نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز
جلد ۱۲، شماره ۳، ۱۳۹۹، صفحات ۸۱۲-۸۲۰

Journal of Watershed Engineering and Management
Volume 12, Issue 3, 2020, Pages 812-820
DOI: 10.22092/ijwmse.2019.125588.1621

# بررسی عملکرد بندهای کنترل سیل بر تغییر پوشش گیاهی و ذخیره کربن خاک در استان کرمانشاه

**محمد قیطوری[*1]، مسیب حشمتی[2]، یحیی پرویزی[3]، محمود عرب‌خدری[4]، محمودرضا طباطبایی[5] و خسرو شهبازی[6]**

[1] استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران، [2و3] دانشیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران، [4] دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران، [5] استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران و [6] استادیار موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۲۸

## چکیده

امروزه بحث ترسیب کربن به‌دلیل تغییرات اقلیمی در سطح کره زمین، اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده است. هدف از این پژوهش، بررسی کارایی عملیات سازه‌های مکانیکی بر پوشش گیاهی و ترسیب کربن در حوزه‌های آبخیز استان کرمانشاه، که شامل سدهای کوچک رسوب‌گیر است که در داخل آبراهه به‌منظور کاهش سرعت جریان هرزآب و تعدیل شیب طولی آبراهه احداث می‌شود. سدهای کوچک رسوب‌گیر در استان کرمانشاه از نوع گابیونی و خشکه‌چین هستند. مشخصات خاک و پوشش گیاهی مناطق تحت عملیات مکانیکی و شاهد آن (چرای شدید و مدیریت قرق) به‌وسیله پیمایش میدانی در سه منطقه، جوانرود، قروتک گیلانغرب و حاجی‌آباد کنگاور اندازه‌گیری شد. نمونه‌برداری زی‌توده بخش هوایی و ریشه گیاه در همه مناطق، همراه با لاشبرگ گیاهی سطح زمین با استفاده از روش ترانسکت و پلات انجام شد. نمونه‌برداری خاک از لایه سطحی (صفر تا ۲۰ سانتی‌متر) برای تعیین بافت خاک، آهک، اسیدیته (گل اشباع)، هدایت الکتریکی (گل اشباع) و کربن آلی خاک به تعداد ۳۶ نمونه، برداشت شد و تحلیل آماری با مقایسه میانگین‌ها با آزمون S.N.K در سطح ۰/۰۵ انجام شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد، کربن آلی ترسیب‌شده در عملیات مختلف با توجه به تجزیه واریانس یک‌طرفه در سطح ۰/۰۱ اختلاف، معنی‌دار است و مقدار ذخیره کربن لایه سطحی خاک در عملیات مکانیکی (بندهای کوچک کنترل سیل) ۳۰/۱۶ تن در هکتار به‌دست آمد که ناشی از جمع‌آوری رسوبات بالادست بند است و در مقایسه با مناطق شاهد عملکرد پایینی دارد. همچنین، مقایسه ترسیب کربن عملیات مکانیکی با سایر برنامه‌های آبخیزداری نشان داد که پوشش گیاهی تاثیر مستقیمی در افزایش کربن ترسیب‌شده در خاک را دارد.

**واژه‌های کلیدی:** بندهای کوچک، ترسیب کربن، سازه‌های مکانیکی، خشکه‌چین، قروتک گیلانغرب

## مقدمه

با افزایش جمعیت، تقاضا برای نیازهای اولیه انسان به‌ویژه مواد غذایی افزایش داشته است که به‌دلیل عدم وجود مدیریت مناسب در بهره‌برداری پایدار از منابع

