

## ارزیابی کمی اثر فعالیت‌های آبخیزداری بر ترسیب و ذخیره کربن به‌منظور کاهش تغییرات اقلیمی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز پررود- سرشاخه حوضه آبخیز شاهرود)

محمد طهمورث<sup>۱\*</sup>، محمد جعفری<sup>۲</sup>، حسن احمدی<sup>۳</sup>، حسین آذرنیوند<sup>۴</sup>، علی‌اکبر نظری سامانی<sup>۴</sup>

۱. دانش‌آموخته دکتری آبخیزداری، گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۲. استاد گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۳. استاد دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

۴. دانشیار گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۱۳۹۶/۰۴/۰۴؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۶/۰۹/۰۹)

### چکیده

به‌منظور ارزیابی کمی اثر فعالیت‌های مختلف آبخیزداری بر ترسیب و ذخیره کربن، نمونه‌برداری از پوشش گیاهی، لاشبرگ و خاک برای هر یک از تیمارها در ۱۰ منطقه از حوضه مطالعه شده، که معرف تغییرات و نوسانات خاک و پوشش گیاهی بود، به روش سیستماتیک- تصادفی با استفاده از ۱۰ ترانسکت و ۱۰۰ پلات صورت گرفت. نتایج نشان داد در همه تیمارها خاک بیشترین تأثیر را در ترسیب کربن اکوسیستم دارد. لاشبرگ کمترین مشارکت را در بین اجزای سهم در ترسیب کربن کل در همه تیمارها داشته است. علوفه‌کاری و کپه‌کاری به ترتیب با ۱۵۲ و ۱۴۸ کیلوگرم در هکتار بیشترین و تیمار بذرپاشی با ۷۴ کیلوگرم در هکتار کمترین ترسیب کربن توسط لاشبرگ را داشته‌اند. در نهایت، نتایج این تحقیق نشان داد مراتع طبیعی، که وضعیت خوبی از نظر پوشش گیاهی و خاک دارند، در هر دو عمق خاک و همچنین به‌طور کلی (خاک+ بیوماس گیاهی+ لاشبرگ) با ۶۴۷/۸۴ تن در هکتار تا عمق ۵۰ سانتی‌متری خاک بیشترین و سدهای سنگی ملاتی با ۱۶۹/۳۵ تن در هکتار تا عمق ۵۰ سانتی‌متری خاک کمترین مقدار ترسیب کربن کل را دارند.

**کلیدواژه‌گان:** پررود، ذخیره کربن، لاشبرگ.

## مقدمه

افزایش نگرانی‌ها در زمینه گرمایش جهانی و تغییر اقلیم موجب شده است که به خاک و قابلیت آن در ترسیب پایدار کربن توجه ویژه‌ای شود [۱]. نگرانی از افزایش سطح دی‌اکسید کربن در جو، سبب توجه مجامع محیط زیستی مختلف جهان به این موضوع شده است و در پی این نگرانی‌ها کشورهای مختلف جهان از جمله ایران توافقنامه‌ای برای کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و ترسیب و ذخیره کربن در بوم‌سازگان‌های زمینی امضا کرده‌اند. دستیابی به افزایش ترسیب کربن در خاک به عنوان روش مناسبی برای کاهش تراکم دی‌اکسید کربن اتمسفری در مجامع علمی و سیاسی جهان مطرح شده است [۲]. ترسیب کربن، اشاره به روند انتقال دی‌اکسید کربن از جو به خاک دارد. بخش درخور توجهی از کربن ذخیره‌شده در خاک، می‌تواند برای چندین دهه یا بیشتر باقی بماند. بنابراین، فرایند انتقال و یا گیرش کربن از جو، می‌تواند تولید گازهای گلخانه‌ای، که از احتراق سوخت‌های فسیلی و یا سایر فعالیت‌های مربوط به انسان ناشی می‌شود، را در اتمسفر کاهش دهد [۳]. مقدار ترسیب کربن در خاک به تعامل میان هوا، خاک، نوع گونه‌های درختی، ترکیب شیمیایی لاشبرگ و مدیریت محیط زیست بستگی دارد [۴]. مراتع تأثیر عمده‌ای در جریان چرخه کلی کربن دارند تا آنجا که ۹۰ درصد از کربن مراتع در خاک واقع شده است. محققان تخمین زده‌اند که در مراتع ایالات متحده، سالانه ۲۹/۵ تا ۱۱۰ میلیون مترمکعب تن کربن آلی ذخیره می‌شود [۵].

در حال حاضر شیوه‌های مختلف مدیریت مرتع و نتایج کاربرد آنها، در ذخیره‌سازی کربن در خاک اکوسیستم‌های مرتعی کاملاً نامشخص است [۶]. بیشترین مشکل مراتع در ذخیره کربن آلی خاک را می‌توان مدیریت نامناسب مراتع توسط بهره‌برداران بیان کرد. بر اثر چرای بی‌رویه دام، پوشش گیاهی کاهش یافته و خاک مراتع نیز بر اثر لگدکوبی، نفوذپذیری خود را از دست داده و سبب ایجاد رواناب شده و به تبع آن فرسایش خاک و هدررفت کربن را در پی داشته است. کاهش ذخیره کربن آلی خاک، با افزایش احتمال فرسایش پذیری و فشردگی خاک و افزایش رواناب، اثر زیادی بر ساختمان خاک می‌گذارد [۷]. نتایج یافته‌های زمینینگ و همکارانش [۸] در خصوص ارزیابی مقدار کربن و نیتروژن مراتع نشان داد ذخیره‌سازی کربن و

نیتروژن خاک در مرتع به‌طور فزاینده‌ای تحت تأثیر مدیریت چرا، تغییرات آب و هوایی و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک است.

امروزه، وجود تخریب در اکوسیستم‌های مرتعی موجب شده است که اجرای عملیات احیایی در اولویت قرار گیرد. درک فرایندهای اکولوژیک ناشی از این عملیات و بررسی میزان موفقیت احیایی آنها بسیار اهمیت دارد [۹]. اصلاح و احیای مراتع با رعایت شرایط اکولوژیک می‌تواند موجب بهبود کمی و کیفی پوشش گیاهی و ویژگی‌های خاک شود. بیشتر پروژه‌های احیایی بر احیای سریع پوشش گیاهی توجه دارند و هدف اصلی این پروژه‌ها ایجاد یک اکوسیستم خودمحافظ<sup>۱</sup> و مقاوم در برابر آشفتگی هاست. احیای پوشش گیاهی موجب ایجاد توالی ثانویه در اکوسیستم‌های مرتعی می‌شود که می‌تواند تغییر در ساختار و پویایی پوشش گیاهی و همچنین تغییر در سایر اجزای اکوسیستم مانند خاک را به همراه داشته باشد [۱۰]. در حال حاضر، این عملیات در مراتع و حوضه‌های آبخیز با عنوان طرح‌های مرتع‌داری و آبخیزداری برای حفاظت آب و خاک، افزایش تولید گیاهی و کاهش رواناب و فرسایش خاک انجام می‌شود. برای بررسی موفقیت اقدامات احیایی اجراشده لازم است مشخصه‌های اکوسیستم در طول زمان ارزیابی و با مناطق شاهد مقایسه شود. به این منظور، بررسی پوشش گیاهی و خاک به عنوان دو جزء اصلی اکوسیستم‌های مرتعی می‌تواند وقوع تغییرات در اکوسیستم‌های مرتعی طی دخالت‌های مدیریتی را نشان دهد. این دو جزء اکوسیستم می‌توانند با گذشت زمان بر اثر کاربری‌های مختلف و مدیریت‌های متفاوت تغییر کنند. هدف احیا نیز معمولاً بهبود این دو جزء مهم اکوسیستم است که با مطالعه آنها می‌توان به ارزیابی آثار عملیات احیایی پرداخت [۱۱].

