

ارزیابی اثر بخشی عملیات مدیریتی و احیایی آبخیزداری در ترسیب کربن، مطالعه موردی: حوضه‌های ریمله، رومشکان و کوه‌دشت

مهران زند^{۱*}

^۱ دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۸/۲۴

چکیده

امروزه گرمایش و تغییر اقلیم کره زمین ناشی از اثر گلخانه‌ای تشدید شده حاصل از تصاعد گازهای کربنی به جو زمین به‌عنوان یکی از مهمترین تهدیدها برای توسعه پایدار و امنیت غذایی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان نظیر ایران محسوب می‌شود. این پژوهش، با هدف تعیین اثرات عملیات احیایی آبخیزداری (مکانیکی، بیولوژیک و بیومکانیکی) اجراء شده به‌وسیله سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری، در افزایش پتانسیل ترسیب کربن اراضی و انتخاب الگوهای بهینه اجرا شده، طرح‌ریزی و اجرا شده است. به‌منظور برآورد میزان ترسیب کربن، سه حوضه به‌عنوان سایت نمونه انتخاب شد که در هر سه حوضه به روش سیستماتیک-تصادفی با استفاده از ترانسکت و پلات، نمونه‌برداری صورت گرفت. سپس، نمونه‌ها توزین شده، وزن آن‌ها بر اساس پلات در واحد سطح و هکتار مشخص شد. نتایج پژوهش نشان داد که حوضه نمونه ریمله با میزان ۲۰۲۵ کیلوگرم در هکتار بیشترین و حوضه نمونه شاهد آبخوان با ۱۲۲ کیلوگرم در هکتار کمترین میزان ترسیب کربن را بین پروژه‌های بیولوژیکی داشته‌اند. به لحاظ نوع عملیات بیولوژیکی انجام شده نیز، پروژه بذرکاری با گندم در حوضه ریمله با ۱۰۶۴/۵۶ کیلوگرم در هکتار بهترین عملکرد را از نظر ترسیب کربن داشته و در رتبه برتر قرار گرفت. با توجه به نتایج آزمایشات و تحلیل اطلاعات به‌دست آمده از سایت‌های مورد مطالعه، مشخص شد که در پروژه بیومکانیکی پخش سیلاب رومشکان که گونه اکالیپتوس کشت شده است، شرایط ترسیب کربن نسبت به سایر گونه‌های کشت شده در سایت‌های ریمله و آبخوان مطلوب‌تر بوده، میزان آن به‌طور میانگین ۳۷/۳۱ تن در هکتار است. در مجموع میزان ترسیب کربن خاک حاصل از عملیات مکانیکی، برای سه حوضه معرف ریمله، رومشکان و کوه‌دشت به‌ترتیب ۴۵/۷، ۷۸/۴ و ۵۴/۸ تن در هکتار و میانگین نمونه‌های شاهد ۲۶ تن در هکتار برآورد شد. در آخر، بر پایه نتایج این پژوهش، پروژه پخش سیلاب رومشکان با میزان ترسیب کربن ۷۸/۴ تن در هکتار پروژه موفق از لحاظ ترسیب کربن با اعمال مدیریتی کارا و انجام عملیات آبخیزداری است.

واژه‌های کلیدی: تغییرات اقلیمی، عملیات بیولوژیکی، عملیات بیومکانیکی، عملیات مکانیکی، مناطق خشک و نیمه‌خشک

مقدمه

به جو زمین به‌عنوان یکی از مهمترین تهدیدها برای توسعه پایدار و امنیت غذایی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان نظیر ایران است. علت این امر،

امروزه گرمایش و تغییر اقلیم کره زمین ناشی از اثر گلخانه‌ای تشدید شده حاصل از تصاعد گازهای کربنی

* مسئول مکاتبات: mehran.lashanizand@gmail.com

با استفاده از روش‌های آمار توصیفی و رگرسیون و مقایسه میانگین‌ها بررسی کردند.

Woomer و همکاران (۲۰۰۴) مقدار کربن ترسیب یافته در گیاه و خاک را در تیمارهای مختلف گراس، بوته‌زار و جنگل بررسی کردند و نشان دادند که ۶۰ درصد کربن آلی ترسیب یافته در عمق ۲۰ سانتی‌متری خاک ذخیره شده است. عرصه‌های جنگلی و مرتعی از نظر پتانسیل ترسیب در سطح جهان تقریباً هم عرض هستند. به‌طور کلی در مراتعی که تحت کشت یا هجوم گیاهان خشبی قرار گرفته‌اند، کربن ترسیب یافته پایدارتر بوده است (Liu و همکاران، ۲۰۰۶). Liao (۲۰۰۶) نشان داد که کشت گونه‌های درختی سریع‌الرشد و سازگار در یک مرتع مخروطه کربن بیوماس را افزایش داد. همچنین، این عمل اگرچه در کوتاه‌مدت باعث کاهش کربن خاک شد، ولی در بلندمدت باعث ارتقاء ترسیب کربن در این عرصه شده بود. Fang و همکاران (۲۰۰۶) میزان تولید زیست‌توده و ذخیره کربن را در جنگل کاری‌های صنوبر در چین بررسی کردند. آن‌ها نشان دادند که مهمترین عامل اثرگذار در ترسیب کربن تراکم کشت در داخل جنگل کاری است. نتایج مطالعات مختلف نشان می‌دهد که تحت سامانه‌های مدیریت کنترل شده بر مرتع، ترسیب کربن کل در بیوماس، لاشبرگ و خاک در مقایسه با سامانه مدیریت کنترل نشده یا مدیریت ناصحیح به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد (Su-Yong، ۲۰۰۳؛ Dermer و Schuman، ۲۰۰۷). میزان اثر عوامل مدیریتی و احیائی بر میزان ترسیب کربن در واحد زمان به خصوصیات رشدی گونه‌های گیاهی، شیوه مدیریت، نوع عملیات احیایی، شرایط فیزیکی و بیولوژیکی خاک و ذخیره قبلی کربن در خاک بستگی دارد (Liu، ۲۰۰۷؛ Schuman و Dermer، ۲۰۰۷) و همکاران، (۲۰۰۶). Law و همکاران (۲۰۰۹) پراکندگی کربن آلی خاک را در یک جنگل بزرگ نخل روغنی با سه الگوی مدیریتی رایج به کمک کریجینگ نرمال تعیین کردند. نمونه‌برداری سیستماتیک بود و مدل واریوگرام مناسب از نوع نمائی و یا کروی تشخیص داده شد. نتایج آن‌ها نشان داد که اثر نوع مدیریت در ایجاد ساختار مکانی کربن آلی خاک و در نتیجه روندیابی ترسیب کربن در خاک بسیار مهم

گسترش استفاده از منابع انرژی فسیلی برای فعالیت‌های صنعتی، نابودی جنگل‌ها و مراتع و تخریب منابع اراضی و خاک است. مخاطرات این پدیده، بسیار فراگیر و گسترده است. از جمله این مخاطرات، تخریب منابع اراضی، تقلیل پایداری تولید و کیفیت منابع بیوماس، آلودگی هوا، آب و خاک و مشکلات زیست محیطی، افزایش وقایع طوفان و سیل و انقراض گونه‌های متعدد گیاهی و جانوری است. فعالیت‌های انسان بر اقلیم تاثیر گذاشته، اقلیم به نوبه خود بر کشاورزی، منابع غذایی انسان و دام تاثیر می‌گذارد. در اجلاس کپنهاک در دسامبر ۲۰۰۹ اخطار شد که پیش‌بینی می‌شود با تغییر اقلیم و گرم شدن زمین تا سال ۲۰۲۰ میلادی زمین با کم‌آبی ۳۰ تا ۴۰ درصدی مواجه خواهد شد.

