهیه نمونه از افق سطح زمین (عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر) و خاک زیرسطحی تا عمق توسعهٔ ریشه انجام شد. نمونه‌برداری خاک به دو روش دست‌خورده و دست‌نخورده (برای محاسبه وزن مخصوص ظاهری (Bd)) انجام شد. مقادیر وزن مخصوص ظاهری برای محاسبهٔ ذخیرهٔ کربن خاکی ضروریست (Magdoff *et al*., 1996). برای تهیهٔ نمونه‌های دست‌نخورده از ابزار Core sampler یا روش کلوخه خشک استفاده شد. نمونه‌برداری بیوماس و لاشبرگ در مجاورت پروفیل، در پلاتهای ۱×۱ متر انجام شد. در هر پلات، تراکم بوته، ترکیب گونه‌ای، درصد سطح تاج پوشش و لاشبرگ تعیین و تعدادی بوته معرف از هر گونه انتخاب و با کل ریشه جمع‌آوری گردید (Prikner *et al*., 2004).

مطالعات آزمایشگاهی

در این مرحله نمونه‌های گیاهی خشک و توزین شد. در ادامه بیوماس تاج پوشش و ریشه به روش میانگین وزنی محاسبه گردید. برای تعیین ضرایب تبدیل کربن در نمونه‌های بیوماس، نمونه‌های گیاه و لاشبرگ در آون خشک، توزین و آسیاب شدند. مقدار کمی از نمونه‌ها در کوره سوزانده شده و بعد ضریب تبدیل کربن برای هر نمونه محاسبه و در پایان کربن بیوماس و لاشبرگ در هکتار محاسبه گردید.

در مرحله بعد کربن آلی خاک (SOC) با روش والکی بلاک تعیین و برای هر لایه در هکتار با استفاده از رابطهٔ ۱ محاسبه شد.

$$Cs=10000\times\%SOC\times Bd\times d \qquad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه d عمق، Bd وزن مخصوص ظاهری و Cs ذخیره کربن است.

سپس با میانگین‌گیری وزنی، ذخیرهٔ کربن خاک در کل پروفیل و در واحد سطح محاسبه شده و در نهایت برای کل عرصه هر سایت، میزان ذخیرهٔ کربن خاک یا کربن ترسیب‌شده محاسبه شد. تعیین مقادیر شاخص‌های ترسیب کربن (ذخیره کربن آلی خاک، بیوماس و لاشبرگ و کل کربن ترسیب شده) در هر هکتار و برای کل عرصه مطالعاتی انجام گردید.

تجزیه‌وتحلیل آماری

با روش مقایسهٔ میانگین و استفاده از روش‌های آماری کلاسیک (طرح فاکتوریل و در قالب بلوک‌های کامل تصادفی) میزان کربن ذخیره شده در سایت‌های نمونه‌برداری و سایت‌های شاهد متناظر محاسبه گردید. در ادامه مقایسه کمی طرح‌های مطالعه شده با یکدیگر از نظر شاخص‌های ترسیب کربن و اولویت‌بندی پروژه‌های اجرا شده انجام گردید و بعد تعیین پروژه‌های برتر با روشهای کلاسیک آماری و آنالیز واریانس انجام و مقایسهٔ میانگین‌ها با آزمون آماری دانکن انجام شد.

نتایج

نتایج پوشش گیاهی

نتایج حاصل از آنالیز واریانس میزان ذخیره کربن در زیتوده گیاهی شامل پوشش هوایی، لاشبرگ و ریشه نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد بین تیمارهای مورد آزمایش وجود دارد. به‌نحوی‌که کربن بیشتری در مناطق اجرای عملیات بیولوژیکی در مقایسه با شاهد آزمایش که بدون اجرای این پروژه‌ها می‌باشد، ذخیره شده است. به‌طوری‌که بیشترین میزان افزایش در مورد تیمار سوم یا قرق (۳ ساله) است که به‌لحاظ آماری و در سطح

احتمال ۹۵ درصد معنی‌دار می‌باشد (جدول ۱). در مورد سایر تیمارهای آزمایشی کربن بیشتری در پیکرهٔ گیاهی ذخیره گردیده و این افزایش از نظر آماری معنی‌دار است. تیمار شماره ۳ (قرق) در سطح احتمال ۹۵٪ بر شاهد آزمایش برتری داشته و در کلاس A قرار می‌گیرد. سایر تیمارها به‌طور مشترک در کلاس B جای می‌گیرند.