در فرایند ترسیب کربن عوامل متعددی دخیل هستند که به طور کلی در دو دسته عوامل فیزیکی و عوامل مدیریتی می‌توان آنها را دسته‌بندی کرد. عوامل فیزیکی را می‌توان به سه دسته عوامل خاکی، اقلیمی و هندسه زمین تقسیم کرد. کنترل این عوامل مشکل و بسا غیرممکن است. بنابراین، در مدیریت ترسیب کربن فقط عوامل مدیریتی در کنترل بشر هستند [۱۲]. درنر و همکارانش

کمی شود تا دست‌اندرکاران را در انتخاب الگوهای مدیریتی بهینه با رویکرد ترسیب کربن، که یک فرایند برد برد است، یاری کند. به این منظور تحقیق حاضر به مطالعه پوشش گیاهی و ویژگی‌های خاک بعد از گذشت ۲۰ سال از اجرای عملیات احیایی آبخیزداری در منطقه مطالعاتی پرداخته است. اهداف این تحقیق یافتن پاسخ این سؤال‌ها بوده است:

۱. آیا اجرای عملیات آبخیزداری، تغییر در ویژگی‌های خاک و پوشش گیاهی منطقه را به همراه داشته است؟
۲. مقادیر کمی کربن ذخیره‌شده در بیوماس گیاهی، لاشبرگ، خاک سطحی و خاک زیرین در تیمارهای مختلف بیولوژیکی، مکانیکی و بیومکانیکی اعمال شده در حوضه آبخیز مطالعه‌شده چه مقدار بوده است؟

### مواد و روش‌ها

#### منطقه مطالعه‌شده

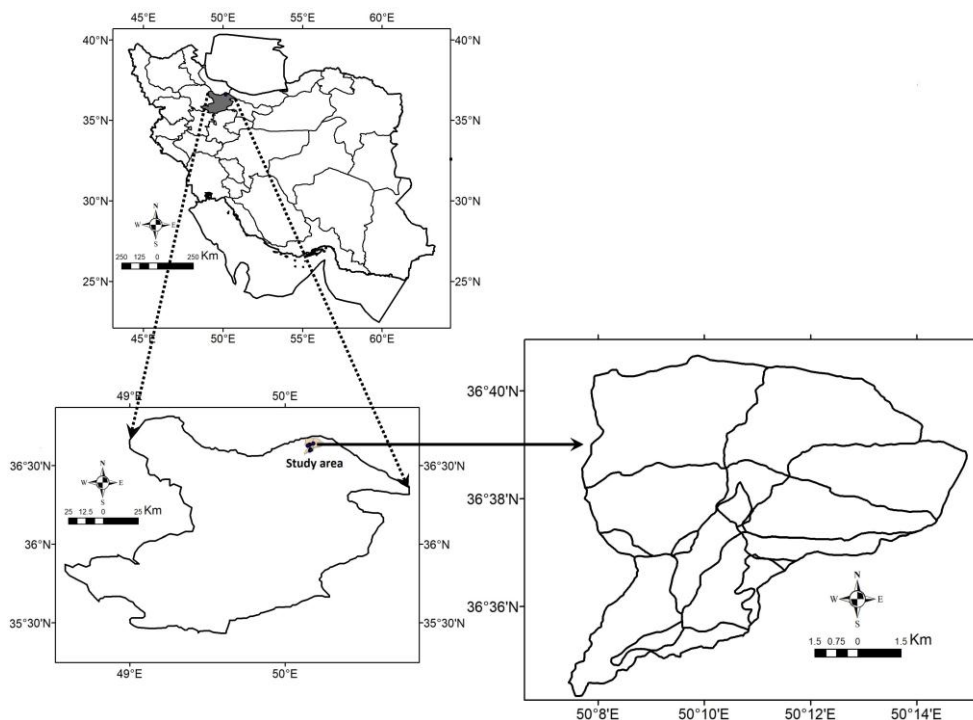
حوضه آبخیز پررود با مساحت ۷۳۶۴/۳ هکتار در استان قزوین، در شمال شهر قزوین در دامنه جنوبی رشته‌کوه البرز قرار گرفته است. حوضه آبخیز پررود از سرشاخه‌های حوضه آبخیز رودخانه شاهرود است که در موقعیت جغرافیایی ۳۰°، ۷' و ۵۰° تا ۲۰'، ۱۴' و ۵۰° طول شرقی و ۲۵'، ۳۴' و ۳۶° تا ۳۰'، ۴۷' و ۳۶° عرض شمالی واقع شده است. بیشترین ارتفاع حوضه ۳۳۸۵ متر و کمترین ارتفاع در خروجی حوضه برابر ۸۱۰ متر از سطح دریاست. اقلیم منطقه بر اساس طبقه‌بندی آمبرژه نیمه‌خشک سرد است. متوسط بارندگی سالیانه ۴۸۵ میلی‌متر و متوسط دمای سالیانه ۸/۴ درجه سانتی‌گراد است. بیشترین و کمترین دما به ترتیب ۲۰/۸ و ۷- درجه سانتی‌گراد است [۱۶].

از نظر هیدرولوژیکی حوضه پررود یکی از زیرشاخه‌های رودخانه شاهرود است که به علت داشتن چشمه‌های فراوان و با دبی زیاد جریان دائمی دارد. در محدوده حوضه مطالعه شده روستاهای پررود، آکوجان، پرچکوه، تلاتر، روح‌آباد، رشکین، فشک و قوستین واقع شده‌اند. در حوضه یادشده به دلیل میزان زیاد فرسایش بر اثر دخالت عوامل انسانی و بهره‌برداری بیش از حد از منابع طبیعی عملیات مختلف آبخیزداری (بیولوژیک، بیومکانیک و مکانیکی) طی سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۳۷۵ اجرا شده است. شکل ۱ موقعیت منطقه مطالعاتی را در کشور و استان قزوین نشان می‌دهد.

[۱۳] اظهار داشتند که عوامل مدیریتی به عنوان ابزاری قابل کنترل در دست بشر، کارکرد مهمی در کنترل ترسیب کربن ایفا می‌کند، به طوری که مطالعات آنها نشان داده است که تحت سیستم‌های مدیریت کنترل‌شده بر مرتع، ترسیب کربن کل در بیوماس، لاشبرگ و خاک در مقایسه با سیستم مدیریت کنترل‌نشده یا مدیریت غلط به طور معناداری افزایش می‌یابد.

نتایج مطالعات مختلف نشان می‌دهد که تحت سیستم‌های مدیریت کنترل‌شده بر حوضه آبخیز، ترسیب کربن کل در بیوماس، لاشبرگ و خاک در مقایسه با سیستم مدیریت کنترل‌نشده یا مدیریت غلط به طور معناداری افزایش می‌یابد [۲ و ۱۰]. هیل و همکارانش [۱۴] با بررسی اثر چرا بر میزان کربن ترسیب‌یافته در مراتع استرالیا به این نتیجه رسیدند که ذخیره کربن در این مراتع به شدت نسبت به مدیریت چرا حساس است. لشنی زند و همکارانش [۱۲] در تحقیقی به بررسی و مقایسه میزان ترسیب کربن با توجه به عملیات مدیریتی- احیایی مختلف پرداختند و بیان کردند که انجام عملیات پخش سیلاب همراه با اجرای عملیات احیایی آبخیزداری سبب افزایش میزان ترسیب کربن در خاک و پوشش گیاهی منطقه خواهد شد. زاو و همکارانش [۱۵] در تحقیقی تغییرپذیری مکانی کربن آلی را در خاک‌ها، در یک عرصه ۴۹۰۰ هکتاری (با اعمال یک شبکه منظم نمونه‌برداری) با کاربری‌های متفاوت با تکنیک‌های آنالیز چندمتغیره نظیر روش PCA بررسی و با روش‌های زمین‌آمار نمایش دادند. نتایج تحقیق نشان داد اجرای عملیات احیایی مختلف پتانسیل متفاوتی در ترسیب کربن دارد و برهم‌کنش عوامل فیزیکی با نوع کاربری و عملیات احیایی در ترسیب کربن معنادار است.