شیوه‌ها و متدولوژی بررسی و ارزیابی مکانی مقوله ترسیب کربن بسته به هدف مطالعه، مشخصات عرصه مورد مطالعه و اثرات تئوریک عوامل فیزیکی و مدیریتی موثر بر ترسیب و بالاخره سطح دسترسی به داده متفاوت است. Povirk و همکاران (۲۰۰۱) نشان دادند که حدود ۸۰ درصد از بیوماس ریشه و ظرفیت ترسیب کربن خاک در عمق ۳۰ تا ۴۰ سانتی‌متری خاک متمرکز است. اثر عوامل اقلیمی به‌ویژه دما بر ترسیب کربن به‌وسیله Grunzwieg و همکاران (۲۰۰۳) و Ardo و Olsson (۲۰۰۳) بررسی شد. این تحقیقات نشان داد که دما باعث کاهش ترسیب کربن از طریق افزایش سرعت تجزیه مواد آلی می‌شود. آنان با تحلیل‌هایی عنوان کردند که مناطق استپی و نیمه‌استپی و به‌طور کلی مناطق نیمه‌خشک و خشک، بهترین نقاط هدف برای ترسیب کربن در سطح جهان می‌توانند باشند. نتایج مطالعات Lal (۲۰۰۳) نشان داد که تبدیل بوم‌سازگان‌های جنگلی و مرتعی به بوم-سازگان‌های زراعی موجب هدر رفت حدود ۳۰ تا ۵۰ تن کربن در هکتار در طول سال می‌شود. Lal (۲۰۰۴) در تحقیقی در چین به این نتیجه رسید که روش‌های مدیریتی باعث می‌شود، مقداری از کربن آلی از دست رفته را بازگرداند. Merino و همکاران (۲۰۰۴) در تحقیقی اثرات مدیریت خاک و تغییر کاربری را در ترسیب کربن در خاک و جریان گازهای گلخانه‌ای در سه کاربری مجاور جنگل، مرتع، و زراعت

سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور، اجرا و بهره‌برداری شده است. این طرح‌ها با هدف احیاء عرصه‌های طبیعی، حفاظت منابع آب و خاک و محیط زیست، استفاده برای چرای دام، مقابله با فرسایش آبی و بادی و غیره انجام شده است. عملیات یاد شده می‌تواند در جهت ترسیب کربن اتمسفری و تقلیل اثرات تشدیددی گلخانه‌ای عمل کنند و در سطوح منطقه‌ای، ملی و بین‌المللی، ارزش افزوده و توجیه اقتصادی بسیاری از این طرح‌ها قابل باز تعریف است. لذا، ضروری است در یک مطالعه جامع، ظرفیت و بضاعت طرح‌های آبخیزداری انجام شده در سطح کشور، در ترسیب کربن ارزیابی و کمی شود. این کار، علاوه بر این‌که جایگاه و سهم واقعی ایران را در چهار چوب معاهدات پذیرفته شده بین‌المللی روشن می‌کند، کارشناسان را در انتخاب و معرفی پروژه‌های بیولوژیک بهینه در مناطق مختلف اقلیمی کشور با رویکرد ترسیب کربن یاری می‌کند. شناسائی نقاط ضعف و قوت این پروژه‌ها از نتایج چنین تحقیق جامعی است.

مواد و روش‌ها

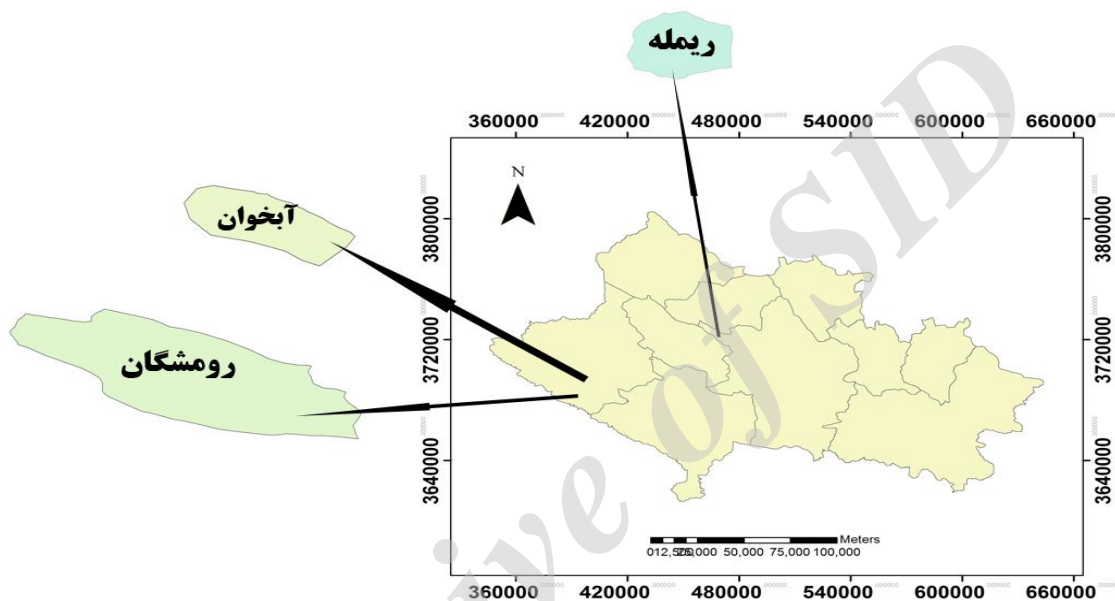
منطقه مورد پژوهش: برای انجام این تحقیق، سه حوضه در نقاط مختلف استان لرستان با پوشش و نوع عملیات آبخیزداری انجام شده متفاوت انتخاب شدند که شامل ۱- حوضه ریمله در ۳۰ کیلومتری شمال شهرستان خرم‌آباد با مساحت حوضه ۸۰۰۰ هکتار، ۲- حوضه آبخوان‌داری کوه‌دشت در منطقه داوود رشید واقع در هشت کیلومتری شمال شهرستان کوه‌دشت که در حدود ۹۰ کیلومتری غرب مرکز استان لرستان (خرم‌آباد) واقع شده است که با هدف تزریق و هدایت رواناب‌های فصلی و کشت گونه‌های مختلف درختی به اجرا در آمده است و ۳- حوضه پخش سیلاب رومشکان که این حوضه در جنوب شهرستان کوه‌دشت با مساحت ۱۰۰۰ هکتار به‌عنوان پخش سیلاب انتخاب شده است. عملیات آبخیزداری از سال ۷۵ در سه حوضه فوق شروع شده است (جدول ۱ و شکل ۱).

است. Henry و همکاران (۲۰۱۰) اظهار داشتند که تنه درختان، بیشینه زی‌توده هوائی مربوط به یک درخت را به خود اختصاص می‌دهد که تحت عنوان زی‌توده تنه (Bole Mass) در نظر گرفته می‌شود. در ارتباط با بررسی میزان توزیع ترسیب کربن زی‌توده‌های گیاهی در واحدهای مختلف فیزیوگرافی، Marshall و همکاران (۲۰۱۲) اذعان کردند که در میان همه عوامل محیطی، عوامل فیزیکی شیب و ارتفاع از سطح دریا تا حدود ۶۳/۷ درصد تغییرات میزان ترسیب کربن هوائی را شامل می‌شوند. Nobakht و همکاران (۲۰۱۱) اظهار داشتند که در عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری نمونه شاهد، در سطح پنج درصد فقط با بذریاشی و بادام طبیعی اختلاف معنی‌دار نداشت ولی با بقیه کاربری‌ها، در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار وجود داشت. Olfati و همکاران (۲۰۱۲) با بررسی توان ترسیب کربن گونه بنه در باغ شادی هرات، نشان دادند که از بین اجزاء مختلف توده بیشترین سهم از ترسیب کربن را خاک این منطقه به خود اختصاص داده بودند (بیوماس ۶/۲۳۲، خاک ۷۱/۲۲۰ و لاشبرگ ۰/۴۴۵ تن در هکتار). Rosta و همکاران (۲۰۱۳) در منطقه فیروزآباد فارس، دریافتند که میزان کربن ذخیره شده در خاک به‌وسیله گونه بنه ۱۲/۷۸ تن در هکتار است. Girmayreda (۲۰۱۷) در پژوهشی تحت عنوان "چارچوبی به‌منظور ارزیابی ترسیب کربن و شیوه‌های مدیریت زمینی پایدار (SLM) برای مقابله با تغییرات اقلیمی در اتیوپی" اظهار داشت که می‌توان ذخایر کربن را با به‌کار بردن رهیافت‌های مختلف از سطح یک پلات تا سطح کشور بر پایه نحوی کاربری زمین و شیوه‌های مختلف مدیریت زمینی پایدار محاسبه کرد. علاوه بر این، ارزش اقتصادی ترسیب کربن و پایداری زیست محیطی ناشی از آن، کشور اتیوپی را بیشتر تشویق می‌کند تا در طرح‌های کاهش گرمایش جهانی و راه‌های افزایش درآمد جامعه برای ارزش افزوده بیشتر مشارکت کند.