جدول ۱- تجزیه آماری ذخیره کربن در زیتوده گیاهی آزمایش عملیات بیولوژیک

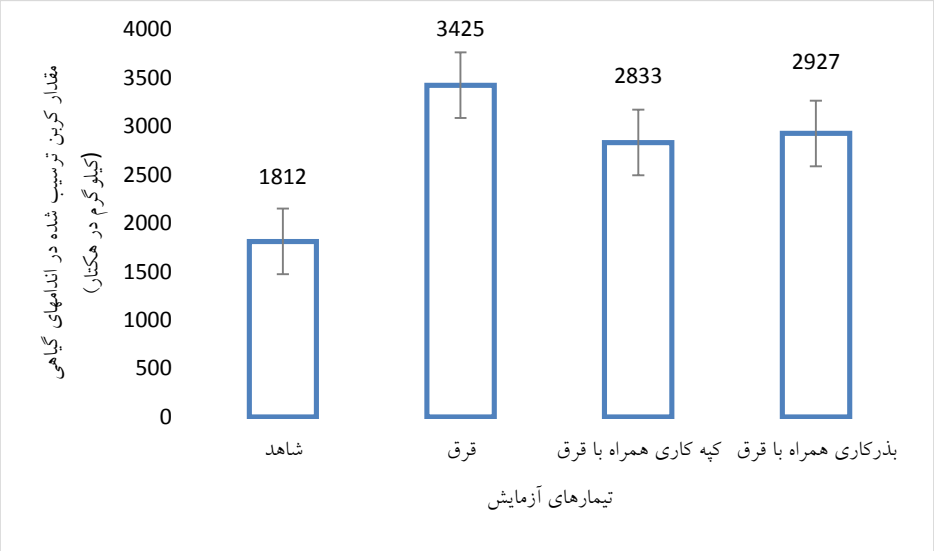
منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات (SS)	میانگین مربعات (MS)	FC	سطح احتمال ۵ درصد (P)
کربن ذخیره شده گیاهی	۳	۴۲۸۴۶۶۲	۱۴۲۸۲۲۱	۹/۹۵	۰/۰۰

C.V.= 4.45

همچنین نتایج مقایسه میانگین تیمارهای مورد آزمایش نشان می‌دهد که حداقل اختلاف معنی‌دار بودن یا L.S.D برابر با ۳۳۴ کیلوگرم کربن ذخیره شده در هکتار می‌باشد.

L.S.D 5%= 334.50 Kg/ha

بر این اساس طی گروه‌بندی تیمارها، تیمار قرق با میانگین ۳۴۲۵ کیلوگرم در هکتار در کلاس A و سایر تیمارها یعنی بذرکاری و کپه‌کاری با میانگین‌های به‌ترتیب ۲۹۲۷ و ۲۸۳۳ در کلاس مشترک B قرار داشته و نسبت به شاهد با میانگین عملکرد ۱۷۸۳ کیلوگرم کربن ذخیره شده در هکتار و طی یکسال افزایش و برتری نشان داده، ازاین‌رو در کلاس بالاتر قرار گرفته‌اند (شکل ۲).



شکل ۲- مقایسه میانگین ذخایر کربن گیاهی در تیمارهای آزمایشی

نتایج کربن خاک

نتایج تجزیهٔ آماری میزان کربن آلی موجود در خاک تیمارهای آزمایشی نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌داری به لحاظ آماری در میان تیمارهای آزمایشی مشاهده نمی‌گردد (جدول۲). اما کربن ترسیب شده در خاک‌های مربوط به تیمارهای آزمایشی نسبت به تیمار شاهد (مرتعی که توسط دام چرا شده) افزایش نشان داده و به لحاظ آماری معنی‌دار می‌باشد (شکل۳).

