مقاله پژوهشی

نشریه علمی تحقیقات مرتع و بیابان ایران شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/IJRDR.2020.123147
جلد ۲۷ شماره ۴، صفحه ۷۲۹-۷۱۶، (۱۳۹۹) شناسه دیجیتال (DOR): 98.1000/1735-0875.1399.27.716.81.4.1576.1607

بررسی اثر عملیات بیومکانیکی بر ذخیره و ترسیب کربن در حوضه آبخیز کارده

سمیه ناصری[1*]

۱*- نویسنده مسئول، بخش تحقیقات جنگل و مرتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سمنان، ایران، پست الکترونیک: s.naaseri@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۱/۲۱ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۵/۰۱

چکیده

ترسیب کربن در اندام‌های گیاهی و خاک از راه‌های مؤثر در تعدیل خطرات تغییر اقلیم در سطح جهان است. در این مطالعه اثر اجرای عملیات بیومکانیکی (بذرکاری با گونه *Agropyrum elongatum* در پشت گابیون‌ها) بر میزان ذخیره کربن در مراتع حوضه آبخیز سد کارده مشهد مورد بررسی قرار گرفته و بعد با مراتع طبیعی و قسمت‌های تثبیت‌نشده آبراهه مقایسه شده است. در نقاط معرف نمونه‌برداری از خاک، زی‌توده هوایی و زیرزمینی گیاهان غالب و همچنین لاشبرگ به‌صورت سیستماتیک - تصادفی انجام شد و نمونه‌ها از نظر میزان ذخیره کربن مورد آزمایش قرار گرفتند. مقدار ترسیب کربن تیمار بیومکانیکی طی سالهای ۱۳۹۲- ۱۳۷۵ از تفاضل ذخیره کربن در این تیمار و قسمت تثبیت‌نشده آبراهه محاسبه شده است. به‌طور کلی ذخیره کربن تیمار بیومکانیک در زی‌توده هوایی و ریشه گیاهان، لاشبرگ و تا عمق ۵۰ سانتیمتری خاک، برابر ۱۶/۲۳ و مقدار کربن ترسیب شده در این تیمار ۵/۶۹ تن در هکتار برآورد شد. ذخیره کربن در مراتع طبیعی و آبراهه تثبیت‌نشده نیز به‌ترتیب ۵۴/۰۷ و ۱۰/۶۱ تن در هکتار بوده است. در مجموع اجرای عملیات بیومکانیکی در این حوضه با حفاظت خاک و تقویت پوشش گیاهی، ذخیره سازی و ترسیب کربن را در اراضی فرسایش یافته بهبود بخشیده است.

واژه‌های کلیدی: ذخیره کربن، عملیات اصلاحی مراتع، مراتع طبیعی، حفاظت خاک، پوشش گیاهی.

مقدمه

امروزه افزایش انتشار دی‌اکسیدکربن در نتیجه فعالیت‌های صنعتی و تخریب ذخایر کربنی اراضی، اثرهای تغییر اقلیم را در جهان تشدید کرده و این موضوع را به یکی از چالش‌های مهم زیست محیطی تبدیل نموده است. البته احتمال وقوع چنین شرایطی و پیامدهای ناشی از آن، توجه دانشمندان را به جذب، ذخیره‌سازی و ترسیب کربن جلب کرده است.

میزان افزایش کربن خاک در یک بازه زمانی تعریف شده و مقایسه آن با زمان پایه، ترسیب کربن را در خاک نشـــان می‌دهد (Stockmann *et al*., 2013). در حالی‌که نگهداری کربن ترسیب شده در خاک، ذخیره کربن نام دارد که بیانگر مقدار کربن ذخیره شده در هر زمان است (Fynn *et al*., 2010). ترسیب کربن در واحد زمان، به خصوصیات رشدی گونه‌های گیاهی، شیوه مدیریت، نوع عملیات احیایی، شرایط فیزیکی، بیولوژیکی خاک و ذخیره قبلی کربن در خاک بستگی دارد (Derner & Schuman, 2007). از آنجا که عوامل مدیریتی تنها ابزار قابل کنترل بشر است، ازاین‌رو نقش انسان از منظر ترسیب کربن بسیار مهم می‌باشد. در این زمینه نتایج مطالعات نشان داده است که در مراتع تحت مدیریت کنترل شده، مقدار ترسیب کربن کل در بیوماس،

لاشبرگ و خاک به مراتب بیشتر از مراتع بدون مدیریت است (Derner & Schuman, 2007; Hill *et al*., 2003).

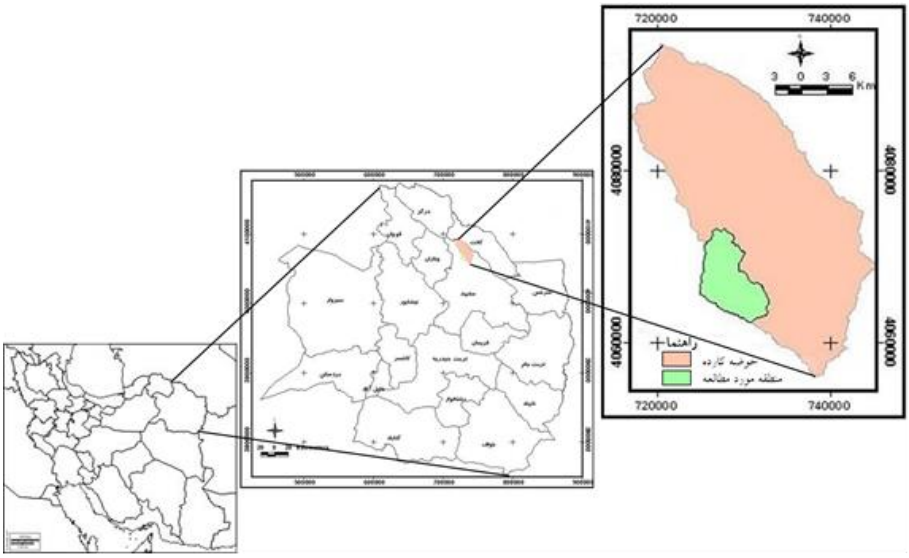
از سوی دیگر، حوضه‌های آبخیز مکان‌هایی هستند که با اعمال مدیریت صحیح، ظرفیت چندمنظوره‌ای را برای تولید پایدار و بیشتر در راستای بهبود معیشت ساکنان و امنیت غذایی جامعه و مقابله با تغییر اقلیم حاصل می‌نمایند اما در شرایط فعلی با تغییر کاربری اراضی و همچنین با چرای بیش از حد در حال تخریب‌اند. نتایج تحقیقا Thorsson و Svavarsdottir (۲۰۱۳) نشان داد که بین مراحل مختلف تخریب اراضی از نظر ترسیب کربن در خاک تفاوت وجود دارد. در مناطق بسیار تخریب شده که اکوسیستم از نظر عملکردی به شدت ناکارآمد است، ظرفیت ترسیب کربن پایین‌تر از سایت‌هایی در شرایط بهتر است. تثبیت خاک و کنترل رواناب و رسوب در حوضه‌های آبخیز، با بهینه کردن شرایط رطوبتی خاک شرایط را برای رشد و نمو گیاهان بهبود بخشیده و از هدررفت خاک به صورت فرسایش به عرصه‌های پائین‌دست و انباشته شدن رسوبات در مناطق نامناسب می‌کاهد (Lal, 2003). عملیات بیومکانیک نیز از مهمترین اقدامات اصلاحی و احیایی در حوضه‌های آبخیز است که در صورت اجرای صحیح، با اصلاح ساختمان و حفظ پایداری خاک منجر به کاهش فرسایش شده و با افزایش ظرفیت نگهداری آب و نگهداشت عناصر غذایی در خاک، باعث افزایش تولیدات گیاهی خواهد شد (Osman *et al*., 2014). Boix Fayos و همکاران (۲۰۰۹) با مطالعه اثر فرسایش آبی بر جابه‌جایی کربن و رسوب‌گذاری در پشت چکدم‌ها در یک حوزه آبخیز، دریافتند که ۵۷٪ کاهش مساحت اراضی کشاورزی و ۱/۵ برابر افزایش در پوشش گیاهان جنگلی، کربن آلی خاک را ۱۰/۷۳ گرم در مترمربع در سال افزایش داده است. Tang و همکاران (۲۰۰۹) بیان نمودند که اثرهای متقابل فرسایش- رسوب، دانه‌بندی خاک و احیای پوشش گیاهی نقش مهمی در تجمع کربن آلی خاک و توزیع دوباره آن دارد. Forouzeh و Heshmati (۲۰۰۸) بیان کردند که در منطقه پخش سیلاب تولید بیوماس سالانه چهار برابر بیش از شاهد بود و درصد کربن آلی خاک نیز افزایشی برابر ۷۰ درصد را نشان داد. Parvizi و همکاران (۲۰۰۵) با بررسی ظرفیت عملیات بیومکانیک در ترسیب کربن در ۱۰ استان کشور نشان دادند که کمیت ترسیب از ۳/۴۱ تا ۱۱۲/۱ تن در هکتار بوده است. سهم خاک در ترسیب کربن، بین ۹۵ تا بیش از ۹۹ درصد بوده و عملیات سنتی سکوبندی همراه با کشت درخت موفق‌تر از سایر شکل‌های عملیات بیومکانیکی است. Lashanizand و همکاران (۲۰۱۳) با بررسی اثربخشی عملیات بیومکانیکی بیان کردند که در مکان‌هایی که پروژه‌های پخش سیلاب در آنها انجام شده و گونه اکالیپتوس کشت شده، شرایط ترسیب کربن مطلوب‌تر بوده است. Agharazi و همکاران (۲۰۱۹) در حوضه پاکل استان مرکزی نشان دادند از نظر ترسیب کربن، عملیات بیومکانیک بانکت‌بندی همراه با بادام‌کاری در مقایسه با مرتع به‌عنوان شاهد موفق‌تر عمل کرده است. Zahedi (۲۰۱۸) بیان کرد که مقدار ترسیب کربن پوشش گیاهی و خاک در عملیات بیومکانیکی تراس‌بندی همراه با زراعت بیش از سایر تیمارها بوده است. به‌طوری‌که متوسط کل کربن ترسیب یافته در واحد سطح ۸۷۷۸ کیلوگرم در هکتار بوده که ۷۵ درصد آن مربوط به ترسیب کربن در خاک بوده است. از آنجا که اقدامات بیومکانیکی تلفیقی از عملیات مختلف مکانیکی و بیولوژیکی در حوزه‌های آبخیز است (احداث گابیون و خشکه‌چین و سدهای خاکی، سدهای سنگی- ملاتی، بانکت‌بندی، تراس‌بندی به همراه درخت‌کاری، بذرپاشی، کپه-کاری و ...)، ازاین‌رو به علت تنوع این اقدامات، توان ترسیب کربن نیز در هریک متفاوت است. هرچند در مورد عملیات بیومکانیکی تحقیقات مختلفی انجام شده است، اما در رابطه با بذرکاری با گونه‌های مرتعی در پشت گابیون‌ها که تیمار بیومکانیکی مورد ارزیابی در این پژوهش است، نتیجه‌ای گزارش نشده است. با توجه به حجم گسترده اقدامات احیائی بیومکانیکی آبخیزداری در عرصه‌های منابع طبیعی کشور و توان قابل توجه آنها در ترسیب کربن که به‌عنوان ارزش افزوده-ای برای پروژه‌های اصلاح و احیاء مراتع در نظر گرفته می‌شود، ازاین‌رو ضروری است که کارایی آنها از نظر ترسیب کربن بررسی شده تا بتوان الگوهای مدیریتی بهینه را انتخاب نمود. استان خراسان رضوی نیز حدود ۱۱۷۴۰۶۵۹ هکتار از مساحت حوضه‌های آبخیز کشور را داراست که به‌نظر می‌رسد