در سال‌های پس از انقلاب، عملیات بیولوژیک، مکانیکی و بیومکانیکی آبخیزداری در عرصه‌های منابع طبیعی به شکل گسترده‌ای، به‌وسیله

جدول ۱- مشخصات عمومی سایت‌های معرف

ردیف	نام حوضه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	میزان بارندگی (میلی‌متر)	عملیات مکانیکی	عملیات بیولوژیکی	مدت اجرای پروژه (سال)
۱	ریمله	۴۸° ۲۵' ۵"	۳۳° ۳۷' ۶"	۵۲۷	دارد	دارد	۱۵
۲	آبخوان‌داری	۴۷° ۴۰' ۴"	۳۳° ۳۳' ۳"	۴۲۰	دارد	دارد	۱۵
۳	پخش سیلاب	۴۷° ۲۸' ۴"	۳۳° ۱۳' ۲"	۴۲۰	دارد	دارد	۱۵



شکل ۱- موقعیت مناطق مورد پژوهش در استان لرستان

نمونه‌برداری برای هر یک از عملیات آبخیزداری، به اختصار تشریح می‌شود.

روش نمونه‌برداری پروژه‌های بیولوژیکی: در این پروژه با انجام بازدیدهای صحرائی سایت‌های تیمار و شاهد مکان‌یابی شدند و از آنجایی که خصوصیات تیپ اراضی، نوع سازند، نوع پوشش گیاهی، شیب اراضی، رخنمون سنگی، نوع عملیات آبخیزداری انجام شده در سایت‌های تیمار و شاهد در حد قابل قبولی همگن هستند، لذا روش نمونه‌برداری به صورت تصادفی انتخاب شدند. اعمال نمونه‌برداری به صورت مستقیم و به روش ترانسکت و پلات است. بدین صورت که تعداد شش ترانسکت ۵۰ متری انتخاب و به فاصله هر ۱۰ متر به طور تصادفی یک پلات بر روی آن مطالعه شد. به عبارتی، ۳۰ پلات مقدار نمونه در تیمار و همین

روش پژوهش: با توجه به اهداف تحقیق، در ابتدا با استفاده از گزارش و نقشه‌های موجود (توپوگرافی ۱:۵۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰) هر کدام از حوضه‌ها بر روی نقشه مشخص و نوع عملیات انجام شده آبخیزداری (مکانیکی، بیولوژیکی و بیومکانیکی) حوضه‌ها برای نمونه‌برداری تعیین شدند. سپس با عملیات میدانی، ثبت و بررسی اختصاصات فنی، فیزیکی و مدیریتی عملیات آبخیزداری نظیر بانکت، تورکینست، تراس و ... در عرصه‌های انتخاب شده، انجام شد. شایان ذکر است که در اندازه‌گیری میزان ترسیب کربن هر سایت، مجموع ذخیره کربن خاک و گیاه هم‌زمان با هم انجام شده، تقسیم‌بندی پژوهش صرفاً به دلیل این که طرح محوری به سه پروژه مکانیکی، بیولوژیکی و بیومکانیکی تجزیه شده، انجام شده است. در اینجا روش

روش نمونه برداری پروژه‌های مکانیکی: روش نمونه برداری، به صورت تصادفی بود که به علت وجود خصوصیات تیپ‌های اراضی، نوع سازندها، نوع پوشش گیاهی، شیب اراضی، رخنمون سنگی، نوع عملیات آبخیزداری انجام شده و عوامل دیگر، این روش موثرتر بود. نمونه برداری مستقیم خاک با حفر پروفیل‌های شاهد و معرف و تهیه نمونه از عمق‌های صفر تا ۲۵ و ۲۵ تا ۵۰ خاک در مناطقی که دارای خصوصیات و ویژگی‌های توپوگرافی و خاک نسبتاً یکسان با سایت-های معرف بوده‌اند، انجام شده است. نمونه برداری‌های خاک با دو روش دست‌خورده و دست‌نخورده انجام گرفت. در روش دست‌نخورده، از ابزار کوور سمپلر^۱ (برای محاسبه وزن مخصوص ظاهری) استفاده شد. در این روش کربن آلی خاک (C) با روش والکی-بلاک تعیین می‌شود که با داشتن عمق (d)، وزن مخصوص ظاهری (Bd) و ذخیره کربنی (Cc) هر لایه در هکتار از رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

$$Cc = 10000 \times C(\%) \times Bd \times d \quad (3)$$

که در آن، Cc میزان ترسیب کربن (کیلوگرم در سطح یک متر مربع)، C درصد تراکم کربن در عمق مشخصی از خاک، Bd وزن مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب) و d ضخامت عمق خاک (سانتی‌متر) است. سپس با میانگین‌گیری وزنی خاک در کل پروفیل و در واحد سطح محاسبه شد. در نهایت برای کل عرصه هر سایت، میزان ذخیره کربن خاک یا کربن ترسیب یافته در خاک، برآورد انجام شد. در سایت پخش سیلاب سه پروفیل در عمق‌های صفر تا ۲۵ و ۲۵ تا ۵۰ سانتی‌متری حفر شد و هم‌زمان از هر لایه یک نمونه دست‌نخورده از عمق‌های یاد شده (با توجه به بافت خاک و نیز رطوبت موجود امکان برداشت از لایه ۲۵ تا ۵۰ در این حوضه نبود) برداشت صورت گرفت. از سایت‌های پخش سیلاب و ریمله هرکدام سه پروفیل و آبخوان‌داری چهار پروفیل حفر شد. همچنین، حفر پروفیل‌های شاهد جدا از محدوده طرح آبخیزداری جایی که شرایط خاک با حوضه‌های معرف تقریباً یکسان بود، صورت گرفت.

مقدار هم در شاهد مطالعه شد. در هر سایت ۶۰ پلات و در جمع دو حوضه مورد مطالعه ۱۲۰ پلات جامعه آماری را تشکیل می‌دهد. در این پلات‌ها آمار به تفکیک اندام هوایی، ریشه و میزان لاشبرگ برداشت شده تا مقدار بیوماس قابل محاسبه باشد. با این وضعیت داده‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. پس از خشک‌شدن کامل نمونه‌ها در آون و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت بسته به نوع گونه‌ها، میزان رطوبت و یا نوع اندام قرار گرفته، خشک شدند (Siahmansour, ۲۰۱۴). سپس تعداد ۱۵ نمونه ۱۰ گرمی مرکب از ریشه، ۱۵ نمونه ۱۰ گرمی مرکب از اندام هوایی و ۱۵ نمونه ۱۰ گرمی مرکب از لاشبرگ، از عرصه تیمار و همین مقدار هم از عرصه شاهد برای اندازه‌گیری میزان کربن به آزمایشگاه منتقل شد. برای تعیین میزان ماده آلی هر گونه گیاهی از روش احتراق استفاده شده است. نمونه‌های گیاهی پس از شستشو در آون ۶۰ درجه به مدت کمینه هشت ساعت یا ۴۰ درجه به مدت کمینه ۱۵ ساعت قرار گرفت تا خشک شوند.