در سال‌های اخیر عملیات مدیریتی اصلاحی آبخیزداری در عرصه‌های منابع طبیعی، با هدف حفاظت و ذخیره‌سازی منابع آب و خاک، حفظ و توسعه منابع زیست، کنترل سیل و فرسایش خاک و غیره حجم درخور توجه و گستردگی بسیار زیادی داشته است. ترسیب کربن از نظر تئوریک می‌تواند در سطح ملی و بین‌المللی، ارزش افزوده این عملیات را ارتقا دهد و توجیه اقتصادی بسیاری از پروژه‌های آبخیزداری را افزایش دهد. بنابراین، ضروری است در یک مطالعه جامع آثار و توانایی عملیات مدیریتی آبخیزداری انجام‌شده در ترسیب و ذخیره کربن ارزیابی و



شکل ۱. موقعیت مکانی حوضه آبخیز پرورد در ایران و استان قزوین

### تعیین اثر فعالیت‌های آبخیزداری بر ترسیب و ذخیره کربن نمونه‌برداری از گیاه

با توجه به اینکه نمونه‌برداری‌ها در این حوضه تابعی از عملیات بیولوژیکی، بیومکانیکی و مکانیکی اجرا شده در منطقه هستند و پراکنش تیمارهای مختلف در تیپ‌های گیاهی مختلف یکسان نبوده است، و نیز به دلیل وسعت حوضه و یکنواخت نبودن کل حوضه از نظر توپوگرافی و به‌منظور اینکه نمونه‌برداری‌ها باید به‌طور متوسط گویای کل منطقه باشد، برای انجام مطالعات پوشش گیاهی، برای هر یک از تیمارهای بذرپاشی، کپه‌کاری، علوفه‌کاری، مراتع طبیعی، خشکه‌چین، گابیون، سنگی ملاتی، سد خاکی، تراس‌بندی و بانکت ۱۰ منطقه در سطح حوضه مشخص شد که معرف تغییرات و نوسانات خاک و پوشش گیاهی در هر تیمار بود. در هر منطقه نمونه‌برداری در طول ۱۰ ترانسکت ۱۰۰ متری و در هر ترانسکت با استفاده از ۱۰ پلات ۲ مترمربعی به‌صورت سیستماتیک- تصادفی صورت پذیرفت. بنابراین، برای هر یک از تیمارهای یادشده، داده‌ها از ۱۰۰ پلات در سطح حوضه استخراج شد. همچنین، درباره سدهای خاکی و عملیات بیومکانیکی با توجه به اجرای تعداد محدود در سطح حوضه، نمونه‌برداری از همه سازه‌های موجود انجام شد (دو عدد سد خاکی و سه عدد عملیات بیومکانیک).

### روش انجام پژوهش

مراحل انجام این پژوهش به شرح زیر بوده است:

### تعیین تیمارهای بیولوژیکی، بیومکانیکی و مکانیکی در منطقه مطالعاتی

با بررسی منابع مشخص شد که برای افزایش تثبیت کربن خاک به‌طور دائمی و پایدار معمولاً به یک بازه زمانی ۱۰ ساله نیاز است (استوکمن و همکاران، ۲۰۱۳). بر این اساس، اقداماتی مشخص شد که حداقل ۱۰ سال از زمان اجرای آنها در منطقه گذشته بود. در زمینه اثر تیمارهای بیولوژیک بر ترسیب کربن، مدیریت‌های بیولوژیکی موجود در حوضه مشخص شد که شامل بذرپاشی، کپه‌کاری با گونه *ferulacea* *Prangos* بوته‌کاری با گونه‌های *Atriplex canescence* و *Agropyron cristatum* مراتع طبیعی و علوفه‌کاری با گونه‌های یونجه (*Medicago sativa*) و اسپرس (*Onobrychis viciaefolia*)، است. همچنین، عملیات مکانیکی انجام‌شده در آبراهه‌های موجود در حوضه شامل سدهای خاکی، خشکه‌چین‌ها، گابیون‌ها و سدهای سنگی ملاتی و عملیات بیومکانیک صورت‌گرفته در حوضه شامل بانکت‌بندی و تراس‌بندی به همراه نهال‌کاری با گونه‌های شمر (گردو و بادام) بوده است.

لاشبرگ به کربن، مقادیر شاخص‌های ترسیب کربن (ذخیره کربن آلی در بیوماس هوایی، ریشه و لاشبرگ) در هر هکتار و برای هر نوع عملیات در کل سایت مطالعاتی محاسبه شد [۱۷].

$$\% OM = \frac{DW - AW}{DW} \times 100 \quad (1)$$

$$\% OC = 0.5 \times \% OM \quad (2)$$

$$\text{بیوماس (کیلوگرم در هکتار)} = \text{مقدار کربن در } \% OC \times \text{بیوماس (کیلوگرم در هکتار)} \quad (3)$$

که OM = ماده آلی، OC = کربن آلی، AW = وزن خاکستر نمونه، DW = وزن خشک نمونه است.

با داشتن عمق خاک (d) (بر حسب متر) و وزن مخصوص ظاهری (BD) (گرم بر سانتی متر مکعب)، ذخیره کربنی (CS) بر حسب تن در هکتار در هر لایه با فرمول زیر محاسبه شد [۱۷]:

$$CS = 100 \times OC (\%) \times BD \times d \quad (4)$$

سپس با میانگین‌گیری وزنی ذخیره کربن خاک در کل پروفیل و در واحد سطح محاسبه شد و در نهایت برای کل عرصه هر سایت، میزان ذخیره کربن خاک یا کربن ترسیب یافته در خاک مشخص شد.

#### روش آنالیز داده‌ها

برای انجام تجزیه و تحلیل‌های آماری ابتدا داده‌های پوشش گیاهی و خاک در نرم‌افزار EXCEL وارد شد. داده‌ها در محیط نرم‌افزاری SPSS نسخه ۱۹ تجزیه و تحلیل شدند. برای بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف استفاده شد. در خصوص ارزیابی عملیات مختلف آبخیزداری از نظر ترسیب و ذخیره کربن و به منظور مقایسه هر تیمار با مرتع طبیعی از آزمون تی - استیودنت مستقل و برای تعیین وجود داشتن یا نداشتن اختلاف معنادار بین تیمارهای مختلف از نظر داده‌های خاک و پوشش گیاهی از آنالیز واریانس یکطرفه ANOVA و برای مقایسه میانگین و کلاسه‌بندی مقدار ترسیب کربن در تیمارهای یادشده از آزمون دانکن استفاده شد. همچنین، از ضرایب همبستگی پیرسون بین صفات مختلف برای تعیین رابطه بین عوامل پوشش گیاهی و خاک و ترسیب کربن استفاده شد. روابط میان متغیرهای مختلف پوشش گیاهی و ترسیب کربن بر اساس رگرسیون خطی محاسبه شد.

ابعاد پلات در سایر تیمارهای آزمایش شده با توجه به گونه‌های موجود در منطقه، دو مترمربعی در نظر گرفته شد. در هر پلات فاکتورهای درصد سطح تاج‌پوشش، لاشبرگ، سنگ و سنگریزه، خاک عاری از پوشش اندازه‌گیری شد و تراکم (به روش شمارش) و ترکیب گونه‌ای نیز ثبت شد. همچنین، بیوماس هوایی با روش نمونه‌گیری مضاعف<sup>۱</sup> اندازه‌گیری شد. به این صورت که در ۲۵ درصد از قطعات نمونه به صورت مستقیم (قطع و توزین) و استفاده از معادله رگرسیونی بین درصد پوشش و تولید در سایر پلات‌ها برای هر گونه در هر تیمار محاسبه شد، اگر در تیماری به دلیل حضور نداشتن تعداد کافی از یک گونه امکان برقراری معادله رگرسیونی میسر نبود، از رابطه به دست آمده برای آن گونه در کل تیمارها استفاده شد.

همچنین، در هر تیمار به منظور برآورد وزن و در نهایت مقدار کربن ترسیب شده به وسیله لاشبرگ، در هر پلات لاشبرگ سطح خاک جمع‌آوری و توزین شد و پس از خشک شدن، درصد رطوبت آنها تعیین شده و وزن یادشده به هکتار تعمیم داده شد.

#### انجام آزمایش‌های تعیین ترسیب کربن در پوشش گیاهی و لاشبرگ

به منظور تعیین ضرایب تبدیل کربن در نمونه‌های بیوماس هوایی، ریشه و لاشبرگ، ابتدا نمونه‌های گیاه و لاشبرگ (پس از شست و شو) خشک، توزین و آسیاب شدند. سپس، برای تعیین درصد رطوبت در هر گرم از نمونه‌های گیاهی و لاشبرگ، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آون ۷۵ درجه قرار داده شدند.