[*] مسئول مکاتبات: m.ghaitori@areeo.ac.ir

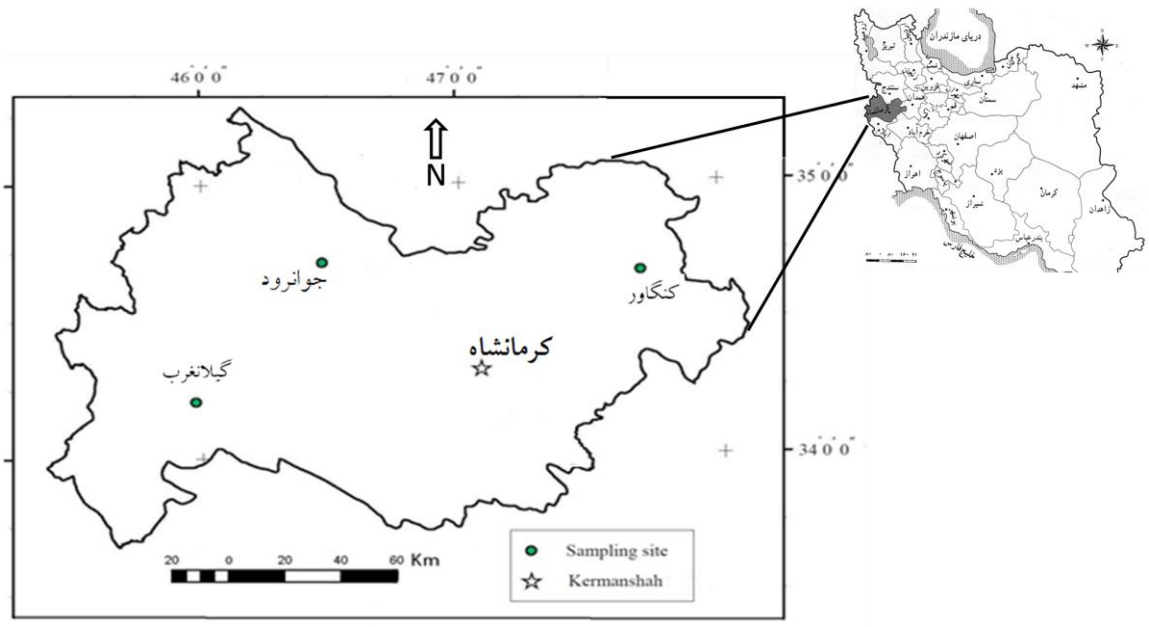
زیستی، مشکلات حادی در زمینه تغییرکاربری اراضی، تخریب جنگل‌ها و مراتع، فعالیت‌های صنعتی، تولید انواع ضایعات شیمیایی و آلودگی منابع آب و خاک ایجاد شده است. پیامد این مشکلات، افزایش دی‌اکسیدکربن و گازهای گلخانه‌ای و در نهایت ایجاد پدیده تغییر اقلیم در سالیان اخیر شده است. این شرایط به‌عنوان مهمترین تهدید توسعه پایدار و عامل آسیب‌رسیدن به منابع طبیعی، محیط زیست، سلامت انسان، امنیت غذایی و فعالیت‌های اقتصادی است. غلظت دی‌اکسیدکربن بعد از انقلاب صنعتی تا ppm ۳۶۰ با سرعت ppm ۱/۵ در سال افزایش یافت که غلظت این گاز در سال‌های اخیر به‌میزان ۳۰ درصد افزایش یافته است و با این روند افزایشی، شرایط برای رسیدن به آستانه مرز بحرانی (ppm ۴۵۰) فراهم می‌شود (IPCC، ۲۰۱۴؛ Houghton و همکاران، ۱۹۹۶). نگرانی‌ها در این زمینه موجب شد که در سال ۱۹۹۴ در اجلاس ریو معاهده‌ای تحت عنوان کنوانسیون تغییر آب و هوا مطرح شود و به امضاء ۱۵۴ کشور جهان برسد که از تاریخ معاهده لازم‌الاجرا شود. پس از گذشت چند سال، برای تقویت تعهدات کشورهای توسعه یافته پروتکلی تحت عنوان پروتکل کیوتو در سال ۱۹۹۷ برای امضاء کشورهای عضو آماده شد که در سال ۲۰۰۴ اجرایی شود. با لازم‌الاجرا شدن این پروتکل، کشورهای توسعه یافته ملزم به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای طی سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۲ به‌میزان ۵/۲ درصد نسبت به سال ۱۹۹۰ شدند. کشور جمهوری اسلامی ایران نیز جزء کشورهای امضاءکننده این پروتکل است که به لحاظ تولیدکننده گاز دی‌اکسیدکربن در جهان در رتبه یازدهم قرار دارد که نمایان‌گر بهره‌وری پایین انرژی در کشور است. در شرایط فعلی به‌دلیل غیراقتصادی بودن تغییر منابع انرژی از سوخت فسیلی به انرژی‌های پاک (نور خورشید، باد و آب) در بیشتر کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه، شکل اجرایی پیدا نکرده است. بنابراین، راهکار کاهش دی‌اکسیدکربن جو زمین را باید در بخش‌های غیرانرژی، مانند سیاست ترسیب کربن (Carbon Sequestration) با استفاده از پوشش گیاهی جستجو کرد. بر اساس آمار سازمان جهانی خواروبار و کشاورزی فائو (۲۰۱۳)، بیش از ۲/۱۳۳ میلیارد هکتار مرتع در سطح جهان وجود دارد که با احتساب سطح جنگل‌های غیرتولیدی (۱/۳۶۶ میلیارد هکتار) و همچنین؛ دوسوم جنگل‌های تجاری (حدود دو میلیارد هکتار) معادل ۵/۴۹۹ میلیارد هکتار است که در دنیا مورد استفاده چرای دام قرار می‌گیرد. در ایران، آمار متفاوتی برای سطح چراگاه‌های مرتعی ارائه شده است که آخرین گزارش مربوط به مطالعات پوشش گیاهی کشور (اوایل سال ۱۳۸۴) که به‌وسیله دفتر فنی مهندسی و مطالعات سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری انجام شده است. وسعت مراتع کشور به استثناء استان‌های شمالی حدود ۸۳ میلیون هکتار برآورد شده که با احتساب استان‌های شمالی، این رقم به ۸۶/۲ میلیون هکتار می‌رسد. همچنین، سطح جنگل‌ها و مراتع استان کرمانشاه در این گزارش به‌ترتیب ۱۱۸۸۴۰۰ و ۵۰۰۰۰۰ هکتار برآورد شده است. سطح گسترده مراتع در جهان، ایران و استان کرمانشاه حاکی از ظرفیت و توان ترسیب کربن بالای این اراضی است به‌طوری که مراتع در مقیاس جهانی سالانه حدود ۵۰۰ میلیارد تن کربن ترسیب می‌کنند (Derner و همکاران، ۲۰۰۷).