ظرفیت قابل توجهی در ترسیب کربن داشته باشند، بنابراین نتایج این تحقیق می‌تواند اطلاعاتی را در ارتباط با ظرفیت حوضه‌های آبخیز در این زمینه تأمین نماید.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این تحقیق در زیرحوضه‌های گوش و بهره از حوضه آبخیز کارده در استان خراسان رضوی اجرا شده که بین ۵۹ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۳۷ دقیقه طول شرقی و۳۶ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۵۸ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. در این حوضه از سال‌های ۷۵- ۱۳۷۴ عملیات اصلاحی بیومکانیکی، بیولوژیکی و مکانیکی برای کنترل فرسایش و احیای مراتع انجام شده است (Tabatabai Yazdi *et al*., 2006).



شکل ۱- موقعیت مکانی منطقه مورد مطالعه در حوضه آبخیز کارده-استان خراسان رضوی

اقلیم منطقه بر اساس طبقه‌بندی آمبرژه نیمه‌خشک سرد، متوسط بارندگی ۳۵۳ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت سالانه ۸/۴°C است (Yasouri *et al*., 2012). گیاهان غالب در مراتع طبیعی و عرصه‌های اجرای عملیات بیومکانیک در جدول ۱ نشان داده شده است. شایان ذکر است در قسمت تثبیت نشده آبراهه خاک عاری از پوشش گیاهی و لاشبرگ بود.

جدول ۱- گونه‌های غالب موجود در دو تیمار مراتع طبیعی و بیومکانیک

مراتع طبیعی			بیومکانیک		
Centurea virgate	*Rosa persica*	*Agropyrum trichophorum*	*Achillea wilhelmsii*	*Turgenia latifolia*	*Agropyrum elongatum*
Scariola orientalis	*Stipa arabica*	*Eremurus spectabilis*	*Noaea mucronata*	*Annual grass*	*Poa bulbosa*
Stipa caragana	*Artemisia ciniformis*	*Acanthophyllum bracteatum*	*Roeomeria refracta*	*Plantago lanceolata*	*Convolvulus arvensis*
Phlomis cancellata	*Festuca arundinaceae*	*Verbascum songaricum*	*Iris kopetdaghensis*	*Acroptilon repens*	*Centurea virgata*
Annual grass	*Astragalus brevidens*	*Acantholimon erinaceum*	*Agropyrum trichophorum*	*Sangiosorba minor*	*Medicago sativa*