برای تعیین درصد کربن آلی در هر گرم از نمونه از روش احتراق خشک در کوره الکتریکی استفاده شد که محققان زیادی از روش یادشده به این منظور استفاده کرده‌اند. در این تحقیق دمای کوره ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت سه ساعت بوده است. تفاضل وزن پس از قراردادن در کوره و وزن اولیه معرف خاکستر است. در این روش میزان کاهش وزن ماده به جامانده در کوره معادل ماده آلی است و بررسی‌ها نشان می‌دهد ۵۰ درصد ماده آلی برابر کربن آلی موجود در گیاه است [۱۷]. پس از به دست آوردن ضرایب تبدیل بیوماس هوایی، ریشه و

## نتایج و بحث

مقایسه خاک سطحی تیمارهای بیولوژیکی، مکانیکی و بیومکانیکی از نظر کربن ترسیب شده و سایر ویژگی‌های خاک‌شناسی

در این قسمت تیمارهای بیولوژیکی، مکانیکی و بیومکانیکی از نظر کربن ترسیب شده و برخی ویژگی‌های خاک‌شناسی در خاک رویی با یکدیگر و همچنین با آبراهه‌های فرسایش‌یافته‌ای، که هیچ عملیات اصلاحی روی آنها صورت نگرفته و بدون هر گونه پوشش گیاهی است، مقایسه شده است. بر اساس نتایج تیمارهای بررسی شده در عمق رویی از نظر فاکتورهای درصد کربن آلی، درصد شن، سیلت، رس، سیلت+رس و درصد اشباع با یکدیگر در سطح یک درصد و از نظر هدایت الکتریکی و آهک کل در سطح پنج درصد دارای اختلاف معنادار آماری هستند.

بر اساس گروه‌بندی دانکن از نظر ترسیب کربن خاک در عمق رویی مراتع طبیعی بیشترین مقدار را دارد و پس از آن سد خاکی در جایگاه دوم قرار می‌گیرد. اختلاف بین دو تیمار یادشده از این نظر معنادار نیست، اما مراتع طبیعی با سایر تیمارها از این نظر اختلاف معنادار در سطح پنج درصد دارند. پس از سد خاکی، به ترتیب تیمارهای گابیون، بیومکانیک، کپه‌کاری، علوفه‌کاری، سنگی ملاتی، خشکه‌چین، بوته‌کاری، بذریاشی قرار دارند و آبراهه‌های فرسایش‌یافته کمترین ترسیب کربن خاک در عمق سطحی را دارند. هرچند اختلاف بین این تیمارها از نظر آماری معنادار نیست، مقدار ترسیب کربن آنها نسبت به آبراهه‌های بدون پوشش گیاهی و فرسایش‌یافته که تیماری روی آنها انجام نشده است، به ترتیب ۳/۳، ۲/۱۱، ۲/۰۷، ۱/۹۷، ۱/۸۷، ۱/۷، ۱/۶۸ برابر است.

از نظر درصد ماده آلی در عمق سطحی مراتع طبیعی بیشترین مقدار را داشته و با سایر تیمارها از این نظر اختلاف معنادار در سطح پنج درصد دارد. پس از آن، به ترتیب سد خاکی، خشکه‌چین، علوفه‌کاری، کپه‌کاری، گابیون، بیومکانیک، بذریاشی و آبراهه‌های فرسایش‌یافته قرار می‌گیرند که اختلاف بین این تیمارها از این نظر معنادار نیست، اما با این وجود تیمارهای آزمایش شده در مقایسه با آبراهه‌های فرسایش‌یافته، مقادیر ماده آلی بیشتری دارند. مقدار کربن آلی در مرتع طبیعی ۴/۷۹ برابر و در سایر تیمارها به ترتیب ۲/۲۹، ۱/۹۸، ۱/۹۵، ۱/۷۹، ۱/۷۸، ۱/۴۹، ۱/۴۸ برابر آبراهه‌های فرسایش‌یافته است.

از نظر دانه‌بندی ذرات خاک، در زمینه فاکتور درصد شن کمترین مقدار به تیمارهای بیولوژیکی تعلق دارد. مراتع طبیعی، کپه‌کاری، بوته‌کاری و علوفه‌کاری به ترتیب کمترین مقدار را دارند و پس از آن تیمار سد خاکی و بیومکانیک قرار دارد، اختلاف بین این تیمارها با یکدیگر از نظر آماری معنادار نیست، اما همگی با آبراهه‌های فرسایش‌یافته در سطح پنج درصد تفاوت معنادار دارند. تیمار خشکه‌چین و گابیون نسبت به سایر تیمارها درصد شن بیشتری داشته‌اند، اما اختلاف معناداری با سایر تیمارهای بیولوژیکی، مکانیکی و بیومکانیکی ندارند. آبراهه‌های فرسایش‌یافته بیشترین مقدار شن را دارند که با گابیون و خشکه‌چین از این نظر تفاوت معناداری ندارند. درباره درصد سیلت بیشترین مقدار مربوط به تیمارهای بیولوژیکی است که به ترتیب تیمار علوفه‌کاری، مراتع طبیعی، اراضی تحت تیمار بوته‌کاری و اراضی کپه‌کاری شده بیشترین مقدار را دارند و تیمارهای بیومکانیک، گابیون، سد خاکی و خشکه‌چین در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند که اختلاف آنها با تیمارهای بیولوژیکی و آبراهه‌های فرسایش‌یافته از نظر آماری معنادار نیست. آبراهه‌های فرسایش‌یافته کمترین مقدار سیلت را دارند و با تیمارهای بیولوژیکی از این نظر تفاوت معنادار دارند.

درباره مجموع ذرات ریزدانه (سیلت + رس) در خاک سطحی، همان طور که در جدول ۱ مشخص است، بیشترین مقدار مربوط به تیمارهای بیولوژیکی است به طوری که مراتع طبیعی، کپه‌کاری، علوفه‌کاری، بذریاشی بیشترین مقدار را داشته‌اند و سد خاکی، تیمار بیومکانیک، خشکه‌چین و گابیون پس از آنها قرار می‌گیرند. بین آنها اختلاف معناداری از نظر آماری وجود ندارد. کمترین مقدار ذرات ریزدانه در آبراهه‌های فرسایش‌یافته مشاهده می‌شود که جز خشکه‌چین و گابیون با سایر تیمارها از این نظر اختلاف معنادار در سطح پنج درصد دارد.

بیشترین مقدار آهک در تیمار کپه‌کاری و کمترین مقدار آن در تیمار خشکه‌چین وجود دارد. دو تیمار یادشده از این نظر با یکدیگر تفاوت آماری معنادار در سطح پنج درصد دارند. پس از کپه‌کاری به ترتیب تیمارهای خشکه‌چین، بوته‌کاری، سد خاکی، آبراهه‌های فرسایش‌یافته، مراتع طبیعی، بیومکانیک، سنگی ملاتی قرار می‌گیرند که با تیمار کپه‌کاری و خشکه‌چین تفاوت معناداری از این نظر ندارند.

از نظر درصد ماده آلی در عمق زیرین مراتع طبیعی بیشترین مقدار را دارد و با سایر تیمارها از این نظر دارای اختلاف معنادار در سطح پنج درصد است. پس از آن، به‌ترتیب سد خاکی، علوفه‌کاری، بذرپاشی، کپه‌کاری، خشکه‌چین، گابیون، بیومکانیک و آبراهه‌های فرسایش‌یافته قرار می‌گیرند که اختلاف بین تیمارهای یادشده از این نظر معنادار نیست، اما همان‌طور که در جدول ۱ مشهود است اجرای تیمارهای یادشده نسبت به آبراهه‌های فرسایش‌یافته، سبب افزایش و حفظ ماده آلی شده است.

از نظر دانه‌بندی ذرات خاک، در زمینه فاکتور درصد شن مراتع طبیعی، سد خاکی، کپه‌کاری، بوته‌کاری و علوفه‌کاری، به‌ترتیب کمترین مقدار را دارند و بین این تیمارها با یکدیگر از نظر آماری اختلاف معنادار نیست. پس از آن، تیمار بیومکانیک، خشکه‌چین و گابیون قرار دارند که با تیمارهای بیولوژیک و سد خاکی اختلاف معنادار در سطح پنج درصد دارند، اما با یکدیگر تفاوت آماری معنادار ندارند. آبراهه‌های فرسایش‌یافته بیشترین مقدار شن را دارند و با سایر تیمارها جز گابیون در سطح پنج درصد تفاوت معنادار دارند.

درباره درصد سیلت بیشترین مقدار مربوط به سد خاکی و تیمارهای بیولوژیک است. پس از سد خاکی به‌ترتیب تیمارهای مراتع طبیعی، اراضی کپه‌کاری‌شده، اراضی بذرپاشی‌شده، سنگی ملاتی، گابیون و بیومکانیک قرار دارند که با یکدیگر از این نظر تفاوت معناداری ندارند و به‌جز گابیون، بیومکانیک و خشکه‌چین سایر تیمارها با آبراهه‌های فرسایش‌یافته از این نظر دارای اختلاف معنادار آماری در سطح پنج درصد هستند. در بین تیمارهای بررسی‌شده خشکه‌چین کمترین مقدار سیلت را در عمق زیرین دارد و پس از آن آبراهه‌های فرسایش‌یافته قرار می‌گیرند.