حفاظت از اراضی از دیدگاه ترسیب کربن می‌تواند نگرشی نو و سامانه‌ای به حفاظت از منابع طبیعی باشد، چرا که علاوه‌بر تامین نیازهای اساسی، می‌تواند راهکاری موثر برای کاهش آلودگی هوا و بحران تغییر اقلیم و در نهایت دستیابی به راهی برای توسعه پایدار باشد. با مدیریت صحیح منابع طبیعی در جهت افزایش پوشش گیاهی و بهره‌برداری بهینه از آن، می‌توان در راستای افزایش ترسیب کربن، مانع تخریب پوشش گیاهی، فرسایش خاک و هرز آب شد. در این راستا، مقدار ذخیره کربن‌آلی خاک رابطه مستقیمی با کیفیت مدیریت سه محور خاک، زی‌توده و لاشبرگ گیاهی دارد (Feiza و همکاران، ۲۰۰۸؛ McCarty و Ritchie، ۲۰۰۰). رویدادهایی مانند جنگل‌تراشی، چرای شدید دام، تغییر کاربری جنگل و مرتع به زراعت و باغات دیم و در نهایت آتش‌سوزی، عواملی هستند که منجر به تخریب خاک، پوشش گیاهی، فرسایش خاک، تخریب اراضی و هدر رفت آب شده است. به‌طوری که تحقیقات Mohammadi و همکاران (۲۰۱۸) در روستای کلستان فارس نشان داد که