سپس نمونه‌ها خرد و آسیاب شدند. در مرحله بعد دو نمونه ۱۰ گرمی از آن را توزین کرده، به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد در کوره قرار گرفت. سپس نمونه‌ها را در دسیکاتور سرد کرده، برای اطمینان مجدداً به مدت یک ساعت در کوره قرار داده، توزین شدند. وزن به دست آمده تیمار خاکستر است. در این روش میزان کاهش وزن ماده به جا مانده در کوره معادل ماده آلی است که گیاه دارد. به منظور تعیین وزن ماده آلی گیاه از رابطه (۱) استفاده شده است.

$$om = w1 - w2 \quad (1)$$

که در آن، OM وزن ماده آلی گیاه (گرم)، W1 وزن اولیه (گرم) و W2 وزن ثانویه (گرم) است.

بررسی‌ها نشان می‌دهد که ۵۴ درصد ماده آلی برابر کربن موجود در گیاه است (Sochaki و Ritson, ۲۰۰۳). لذا، درصد کربن موجود در گیاه با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شده است.

$$OC = \%54 OM \quad (2)$$

که در آن، OC میزان کربن موجود در گیاه (درصد) و OM میزان ماده آلی موجود در گیاه (درصد) است.

¹ Core sampler

است و همچون آزمون F، موقعی به کار برده می‌شود که تعداد گروه‌ها بیشتر از دو گروه باشد. فرضیات در این آزمون بدون جهت است، یعنی فقط تفاوت را نشان می‌دهد و برای بزرگ‌تر یا کوچک‌تر بودن گروه‌ها را از نظر میانگین‌هایشان نشان نمی‌دهد. کارایی این آزمون ۹۵ درصد آزمون F است. در این آزمون، متغیر مورد مقایسه کمی و تعداد نمونه‌ها کم و یا توزیع آن‌ها نرمال نیست. به‌منظور مقایسه میزان ترسیب کربن پروژه‌های مکانیکی و بیولوژیکی در حوضه‌های مختلف و حوضه‌های شاهد، آزمون‌های t و آزمون مقایسه زوجی صورت گرفتند.

نتایج و بحث

از آن‌جایی که در این پژوهش، نقش عملیات آبخیزداری در ترسیب کربن آتمسفری در قالب پروژه-های مکانیکی، بیولوژیکی و بیومکانیکی مورد بررسی قرار گرفته است، نتایج حاصل نیز به تفکیک این پروژه‌ها ارائه می‌شود. به‌منظور تعیین میزان موفقیت تیمارهای بیولوژیک در مقدار ترسیب کربن، هر کدام از پارامترهای هدف با مقادیر متناظر خود در شاهد مقایسه شدند. برای مقایسه نمونه‌هایی که مستقل هستند، از آزمون مقایسه زوجی t استفاده شده است که نتایج در جدول ۲ آورده شده است. با توجه به این‌که در سایت رومشکان فقط نمونه‌های خاک و گونه‌های درختی برداشت شده، این حوضه به‌لحاظ گیاهان مرتعی بسیار فقیر بود، در این حوضه عملیات مکانیکی و بیومکانیکی مورد توجه قرار گرفت (بر پایه دستورالعمل طرح ملی محوری).

مقدار درجه آزادی برای نمونه‌های ریشه حوضه آبخوان و ریمله به‌ترتیب ۱۳ و ۱۴ است و آماره p-value در سطح پنج درصد کوچک‌تر از α است، بنابراین، فرض H_0 رد می‌شود. به‌عبارتی، میانگین ذخیره کربن در حوضه‌های تیمار آبخوان‌داری و ریمله با شاهد، اختلاف معنی‌داری دارند. در عین حال باید تأکید کرد ترسیب کربن عبارت از تفاضل ذخیره کربن در عملیات بیولوژیکی و مکانیکی، مناطق معرف از ذخیره کربن مناطق شاهد در بخش‌های خاک، بیوماس، لاشبرگ و مجموع است. میزان ترسیب کربن

روش نمونه‌برداری پروژه‌های بیومکانیکی: در این پروژه از تمامی گونه‌های درختی مورد مطالعه یک درخت با خصوصیات حد واسط (در ابعاد متوسط) انتخاب و به‌طور کامل به همراه ریشه از زمین جدا شد. سپس کل درخت در قالب اندام‌های مختلف توزین شده و در مرحله بعد نمونه‌هایی از اندام‌های مختلف درخت تهیه شده و با انجام مراحل آزمایشگاهی بیوماس و کربن آن‌ها تعیین و به کل گونه و سطح پروژه تعمیم داده شد. بدیهی است اندام‌های مختلف (ریشه، شاخه، تنه و برگ) به‌صورت جداگانه و با دقت بالا توزین شدند. در خصوص توزین برگ‌ها باید اشاره کرد که قسمت‌های قابل حمل با دقت در بسته‌های جداگانه قرار گرفته، وزن شدند و آن قسمت که قبل از برداشت بر روی زمین ریخته شد، به‌عنوان لاشبرگ محسوب شده، در پروژه مکانیکی همراه با مطالعات خاک مورد بررسی قرار گرفت.

برای تعیین میزان ماده آلی گونه‌های درختی مورد مطالعه از روش استاندارد احتراق (رابطه ۱) استفاده شد. بدین‌منظور از اندام‌های مختلف (ریشه، شاخه، تنه و برگ) هر گونه درختی ۱۰ نمونه و در مجموع از کل نه گونه درختی انتخاب شده ۹۰ نمونه تهیه شد. نمونه‌های گرفته شده پس از شستشو در آون ۶۰ درجه به مدت دست‌کم هشت ساعت قرار گرفته تا خشک شوند. سپس نمونه‌ها خرد و مخلوط شدند. در مرحله بعد دو نمونه ۱۰ گرمی از آن را توزین کرده و به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد در کوره قرار گرفت. سپس نمونه‌ها را در دیسکاتور سرد کرده و به‌منظور اطمینان مجدداً به مدت یک ساعت در کوره قرار داده، توزین شد که وزن به‌دست آمده معرف خاکستر است. در این روش میزان کاهش وزن ماده به‌جا مانده در کوره معادل ماده آلی است که گیاه دارد.

روش آماری مورد استفاده: در این پژوهش، به‌منظور مقایسه مقادیر میانگین ترسیب کربن عملیات مورد ارزیابی (گونه‌های درختی) از آزمون کروسکال والیس در نرم‌افزار MINITAB استفاده شد. آزمون کروسکال-والیس^۱ متناظر غیر پارامتری آزمون F

^۱ Kruskal-Wallis test

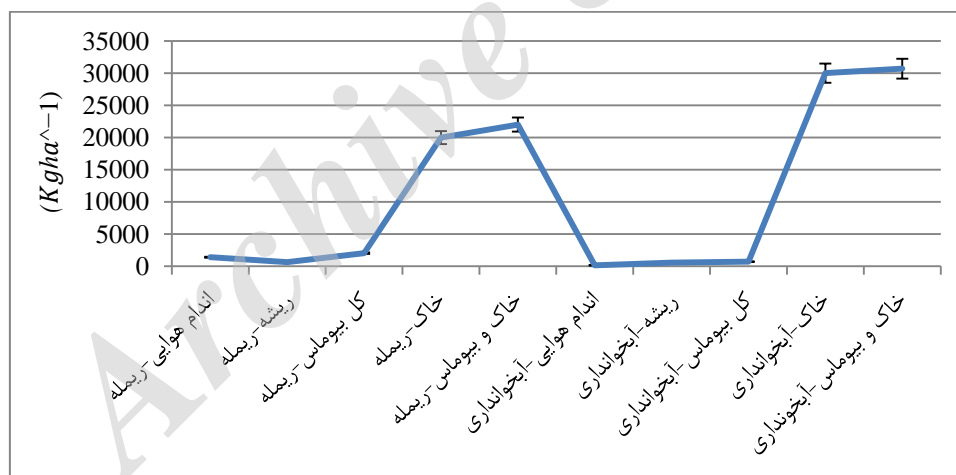
در عملیات آبخوان‌داری که بیش از ۳۰ تن در هکتار برآورد شده است. در ادامه به منظور رتبه‌بندی عملیات مختلف بیولوژیکی آبخیزداری به لحاظ نقش آن‌ها در ترسیب کربن، شش پروژه عملیات بیولوژیکی انجام شده در محدوده دو حوضه مورد مطالعه (ریمله و آبخوان کوه‌دشت) با نمونه‌های شاهد هر حوضه مقایسه و نتایج حاصل در جدول ۳ ارائه شده است.