مقایسه میانگین دانکن از نظر درصد رس نشان داد تیمارهای بیولوژیک در عمق زیرین بیشترین مقدار رس را دارند. تیمارهای علوفه‌کاری، مراتع طبیعی، اراضی کپه‌کاری‌شده، دیم‌زار رهاشده به‌ترتیب بیشترین مقدار رس را به خود اختصاص می‌دهند. سد خاکی، خشکه‌چین، بیومکانیک به‌ترتیب پس از آنها قرار می‌گیرند. اختلاف بین این تیمارها با یکدیگر در زمینه این فاکتور از نظر آماری معنادار نیست. بین تیمارهای آزمایش‌شده گابیون کمترین مقدار رس را دارد که از این نظر با تیمارهای بیولوژیک

از نظر درصد اشباع در عمق رویی سد خاکی و مراتع طبیعی بیشترین مقدار را دارند و تیمارهای بذرپاشی، بوته‌کاری، کپه‌کاری به‌ترتیب بعد از آنها قرار می‌گیرند و با یکدیگر تفاوت معنادار آماری ندارند. تیمارهای بیومکانیک، خشکه‌چین، گابیون و سنگی ملاتی در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند و دارای کمترین مقدار درصد اشباع هستند و با سد خاکی و مراتع طبیعی از این نظر در سطح پنج درصد اختلاف معنادار آماری دارند. آبراهه‌های فرسایش‌یافته کمترین مقدار درصد اشباع را دارند و با سد خاکی و تیمارهای بیولوژیک از این نظر دارای اختلاف معنادارند.

تیمار علوفه‌کاری در عمق سطحی بیشترین مقدار هدایت الکتریکی را داشته و با سایر تیمارها در سطح پنج درصد اختلاف معنادار دارند. سد خاکی، بیومکانیک، گابیون، خشکه‌چین، مرتع طبیعی، آبراهه‌های فرسایش‌یافته، دیم‌زارهای رهاشده و کپه‌کاری به‌ترتیب پس از آن قرار می‌گیرند که با یکدیگر تفاوت معناداری ندارند.

از نظر اسیدیته نیز تفاوت معناداری بین تیمارها در عمق رویی مشاهده نشد و به‌ترتیب از بیومکانیک به تیمارهای کپه‌کاری، خشکه‌چین، سد خاکی، گابیون، آبراهه‌های فرسایش‌یافته، علوفه‌کاری، بذرپاشی و مراتع طبیعی روند کاهشی داشته است.

#### مقایسه خاک زیرین تیمارهای بیولوژیک، مکانیکی و بیومکانیکی از نظر کربن ترسیب‌شده و سایر ویژگی‌های خاک‌شناسی

بر اساس گروه‌بندی دانکن از نظر ترسیب کربن خاک در عمق زیرین مراتع طبیعی بیشترین مقدار را دارد و با سایر تیمارها از این نظر دارای اختلاف معنادار در سطح پنج درصد است. پس از آن، به‌ترتیب تیمارهای سد خاکی، علوفه‌کاری، کپه‌کاری، بوته‌کاری، گابیون، سنگی ملاتی، بیومکانیک، خشکه‌چین قرار دارند و آبراهه‌های فرسایش‌یافته کمترین ترسیب کربن خاک در عمق سطحی را دارند (جدول ۲). هرچند اختلاف بین این تیمارها از نظر آماری معنادار نیست، مقدار ترسیب کربن آنها نسبت به آبراهه‌های بدون پوشش گیاهی و فرسایش‌یافته، که تیماری روی آنها انجام نشده است، به‌ترتیب ۲/۰۹، ۱/۶۹، ۱/۶۳، ۱/۵۵، ۱/۴۷، ۱/۴۶ است. همچنین، نسبت ترسیب کربن مراتع طبیعی به آبراهه‌های بدون پوشش گیاهی و فرسایش‌یافته ۴/۳۸ است (جدول ۳).

آماری در سطح پنج درصد دارند.

از نظر درصد اشباع در عمق زیرین تیمارهای کپه‌کاری، مراتع طبیعی، علوفه‌کاری و سد خاکی به‌ترتیب بیشترین مقدار را دارند. تیمار سنگی ملاتی بعد از آنها قرار می‌گیرد و با یکدیگر تفاوت معنادار آماری ندارند. تیمارهای خشکه‌چین، بیومکانیک و گابیون در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند و کمترین مقدار درصد اشباع را دارند و با سد خاکی و مراتع طبیعی از این نظر در سطح پنج درصد اختلاف معنادار آماری دارند. آبراهه‌های فرسایش‌یافته کمترین مقدار درصد اشباع را دارند و با سد خاکی و تیمارهای بیولوژیک از این نظر دارای اختلاف معنادارند.

تیمار علوفه‌کاری در عمق تحتانی بیشترین مقدار هدایت الکتریکی را دارد و پس از آن به‌ترتیب تیمارهای سد خاکی، گابیون، بیومکانیک، آبراهه‌های فرسایش‌یافته، مرتع طبیعی، خشکه‌چین، اراضی بذرپاشی‌شده و کپه‌کاری به‌ترتیب پس از آن قرار می‌گیرند که با یکدیگر تفاوت معناداری از نظر آماری ندارند.

از نظر اسیدیته نیز تفاوت معناداری بین تیمارها در عمق زیرین مشاهده نشد و به‌ترتیب از تیمار سنگی ملاتی به بیومکانیک، گابیون، آبراهه‌های فرسایش‌یافته، خشکه‌چین، سد خاکی، دی‌مزارهای رهاشده، کپه‌کاری و مراتع طبیعی این روند کاهشی بوده است.

دارای اختلاف معنادار در سطح پنج درصد است، ولی با آبراهه‌های فرسایش‌یافته تفاوت معناداری از این نظر ندارد و مقدار رس در گابیون‌ها بیشتر است.

دربارهٔ مجموع ذرات ریزدانه (سیلیت + رس) در خاک زیرین، همان‌طور که در جدول مشخص است، بیشترین مقدار مربوط به مراتع طبیعی و سد خاکی است و سایر تیمارهای بیولوژیک مانند بوته‌کاری، کپه‌کاری و علوفه‌کاری به‌ترتیب پس از آن قرار گرفته و با یکدیگر تفاوت معنادار آماری ندارند. تیمار بیومکانیک، سنگی ملاتی، خشکه‌چین و گابیون پس از آنها قرار می‌گیرند و بینشان اختلاف معناداری از نظر آماری وجود ندارد، اما این تیمارها با سد خاکی و مرتع طبیعی از این نظر تفاوت معنادار آماری دارند. همچنین، اختلاف بین خشکه‌چین و گابیون از این نظر با اراضی علوفه‌کاری‌شده و کپه‌کاری نیز معنادار است. کمترین مقدار ذرات ریزدانه در آبراهه‌های فرسایش‌یافته مشاهده می‌شود که به‌جز گابیون با سایر تیمارها از این نظر دارای اختلاف معنادار در سطح پنج درصد است. بیشترین مقدار آهک در عمق زیرین مربوط به تیمار کپه‌کاری است، پس از آن به‌ترتیب تیمارهای خشکه‌چین، سد خاکی، گابیون، مراتع طبیعی قرار دارند که اختلافشان با تیمار کپه‌کاری از این جهت معنادار نیست. آبراهه‌های فرسایش‌یافته، بیومکانیک، بوته‌کاری و علوفه‌کاری به‌ترتیب کمترین مقدار آهک را داشته‌اند و با اراضی کپه‌کاری‌شده از این نظر تفاوت