روش تحقیق

سه تیمار مورد بررسی در این پژوهش شامل مراتع طبیعی، عملیات بیومکانیک (احداث گابیون همراه با بذرکاری با گونه *Agropyrum elongatum* در پشت گابیونها) و آبراهه تثبیت نشده بوده است. نمونه‌برداری از پوشش گیاهی در هریک از تیمارها در ۲۰ پلات ۲ مترمربعی به صورت سیستماتیک- تصادفی انجام شد. در هر پلات درصد تاج پوشش، لاشبرگ، سنگ و سنگریزه و خاک بدون پوشش در سطح زمین اندازه‌گیری گردید. تولید سالانه گیاهان با روش نمونه‌گیری مضاعف تعیین شد. نمونه‌برداری از پوشش گیاهی در زمان تکمیل شدن رشد گیاهان مرتعی غالب و مرغوب (اواخر خرداد تا اواسط تیرماه) انجام گردید. برای اندازه‌گیری کربن ذخیره شده در گیاهان دانستن مقدار بیوماس هوایی و ریشه آنها ضروریست. بر اساس منابع موجود دقیق‌ترین روش برای اندازه‌گیری تولید آنها روش قطع و توزین نمونه‌های گیاهیست. اما این روش ضمن اینکه هزینه‌بر و وقت‌گیر است، روشی مخرب به‌شمار می‌رود. در کتاب منتشر شده توسط فائو (Ponce-Hernandez *et al*., 2004) و سایر پژوهش‌ها به این موضوع اشاره شده است که برای برآورد کربن بیوماس زیرزمینی گیاهان با روش‌های غیر مخرب، با داشتن مقدار بیوماس هوایی بر اساس روابط موجود در مقالات و یا بر اساس روابط آلومتریک می‌توان مقدار بیوماس زیرزمینی و در نتیجه کربن ذخیره شده در آن را به‌طور منطقی تخمین زد. در این پژوهش مقرر گردید درصد خاصی از سهم گونه‌ها در ترکیب گیاهی به‌عنوان مبنا در نظر گرفته شود. بدین معنی که گیاهانی که دارای سهمی مساوی یا بیش از این مقدار مشخص شده در ترکیب گیاهی هستند، برای تعیین رابطه بیوماس هوایی با بیوماس ریشه و همچنین به‌منظور محاسبه ضرایب تبدیل بیوماس هوایی و ریشه به کربن، با ریشه جمع‌آوری شوند. بر این اساس برای تعیین رابطه بیوماس هوایی با بیوماس ریشه، گونه‌هایی که بیش از یک درصد در ترکیب گیاهی حضور داشتند، مورد توجه قرار گرفت و حداقل ده پایه از این گونه‌ها با سنین مختلف در هر تیمار به‌طور کامل برداشت شد. رابطه رگرسیونی بین بیوماس هوایی و بیوماس ریشه برای آنها محاسبه گردید و پس از راستی آزمایی، وزن بیوماس زیرزمینی در هکتار برای این گونه‌ها محاسبه شد. در سایر گونه‌ها با توجه به سهم ناچیز آنها در ترکیب گیاهی از روش غیرمستقیم برآورد نسبت اندام هوایی به ریشه استفاده گردید که براساس نتایج MacDicken (۱۹۹۷) معادل ۱۶ درصد در نظر گرفته شد. نمونه‌های گیاهی و لاشبرگ پس از شستشو، خشک، توزین و آسیاب شدند و بعد درصد رطوبت آنها با قرار دادن در آون ۷۵ درجه به مدت ۲۴ ساعت اندازه‌گیری شد. برای تعیین درصد کربن آلی در هر گرم از نمونه از روش احتراق خشک در کوره الکتریکی استفاده گردید که محققان زیادی از این روش بدین منظور استفاده نموده‌اند (Varamesh *et al*., 2002; Gheitury, 2012; Abdi *et al*., 2009; Stockmann *et al*., 2013; Mahmoudi 2011; h Reeder and Schuman, Taleghani *et al*., 2007). در این تحقیق دمای کوره ۴۵۰ درجه سانتیگراد و به‌مدت سه ساعت بوده است (Abdi, 2005; Jafari Haghighi, 2003). تفاضل وزن پس از قرار دادن در کوره و وزن اولیه معرف خاکستر است. در این روش میزان کاهش وزن ماده بجا مانده در کوره برابر ماده آلی است (رابطه ۱).

$$\% OM = \frac{DW-AW}{DW} \times 100 \qquad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن OM ماده آلی (درصد)، AW وزن خاکستر (گرم) و DW وزن خشک نمونه (گرم) است. بررسی‌ها نشان می‌دهد کربن آلی برابر ۰/۵۸ ماده آلی موجود در گیاه است، بنابراین (رابطه ۲):

$$\% OC = \%OM \times 0.58 \qquad \text{رابطه (۲)}$$

که OC کربن آلی (درصد) است. در نهایت پس از محاسبه ضریب تبدیل کربن اندام هوایی و ریشه هرگونه گیاهی و لاشبرگ، با داشتن وزن کل بیوماس و لاشبرگ در نهایت کربن کل زیست توده هوایی و ریشه و لاشبرگ در هکتار برای هر تیمار محاسبه شد (Jana *et al*, 2009). نمونه‌برداری از خاک در هر تیمار در سه تکرار و از دو عمق ۲۵-۰ و ۵۰-۲۵ سانتیمتری انجام شد. در تیمار بیومکانیک نمونه‌برداری بصورت مرکب از رسوبات جمع شده در پشت سازه و در پای بوته *A.elongatum* انجام شد. وزن مخصوص ظاهری، بافت، هدایت الکتریکی، اسیدیته، آهک و درصد اشباع بازی با روش‌های استاندارد آزمایشگاهی اندازه‌گیری شد. درصد کربن آلی خاک نیز با روش Walkley- Black (1934) تعیین شد. ذخیره کربن خاک در هر لایه از رابطه ۳ محاسبه گردید (Mahdavi *et al*., 2019) که در این رابطه d عمق خاک برحسب سانتیمتر، SB_d وزن مخصوص ظاهری برحسب گرم بر سانتیمتر مکعب، C ماده آلی خاک بر حسب درصد و SCS کربن ذخیره شده بر حسب تن در هکتار در هر لایه از خاک است.

$$SCS = C \times SB_d \times d \qquad \text{رابطه (۳)}$$

همچنین آبراهه تثبیت نشده به‌عنوان شاهدی برای آبراهه‌ای که در آن عملیات بیومکانیک انجام شده است، در نظر گرفته شد. با توجه به اینکه سن این عملیات مشخص است، از تفاضل ذخیره کربن در حال حاضر در تیمار بیومکانیک با تیمار آبراهه تثبیت نشده به‌عنوان شاهد، مقدار ترسیب کربن در مدت اجرای عملیات بیومکانیک محاسبه شده است. تحلیل داده‌ها با نرم‌افزار SPSS۲۰ انجام شد. نرمال بودن توزیع داده‌ها با آزمون کولموگروف- اسمیرنوف بررسی گردید. مقایسه ذخیره کربن گیاه و لاشبرگ در تیمار بیومکانیک و مرتع طبیعی و همچنین مقایسه دو عمق خاک با آزمون t مستقل و مقایسه سه تیمار با یکدیگر توسط آزمون دانکن انجام شد.

نتایج

ذخیره کربن در گیاه

درصد پوشش و سهم گونه‌های مختلف در ترکیب گیاهی در مراتع طبیعی و عرصه‌های اجرای عملیات بیومکانیک در جدول ۲ نشان داده شده است. شایان ذکر است در تیمار آبراهه تثبیت نشده خاک عاری از پوشش گیاهی و لاشبرگ بود.

مقادیر پوشش سطح خاک و ذخیره کربن در بیوماس اندام هوایی گیاهان و ریشه و همچنین لاشبرگ در تیمارهای مورد بررسی در جدول ۳ ارائه شده است. لازم به یادآوری است در آبراهه تثبیت نشده، خاک عاری از پوشش گیاهی و لاشبرگ است. نتایج نشان می‌دهد که درصد پوشش گیاهی، وزن بیوماس اندام‌های هوایی گیاهان و کربن ذخیره شده آن در تیمار بیومکانیک بیش از مراتع طبیعی است ($P<۰/۰۱$). همچنین وزن بیوماس کل گیاهی و کربن کل اندام هوایی و زیرزمینی در تیمار بیومکانیک بیش از مراتع طبیعی است ($P<۰/۰۵$). البته بین این دو تیمار از نظر کربن لاشبرگ اختلاف معنی‌داری وجود نداشته، اگرچه طبق جدول زیر مقدار آن در تیمار بیومکانیک بیشتر است.