در دو حوضه ریمله و آبخوان‌داری کوه‌دشت در قالب شکل ۲ ارائه شده است.

همان‌گونه که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، از بین نمونه‌های بیولوژیکی، اندام هوایی در حوضه ریمله بیشترین ترسیب کربن را داشته است. اما به لحاظ عملیات انجام شده میزان ترسیب کربن خاک به مراتب بیشتر از کل ترسیب کربن بیوماس بوده است، خصوصاً

جدول ۲- آزمون ذخیره کربن نمونه‌های مستقل ریشه شاهد و تیمار برای حوضه‌های آبخوان کوه‌دشت و ریمله

پارامتر	N	Mean±(St Deviation)	SE Mean	DF	T-value	P-value
تیمار آبخوان	۱۲	۵۰/۵۷ ± ۱/۶۳	۰/۱۴۷			
شاهد آبخوان	۳	۴۶/۷۶ ± ۴/۸۵	۲/۸	۱۳	۳/۰۳	۰/۰۰۵
تیمار ریمله	۸	۵۱/۰۸ ± ۱/۶۶	۰/۵۸۹			
شاهد ریمله	۸	۵۰/۸۱ ± ۱/۷۶	۰/۶۲۲	۱۴	۲/۵۱	۰/۰۱۳



شکل ۲- میزان ترسیب کربن در حوضه‌های مورد بررسی (خطای پنج درصد)

شده در دو حوضه نیز در کل مشخص می‌شود، پروژه-های بیولوژیکی انجام شده در حوضه ریمله از نظر ترسیب کربن موفق‌تر بوده‌اند.

بررسی میزان ترسیب کربن به وسیله یک پایه گونه درختی مورد مطالعه (اندام هوایی و اندام زمینی): همان‌گونه که از جدول ۴ مشخص است، یک پایه درخت اکالیپتوس کاشته شده در پخش سیلاب

همان‌گونه که جدول ۳ نشان می‌دهد، میزان ذخیره کربن برآورد شده با توجه به نوع عملیات بیولوژیکی و نمونه‌های حاصل بیانگر تفاوت‌های قابل توجهی است. همچنین، بررسی جدول ۳ نشان می‌دهد، عملیات بیولوژیکی بذرکاری با گندم در حوضه ریمله با ۱۰۶۴/۵۶ کیلوگرم در هکتار بهترین عملکرد را به لحاظ ترسیب کربن داشته، در رتبه اول قرار گرفته است. با مقایسه عملیات بیولوژیکی انجام

شرح جدول ۴ است. در ادامه، میزان کل کربن ترسیب شده در اثر کاشت گونه‌های درختی مثمر و غیر مثمر و همچنین تراکم و ترسیب کربن ناشی از آن‌ها در هکتار در سایت‌های مورد مطالعه تعیین شد (جدول ۵).

رومشکان با ۳۱۳/۱ کیلوگرم بیشترین میزان ترسیب کربن و انار کاشته شده در آبخوان کوهدشت با ۹/۱۶ کیلوگرم کمترین میزان ترسیب کربن را در سایت‌های مورد مطالعه دارا هستند. نقش سایر گونه‌های درختی مثمر و غیر مثمر مورد مطالعه در ترسیب کربن به

جدول ۳- مقایسه میزان ترسیب کربن در عملیات مختلف بیولوژیک ($Kgha^{-1}$)

ردیف	حوضه	پروژه عملیات بیولوژیک	درصد کربن آلی	درصد ماده آلی	وزن نمونه ($Kgha^{-1}$)	ذخیره کربن ($Kgha^{-1}$)	ترسیب کربن ($Kgha^{-1}$)	رتبه عملیات
۱	ریمله	بذرکاری با لگوم	۵۱/۶	۸۸/۱	۱۱۶۴	۶۰۰/۶	۴۶۳/۱۸	۳
۲	ریمله	بذرکاری با گندم	۵۲/۳۶	۹۰/۱	۲۷۱۸/۵	۱۴۲۳/۴	۱۰۶۴/۵۶	۱
۳	ریمله	بذرپاشی پشته‌ها با لگوم و گرامینه	۵۳/۴	۹۲/۴	۲۱۴۶/۴	۱۱۴۶/۲	۱۰۱۰/۲۶	۲
۴	آبخوان	مرتع کاری و مدیریت چرا با کشت لگوم	۴۹/۳۳	۸۸	۶۵۴/۴	۳۲۲/۸۲	۲۲۲/۶۵	۴
۵	آبخوان	مرتع کاری و مدیریت چرا با کشت گراس	۵۰	۸۵/۷	۳۵۰/۸	۱۷۵/۴	۷۴/۸۱	۶
۶	آبخوان	مرتع کاری و مدیریت چرا با کشت سایر گونه‌ها	۵۰/۱	۸۸/۷	۵۸۴/۵	۲۹۲/۸	۱۹۲/۷۸	۵

جدول ۴- مقایسه میزان کربن ترسیب شده در اثر کاشت گونه‌های درختی مثمر و غیر مثمر در سایت‌های مورد مطالعه

ردیف	نام گونه	محل کشت	وزن هر گونه (Kg)	تعداد (اصله)	کربن ترسیب شده به وسیله یک پایه (Kg)	کل کربن ترسیب شده بر اثر کاشت گونه (Kg)	عملکرد ترسیب کربن هر گونه ($Kgha^{-1}$)	تراکم درخت در هکتار
۱	اکالیپتوس معمولی	پخش سیلاب رومشکان	۶۰۹/۴	۸۵۸۰	۳۱۳/۱	۲۶۸۶۳۹۸	۳۷۳۱۱/۱	۱۱۹/۲
۲	سرو نقره‌ای	پخش سیلاب رومشکان	۵۹/۱۵	۱۰۰۰	۳۰/۵۴	۳۰۵۴۰	۴۲۴/۱۷	۱۳/۹
۳	بادام زراعی (باغی)	پخش سیلاب رومشکان	۳۶/۸	۵۰۰	۱۹	۹۵۰۰	۱۳۱/۹۴	۶/۹
۴	انجیر	پخش سیلاب رومشکان	۶۱	۲۵۰۰	۳۰/۹	۷۷۲۵۰	۱۰۷۲/۹۲	۳۴/۷
۵	پسته	آبخوان کوهدشت	۱۸	۵۰۰	۹/۳۶	۴۶۸۰	۲۳۴	۲۵
۶	انار	آبخوان کوهدشت	۱۸	۳۵۰	۹/۱۶	۳۲۰۶	۱۶۰/۳	۱۷/۵
۷	انجیر	آبخوان کوهدشت	۵۸	۱۱۵۰	۲۸/۹۸	۳۳۳۲۷	۱۶۶۶/۳۵	۵۷/۵
۸	سرو نقره‌ای	آبخوان کوهدشت	۶۹	۳۳۰	۳۶/۲۰	۱۱۹۴۶	۵۹۷/۳	۱۶/۵
۹	بادام زراعی (باغی)	آبخوان کوهدشت	۴۴	۶۵۰	۲۳/۰۵	۱۴۹۸۲/۵	۷۴۹/۱۳	۳۲/۵

ترسیب کربن گونه‌های مورد بررسی تفاوت ناچیزی دارند. اما میانگین رتبه آن‌ها تفاوت قابل ملاحظه‌ای را نشان می‌دهد. به طوری که اختلاف بین بالاترین رتبه یعنی بادام کوهدشت و پائین رتبه یعنی انجیر

به منظور مقایسه مقادیر میانگین ترسیب کربن گونه‌های درختی مورد نظر از آزمون کروسکال والیس در نرم افزار MINITAB استفاده شد. همان گونه که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، مقادیر میانه داده‌های