جدول ۱. مقایسهٔ میانگین متغیرهای خاک در تیمارهای بررسی‌شده برای عمق نخست

تیمار	تیمارهای بیولوژیک			تیمارهای مکانیکی			آبراههٔ فرسایش‌یافته (بدون عملیات اصلاحی)
	مراتع طبیعی	کپه‌کاری	بوته‌کاری	علوفه‌کاری	خشکه‌چین	گابیون	
اسیدیته	۷/۸۲ <sup>(a)</sup>	۸/۰۰ <sup>(a)</sup>	۷/۸۷ <sup>(a)</sup>	۷/۸۸ <sup>(a)</sup>	۸/۰۰ <sup>(a)</sup>	۷/۹۴ <sup>(a)</sup>	۸/۰۰ <sup>(a)</sup>
هدایت الکتریکی	۰/۹۲ <sup>(b)</sup>	۰/۱۵ <sup>(b)</sup>	۰/۶۵ <sup>(b)</sup>	۳/۵۲ <sup>(a)</sup>	۰/۹۳ <sup>(b)</sup>	۰/۹۴ <sup>(b)</sup>	۱/۲۵ <sup>(b)</sup>
درصد اشباع (%)	۳۹/۶۸ <sup>(a)</sup>	۳۶/۴۷ <sup>(ab)</sup>	۳۷/۴۲ <sup>(ab)</sup>	۳۷/۷۲ <sup>(ab)</sup>	۳۰/۰۰ <sup>(bc)</sup>	۲۹/۳۷ <sup>(bc)</sup>	۴۰/۰۰ <sup>(a)</sup>
آهک کل (%)	۳۲/۶۲ <sup>(ab)</sup>	۴۱/۲۶ <sup>(a)</sup>	۲۵/۰۳ <sup>(b)</sup>	۲۶/۸ <sup>(ab)</sup>	۳۹/۶۷ <sup>(ab)</sup>	۳۹/۶۲ <sup>(ab)</sup>	۳۸/۳۳ <sup>(ab)</sup>
شن (%)	۲۹/۸۱ <sup>(b)</sup>	۳۰/۶۷ <sup>(b)</sup>	۳۱/۳۳ <sup>(b)</sup>	۳۱/۶۷ <sup>(b)</sup>	۴۷/۶۷ <sup>(ab)</sup>	۴۸/۷۴ <sup>(ab)</sup>	۳۹/۳۳ <sup>(b)</sup>
سیلیت (%)	۴۷/۷۶ <sup>(a)</sup>	۴۳/۶۷ <sup>(a)</sup>	۴۸/۷۷ <sup>(a)</sup>	۴۳/۷۷ <sup>(a)</sup>	۳۴/۹۳ <sup>(ab)</sup>	۳۶/۵۸ <sup>(ab)</sup>	۳۶/۰۰ <sup>(ab)</sup>
رس (%)	۲۲/۴۲ <sup>(ab)</sup>	۲۵/۶۷ <sup>(a)</sup>	۱۹/۹ <sup>(abcd)</sup>	۲۴/۵۷ <sup>(a)</sup>	۱۷/۴ <sup>(bcd)</sup>	۱۴/۶۸ <sup>(cd)</sup>	۲۴/۶۷ <sup>(a)</sup>
سیلیت + رس (%)	۷۰/۱۹ <sup>(a)</sup>	۶۹/۳۳ <sup>(a)</sup>	۶۸/۶۷ <sup>(a)</sup>	۶۸/۳۳ <sup>(a)</sup>	۵۲/۳۳ <sup>(ab)</sup>	۵۱/۲۶ <sup>(ab)</sup>	۶۰/۶۷ <sup>(a)</sup>
کربن آلی (%)	۱/۲ <sup>(a)</sup>	۰/۴۵ <sup>(b)</sup>	۰/۴۹ <sup>(b)</sup>	۰/۳۷ <sup>(b)</sup>	۰/۴۹ <sup>(b)</sup>	۰/۴۴ <sup>(b)</sup>	۰/۵۷ <sup>(b)</sup>
ترسیب کربن خاک (ton/ha)	۲۹۳/۵۹۵ <sup>(a)</sup>	۱۰۰/۴۹۸ <sup>(b)</sup>	۸۶/۹۵۶ <sup>(b)</sup>	۸۵/۸۵۳ <sup>(b)</sup>	۹۵/۶۴ <sup>(b)</sup>	۱۰۷/۵۳ <sup>(b)</sup>	۱۷۰/۳۳ <sup>(ab)</sup>

حروف متفاوت نشان‌دهندهٔ وجود اختلاف معنادار در سطح پنج درصد بین تیمارهاست.



جدول ۲. مقایسه میانگین متغیرهای خاک در تیمارهای بررسی‌شده برای عمق دوم

تیمار	تیمارهای بیولوژیک			تیمارهای مکانیکی			آبراهه فرسایش‌یافته (بدون عملیات اصلاحی)
	مراعات طبیعی	کپه کاری	بوته کاری	علوفه کاری	خشکه چین	گابیون	
اسیدیته	۷/۹۴ <sup>(a)</sup>	۷/۹۷ <sup>(a)</sup>	۷/۹۸ <sup>(a)</sup>	۸/۰۷ <sup>(a)</sup>	۸/۰۰ <sup>(a)</sup>	۸/۰۱ <sup>(a)</sup>	۸/۰۰ <sup>(a)</sup>
هدایت الکتریکی	۰/۵۹ <sup>(a)</sup>	۰/۳۶ <sup>(a)</sup>	۰/۴۸ <sup>(a)</sup>	۲/۱۱ <sup>(a)</sup>	۰/۵۲ <sup>(a)</sup>	۰/۶۴ <sup>(a)</sup>	۰/۶۶ <sup>(a)</sup>
درصد اشباع (/)	۴۰/۰۹ <sup>(ab)</sup>	۴۱/۲ <sup>(a)</sup>	۳۹/۰۸ <sup>(ab)</sup>	۳۶/۷۲ <sup>(abc)</sup>	۳۱/۹۳ <sup>(bcd)</sup>	۲۸/۷۲ <sup>(cd)</sup>	۳۹/۰۰ <sup>(ab)</sup>
آهک کل (/)	۳۶/۱۱ <sup>(ab)</sup>	۴۹/۰۷ <sup>(a)</sup>	۲۹/۸ <sup>(b)</sup>	۲۹/۶۵ <sup>(b)</sup>	۴۰/۲۷ <sup>(ab)</sup>	۳۹/۵۷ <sup>(ab)</sup>	۴۰/۰۰ <sup>(ab)</sup>
شن (/)	۲۷/۶ <sup>(d)</sup>	۲۹/۰۰ <sup>(cd)</sup>	۳۴/۱۷ <sup>(bcd)</sup>	۲۹/۰۰ <sup>(cd)</sup>	۴۵/۴۷ <sup>(b)</sup>	۴۹/۴۷ <sup>(ab)</sup>	۲۸/۰۰ <sup>(d)</sup>
سیلت (/)	۴۶/۳۵ <sup>(ab)</sup>	۴۵/۳۳ <sup>(ab)</sup>	۴۱/۹۲ <sup>(ab)</sup>	۴۳/۸۲ <sup>(ab)</sup>	۳۳/۴۷ <sup>(bc)</sup>	۳۵/۲۲ <sup>(abc)</sup>	۵۰/۳۳ <sup>(a)</sup>
رس (/)	۲۶/۰۵ <sup>(a)</sup>	۲۵/۶۷ <sup>(a)</sup>	۲۲/۹ <sup>(a)</sup>	۲۷/۱۷ <sup>(a)</sup>	۲۱/۰۷ <sup>(ab)</sup>	۱۵/۲۹ <sup>(b)</sup>	۲۱/۶۷ <sup>(ab)</sup>
سیلت+رس (/)	۷۲/۴ <sup>(a)</sup>	۷۱/۰۰ <sup>(ab)</sup>	۶۵/۸۳ <sup>(abc)</sup>	۷۱/۰۰ <sup>(ab)</sup>	۵۴/۵۳ <sup>(c)</sup>	۵۰/۵۳ <sup>(cd)</sup>	۷۲/۰۰ <sup>(a)</sup>
کربن آلی (/)	۰/۹۷ <sup>(a)</sup>	۰/۴۱ <sup>(b)</sup>	۰/۵ <sup>(b)</sup>	۰/۴۷ <sup>(b)</sup>	۰/۴۱ <sup>(b)</sup>	۰/۳۷ <sup>(b)</sup>	۰/۵۳ <sup>(b)</sup>
ترسیب کربن خاک (ton/ha)	۲۴۱/۳۱۹ <sup>(a)</sup>	۹۳/۴۵۱ <sup>(b)</sup>	۸۹/۸۷۴ <sup>(b)</sup>	۱۱۵/۳۸۱ <sup>(b)</sup>	۸۰/۷۲ <sup>(b)</sup>	۸۵/۷۰ <sup>(b)</sup>	۱۳۱/۷۵ <sup>(b)</sup>

حروف متفاوت نشان‌دهنده وجود اختلاف معنادار در سطح پنج درصد بین تیمارهاست.