جدول ۲- درصد پوشش و سهم گونه‌های مختلف در ترکیب گیاهی تیمارهای مورد بررسی

نام خانواده	شکل رویشی	دوره حیات	نام گونه	مرتع طبیعی		بیومکانیک		آبراهه تثبیت نشده	
				درصد پوشش	سهم در ترکیب	درصد پوشش	سهم در ترکیب	درصد پوشش	سهم در ترکیب
Apiaceae	پهن‌برگ	یکساله	*Turgenia latifolia*			۲/۳	۳/۹۹	–	–
Asteraceae	بوته‌ای	چندساله	*Artemisia ciniformis*	۰/۵	۱/۵۷			–	–
	بوته‌ای	چندساله	*Artemisia sieberi*	۱/۱۵	۳/۶۱			–	–
	پهن‌برگ	چندساله	*Centurea virgate*	۲/۴۳	۷/۶۴	۳/۳	۵/۷۲	–	–
	پهن‌برگ	چند ساله	*Cousinia spp.*	۰/۹۵	۲/۹۹			–	–
	پهن‌برگ	چند ساله	*Acroptilon repens*			۲/۱	۳/۶۴	–	–
	پهن‌برگ	چندساله	*Scariola orientalis*	۱/۲۳	۳/۸۷			–	–
	پهن‌برگ	یکساله	*Achillea wilhelmsii*			۱/۲	۲/۰۸	–	–
Brassicaceae	پهن‌برگ	یکساله	*Alyssum mulleri*			۰/۷	۱/۲۱	–	–
	پهن‌برگ	چندساله	*Stroganowia litwinowii*	۰/۷۱	۲/۲۳			–	–
Caryophyllaceae	بوته‌ای	چند ساله	*Acanthophyllum glandulosum*	۰/۵	۱/۵۷			–	–
	بوته‌ای	چند ساله	*Acanthophyllum bracteatum*	۰/۵۴	۱/۷			–	–
Chenopodiaceae	بوته‌ای	چندساله	*Noaea mucronata*	۱/۰۸	۳/۳۹	۰/۸۵	۱/۴۷	–	–
Convolvulacoae	پهن‌برگ	یکساله	*Convolvulus arvensis*			۳/۳	۵/۷۲	–	–
Fabaceae	پهن‌برگ	چندساله	*Medicago sativa*			۲/۸	۴/۸۵	–	–
	بوته‌ای	چندساله	*Astragalus meshhadensis*	۰/۹۹	۳/۱۱			–	–
Lamiaceae	بوته‌ای	چندساله	*Peroviskia abrotanoides*	۰/۵۴	۱/۷			–	–
	پهن‌برگ	چندساله	*Phlomis cancellata*	۰/۶۳	۱/۹۸			–	–
Liliaceae	پهن‌برگ	چندساله	*Eremurus spectabilis*	۰/۵۲	۱/۶۳			–	–
Plantaginaceae	پهن‌برگ	چندساله	*Plantago lanceolata*			۲/۳	۳/۹۹	–	–
Papaveraceae	پهن‌برگ	یکساله	*Roeomeria refracta*			۰/۷	۱/۲۱	–	–
Plumbaginaceae	بوته‌ای	چند ساله	*Acantholimon raddeanum*	۰/۶۴	۲/۰۱			–	–
	بوته‌ای	چند ساله	*Acantholimon erinaceum*	۱/۱۵	۳/۶۱			–	–
Poaceae	گندمیان	چندساله	*Agropyrum elongatum*			۵/۵	۹/۵۳	–	–
	گندمیان	چندساله	*Agropyrum trichophorum*	۴/۶۱	۱۴/۴۹	۰/۵	۰/۸۷	–	–
	گندمیان	چندساله	*Festuca arundinaceae*	۰/۵	۱/۵۷			–	–
	گندمیان	چندساله	*Poa bulbosa*	۱/۳	۴/۰۹	۹/۱	۱۵/۷۷	–	–

آبراهه تثبیت نشده		بیومکانیک		مرتع طبیعی		نام گونه	دوره حیات	شکل رویشی	نام خانواده
سهم در ترکیب	درصد پوشش	سهم در ترکیب	درصد پوشش	سهم در ترکیب	درصد پوشش				
–	–			۱۰/۲۸	۳/۲۷	*Stipa arabica*	چندساله	گندمیان	
–	–			۴/۷۱	۱/۵	*Rosa persica*	چندساله	بوته‌ای	Rosaceae
–	–	۲/۰۸	۱/۲			*Sangiosorba minor*	چندساله	پهن‌برگ	
–	–			۷/۰۴	۲/۲۴	*Verbascum songaricum*	چندساله	پهن‌برگ	Scrophulariaceae
		۲۹/۸۱	۱۷/۲	۳/۴۳	۱/۰۹	گندمیان یکساله			
–	–	۲/۷۷	۱/۶			پهن‌برگان یکساله			
–	–	۵/۲۹	۳/۰۵	۱۱/۷۹	۳/۷۵	سایر گونه‌ها با درصد پوشش گیاهی کمتر از ۰/۵٪			
–	–	۱۰۰	۵۷/۷	۱۰۰	۳۱/۸۲	جمع پوشش گیاهی			
–		۷		۶/۳۳		لاشبرگ (٪)			
۴۶/۲۴		۲۴/۳		۲۹/۴۱		خاک (٪)			
۵۳/۷۶		۱۱/۱		۳۲/۴		سنگ (٪)			
۱۰۰		۱۰۰		۱۰۰		مجموع درصد پوشش سطح خاک (٪)			

جدول ۳- مقایسه درصد پوشش سطح خاک، متغیرهای پوشش گیاهی، لاشبرگ و ذخیره کربن آن در تیمار بیومکانیک و مراتع طبیعی

تیمار نام فاکتور	آبراهه تثبیت نشده	بیومکانیک	مراتع طبیعی	معنی‌داری
تاج پوشش گیاهی (درصد)	–	۵۷/۷ ±۷/۰۶	۳۱/۸۲±۱/۲	۰/۰۰۱**
خاک لخت (درصد)	۴۶/۲۴[a]±۴/۷	۲۴/۳[b] ±۴/۱۶	۲۹/۴۱[b]±۴/۰۴	۰/۰۳*
سنگ و سنگریزه (درصد)	۵۳/۷۶[a]±۵/۰۹	۱۱/۱[b] ±۴/۸۹	۳۲/۴[ab]±۳/۶۵	۰/۰۲۵*
لاشبرگ (درصد)	–	۷ ± ۱/۱۶	۶/۲۷±۰/۵۶	۰/۵۲ n.s
بیوماس اندام هوایی گیاهان (کیلوگرم در هکتار)	–	۱۲۲۷/۵ ±۲۳۰/۰۹	۵۷۲/۹±۴۳/۳۱	۰/۰۰۸**
کربن ذخیره شده در بیوماس اندام هوایی گیاهان (کیلوگرم در هکتار)	–	۵۴۷/۶۷ ±۱۰۲/۵۹	۲۶۷/۷۳±۲۱/۱۴	۰/۰۱**
بیوماس ریشه (کیلوگرم در هکتار)	–	۲۲۲/۸۸ ±۳۶/۹۳	۲۰۸/۵۳±۱۴/۷۵	۰/۷۷ n.s
کربن ذخیره شده در بیوماس ریشه گیاهان (کیلوگرم در هکتار)	–	۸۱/۸۵ ±۱۶/۶	۹۴/۸۵±۷/۱۸	۰/۷۲ n.s
وزن بیوماس کل (اندام هوایی و ریشه کیلوگرم در هکتار)	–	۱۴۵۰/۵ ±۲۵۲/۹۷	۷۸۱/۴۴±۵۶/۶	۰/۰۱۲*
کربن بیوماس کل (اندام هوایی و ریشه کیلوگرم در هکتار)	–	۶۲۹/۵۲ ±۱۰۹/۳۷	۳۶۲/۸۵±۲۷/۶۹	۰/۰۱۸*
وزن لاشبرگ (کیلوگرم در هکتار)	–	۱۵۰/۷۶ ±۲۹/۴۵	۱۳۵/۳۴±۱۵/۸۲	۰/۳۹n.s
کربن لاشبرگ (کیلوگرم در هکتار)	–	۵۹/۷۲ ±۱۲/۰۱	۶۹/۲۲±۱۱/۸	۰/۶۸ns

** و *: به‌ترتیب دارای اختلاف معنی‌دار در سطوح ۱ و ۵ درصد و n.s: بدون اختلاف معنی‌دار

ذخیره کربن در خاک

مقایسه میانگین پارامترهای خاک در عمق اول دو تیمار بیومکانیک و آبراهه تثبیت نشده نشان می‌دهد که تفاوت معنی‌داری در خاک دو عرصه آزمایشی از نظر درصد اشباع، درصد شن و درصد ذرات ریز دانه (سیلت و رس) وجود دارد ($P<۰/۰۵$)؛ اما در عمق دوم بین فاکتورهای مختلف اختلاف معنی‌داری بین دو تیمار بیومکانیکی و آبراهه تثبیت نشده وجود ندارد (جدول ۴). همچنین درصد کربن آلی و مقدار ذخیره کربن در تیمار بیومکانیک بیش از آبراهه تثبیت نشده است، هرچند که این اختلاف معنی‌دار نیست.