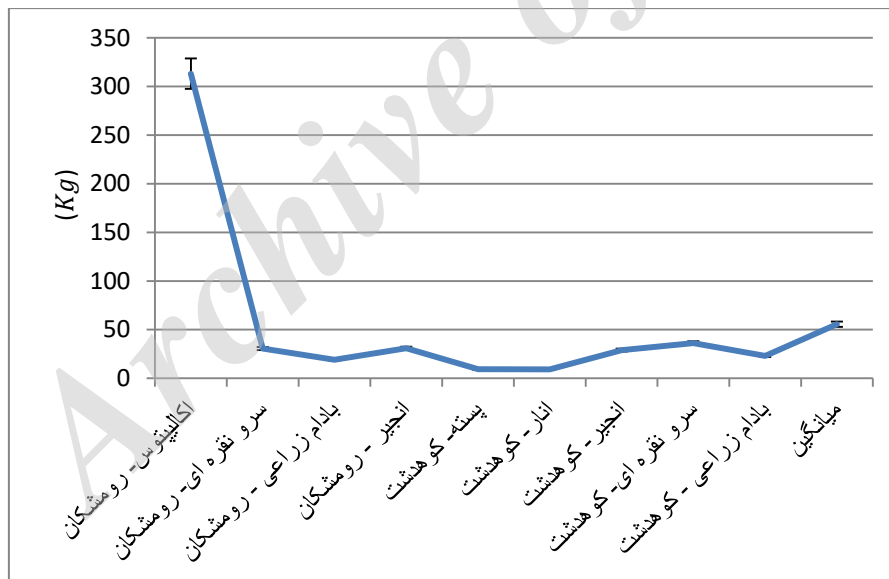
رومشکان ۴۶/۳ است. بنابراین، موارد و مقدار p-value میانگین ترسیب کربن در گونه‌های درختی مورد بررسی پذیرفته می‌شود.

جدول ۵- نتایج آزمون کروסקال والیس برای مقایسه میانگین ترسیب کربن گونه‌های درختی

مقدار Z	میانگین رتبه	میان	تعداد نمونه	گونه درختی
-۱/۴۱	۳۴/۶	۵۲/۴	۱۰	اکالیپتوس معمولی
-۰/۳۷	۴۲/۷	۵۲/۵۵	۱۰	سرو نقره‌ای
-۰/۳۰	۴۳/۲	۵۲/۶۰	۱۰	بادام زراعی (باغی)
-۲/۴۹	۲۶/۱	۵۱/۴۰	۱۰	انجیر
۰/۳۴	۴۸/۲	۵۲/۸۵	۱۰	پسته
-۰/۵۱	۴۱/۵	۵۲/۶۵	۱۰	انار
-۲/۱۳	۲۸/۹	۵۲/۲۰	۱۰	انجیر
۳/۴۲	۷۲/۱	۵۳/۵۰	۱۰	سرو نقره‌ای
۳/۴۵	۷۲/۴	۵۳/۴۵	۱۰	بادام زراعی (باغی)
	۴۵/۵		۹۰	کل

کیلوگرم کمترین میزان ترسیب کربن را در سایت‌های مورد مطالعه دارا هستند. نقش سایر گونه‌های درختی متمر و غیر متمر مورد مطالعه در ترسیب کربن به ترتیب شکل ۳ است.

همان گونه که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، یک پایه درخت اکالیپتوس کاشته شده در پخش سیلاب رومشکان با ۳۱۳/۱ کیلوگرم، بیشترین میزان ترسیب کربن و انار کاشته شده در آبخوان کوه‌دشت با ۹/۱۶



شکل ۳- مقایسه میزان ترسیب کربن به وسیله یک پایه گونه درختی (خطای پنج درصد)

مقایسه قرار گیرند، که به میزان ۲۶ تن در هکتار است، تفاوت آن‌ها روشن است. همان‌طور که عنوان شد، درصد مواد آلی در حوضه پخش سیلاب اختلاف چشم‌گیری با حوضه‌های آبخوان‌داری و ریمله دارد. همچنین، میانگین درصد مواد آلی پخش سیلاب، آبخوان‌داری، ریمله و شاهد به ترتیب ۲/۲۶، ۱/۴۶،

در ادامه کار، نتایج ترسیب کربن پروژه عملیات مکانیکی برای سه حوضه معرف و شاهد مورد بررسی قرار گرفت. میانگین ترسیب کربن در واحد سطح در حوضه ریمله، پخش سیلاب و آبخوان‌داری به ترتیب ۴۵/۶۶، ۷۸/۳۸ و ۵۴/۷۸ تن در هکتار برآورد شد و اگر با میزان ترسیب کربن در پروفیل‌های شاهد مورد

مقایسه بین نتایج آزمایش‌های خاک‌ها: برای نشان دادن اختلاف معنی‌دار بین پروفیل‌های معرف با پروفیل‌های شاهد، از آزمون مقایسه زوجی استفاده شده است. این آزمون در سطح پنج درصد انجام گرفت. نتایج در جدول ۶ آورده شده است. خروجی جدول نشان می‌دهد که t به دست آمده از t جدول بزرگ‌تر است و نیز sig به دست آمده برای کلیه حوضه‌های معرف با شاهد، کوچک‌تر از پنج درصد بوده، پس فرض H_0 رد می‌شود، یعنی تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین میانگین ترسیب کربن در حوضه‌های معرف با حوضه‌های شاهد وجود دارد. در جدول ۷، با استفاده از میانگین ترسیب کربن در واحد سطح در حوضه‌های معرف و با داشتن عملیات انجام شده می‌توان برآوردی از میزان ترسیب کربن را به دست آورد.

۱/۶۹ و ۰/۸ بود که خود گویای وجود اختلاف معنی‌دار بین سایت‌های شاهد و معرف است. در خصوص سایر عامل‌ها از جمله درصد مواد خنثی شونده، درصد اشباع بازی، درصد رس، درصد شن، درصد سیلت و حتی عمق خاک رابطه معنی‌داری با میزان ترسیب کربن مشاهده نشد. همچنین، مقایسه پروفیل‌های چهارگانه در حوضه‌های ریمله، پخش سیلاب، آبخوان‌داری و شاهد، نشان می‌دهد که تفاوت قابل توجهی بین بافت خاک در درون و بین حوضه‌های مورد آزمون از نظر مقدار ترسیب کربن وجود دارد به طوری که قابلیت بافت خاک رس-سیلتی نسبت به سایر بافت‌های خاک بیشتر بوده، همچنین، این قابلیت در شرایط مدیریت پخش سیلاب بیشتر بروز کرده است.

جدول ۶- نتایج آزمون مقایسه زوجی حوضه‌های معرف با شاهد

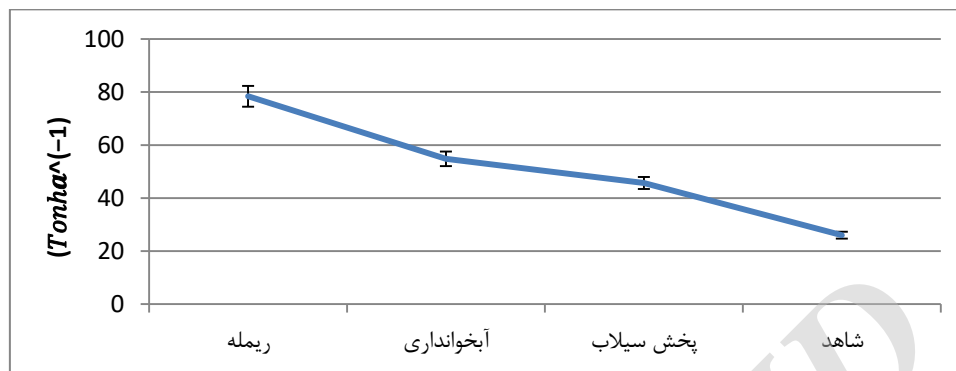
مقایسه زوجی	میانگین	انحراف از معیار	خطای معیار از میانگین	t	df	sig
پخش سیلاب با پروفیل‌های شاهد	۵/۲۳	۱/۸۲	۰/۷۴	۷/۰۱	۵	۰/۰۰۱
آبخوان‌داری با پروفیل‌های شاهد	۳/۲۶	۲/۲۳	۰/۹۱	۳/۵۷	۵	۰/۰۱۶
ریمله با پروفیل‌های شاهد	۱/۹۶	۰/۲۲	۰/۰۹	۲/۱۹	۵	۰