### مقایسه تیمارهای مختلف از نظر ترسیب کربن در پوشش گیاهی، لاشبرگ و خاک

مقدار نهایی ترسیب کربن در پوشش گیاهی (بیوماس هوایی و زیرزمینی)، لاشبرگ و دو عمق خاک بررسی شده در جدول ۳ و شکل ۲ ارائه شده است. بر این اساس، می‌توان گفت که مراعات طبیعی، که کمترین آثار فرسایش را داشته و وضعیت خوبی از نظر پوشش گیاهی و خاک دارند، در هر دو عمق خاک و همچنین به‌طور کلی دارای بیشترین مقدار ترسیب کربن در مقایسه با سایر تیمارهای بیولوژیک، مکانیکی و بیومکانیکی هستند. پس از آن، به ترتیب سد خاکی، علوفه کاری، اراضی کپه کاری شده، گابیون، بیومکانیک، بوته کاری و خشکه چین، بذرپاشی و سنگی ملاتی قرار دارند. هرچند اجرای این تیمارها از سال ۱۳۷۴ - ۱۳۷۵ هنوز به ایجاد تغییرات معنادار آماری در مقدار ذخیره کربن نسبت به اراضی به‌شدت فرسایش‌یافته منجر نشده‌اند، اما این نتایج نشان می‌دهند اجرای پروژه‌های بیولوژیکی، مکانیکی و بیومکانیکی در این مدت از هدررفت مقدار درختور توجهی از کربن آلی جلوگیری کرده‌اند، اما هنوز تا رسیدن به پتانسیل منطقه، که شرایط مرتع طبیعی و دست‌نخورده است، فاصله وجود دارد.

اراضی علوفه کاری شده با توجه به بیوماسی که تولید می‌کنند بیشترین توان ترسیب کربن گیاهی را در کل دارند که البته ۹۳ درصد این کربن تولیدشده مربوط به

بیوماس هوایی (معادل ۱۳۱۴ کیلوگرم در هکتار) است که سالانه برداشت می‌شود، بنابراین فقط پنج درصد از کربن ذخیره‌شده توسط بیوماس ریشه تیمار علوفه کاری به مخازن ذخیره کربن راه می‌یابد. پس از آن، به ترتیب تیمارهای کپه کاری و بیومکانیک بیشترین ترسیب کربن گیاهی را دارند و کمترین مقدار ترسیب کربن گیاهی را تیمار سنگی ملاتی به خود اختصاص می‌دهد.

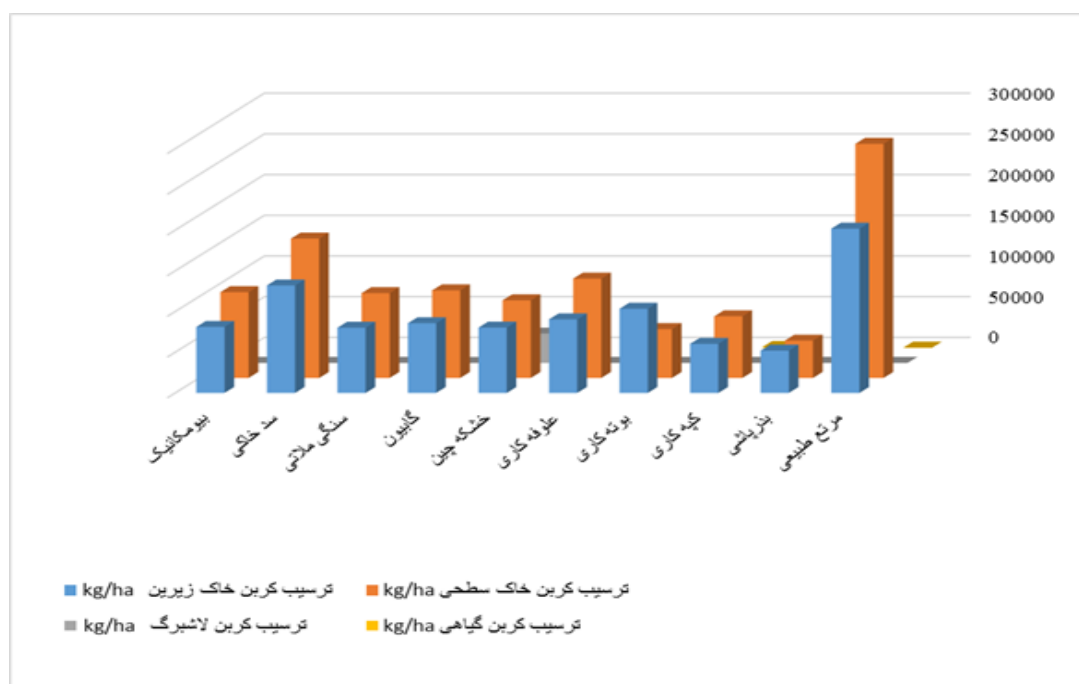
همچنین، بیشترین مقدار ترسیب کربن لاشبرگ به ترتیب در تیمارهای علوفه کاری، سد خاکی، کپه کاری، گابیون، خشکه چین، مراعات طبیعی و بیومکانیک مشاهده می‌شود. مقدار ترسیب کربن لاشبرگ در تیمار اراضی بذرپاشی شده در کمترین حد بوده است.

همچنین، همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، در همه تیمارها خاک بیشترین کارکرد را در ترسیب کربن اکوسیستم ایفا می‌کند به طوری که حدود ۹۹ درصد از کل ترسیب کربن در این حوضه به خاک اختصاص می‌یابد.

در همه تیمارها سهم خاک سطحی در ترسیب کربن بیش از خاک زیرین است، اما در دو تیمار بذرپاشی و بوته کاری روندی معکوس دیده می‌شود، به طوری که در این دو تیمار کربن ذخیره‌شده در خاک زیرین بیشتر است که از این نظر با آبراهه‌های فرسایش‌یافته و بدون عملیات اصلاحی شباهت دارند.

جدول ۳. مقادیر کربن ذخیره شده در بیوماس گیاهی، لاشبرگ، خاک سطحی و خاک زیرین در تیمارهای مختلف بیولوژیکی، مکانیکی و بیومکانیکی اعمال شده در حوضه آبخیز مطالعه شده

تیمار	ترسیب کربن گیاهی (kg/ha)	ترسیب کربن لاشبرگ (kg/ha)	ترسیب کربن سطحی خاک (kg/ha)	ترسیب کربن زیرین خاک (kg/ha)	کل ترسیب کربن (t/ha)
مرتع طبیعی	۴۱۲	۹۷	۲۸۷۵۷۷	۲۰۱۷۹۵	۶۴۷/۸۴
بذرپاشی	۴۰۱	۷۴	۴۵۸۵۲	۵۲۰۱۲	۱۷۶/۱۵
کپه کاری	۱۱۰۲	۱۴۸	۷۵۷۰۲	۶۰۳۸۱	۲۰۴/۶۶
بوته کاری	۷۶۸	۱۳۱	۶۰۰۵۸	۱۰۳۴۶۴	۱۹۵/۱۲
علوفه کاری	۱۴۳۵	۱۵۲	۱۲۲۰۰۱	۹۰۴۱۳	۲۳۵/۱۲
خشکه چین	۳۰۵	۹۸/۸	۹۵۴۱۵	۸۰۳۱۲	۱۸۴/۶۱
گابیون	۲۶۳	۱۰۲/۶	۱۰۷۵۴۷	۸۵۷۱۴	۲۰۱/۰۲
سنگی ملاتی	۲۵۷	۸۷	۱۰۴۲۱۷	۸۰۱۰۱	۱۶۹/۳۵
سد خاکی	۲۷۳	۱۴۲	۱۷۱۲۲۵	۱۳۲۰۵۱	۳۰۲/۶۲
بیومکانیک	۶۲۴	۹۲	۱۰۵۳۵۸	۸۱۰۹۸	۱۹۷/۴۴



شکل ۲. مقادیر کربن ذخیره شده در بیوماس گیاهی، لاشبرگ، خاک سطحی و خاک زیرین در تیمارهای مختلف

### نتیجه گیری

نتایج تحقیق حاضر نشان دهنده این واقعیت است که عملیات آبخیزداری تأثیر مهمی در میزان ترسیب کربن دارد و می تواند به عنوان راهکار مهمی در کاهش گازهای گلخانه ای مطرح شود و ترسیب کربن به این روش می تواند از ارزان ترین و عملی ترین راهکارها برای کاهش دی اکسید کربن در جو باشد. به طور کلی، فعالیت های احیای آبخیزداری انجام شده

در منطقه مطالعاتی بعد از گذشت بیست سال، سبب تغییر در ترکیب گونه ای، افزایش درصد تاج پوشش گیاهی و همچنین افزایش تنوع و تولید در منطقه شده است، این فعالیت های احیایی همچنین بر ویژگی های فیزیکوشیمیایی خاک تأثیر مثبت داشته است. با توجه به افزایش تولید علوفه قابل استفاده دام در منطقه احیا، تداوم فرق به همراه برنامه چرای منظم توصیه می شود. برای بخش های گردوکاری و علوفه کاری شده بهتر است اجازه

طریق تثبیت خاک و حفظ و احیای پوشش گیاهی، ظرفیت زیادی برای پروژه‌های ترسیب کربن ایجاد خواهد کرد.