جدول ۴- مقایسه میانگین متغیرهای خاک در تیمار بیومکانیک، آبراهه تثبیت نشده و مراتع طبیعی

تیمار	عمق اول (۲۵-۰ cm)			عمق دوم (۵۰-۲۵ cm)		
متغیر مورد بررسی	بیومکانیک	آبراهه تثبیت نشده	مراتع طبیعی	بیومکانیک	آبراهه تثبیت نشده	مراتع طبیعی
اسیدیته	۸/۰۳±۰/۰۳$^{(a)}$	۷/۹۷±۰/۰۹$^{(a)}$	۷/۸۲ ±۰/۰۵$^{(a)}$	۸/۰۷±۰/۰۳$^{(a)}$	۸/۱±۰/۰۶$^{(a)}$	۷/۹۴±۰/۰۴$^{(a)}$
هدایت الکتریکی	۱/۰۰۷±۰/۲۶$^{(a)}$	۰/۷۴±۰/۹$^{(a)}$	۰/۹۲±۰/۱۴$^{(a)}$	۰/۶۱ ±۰/۱$^{(a)}$	۰/۶±۰/۰۵$^{(a)}$	۰/۵۹±۰/۰۹$^{(a)}$
درصد اشباع (٪)	۳۰/۹۳±۰/۸۶$^{(b)}{}_{(A)}$	۲۴/۱±۲/۳۱$^{(b)}{}_{(B)}$	۳۹/۶۸±۱/۲۹$^{(a)}$	۳۱/۴±۰/۸۵$^{(ab)}$	۲۴/۴±۰/۴۶$^{(b)}$	۴۰/۰۹±۱/۸۹$^{(a)}$
آهک کل (٪)	۳۱/۱±۲/۶۹$^{(a)}$	۳۸/۰۷±۳/۳۸$^{(a)}$	۳۲/۶۲±۳/۲۹$^{(a)}$	۳۰/۶±۱/۲$^{(a)}$	۳۳/۸±۰/۶۳$^{(a)}$	۳۶/۱۱±۳/۴۶$^{(a)}$
کربن آلی (٪)	۰/۳۷±۰/۰۶$^{(b)}$	۰/۲۵±۰/۰۰$^{(b)}$	۱/۲±۰/۱۲$^{(a)}$	۰/۲۸±۰/۰۳$^{(b)}$	۰/۲۷±۰/۰۰$^{(b)}$	۰/۹۷±۰/۱$^{(a)}$
شن (٪)	۴۱/۶۷±۱/۲$^{(b)}{}_{(B)}$	۶۲/۰۱±۱/۱۵$^{(a)}{}_{(A)}$	۲۹/۸۱±۱/۸۵$^{(c)}$	۴۴/۶۷±۱/۷۶$^{(b)}$	۶۲/۰۰±۰/۵۸$^{(a)}$	۲۷/۶±۲/۳۶$^{(c)}$
سیلت (٪)	۳۷/۳۳±۱/۸۶$^{(b)}$	۲۵/۰۰±۰/۵۸$^{(b)}$	۴۷/۷۶±۱/۷۰$^{(a)}$	۳۴/۶۷±۲/۶۷$^{(ab)}$	۲۴/۰۰±۰/۵۷$^{(b)}$	۴۶/۳۵±۲/۳$^{(a)}$
رس (٪)	۲۱/۰۰±۱/۵۳$^{(a)}$	۱۳±۱/۷۳$^{(a)}$	۲۲/۴۳±۱/۷۳$^{(a)}$	۲۰/۶۷±۱/۷۶$^{(ab)}$	۱۴/۰۰±۰/۵۶$^{(b)}$	۲۶/۰۵±۲/۲۷$^{(a)}$
سیلت+رس (٪)	۵۸/۳۳±۱/۲$^{(b)}{}_{(A)}$	۳۸/۰۰±۱/۱۵$^{(c)}{}_{\div B)}$	۷۰/۱۹±۱/۸۵$^{(a)}$	۵۵/۳۳±۱/۷۶$^{(b)}$	۳۸/۰۰±۱/۱۵$^{(c)}$	۷۲/۴±۲/۳۶ $^{(a)}$
ذخیره کربن خاک (kg/ha)	۸۸۵۰±۴۳/۸۶$^{(b)}$	۵۵۱۰±۱۰/۲۴$^{(b)}$	۲۹۳۴۰±۱۳۹/۲۵ $^{(a)}$	۶۷۶۰±۴۰/۸۷$^{(b)}$	۵۱۰۰±۱۴/۲۹$^{(b)}$	۲۴۳۰۰±۱۲۳/۴۰$^{(a)}$
ترسیب کربن خاک (kg/ha)	۳۳۴۰	-	-	۱۶۶۰	-	-

حروف غیر مشترک دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد و حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار هستند. حروف کوچک لاتین نشان‌دهنده نتایج مقایسه میانگین دانکن بین سه تیمار بوده و حروف بزرگ لاتین نتایج مقایسه میانگین دو تیمار بیومکانیک و قسمت تثبیت نشده آبراهه با آزمون t است که بیانگر اختلاف معنی‌دار در این دو تیمار از نظر فاکتورهای درصد اشباع، درصد شن و درصد مجموع ذرات ریزدانه (سیلت+رس) است. عدم وجود حروف بزرگ لاتین نشانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین این دو تیمار از نظر سایر فاکتورهاست.

به‌طورکلی درصد سیلت، رس و مجموع ذرات ریز دانه در تیمار بیومکانیک بیشتر از آبراهه تثبیت نشده بوده اما در قسمت آبراهه تثبیت نشده درصد شن بیش از تیمار بیومکانیک قابل مشاهده است. اما هنگامی که این دو تیمار با مراتع طبیعی مجاور خود مقایسه می‌شوند نتایج نشان می‌دهد که مراتع طبیعی با دو تیمار مذکور از نظر فاکتورهای درصد اشباع، درصد کربن آلی، درصد سیلت و مجموع سیلت و رس و همچنین ذخیره کربن خاک در عمق اول و دوم اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد داشته و مقدار آنها به‌ترتیب در مراتع طبیعی و بیومکانیک بیش از آبراهه تثبیت نشده است. همچنین درصد شن در مراتع طبیعی اختلاف معنی‌داری با دو تیمار دیگر داشته و مقدار آن در مراتع طبیعی و بیومکانیک کمتر از قسمت تثبیت نشده آبراهه بوده است.

نتایج مقایسه دو عمق خاک در تیمار بیومکانیکی از نظر کربن ذخیره شده و سایر ویژگی‌های خاک‌شناسی بیانگر

افزایش قابل ملاحظه درصد کربن آلی و ذخیره و ترسیب کربن خاک در عمق سطحی می‌باشد، اگرچه از نظر آماری این افزایش نسبت به عمق زیرین معنی‌دار نیست (جدول۴). بر اساس جدول مذکور در تیمار بیومکانیک مقادیر سیلت، رس، مجموع سیلت و رس، در لایه فوقانی خاک در مقایسه با لایه زیرین افزایش نشان می‌دهد. در جدول (۵) سهم بیوماس گیاهی، لاشبرگ، خاک سطحی و زیرین در تیمارها با یکدیگر مقایسه شده است. در مجموع مقدار ذخیره کربن تا عمق ۵۰ سانتی‌متر خاک در تیمار بیومکانیک، آبراهه تثبیت نشده و مرتع طبیعی به‌ترتیب ۱۶/۲۳، ۱۰/۶۱ و ۵۴/۰۷ تن در هکتار بوده است. همچنین میزان کربن ترسیب شده در خاک برای تیمار بیومکانیک طی سالهای اجرای پروژه (۱۳۹۲-۱۳۷۵) تفاضل ذخیره کربن خاک در این تیمار و قسمت تثبیت نشده آبراهه محاسبه شده که برابر با ۵/۶۹ تن در هکتار است. به‌طور کلی مقدار ذخیره کربن کل (خاک، گیاه و لاشبرگ) در مرتع طبیعی ۳/۳ برابر تیمار بیومکانیک است و ۵/۱ آبراهه تثبیت نشده است. در تیمار بیومکانیک سهم خاک از ذخیره کربن ۹۵/۷۷ درصد و در مرتع طبیعی ۹۹/۲ درصد است.