جدول ۷- برآورد میزان ترسیب کربن عملیات مختلف مکانیکی در حوضه‌های معرف

ردیف	نوع سازه	حجم (ha)	میزان ترسیب کربن (Tonha^{-1})	کل ترسیب کربن برای عملیات (Tonha^{-1}) مختلف	محل اجرا
۱	نهال کاری	۱۰۵		۴۷۷۳	ریمله
۲	تورکینست	۷۵	۴۵/۴۶	۳۴۰۹	
۳	گابیون	۸۵۰		۳۸۶۴۱	
۴	خشکه‌چین	۴۰۰		۱۸۱۸۴	
۵	تراس‌بندی	۳۰		۱۳۶۴	
۶	سکویندی	۸		۳۶۴	
۷	بانکت	۲۰		۱۰۹۵۷	
۸	تورکینست	۸۰	۵۴/۷۸	۴۳۸۲	آبخوان کوه‌دشت
۹	چاله‌های فلسی	۲۰		۱۰۹۶	پخش سیلاب
۱۰	پخش سیلاب	۲۰		۱۰۹۶	
۱۱	نهال کاری	۲۵۳۰		۱۳۸۵۹	
۱۲	بانکت	۱۰۰۰	۷۸/۳۸۵	۷۸۳۸۵	
۱۳	بند خاکی	۹۳۴		۷۳۲۱۱	
۱۴	نهال کاری	۱۰۰۰		۷۸۳۸۵	

میزان ۲۶ تن در هکتار است، با نتایج حاصل از سه سایت منتخب، تفاوت قابل توجهی ملاحظه می‌شود (شکل ۴).

میانگین ترسیب کربن در واحد سطح در حوضه ریمله، پخش سیلاب و آبخوانداری به ترتیب ۴۵/۶۶، ۷۸/۳۸ و ۵۴/۷۸ تن در هکتار برآورد شد. با مقایسه میزان ترسیب کربن خاک در پروفیل‌های شاهد که به



شکل ۴- نتایج ترسیب کربن خاک در حوضه‌های معرف و شاهد (خطای پنج درصد)

بین مناطق شاهد با محل نمونه‌گیری در حوضه‌های تیمار که عملیات بیولوژیکی آبخیزداری در آن‌ها صورت گرفته، مشخص شد که در مکان‌هایی که پروژه‌های بیولوژیکی در آن‌ها صورت پذیرفته، شرایط ترسیب کربن به مراتب فراهم‌تر است. به گونه‌ای که مقدار ترسیب کربن در حوضه آبخوانداری به‌طور میانگین ۶۹۸ کیلوگرم در هکتار بوده است. در حالی که این مقدار برای حوضه ریمله حدود ۲۰۲۵ کیلوگرم در هکتار برآورد شد. در منطقه فیروزآباد فارس Rosta و همکاران (۲۰۱۳) دریافتند که میزان کربن ذخیره شده در خاک به‌وسیله گونه بنه ۱۲/۷۸ تن در هکتار است. همچنین، Alizadeh و همکاران (۲۰۱۱) در برآورد مقدار ترسیب کربن خاک در مراتع استپی رودشور ساوه دست یافتند که میزان کل ذخیره کربن در تیمارهای مختلف و نیز در خاک پای گیاهان و حد فاصل بین آن‌ها با هم اختلاف دارد. دلیل این اختلاف حضور گونه‌های گیاهی است که تأثیر به‌سزایی در ترسیب کربن هر منطقه داشته است که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت.

با بررسی‌های انجام شده مشخص شد، میزان ذخیره کربن برآورد شده با توجه به نوع عملیات بیولوژیکی و نمونه‌های حاصل بیانگر تفاوت‌های قابل توجهی است. بدین‌منظور رتبه‌بندی عملیات مختلف بیولوژیکی آبخیزداری به لحاظ نقش آن‌ها در ترسیب

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج آزمایشات و تحلیل اطلاعات به‌دست آمده در حوضه‌های مورد مطالعه مشخص شد که توان ترسیب کربن حوضه‌هایی که در آن‌ها عملیات بیولوژیکی آبخیزداری صورت گرفته است، بسیار بالا است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که در سایت‌های مورد مطالعه که عملیات بیولوژیکی آبخیزداری در آن‌ها صورت گرفته، دارای مدیریت صحیح و کنترل شده هستند، شرایط ترسیب کربن نسبت به مناطقی که فاقد هرگونه مدیریت هستند، مطلوب‌تر است. به‌عنوان مثال، در پروژه حوضه تیمار ریمله توان نمونه‌های مورد بررسی از نظر مقدار ترسیب کربن هشت برابر نمونه حوضه شاهد است. نتایج تحقیق Olfati و همکاران (۲۰۱۲) نشان داد که ذخیره کربن خاک در منطقه حفاظت شده بیشتر از دو منطقه دیگر است. کربن موجود در منطقه حفاظت شده ۷۱/۲۲ تن در هکتار، بالاترین مقدار را دارا است و پس از آن منطقه تحت چرا با ۳۱/۵۷ تن در هکتار کربن در رتبه بعدی قرار دارد. منطقه تخریب شده کمترین میزان کربن ذخیره‌ای را با مقدار ۲۰/۸۸ تن در هکتار داراست که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت.

فعالیت‌های بیولوژیکی آبخیزداری شرایط افزایش ترسیب کربن را فراهم می‌آورند. با توجه به مقایسه

کنترل خاک ناشی از فرسایش می‌شوند نیز در آماده‌سازی بستر ترسیب کربن موثرند. آن‌ها اظهار داشتند که مدیریت منابع خاکی و به‌خصوص کنترل فرسایش و رسوب می‌تواند سبب مهیا نمودن ترسیب کربن شود. فعالیت‌های مکانیکی و بیومکانیکی آبخیزداری در کنار فعالیت‌های بیولوژیکی، شرایط را برای افزایش ترسیب کربن فراهم می‌آوردند. با توجه به نتایج آزمایشات و تحلیل اطلاعات به‌دست آمده از سایت‌های مورد مطالعه، مشخص شد که در پروژه بیومکانیکی پخش سیلاب رومشکان که گونه اکالیپتوس کشت شده است، شرایط ترسیب کربن نسبت به سایر گونه‌های کشت شده در سایت‌های ریمله و آبخوان مطلوب‌تر بوده، میزان آن به‌طور میانگین ۳۷/۳۱ تن در هکتار است. افزایش مقدار کربن در زیر تاج گونه‌ها نسبت به مناطق بدون پوشش را می‌توان ناشی از ریزش اندام‌های هوایی این گیاهان بر روی زمین و شدت یافتن فعالیت‌های بیولوژیک موجودات زنده و همچنین، انتقال عناصر مازاد در گیاهان به‌وسیله آوندها و در نهایت ریشه‌ها به درون خاک دانست. Aradottir و همکاران (۲۰۰۰) و Batjes (۱۹۹۶) نشان دادند که بیشترین سهم از کربن ترسیب شده به بخش خاک اختصاص یافته، خاک بزرگ‌ترین مخزن ذخیره کربن محسوب می‌شود، که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت. در مجموع میزان ترسیب کربن حاصل از عملیات مکانیکی، برای سه حوضه معرف ریمله، رومشگان و کوهدشت به ترتیب ۴۵/۷، ۷۸/۴ و ۵۴/۸ تن در هکتار و میانگین نمونه‌های شاهد ۲۶ تن در هکتار برآورد شد. در یک جمع‌بندی کلی می‌توان نتیجه گرفت، سایت پخش سیلاب رومشکان با میزان ترسیب کربن ۷۸/۴ تن در هکتار پروژه موفق از لحاظ ترسیب کربن با اعمال مدیریتی کارا و انجام عملیات آبخیزداری است.