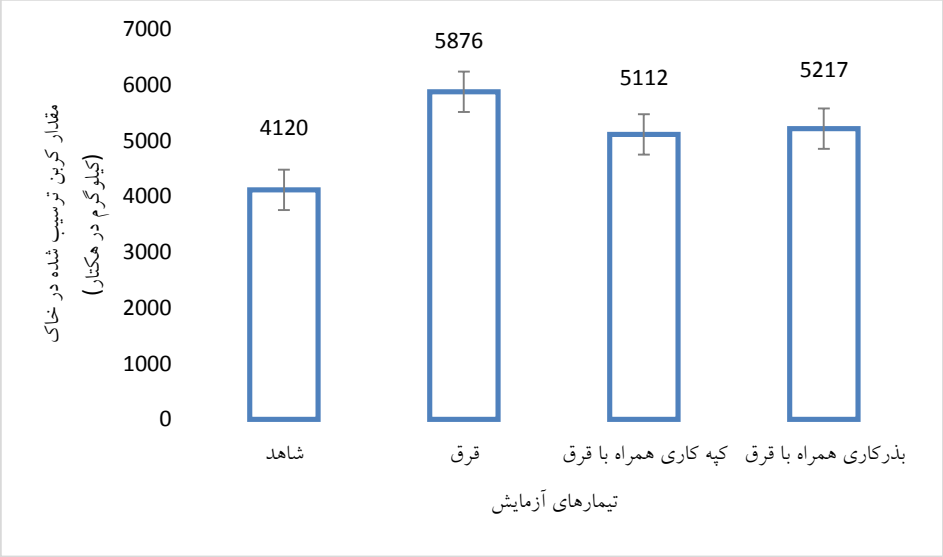
جدول ۲- تجزیه آماری ذخیره کربن در خاک آزمایش عملیات بیولوژیک

منبع تغییرات (SOV)	درجه آزادی F	مجموع مربعات (SS)	میانگین مربعات (MS)	FC	سطح احتمال ۵ درصد (P)
کربن ذخیره شده گیاهی	۳	۳/۳۲۷	۱/۱۰۹	۵۷/۳	۰/۰۰

C.V. = 9.88 L.S.D 0.05 = 1205 kg/ ha

نتایج کل کربن ترسیب شده

نتایج حاصل از تجزیهٔ آماری کل کربن ترسیب شده (مجموع کربن گیاهی و خاک) تیمارهای آزمایشی نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد میان تیمارهای مورد آزمایش وجود دارد (جدول۳)، بدین شکل که انواع عملیات بیولوژیک (تیمارهای آزمایشی) نسبت به تیمار شاهد کربن بیشتری را ترسیب نموده‌اند (شکل ۴).

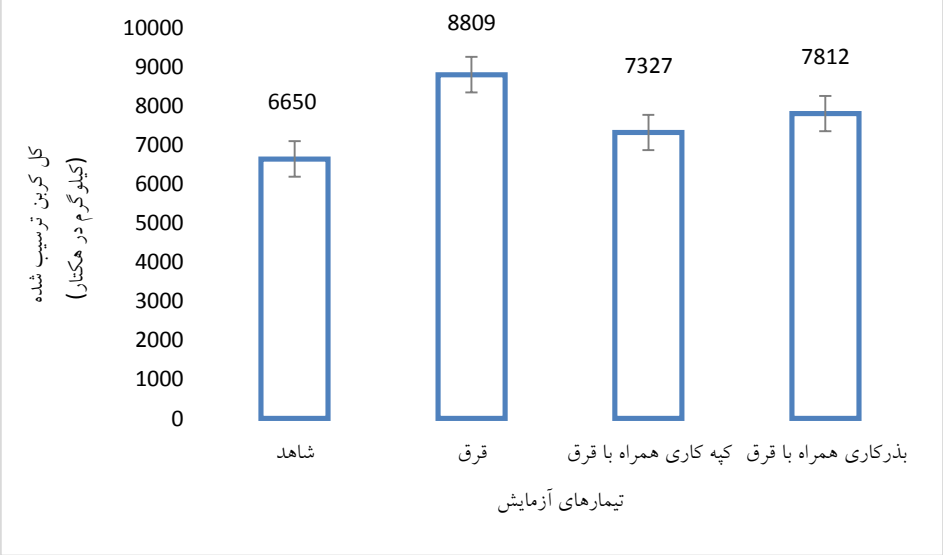


شکل ۳- مقایسه میانگین ذخایر کربن خاک در تیمارهای آزمایشی

جدول ۳- تجزیه آماری مجموع کربن ترسیب شده در خاک در تیمارهای عملیات بیولوژیک

منبع تغییرات (SOV)	درجه آزادی F	مجموع مربعات (SS)	میانگین مربعات (MS)	FC	سطح احتمال ۵ درصد (P)
کربن ذخیره شده گیاهی	۳	۶/۶۵۷	۲/۲۱۹	۴۱/۳	۰/۰۰