جدول ۵- سهم بیوماس گیاهی، لاشبرگ، خاک سطحی و خاک زیرین در ذخیره کربن و ترسیب کربن تیمارهای مختلف

	ذخیره کربن گیاهی (اندام هوایی+ریشه) (kg/ha)	ذخیره کربن لاشبرگ (kg/ha)	ذخیره کربن خاک سطحی (kg/ha)	ذخیره کربن خاک زیرین (kg/ha)	کل ذخیره خاک و گیاه و لاشبرگ (kg/ha)	ترسیب کربن تیمار بیومکانیک در مقایسه با آبراهه تثبیت نشده (kg/ha)
بیومکانیک	۶۲۹/۵۲^{a}	۵۹,۷۲^{a}	۸۸۵۰^{b}	۶۷۶۰^{b}	۱۶۲۲۹/۲۴^{b}	۵۶۸۹/۲۴
آبراهه تثبیت نشده	–	–	۵۵۱۰^{b}	۵۱۰۰^{b}	۱۰۶۱۰^{b}	–
مرتع طبیعی	۳۶۲/۸۵^{b}	۶۹/۲۲^{a}	۲۹۳۴۰^{a}	۲۴۳۰۰^{a}	۵۴۰۷۲/۰۷^{a}	–

حروف غیر مشترک در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح ۵ درصد است.

بحث

در این پژوهش نتایج بیانگر این بود که اعمال تیمار بیومکانیک در منطقه‌ای که مشکل فرسایش آبی دارد، اقدامی سودمند بوده، زیرا با احداث گابیون‌ها، بستر آبراهه تثبیت شده و علاوه بر آن بذرکاری با گونه *Agropyrum elongatum* نیز پایداری بیشتر خاک را در پی داشته است. تجمع رسوبات آبرفتی ریزدانه و در نتیجه نگهداری رطوبت و عناصر غذایی بیشتر در این بستر، سبب فراهم شدن شرایط برای استقرار گیاهان می‌شود و همین امر باعث شده که مقدار بیوماس گیاهی و به‌تبع آن مقدار ذخیره کربن گیاهی تیمار بیومکانیک به‌طور معنی‌داری بیش از مرتع طبیعی گردد. استقرار پوشش گیاهی در دیواره‌ها و کف آبراهه در تیمار بیومکانیکی نشان‌دهنده این است که وضع پوشش گیاهی در این قسمت رو به بهبود بوده و خاک هم تثبیت شده است. نتایج بسیاری از محققان ازجمله Radwan (۱۹۹۹)، Forouzeh و Heshmati (۲۰۰۸) و Joneidi Jafari (۲۰۰۹) نیز این نتیجه را تأیید می‌نماید. این تحقیق همچنین نشان می‌دهد با مدیریت صحیح مراتع ضمن افزایش پوشش گیاهی، می‌توان قابلیت ترسیب کربن در بیوماس، لاشبرگ و خاک را افزایش داد و به اهداف دیگر مانند حفظ محیط‌زیست، جلوگیری از فرسایش خاک و آب و بهره‌وری پایدار از منابع سرزمین نیز دست یافت، موضوعی که با نتایج Derner و Schuman (۲۰۰۷) و Hill و همکاران (۲۰۰۳) هم‌خوانی دارد. هرچند که در تیمار بیومکانیک به

علت بیوماس هوایی متراکم و زیاد گونه *Agropyrum elongatum* ذخیره بیوماس هوایی و بیوماس کل بیشتر از مراتع طبیعی بوده اما ذخیره کربن ریشه در این تیمار کمتر از مقدار آن در مراتع طبیعی است که این مسئله ناشی از غلبه شکل رویشی گندمیان دائمی در تیمار بیومکانیک است. در مراتع طبیعی ذخیره کربن ریشه به‌دلیل حضور بوته‌ای‌ها و پهن‌برگان دائمی و گندمیان دائمی در مقایسه با تیمار بیومکانیک بیشتر است. نتایج سایر محققان نیز نشان داد بین گونه‌های مختلف و همچنین اندام‌های گیاهی مختلف از نظر ذخیره کربن تفاوت وجود دارد (Raeini and Sadeghi, 2018; Mahdavi *et al*., 2015; Abdi and Gaikani; 2015). Ussiri و Lal (۲۰۰۵) دریافتند که افزایش پوشش گیاهی بوسیله گونه‌های چندساله با ریشه‌های عمیق‌تر یکی از شیوه‌های مدیریت است که ترسیب کربن را افزایش می‌دهد. اگر هدف اصلی از احیای پوشش گیاهی ترسیب کربن باشد، گونه‌های چوبی‌تر می‌توانند یک راهبرد برای به دست آوردن ماده آلی بیشتری در خاک باشند (Stene, 2007). این تحقیق نشان داد که میزان کربن ذخیره شده خاک و لاشبرگ در مرتع طبیعی به مراتب بیشتر از تیمار بیومکانیک است. بنابراین به نظر می‌رسد چون خاک مراتع طبیعی طی سال‌های زیادی دست‌نخورده و پایدار بوده و همچنین میزان بهره‌برداری هم تحت مدیریت بوده است، ازاین‌رو مقدار بیشتری کربن در خاک ذخیره شده است. Andrade-Limas و همکاران (۲۰۱۱) با مقایسه کمیت ترسیب کربن و کنترل فرسایش در دو نوع خاک و سه کاربری مختلف بیان نمودند که در اراضی با پوشش گیاهی طبیعی، جذب کربن آلی در مقایسه با سدهای کنترل کننده فرسایش خندقی، بیشتر است. Gheitury (۲۰۱۲) هم به رابطه مثبت بین کربن آلی با درصد پوشش گیاهی و بیوماس اشاره نموده است. این مسئله ضرورت بهره‌برداری مناسب و حفاظت از مراتع طبیعی را به‌عنوان پایدارترین و ارزانترین روش ترسیب و حفاظت از کربن به‌خوبی آشکار می‌نماید. Booker و همکاران (۲۰۱۳) نیز بیان کردند که سیاست کلی و طرح‌های مدیریتی باید به دنبال حفاظت طولانی‌مدت از پوشش گیاهی و خاک مراتع برای حفظ کربن باشد. بیشتر بودن ذخیره کربن خاک در عمق بالایی در هر سه تیمار به احتمال زیاد با هوموس و فعالیت میکروبی بیشتر در سطح خاک مرتبط است (Lal, 2005; Patil *et al*., 2012 & Ussiri). در این تحقیق بیشترین مقدار کربن به‌ترتیب در خاک، پوشش گیاهی و لاشبرگ ذخیره شده است و مقدار کربن خاک چندین برابر اندام گیاهیست. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که خاک در اکوسیستم‌های مرتعی مهمترین منبع ذخیره کربن آلی است و حفاظت از آن باید به‌عنوان جزء اصلی ترسیب کربن در اکوسیستم‌های خاکی در اولویت قرار گیرد. نتایج تحقیقات بسیاری از محققان مؤید این مطلب است (Joneidi Jafari, 2009; Lal, 2004؛ Abdi *et al*., 2009). کل کربن ذخیره شده در تیمار بیومکانیک حدود ۰/۳ برابر مراتع طبیعی بوده و ۱/۵ برابر بیشتر از قسمت تثبیت نشده آبراهه است. باید توجه داشت که ذخیره کربن در مراتع طبیعی حاصل تعادل اکولوژیک طی سالیان متمادی است و با عمر محدود عملیات بیومکانیک و رسوبات جمع شده پشت آن و محدوده اثر این عملیات قابل قیاس نیست، اما از مقایسه تیمار بیومکانیک با آبراهه تثبیت نشده می‌توان دریافت که این عملیات به‌طور مؤثری در کاهش فرسایش خاک و ترسیب کربن حوضه سد کارده نقش داشته است. پس از احداث گابیون‌ها و کشت گونه آگروپایروم و استقرار سایر گونه‌های مرتعی در تیمار بیومکانیک، علاوه بر آن که طی چند سال بخشی از کربن موجود در اتمسفر توسط این گیاهان ترسیب شده است، از هدررفت مقدار قابل توجهی کربن در اثر فرسایش خاک نیز پیشگیری شده است. مقایسه مقدار ذخیره کربن در این تیمار با آبراهه تثبیت نشده مؤید این موضوع است. ازاین‌رو می‌توان گفت تیمار بیومکانیک کارایی مؤثری در حفظ آب، خاک، پوشش گیاهی و در نتیجه ترسیب کربن در منطقه داشته است. البته تا دستیابی به شرایط مراتع طبیعی فاصله وجود دارد که می‌تواند ناشی از سن سازه‌ها باشد. Mir Ahmadi Sani و همکاران (۲۰۱۲) در تحقیق خود گزارش کرده‌اند که از نظر ترسیب کربن،