کربن، در قالب شش پروژه عملیات بیولوژیکی در محدوده دو حوضه مورد مطالعه و در مقایسه با نمونه‌های شاهد هر حوضه انجام شد. نتایج نشان می‌دهد، عملیات بیولوژیکی بذرکاری با گندم در حوضه ریمله با ۱۰۶۴/۵۶ کیلوگرم در هکتار بهترین عملکرد را به‌لحاظ ترسیب کربن داشته، در رتبه اول قرار گرفته است. با مقایسه عملیات بیولوژیکی انجام شده در دو حوضه نیز در کل مشخص می‌شود، پروژه‌های بیولوژیکی انجام شده در حوضه ریمله از نظر ترسیب کربن موفق‌تر بوده‌اند.

محاسبات به‌عمل آمده در این پژوهش نشان داد که در گونه‌های اکالیپتوس و سرو کاشته شده در پخش سیلاب رومشکان و نیز انجیر و سرو کاشته شده در آبخوان کوهدشت شاخه بیشترین میزان ترسیب کربن را به خود اختصاص داده است. در گونه بادام، پسته و انار کاشته شده در آبخوان کوهدشت ریشه بیشترین مقدار ترسیب کربن را دارا بوده، همچنین، در انجیر کاشته شده در پخش سیلاب رومشکان تنه و در بادام کاشته شده در آبخوان کوهدشت، ریشه و شاخه به‌طور مشترک بیشترین مقدار ترسیب کربن را به خود اختصاص داده‌اند. همچنین، بررسی‌ها نشان می‌دهد که برگ تمامی گونه‌های مورد مطالعه کمترین نقش را در این زمینه داشته، یعنی بخش‌هایی نظیر شاخه، تنه و ساقه بیشترین ضریب کربن را دارد. همچنین، نتایج نشان می‌دهد که در گونه‌های درختی مثمر و غیر مثمر مورد مطالعه گونه اکالیپتوس بیشترین توان ترسیب کربن را داشته، در بین اندام‌های مختلف گونه مذکور نیز بخش‌های خشبی نظیر شاخه بیشترین ضریب ترسیب کربن را دارا است. Ritchie و McCarty (۲۰۰۰) نشان دادند که خاک‌ها مخزن اصلی کربن آلی در اکوسیستم‌ها هستند، در عین حال مجموعه عملیاتی که باعث

منابع مورد استفاده

1. Mahdavi, M., H. Arzani, M. Mesdaghi, Kh. Mahdavi, J. Mahmodi and M. Alizadeh. 2011. Estimation of soil carbon sequestration rate in steppes, case study: Saveh Rudshur Steppes. Journal of Pasture, 1(3): 170-163 (in Persian).
2. Aradottir, A., L. Savarsdottir, H. Kristin, P. Jonsson and G. Gudbergsson. 2000. Carbon accumulation in vegetation and solids by reclamation of degraded areas. Icelandic Agricultural Sciences, 13: 99-113.

3. Ardo, J. and L. Olsson. 2003. Assessment of soil organic carbon in semi-arid Sudan using GIS and the century model. *Journal of Arid Environment*, 2: 83-99.
4. Batjes, N.H. 1996. Total carbon and nitrogen in soils of the world. *European Journal of Soil Science*, 47: 151-163.
5. Derner, J.D. and G.E. Schuman. 2007. Carbon sequestration and rangelands: a synthesis of land management and precipitation effects. *Journal of Soil and Water Conservation*, 62(2): 77-85.
6. Fang, S., J. Xue and L. Tang. 2006. Biomass production and carbon sequestration potential in polar plantations with different management patterns. *Journal of Environmental Management*, 85(3): 672-679.
7. Girmayreda, A. 2017. Framework for carbon sequestration and accounting of SLM practices for climate change mitigation in Ethiopia. *آدرس ناشر؟*
8. Grunzweg, J.M., T. Lin and A. Yakir. 2003. Carbon sequestration in arid land forest. *Journal of Global Change Biology*, 9: 791-799.
9. Henry, M., A. Besnard, W.A. Asante, J. Eshun, S. Adu-Bredu, R. Valentini, M. Bernoux and L. Saint-André. 2010. Wood density, phytomass variations within and among trees and allometric equations in a tropical rainforest of Africa. *Journal of Forest Ecology and Management*, 260(8): 1375-1388.
10. IPCC. 2007. Summary for policymakers, in climate change 2007. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.). *The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental*.
11. Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *The Global Journal of Soil Science (Geoderma)*, 123: 1-22.
12. Law, M.C., S.K. Balasundram, M.H.A. Husni, O.H. Ahmed and M.H. Harun. 2009. Spatial variability of soil organic carbon in oil palm. *International Journal of Soil Science*, 4(4): 93-103.
13. Liao, J.D., T.W. Buton and J.D. Jastraw. 2006. Storage and dynamic of carbon and nitrogen in soil physical fractions following woody plant invasion of grassland. *Journal of Soil Biology and Biochemistry*, 38: 3188-3198.
14. Liu, D., Z. Wang, B. Zhang, K. Song, X. Li, J. Li, F. Li and H. Duan. 2006. Spatial distribution of soil organic carbon and analysis of related factors in croplands of the black soil region, North-east China. *Journal of Agriculture, Ecosystems and Environment*, 113: 73-81.
15. Liu, S.L., X.D. Guo and B.J. Fie. 2007. The effects of environmental factors on soil characteristics at different scales in the transition zone of loess plateau in China. *Journal of Soil Use and Management*, 23: 92-99.
16. Marshall, A.R., S. Willcock, P.J. Platts, J.C. Lovett, A. Balmford, N.D. Burgess, J.E. Latham, P.K.T. Munishi, R. Salter, D.D. Shirima and S.L. Lewis. 2012. Measuring and modelling above ground carbon and tree allometry along a tropical elevation gradient. *Journal of Biological Conservation*, 154: 20-33.
17. Merino, A. 2004. Responses of soil organic matter and greenhouse gas fluxes to soil management and land use changes in a humid temperate region of southern Europe. *Journal of Soil Biology and Biochemistry*, 36: 917-925.
18. Nobakht, A., M. Pour Majidiyan, S.M. Hojati and A. Falah. 2011. A comparison of soil carbon sequestration in hardwood and softwood monocultures, case study: Dahmian forest management plan, Mazandaran. *Iranian Journal of Forest*, 3(1): 13-23 (in Persian).
19. Olfati, F., A. Mosleh Arani and A. Tahmasebi Birgani. 2012. Investigation of carbon sequestration in *Pistacia atlantica* in Baghe-Shadi Herat (Yazd Province). MSc Thesis, Department of Forestry, Yazd University, 153 pages (in Persian).
20. Povirk, K.L., J.M. Welker and G.F. Vance. 2001. Carbon sequestration in arctic Tundra and mountain meadow ecosystems. Lewis Publisher, Washington, pp.189-228.
21. Rosta, T., A. Falah and H. Amirzhad. 2013. Estimation of carbon storage of mastic (*Pistacia atlantica* Desf), case study: pistachio and almond forest Firuzabad research. *Journal of Forestry*, 2: 131-13 (in Persian).
22. Ritson, P. and S. Sochack. 2003. Measurement and prediction of biomass and carbon content of *Pinus Pinaster* trees in farm forestry plantations, south-west Australia. Elsevier, *Forest Ecology and Management*, 175: 103-117.
23. Su-Yong, Z. and H.L. Zhao. 2003. Influences of grazing and enclosure on carbon sequestration in degraded sandy grassland. Inner Mongoha, North China, New Zealand. *Journal of Agricultural Research*, 46(4): 321 - 328.
24. Siahmansour, R., H. Arzani, M. Jafari, S.A. Javadi and A. Tavili. 2015. An investigation on the effect of fire on growth form and different class of palatability. *Journal of Range and Watershed Management*, 68(2): 517- 531 (in Persian).

25. United Nations Climate Change Conference. 2010. Report of the conference of the parties on its sixteenth session. Cancun from 29 November to 10 December 2010, Part one: Proceedings.

Archive of SID