عواملی مانند چرای شدید، لگدکوبی خاک، تغییر کاربری و بهره‌برداری غیراصولی از منابع طبیعی موجب تشدید فرسایش خاک و کاهش ظرفیت ترسیب کربن مرتع می‌شود و در مقابل عملیات اصلاحی مرتع می‌تواند نقش مفیدی در تقویت کمی و کیفی پوشش گیاهی داشته باشد که پیامد آن افزایش ترسیب کربن و حفاظت آب و خاک است (Souri و همکاران، ۲۰۱۷). بنابراین نتیجه‌گیری می‌شود، تقویت پوشش گیاهی در عرصه‌های منابع طبیعی عامل مهمی در افزایش ترسیب کربن است. لذا، در این پژوهش تاثیر عملیات مکانیکی بندهای کنترل سیل اصلاحی بر تغییر پوشش گیاهی و نقش این تغییرات در ذخیره کربن خاک سطحی در حوزه‌های آبخیز استان کرمانشاه در مقایسه با مدیریت قرق و چرای شدید اراضی منابع طبیعی مورد بررسی قرار گرفته است.

## مواد و روش‌ها

**منطقه مورد پژوهش:** این پژوهش، در محدوده اراضی منابع طبیعی در سه شهرستان کنگاور، جوانرود و گیلانغرب استان کرمانشاه انجام شد. مناطق مورد مطالعه، معرف ویژگی‌های سطح وسیعی از استان کرمانشاه از نظر اقلیم، توپوگرافی، فرهنگ بهره‌برداری هستند. مشخصات و موقعیت مناطق پژوهش در شکل ۱ و جدول ۱ مشاهده می‌شوند.




**شکل ۱**- موقعیت جغرافیایی استان کرمانشاه در سطح کشور

**جدول ۱**- وضعیت زمین شناسی و توپوگرافی مناطق نمونه‌برداری در استان کرمانشاه

| منطقه | سازند زمین‌شناسی | اقلیم | بارش سالانه (mm) | دما سالانه (C°) |
|---|---|---|---|---|
| جوانرود | آهک بیستون | مرطوب سرد | ۵۰۰-۶۰۰ | ۱۰-۱۲/۵ |
| قروتک گیلانغرب | آهک آسماری | نیمه‌مرطوب | ۴۵۰-۵۰۰ | ۱۰-۱۲/۵ |
| حاجی‌آبادکنگاور | دگرگونی درهم | نیمه‌خشک فراسرد | ۵۰۰-۶۰۰ | ۱۰-۱۲/۵ |

**روش پژوهش:** ابتدا ویژگی‌های فنی، فیزیکی و عملیات بندهای کوچک رسوب‌گیر و کنترل سیل در سه منطقه عرصه انتخاب‌شده، همراه با وضعیت مناطق شاهد هم‌جوار تعیین شد. بررسی اولیه در مناطق داده‌برداری جدول ۱ نشان داد که بندهای کنترل سیل در این مناطق به‌صورت گابیونی یا خشکه‌چین

است. بندهای خشکه‌چین در شیب آبراهه‌های تند (بیش از ۱۰ درصد) با ارتفاع کمتر از ۱/۵ متر احداث شده بود و بندهای گابیونی در شیب آبراهه‌های کمتر از ۱۰ درصد با ارتفاع سه تا پنج متر مستقر بود. سپس، داده‌های خاک و پوشش گیاهی در سکوهای حاصل از رسوبات منطقه سراب‌بندها، انجام شد. همچنین، منطقه شاهد برای ارزیابی اثربخشی عملیات مکانیکی در مجاورت بند با شرایط طبیعی منطقه انتخاب شد و داده‌های خاک و پوشش گیاهی به‌صورت مشابه برداشت شد.