اجرای عملیات بیومکانیکی با احداث بانکت و بادام‌کاری در طول مدت ۲۰ سال کارایی نداشته است که به‌نظر می‌رسد این مسئله ناشی از مقایسه عملیات بیومکانیکی با مراتع طبیعی به‌عنوان شاهد بوده است. بر اساس نتایج، درصد سیلت و همچنین مجموع سیلت و رس در مراتع طبیعی و بیومکانیک بیش از قسمت تثبیت نشده آبراهه است که این مسئله یکی از دلایل بیشتر بودن ذخیره کربن خاک در این دو تیمار در مقایسه با تیمار آبراهه تثبیت نشده است. Patil و همکاران (۲۰۱۲) اعلام نمودند که سطوح کربن آلی خاک با افزایش ذرات سیلت و رس افزایش می‌یابد. از منظر خاک‌شناسی دلیل رابطه مثبت بین کمیت ذرات ریزدانه و ذخیره کربن این است که اندازه منافذ پراکنده در خاک رسی دسترسی ارگانیزم‌های تجزیه کننده را به کربن آلی محدود می‌کند و کربن آلی خاک از طریق فیزیکی یعنی گیرافتادن درون ساختمان خاک یا پیوستن به ذرات رس محافظت گردد (Breuer, 2012). Stockmann و همکاران (۲۰۱۳) نیز دو فرایند اصلی تثبیت کربن به‌صورت فیزیکی و شیمیایی را شامل حفاظت در خاکدانه‌ها (به معنی عدم دسترسی فضایی میکروب‌های خاک به ترکیبات آلی و محدودیت دسترسی به O_2) و دیگری از طریق تعامل با سطوح معدنی و یون‌های فلزی می‌دانند که توسط توزیع اندازه ذرات خاک تحت تأثیر قرار می‌گیرند. در مجموع احداث این سازه‌ها در حوضه‌های کوهستانی از نظر تثبیت خاک و کنترل فرسایش و همچنین ترسیب کربن مؤثر است. بدین معنی که رسوبات ناشی از فرسایش خاک حاصلخیز بالادست که دارای مواد آلی می‌باشند به پشت سازه‌های مکانیکی حمل شده و جلوی هدررفت این منابع عظیم کربن گرفته می‌شود. همچنین از سوی دیگر، مطالعات نشان داده است که پالایش کربن اتمسفری با استفاده از روش‌های مصنوعی هزینه سنگینی دارد، این هزینه‌ها را در امریکا حدود ۳۰۰–۱۰۰ دلار به ازای هر تن در هکتار تخمین زده‌اند (Cannell, 2003). برخی از مطالعات انجام شده ارزش کربن در باروری خاک و تولید بدون احتساب اثرهای زیست محیطی را به‌طور متوسط برابر ۲۰۰ دلار به ازای هر تن در هکتار فرض کرده‌اند (Lal, 2003 Gheitury, 2012;). Mansouri و Badehian (۲۰۱۹) هزینه جذب و ذخیره سازی کربن به روش صنعتی را ۶۳/۳ دلار به ازای هر تن محاسبه کرده‌اند. این مسئله نشان می‌دهد اجرای تیمار بیومکانیکی در این حوضه با حفظ منابع پایه، ارزش اقتصادی اراضی فرسایش یافته را از نظر ترسیب کربن بهبود بخشیده است. بنابراین به‌عنوان نتیجه‌گیری کلی باید توجه داشت که اعمال مدیریت صحیح در بهره‌برداری از پوشش گیاهی به صورت چرای دام و همین‌طور جلوگیری از تغییر کاربری اراضی مرتعی و نظارت بر رفتارهای انسانی، تأثیر عملیات اصلاحی–احیایی را به تدریج افزایش می‌دهد. در این حوضه عملیات بیومکانیکی محدود و منحصر به استفاده از یک گونه مرتعی است، اگرچه این گونه برای تثبیت آبراهه‌ها گونه مناسبی بوده، ولی به نظر می‌رسد بهتر است گونه‌های دیگری نیز برای این منظور مورد استفاده قرار گیرد که این امر نیازمند تحقیق است. البته کمی کردن تأثیر عملیات اصلاحی از جنبه ترسیب کربن در کنار سایر اثرهای مرتبط توجیه اقتصادی این پروژه‌ها را افزایش داده و امکان جلب منابع اعتباری لازم را برای انجام این اقدامات افزایش خواهد داد.

منابع مورد استفاده

– Abdi, N. and Gaikani, S., 2015. Biomass carbon sequestration potential of natural and planted shrub and bush species (Case study: northwest of Meyghan desert, Arak, Iran). Iranian Journal of Range and Desert Research. 22(1): 100- 108.
– Abdi, N., 2005. Estimation of carbon sequestration capacity by *Astragalus genus* (Subgenus: Tragacantha) in two provinces Markazi and Isfahan. Ph.D. Thesis in Rangeland Sciences, Islamic Azad University, Science and Research Branch. 158 pages.
– Abdi, N., Maddah Arefi, H., Zahedi Amiri, G.H.. and Arzani, H., 2009. Investigation of carbon sequestration content in astragalus rangelands in Gholestankoh of Khansar. Journal of Watershed Management Researches. 83: 58-68.
– Agharazi, H., 2019. Biomechanical operation effect on soil carbon of Pakal Basin, Markazi Province. Watershed Engineering and Management, 10(4): 929-936.
– Andrade-Limas, E., Espinosa – Ramírez, M., Ruiz-

management on carbon stock in Australian rangelands. Journal of Environmental Model & Software. 18:627-644.
– Jafari Haghighi, M., 2003. Methods of soil analysis sampling and important physical & chemical analysis with emphasis on theoretical and practical principles. Nedaye Zahi Publications. 187 pages.
– Jana, BK., Biswas, S., Majumder, M., Roy, PK. and Mazumdar, A., 2009. Comparative Assessment of Carbon Sequestration Rate and Biomass Carbon Potential of Young Shorea robusta and *Albizzia lebbek*. International Journal of Hydro-Climatic Engineering Assoc.Water and Enviro-odeling. 1-15.
– Joneidi Jafari, H., 2009. Investigation of the Effects of Some Ecological and management Factors on Carbon Sequestration in Artemisia Sieberi Rangelands (Semnan Province). PhD thesis, Department of Natural Resources, Tehran University. 126 pages.
– Lal, R., 2003. Offsetting global CO_2 emissions by restoration of degraded soils and intensification of world agriculture and forestry. Journal of Land Degradation & Development. 14 (3): 309–322.
– Lal, R., 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. Journal of Geoderma. 123: 1 –22.
– Lashanizand, M., Siahmansour, R., Taghavi Goodarzi, S. and Zolfaghari, F., 2013. Evaluation of the effectiveness of biomechanical practices of watershed management on carbon sequestration for climate change mitigation, case study: Kouhdasht aquifer management and Romeshkan flood spreading. Journal of Watershed Engineering and Management. 5 (1): 9-16.
– MacDicken, K.G., 1997. A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. Forest Carbon Monitoring Program. USA, Winrock International Institute for Agricultural Development.
– Mahdavi, A., Maleki, A. and Bazgir, M., 2019. Soil properties and carbon sequestration in Persian oak (*Quercus brantii var. persica*) forests, Iran. Journal of Forest Science. 65(7): 247-255.
– Mahdavi, S.K., Souri, M. and Choupanian, A., 2015. Effects of physiographic factors on soil carbon sequestration potential in vegetation types of *Astragalus gossypinus* and *Astragalus parrowianus*. Iranian Journal of Range and Desert Research. 22(2): 289- 297.
– Mahmoudi Taleghani, E., Zahedi Amiri, G.h., Adeli, E. and Sagheb Talebi, K. h., 2007. Assessment of carbon sequestration in soil layers of managed forest. Iranian journal of Forest and Poplar Research. 15(3): 241- 252.
– Mansouri, M. and Badehian, Z., 2019. Using Sinoga, J.D. and Romero-Díaz, A., 2011. Gully erosion control and carbon sequestration through filter dams in three different land uses. Journal of Landform Analysis. 17: 87–89.
– Boix-Fayos, C.; Martinez-Mena, M.; Vente, J. and Albaladejo, J., 2009. Influence of land use changes on soil carbon stock and soil carbon erosion in a Mediterranean catchment. Advances in studies on desertification, Murcia 16-18 September.
– Booker, K., Huntsinger, L., Bartolome, J., Sayre, N. and Stewart. W., 2013. What can ecological science tell us about opportunities for carbon sequestration on arid rangelands in the United States?. Journal of Global Environmental Change. 23(1): 240-251.
– Breuer, B., 2012. Effect of vegetation type and composition on carbon stocks in semi- arid Ethiopian savannahs. Master thesis. University of Hohenheim. 75 pages.
– Cannell, M.G.R., 2003. Carbon sequestration & biomass energy offset: theoretical, potential and achievable capacities globally, in Europe and the UK. Journal of Biomass and Bioenergy. 24 (2): 97–116.
– 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.
– Forouzeh, M. R. and Heshmati, G. H. A., 2008. Investigation the effect of floodwater spreading on some of the characteristics of vegetation and soil surface parameters. Journal of Pajouhesh & Sazandegi. 79: 11-20.
– Fynn, A.J., Alvarez, P., Brown, J.R., George, M.R., Kustin, C., Laca, E.A., Oldfield, J.T., Schohr, T., Neely, C.L. and Wong. C.P., 2010. Grassland Carbon Sequestration: Management, Policy and economics. Chapter IV. Soil carbon sequestration in United States rangelands. Integrated Crop Management. 11: 54- 104.
– Ghasemi Nejad Raeini, M. and Sadeghi, H., 2018. Evaluation of carbon sequestration in soil and plant organs of *Zygophyllum atriplicoides* and *Gymnocarpus decander* (case study: Saleh-Abad, Hormozgan). Iranian Journal of Range and Desert Research. 24(4): 699- 707.
– Gheitury, M., 2012. Assessment of management practices efficiency on carbon sequestration in the rangeland of Kermanshah province, Iran. Ph.D. thesis of rangeland science. Islamic Azad university of Tehran. Branch: science and researches. 138 pages.
– Hill, M.J., Britten. R. and McKeon, G.M., 2003. A scenario calculator for effect of grazing land