C.V. = 11.01



شکل ۴- مقایسه میانگین کل کربن ذخیره شده در تیمارهای آزمایشی

بحث

SOC یک جزء حیاتی از خاک با تأثیرات مهم در عملکرد اکوسیستم‌های زمینی است. ذخیره سازی SOC نتیجهٔ برهم‌کنش میان فرایندهای اکولوژیکی پویای فتوسنتز، تجزیه و تنفس خاک است. فعالیت‌های انسانی در طول ۱۵۰ سال گذشته منجر به تغییر در این فرایندها شده است، در نتیجه منجر به کمبود SOC و تشدید پدیدهٔ تغییرات اقلیمی جهانی شده است. این مطالعه با هدف بررسی اثر سه نوع مختلف از عملیات بیولوژیکی بر ذخیره کربن انجام شده است. پوشش گیاهی در این آزمایش ترکیبی از انواع علوفه‌ای چندساله، بوته‌ای چندساله و دائمی مانند بومادران، کنگر، بروموس، فستوکا، استیپا و انواع گون‌ها و بوته‌های ناشی از کاشت بذر جاشیر می‌باشند. کاشت گونه‌های چوبی و درختچه‌ای در مبحث پروژه‌های بیومکانیکی مورد بحث قرار گرفته است. نتایج مربوط به کربن ذخیره شده در اندام های گونه‌های گیاهی مختلف نشان داد که میزان کربن ترسیب شده با پوشش گیاهی رابطه مستقیم، مثبت و معنی داری دارد. از آنجایی که گونه‌های گیاهی بوته‌ای بیشتر در اراضی قرق شده مشاهده می‌شوند و این بوته‌ها دارای قابلیت ترسیب کربن به مراتب بیشتری می‌باشند، ازاین‌رو تیمار قرق نسبت به سایر تیمارها ترسیب کربن بالاتری را نشان می‌دهد که با نتیجه پژوهش Moradi Shahqarieh و Tahmasebi (۲۰۱۵) و Tamartash و همکاران (۲۰۱۲) همخوانی دارد. این قضیه نشان‌دهنده رابطهٔ خاص میان ذخیرهٔ کربن پوشش گیاهی و تیمارهای آزمایش از یکسو و قابلیت متفاوت شکل‌های رویشی (علفی، بوته‌ای) و همچنین تأثیر گستردگی سطوح اندام‌های هوایی از سوی دیگر می باشد. به‌طوری‌که شکل‌های رویشی بوته‌ای با داشتن برگ های بیشتر و گستردگی تاج پوشش، کربن بیشتری را در مقایسه با علفی‌ها جذب کرده‌اند که متناقض با نتیجه بدست آمده از مطالعه Moradi Shahqarieh و Tahmasebi (۲۰۱۵) است (که بیان کرده‌اند میزان ترسیب کربن توسط گندمیان بالاتر از گونه‌های بوته‌ای است). دلیل این امر را می‌توان به تفاوت خصوصیات متفاوت خاک و شرایط اقلیمی در مناطق مطالعاتی در مطالعه نسبت داد.

از نظر عوامل خاکی تیمارهای آزمایشی، ترسیب کربن در خاک تیمارهای مورد عمل به‌ویژه قرق افزایش قابل ملاحظه‌ای را به میزان ۱۷۵۶ کیلوگرم در هکتار نشان می دهد. این امر با توجه به حداقل اختلاف برای معنی‌دار بودن آزمایش به لحاظ آماری (L.S.D= 1205 kg/ha) نشان می

دهد که تیمار مذکور معنی‌دار است که با نتایج کار Naseri و همکاران (۲۰۱۶)، که اثر پروژه‌های مکانیکی را بر ترسیب کربن در خاک مطالعه کردند مطابقت دارد. بنابراین می‌توان دریافت که میزان ترسیب کربن در خاک تیمارهای مورد آزمایش بر حسب شرایط وضعیت خاک، خاک تثبیت شده در قرق‌ها، خاک ناشی از رسوبات انتقال یافته در تیمارهای آزمایشی و نیز فرسایش خاک در تیمار شاهد متفاوت خواهد بود. کربن کل شامل مجموعه کربن ترسیب شده در پوشش گیاهی و خاک در سطح احتمال ($P<0.05$) در تیمارهای آزمایشی نسبت به شاهد افزایش نشان می‌دهند، بر همین اساس حداکثر میزان ترسیب کربن در تیمار قرق به میزان ۸۸۰۹ کیلوگرم بر هکتار مشاهده شده است. در مقایسه شرایط اقلیمی منطقه مطالعه (مناطق نیمه‌خشک) با مناطق مرطوب، با وجود تولید پوشش گیاهی بیشتر در مناطق مرطوب، تجزیه مواد آلی خاک در مناطق نیمه‌خشک نسبتاً به کندی انجام شده، ازاین‌رو کربن برای مدت طولانی تری ذخیره می‌گردد (Tamartash, *et al*., 2012).