#### منابع

- [1]. Lal R. Soil carbon stocks under present and future climate with specific reference to European eco regions, *Jour. Nutrient Cycling in Agro ecosystems*. 2008; 81(2): 113-127.
- [2]. Stockmann U, Adams MA, Crawford JW, Field DJ, Henakaarchchi N, Jenkins M, et al. The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. *Agric. Ecosyst. Environ.* 2013; 164(1), 80-99.
- [3]. Selim HM, Newman, A, Zhang, L, Arceneaux, A, Tubaña, B, Gaston, LA. Distributions of organic carbon and related parameters in a Louisiana sugarcane soil. *Soil Tillage Res.* 2016; 155, 401-411.
- [4]. Teng J, Xiang T, Huang Z, Wu J, Jiang P, Meng C, Li Y, Fuhrmann JJ. Spatial distribution and variability of carbon storage in different sympodial bamboo species in China. *J. Environ. Manag.* 2015;168, 46-52.
- [5]. Brown J, Angerer J, Salley S, Blaisdell R and Stuth J. Improving estimates of rangeland carbon sequestration potential in the U.S. Southwest. *Rangeland Ecology & Management.* 2012; 63:147-154.
- [6]. Chen LF, He ZB, Du J, Yang JJ, Zhu X. Patterns and environmental controls of soil organic carbon and total nitrogen in alpine ecosystems of northwestern China. *Catena.* 2016; 137, 37-43.
- [7]. Chang X F, Wang S P, Zhu X X, Cui SJ, Luo CY, Zhang ZH, Wilkes A. Impacts of management practices on soil organic carbon in degraded alpine meadows on the Tibetan Plateau. *Jour. Biogeosciences Discuss.* 2014;11: 417- 440.
- [8]. Zhiming Qi, Patricia NS, Bartling R, Derner D, Gale H, Dunn Liwang Ma. Development and evaluation of the carbon-nitrogen cycle module for the GPFARM-Range model. *Computers and Electronics in Agriculture.* 2012; 83:1-10.
- [9]. Li Q, Yu P, Li G, Zhou D, Chen X. Overlooking soil erosion induces underestimation of the soil Closs in degraded land. *Quaternary Int.* 2014; 349, 287- 290.
- [10]. Naseri S, Jafari M, Tavakoli H, Arzani, H. Effect of mechanical control practices on soil and vegetation carbon sequestration (Case study: Catchment Basin of Kardeh- Iran). *Jour. Biodiversity and Environmental Sciences.* 2014; 5(2): 122-135.

برداشت دستی علوفه و محصول درختی داده شود. همچنین، به نظر می‌رسد انجام عملیات کپه‌کاری برای جلوگیری از فرسایش خاک در بخش‌های بیشتری از دامنه‌های پرشیب منطقه احیا ضروری باشد. همچنین، مطالعه و ارزیابی آثار اجرای طرح بر وضعیت اقتصادی و اجتماعی ساکنان منطقه و نیز تکرار مطالعه با فاصله زمانی مناسب برای پایش اثر پروژه طی زمان توصیه می‌شود.

در خصوص موضوع اثر فعالیت‌های آبخیزداری بر ترسیب و ذخیره کربن باید گفت که میزان ترسیب کربن تابعی از عوامل مدیریتی، شرایط اقلیمی، نوع بیوم، نوع عملیات احیایی، شرایط فیزیکی و بیولوژیکی خاک و ذخیره قبلی کربن در خاک است [۱۸]. بنابراین، تغییر در هریک از این شرایط می‌تواند آثار مثبت یا منفی بر جذب و انتشار کربن در اکوسیستم داشته باشد. همچنین، اندازه مخزن کربن خاک در یک مکان خاص بر اساس نسبت مشخص تغییر در کربن آلی ورودی (تولید خالص اولیه بالا و زیر سطح زمین) و خروجی (فرسایش، تجزیه مواد گیاهی و مواد آلی خاک) در مقیاس سالانه و یا زمان‌های طولانی‌تر تغییر می‌کند [۱۹]. در این تحقیق اجرای عملیات مختلف اصلاحی آبخیزداری اعم از بیولوژیکی، مکانیکی و بیومکانیکی در مراتع به ایجاد آثار مثبت در وضعیت خاک، پوشش گیاهی و توان ترسیب و ذخیره کربن منجر شده است.

بررسی نتایج پژوهش حاضر و مقایسه آن با یافته‌های دیگر پژوهشگران [۱۸ و ۲۰]، این واقعیت را آشکار می‌سازد که مدیریت عرصه و به‌ویژه مدیریت کاربری بیش از هر عامل فیزیکی یا محیطی بر کیفیت و کمیت ذخایر کربنی زیست‌بوم به‌طور خاص و ذخایر کربنی اراضی و خاک به‌طور عام تأثیر می‌گذارد. در کشور ما، روابط حاکم بر بوم‌سازگان‌های خاکی شکننده است و همین امر همراه با پیکره جوان و آسیب‌پذیر خاک‌ها، تأثیرپذیری آنها را از مدیریت غلط بیشتر نشان می‌دهد.

در پایان، یادآوری این نکته ضروری است که هرچند اجرای پروژه‌های بیولوژیکی، مکانیکی و بیومکانیکی از سال ۱۳۷۴ در این منطقه از هدررفت مقدار درخور توجهی از کربن آلی جلوگیری کرده‌اند، هنوز تا دستیابی به پتانسیل منطقه، که شرایط مرتع طبیعی و دست‌نخورده است، فاصله وجود دارد. بنابراین، اعمال مدیریت مناسب در مراتع از

- [11]. Naseri S, Tavakoli H, Jafari M, Arzani H. Impacts of Rangeland Reclamation and Management on Carbon Stock in North East of Iran (Case Study: Kardeh Basin, Mashhad, Iran). *Journal of Rangeland Science*. 2016; 6(4), 320-333.
- [12]. Lashanizand M, Parvizi y, Shahrokhvandi SR, Rafiee B. Comparative evaluation of carbon sequestration in relation to watershed management practices and reclamation operations (Case Study: Rimele, Romeshkan flood spreading and Abkhandari Koohdasht), Iranian Journal of Range and Desert Research. 2013; 20 (2), 397-402.
- [13]. Derner JD, Schuman GE. Carbon sequestration and rangelands: A synthesis of Land management and precipitation effects. *Journal of Soil and Water Conservation*. 2015; 62(2): 77-85.
- [14]. Hill MJ, Britten R, McKeon GM. A scenario calculator for effect of grazing land management on carbon stock in Australian rangelands. *Environ. Model. And Software*. 2013; (18):627-644.
- [15]. Zhao B, Li Z, Li P, Xu G, Gao H, Cheng Y, et al. Spatial distribution of soil organic carbon and its influencing factors under the condition of ecological construction in a hilly-gully watershed of the Loess Plateau, China. *Geoderma*. 2017; 296, 10-17.
- [16]. Regional Water Company of Qazvin province report. The part of water resources management. 2015; 19p [In Persian].
- [17]. Zhang L, Xie Zh, Zhao R, Wang Y. The impact of land use change on soil organic carbon and labile organic carbon stocks in the Long zhong region of Loess Plateau. *Jour. Arid Land*. 2012; 4(3): 241-250.
- [18]. Li Z, Liu C, Dong Y, Chang X, Nie X, Liu L, et al. Response of soil organic carbon and nitrogen stocks to soil erosion and land use types in the Loess hilly-gully region of China. *Soil & Tillage Research*. 2017; 166, 1-9.
- [19]. Ajami M, Heidari A, Khormali F, Gorji M, Ayoubi S. Environmental factors controlling soil organic carbon storage in loess soils of a subhumid region, northern Iran. *Geoderma*. 2016; 281, 1-10.
- [20]. Abegaz A, Winowiecki LA, Vågen TG, Langan S, Smith JU. Spatial and temporal dynamics of soil organic carbon in landscapes of the upper Blue Nile Basin of the Ethiopian Highlands. *Agric. Ecosyst. Environ*. 2016; 218, 190-208.