G., Parton, W. J., Whitehead, D. and Zimmermann, M., 2013. The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. Agriculture, Journal of Ecosystems and Environment. 164: 80– 99.
– Tabatabai Yazdi, S.M., Ghoddousi, J., Mohamadi Golrang, B., Abbasi, A. A. and Seddigh, R., 2006. Final Report of Research Plan: Investigation and assessment on the technical efficiency of implemented watershed management project in Kardeh basin. Soil Conservation and Watershed Management Institute. 136 pages.
– Tamartash, R. and Tataiyan, M. R., 2012. The effect of different vegetative species on carbon sequestration in Miankaleh plain rangelands. Journal of Environmental studies. 38(62): 45-54.
– Tang, Xinyi., Liu, Shuguang., Liu, Juxiu. and Zhou. G., 2009. Effects of vegetation restoration and slope positions on soil aggregation and soil carbon accumulation on heavily eroded tropical land of Southern China. China. Journal of Soils and Sediments. 10: 505-513.
– Thorsson, J. and Svavarsdottir, K., 2013. Soil carbon sequestration: A component of ecological restoration. Soil Carbon Sequestration, for climate, food security and ecosystem services. International conference. Reykjavík, Iceland, 27-29. 186 pages.
– Ussiri, D. and Lal, R., 2005. Carbon Sequestration in Reclaimed Mine soils. Journal of Plant Sciences. 24: 151–165.
– Varamesh, S., Hosseini, S. M. and Abdi, N., 2011. Estimating Potential of Urban Forests for Atmospheric Carbon Sequestration. Journal of Environmental Studies. 37(57): 113- 120.
– Walkley, A. and Black, I.A., 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Journal of Soil Science. 37: 29–38.
– Yasouri, M., Sulaiman, W. B. and Saeidian, F., 2012. Conversion trends of rangelands to dry farming and its effects on erosion and sediment yield in Kardeh drainage basin. Caspian Journal of Environmental Sciences. 10 (2): 257-272
– Zahedi, S., 2018. Investigation of biomechanical management measures on carbon sequestration in Chehlgazi watershed. The 13th National Conference on Watershed Management Science & Engineering of Iran and The 3rd National Conference on Conservation of Natural Resources and Environment. 2-3 October. Ardebil. Iran.
replacement cost method to determining the economic value of carbon sequestration in *Quercus brantii* in the Zavli protected area. Journal of plant ecosystem conservation. 7 (14):151-168.
– Mir Ahmadi Sani, M., Abdi, N. and Agharazi, H., 2012. Evaluating the efficiency of banquet and almond planting operations on carbon sequestration of soil in Sarsakhti Shazand area. Third National Conference on Combating Desertification and Sustainable Development of Desert Wetlands in Iran. 1185 pages.
– Osman, N., Saifuddin, M. and Halim, A., 2014. Contribution of vegetation to alleviate slope's erosion and acidity. In Environmental Risk Assessment of Soil Contamination. IntechOpen.
– Parvizi, Y., Ghafori, A.H., Roghani, M., Partoii, A., Shademani, A. R., Bayat, R., Goudarzi, M., Heydarizadeh, M., Nikkami, D., Mahdiyan, M.H. and Farahpour, M., 2005. Final report of project: Evaluation of the effectiveness of biomechanical practices of watershed management on carbon sequestration for climate change mitigation. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. 147 pages.
– Patil, V. P., Vaghela, B N., Soni, D. B., Patel, P. N. and Jasrai, Y.T., 2012. Carbon Sequestration Potential of the Soil of Jambughoda Wildlife Sanctuary, International Journal of Scientific & Research Publications. 2 (12): 1- 6.
– Ponce-Hernandez, R., Koohafkan, P. and Antoine, J., 2004. Assessing carbon stocks and modelling win-win scenarios of carbon sequestration through land-use changes. Food & Agriculture Org. 166 pages.
– Radwan, A., 1999. Flood analysis and mitigation for an area in Jordan, Journal of water resources and management, 125(3):170-177.
– Reeder, J.D. and Schuman, G.E., 2002. Influence of livestock grazing on C sequestration in semi-arid mixed-grass and short-grass rangelands. Journal of Environmental Pollution. 116: 457–463.
– Stene, R., 2007. Potential for soil carbon sequestration through rehabilitation of degraded lands in the baringo district, Kenya. Master thesis. Norwegian University of Life Sciences. The Department of International Environment and Development Studies. 40 pages.
– Stockmann, U., Adams, M. A., Crawford, J. W., Field, D. J., Henakaarchchi, N., Jenkins, M., Minasny, B., McBratney A. B., Courcelles, V. R., Kanika, S., Wheeler, I., Abbott, L., Angers, D. A., Baldock, J., Bird, M., Brookes, P. C., Chenu, C., Jastrow, J. D., Lal, R., Lehmann, J., O'Donnell, A.

Investigating the effect of biomechanical operations on carbon stocks and sequestration in the Kardeh basin

S. Naseri[1*]

1*-Corresponding author, Forests and Rangelands Research Department, Semnan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Semnan, Iran, Email: s.naaseri@gmail.com

Received:04/09/2020 Accepted:07/22/2020

Abstract

Carbon sequestration in plant and soil organs is one of the most effective ways to mitigate the risks of climate change worldwide. In this study, the effect of biomechanical operations (sowing with *Agropyrum elongatum* species behind gabions) on carbon sequestration in the watershed of Kardeh Dam in Mashhad was investigated and then compared with natural rangelands and unstabilized parts of the waterway. The sampling of soil, aerial and underground biomass of dominant plants, and litter were performed systematically-randomly in the identification points, and the samples were tested for carbon storage. Carbon sequestration in biomechanical treatment during 1996- 2014 has been calculated by subtracting carbon stocks in this treatment and non-established waterways. In general, carbon storage of biomechanical treatment in aerial biomass and roots of plants, litter, and up to 50 cm depth of soil was equal to 16.23, and the amount of sequestrated carbon in this treatment was estimated to be 5.69 tons per hectare. Also, carbon stocks in natural rangelands and non-established waterways are 54.07 and 10.61 ton/ha, respectively. In general, the implementation of biomechanical operations in this basin has improved soil storage and carbon sequestration in eroded lands by protecting the soil and strengthening vegetation.

Keywords: Carbon stocks, range improvement practices, natural rangelands, soil conservation, vegetation.