منابع مورد استفاده

– Abdi, N., Maddah Arefi, H. and Zahedi Amiri, G.H., 2008. Estimation of carbon sequestration in *Astragalus* rangelands of Markazi province (Case study: Malmir rangeland in Shazand region). Iranian journal of Range and Desert Research, 15(2): 269-282.

– Aitkenhead, M, J., Aitkenhead-Peterson, J. A., McDowell, W. H., Smart, R. P. and Cresser, M. S., 2007, Modelling DOC export from watersheds in Scotland using neural networks, Computers & Geosciences, 33: 423–436.

– Ardo, J. and Olsson, L., 2003, Assessment of soil organic carbon in semiarid Sudan using GIS and the CENTURY model, Journal of Arid Environment, 2:83-99.

– Bordbar, S., 2003. Studying carbon sequestration potential on Fars province forestry of Eucalyptus and Acacia. Ph.D Thesis in Forestry, Tehran Science and Research Branch of the Islamic Azad University, Tehran, Iran, 127 pp.

– Derner, J. D. and Schuman, G. E., 2007, Carbon sequestration and rangelands: A synthesis of land management and precipitation effects. Journal of Soil and Water Conservation, 62(2): 77-85.

– Fekedolegn, D., Hicks, R. R. and Kolbert, J. J., 2003, Influence of topography aspect, precipitation and drought on radial growth of four major tree species in an appalachian watershed, Forest Ecology and Management, 177:409-425.

– Forouzeh, M. R., Heshmati, G. H., Ghanbarian, G. and Mesbah, S. H., 2008. Comparing Carbon Sequestration Potential of Three Shrub Species *Heliantemum lippii*, *Dendrostellera lessertii* and *Artemisia sieberi* (Case study: Gareh Bygone, Fasa). Journal of Environmental Studies, 34(46): 65-72.

– Han, X., Atsushi, T. and Mitsuru, T., 2009. Effects of land cover type and topography on soil organic carbon storage in northern loess plateau, china. Plant Soil Science. First published on: 10july 2009.

– Hill, M.J., Britten, R. and McKeon, G.M., 2003. A scenario calculator for effect of grazing land management on carbon stock in Australian rangelands. Journal of Environmental Modelling and Software, 18:627-644.

– Khalifezadeh, R., Tamartash, R., Tatian, M. R. and Sarajian Maralan, M. R., 2018. An estimation of topsoil organic carbon by combining factor analysis and multiple regressions in semi-steppe rangelands of Lazour, Firouzkooh. Iranian journal of Range and Desert Research, 25(3): 699-712.

– Liu, D., Wang, Z., Zhang, B., Song, K., Li, X., Li, J., Li, F. and Duan, H., 2006. Spatial distribution of soil organic carbon and analysis of related factors in croplands of the black soil region, Northeast China. Journal of Agriculture, Ecosystems and Environment, 113:73–81.

– Magdoff, F. R., Tabatabai, M. A. and Hanlon, E. D., 1996. Soil organic matter: Analysis and interpretation. Journal of Soil Science Specific Publication, 46:21-31.

– Mahdavi, S., 2009. Comparison of *Atriplex lantiformis* density effect and density of *Atriplex* planting in rangelands on carbon sequestration. (Case study: Isfahan province). Journal of Scientific Quarterly Plant and Ecosystem, 17: 19-29.

– Mohammadi, T., Dastorani, M. T., Azimzadeh, H. R. And Rahbar, G., 2013. Watershed management biologic practices effect on carbon sequestration. (Case study: Golestan watershed, Fars province). Ninth Proceeding Seminar of watershed sciences and engineering in Iran. Pp: 1-5, Yazd University, Yazd. Iran.

– Moradi Shahqarieh, M. and Tahmasebi, P., 2015. Investigation of enclosure period on carbon sequestration and soil physical and chemical properties on semi-arid rangelands of Chaharmahal and Bakhtiari Province. Journal of Natural Ecosystems of Iran, 4: 97-109.

323.
– Planning and Statistics Deputy, Forests, Range and Watershed Management Organization., 2004. Study of the value of functions and major non-commercial services of forests and rangelands of the country. Management Report, Boomabd Consulting Engineers.
– Prikner, P., Lachnit, F. and Dvořák, F., 2004. A new soil core sampler for determination bulk density in soil profile. Journal of Plant Soil Environment, 50 (6): 250–256.
– Quijas, D., Boit, A., Thonicke, K., Tortarolo, G. M., Mwampamba, T., Skutsch, M., Simoes, M., Ascarrunzh, N., Pena Claros, M., Jones, L., Arets, E., Jaramillo, V. J., Lazos, E., Toledom, M., Martorano, L. G., Ferraz, R. and Balvanera, P.,
– Quijas, S., Boit, A., Thonicke, K., Tortarolo, G. M., Mwampamba, T., 2019. Modelling carbon stock and carbon sequestration ecosystem services for policy design: a comprehensive approach using a dynamic vegetation model. Journal of Ecosystem and People, 15 (1): 42-60.
– Tamartash, R., Tatian, M.R. And Yousefian, M., 2012. The ability of different vegetative forms to carbon sequestration in plain rangeland of Miankaleh. Journal of Environmental Studies, 38(2): 45-54.
– Mureva, A., Ward, D., Pillay, T., Chivenge, P. and Cramer, M., 2018. Soil organic carbon increases in Semi-Arid Regions while it decreases in humid regions due to woody-plant encroachment of grasslands in South Africa. Scientific Reports, 8:15506, DOI: 10.1038/s41598-018-33701-7.
– Naseri, S., Jafari, M., Tavakoli, H. and Arzani, H., 2016. Impacts of rangeland reclamation and management on carbon Stock in North East of Iran (Case Study: Kardeh Basin, Mashhad, Iran). Journal of Rangeland Science, 6(4):320-333.
– Nobakht, A., Pourmajidian, M., Hojjati, S. M. and Fallah, A., 2011. A comparison of soil carbon sequestration in hardwood and softwood monocultures (Case study: Dehmian forest management plan, Mazindaran). Iranian Journal of Forest, 3(1): 13-23.
– Ontl, T. A. and Schulte, L. A., 2012. Soil carbon storage. Journal of Nature education knowledge, 3(10):35-42.
– Parvizi, Y., 2012. The phenomenon of climate change and its effects on Iran's agricultural and natural resources. Forest and Range Journal, 13(14): 14-21.
– Parvizi, Y., Qeytouri, M., Bayat, R., Shadmani, A. and Partovi, A., 2018. Carbon sequestration potential of different range planting practices in different geographical areas of the country. Iranian journal of Range and Desert Research, 25(2): 310-

The impacts of biological operations on carbon storage in Gav-dareh watershed, Kurdistan province

S. Zahedi[1*] and Y. Parvizi[2]

1*- Corresponding author, Senior Research Expert of Kurdistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sanandaj, Iran, Email: zahedi51@gmail.com

2- Research Associate Professor of Kermanshah Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Kermanshah, Iran

Received: 11/26/2018 Accepted: 07/06/2019

Abstract

Global warming due to increasing concentrations of greenhouse gases, especially carbon dioxide, has led to drastic climate change in recent decades. This has intensified the process of degradation of natural resources, soil and water, especially in arid and semi-arid regions. One of the most important tools for adapting or modifying the consequences of this crisis is the sequestration and storage of carbon by natural ecosystems with the help of efficient management tools such as rangeland and watershed management. This study was conducted to evaluate and quantify carbon storage in various types of biological remediation and rehabilitation operations, including pit-seeding and exclosure in the Gavdareh watershed of Kurdistan province. Sampling was performed in soil and plant units using a systematic random sampling method of aerial parts, roots, litter, and soil. Samples were analyzed *in vitro*. The results of the statistical analysis of the data indicated that the amount of vegetation carbon storage in the experimental treatments had a significant difference ($p\leq 0.05$). The least significant difference in this level of probability is 334.35 kg/ha ($p\leq 0.05$), and also the results of comparing the mean yield of these treatments showed that the amount of carbon storage in the exclosure was higher than other treatments, and compared to the experimental control in the upper and higher class. The average total carbon stored per unit area was 8809 kg/ha, 67% of which was related to carbon storage in the soil. In general, it is concluded that biological remediation operations, especially exclosure, have a high capacity for carbon storage, and the soil is the most important carbon reservoir in this operation.

Keywords: Carbon storage, climate changes, biological operations, Gav-dareh watershed, Kurdistan province.