**داده‌برداری**: مرحله مهم پژوهش، انتخاب محل مناسب نمونه‌برداری بود که می‌بایست، معرف تغییرات و نوسانات خاک و پوشش گیاهی ناشی از عملیات مکانیکی بندهای سیل‌گیر باشد. لذا، محل داده‌برداری به‌وسیله پیمایش میدانی انتخاب شد. همچنین، در مجاورت بندهای رسوب‌گیر، دو تیمار شاهد با شرایط محیطی مشابه و بهره‌برداری متفاوت انتخاب شد. دو تیمار شاهد، شامل تیمار شاهد تحت مدیریت چرای متداول (چرای شدید) و تیمار شاهد تحت مدیریت حفاظت و قرق بودند.

**الف- داده‌برداری خاک:** نمونه‌برداری خاک با حفر ۳۶ چاله به عمق ۲۰ سانتی‌متر در محل تیمار عملیات مکانیکی و دو تیمار شاهد در سه منطقه جوانرود، قروتک گیلانغرب و حاجی آبادکنگاور انجام شد. بیشتر عرصه‌های منابع طبیعی دارای خاک سطحی بودند و مواد آلی در لایه سطحی خاک (عمق ۲۰ سانتی‌متر) متمرکز است. یک نمونه خاک به‌صورت ترکیبی از سه چاله مجاور یکدیگر تهیه شد. نمونه‌های خاک هر منطقه به آزمایشگاه خاکشناسی ارسال شد. پارامترهای اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه شامل، تعیین مقادیر کربن آلی خاک (به روش والکلی و بلاک)، آهک (به‌روش تیتراسیون با سود یک نرمال)، بافت (به روش هیدرومتر) و درصد اشباع (در گل اشباع) بود. وزن مخصوص ظاهری خاک برای اندازه‌گیری چگالی ظاهری با سه تکرار در کنار چاله‌ها با استفاده از سیلندر نمونه‌برداری انجام شد.

- **تعیین وزن کربن آلی خاک:** برای تعیین وزن کربن ذخیره‌شده در خاک سطحی از دو پارامتر عمق خاک (۲۰ سانتی‌متر) و وزن ظاهری خاک، بر اساس رابطه ارائه شده (رابطه ۱) استفاده شد.

$$Cs= 10000\times\%SOC\times Bd\times d \quad (1)$$

که در آن، $Cs$ وزن کربن آلی خاک در واحد سطح (در این رابطه ضریب ۱۰۰۰۰ واحد سطح هکتار است)، $SOC$ درصد کربن آلی خاک، $d$ عمق خاک مورد نظر (متر) و $Bd$ وزن مخصوص ظاهری است.

با میانگین‌گیری وزنی مقدار ذخیره کربن خاک در لایه سطحی خاک در واحد سطح محاسبه شد. همچنین، پارامترهای بافت خاک، EC (هدایت الکتریکی)، pH (اسیدیته خاک)، Calcite (آهک کل) و کربن آلی خاک (SOC) برای ۳۶ نمونه خاک در سه تیمار و سه منطقه جوانرود، قروتک گیلانغرب و حاجی آبادکنگاور در آزمایشگاه خاکشناسی اندازه‌گیری شد.

**ب- داده‌برداری پوشش گیاهی:** اندازه‌گیری درصد تاج‌پوشش، تراکم و میزان تولید زی‌توده گیاهی تیمار عملیات مکانیکی آبخیزداری و تیمار شاهد با استفاده از ترانسکت خطی (به‌طول ۵۰ متر با سه تا پنج تکرار) و سطح پلات یک متر مربع با شکل مربع (برای سادگی اندازه‌گیری) در کنار پروفیل‌های حفرشده، انجام شد. داده‌های گیاهی برداشت‌شده شامل درصد تاج‌پوشش، تولید زی‌توده تاج‌پوشش و زی‌توده ریشه بود. داده‌های جمع‌آوری شده پوشش گیاهی و خاک در محیط نرم‌افزاری آماری SPSS (نسخه ۱۹) با روش آماری، جدول تجزیه واریانس یک‌طرفه و مقایسه میانگین‌ها با آزمون S.N.K در سطح ۰/۰۵ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

## نتایج و بحث

**پوشش گیاهی:** پوشش گیاهی سه منطقه انتخاب شده تحت مدیریت عملیات مکانیکی (بندهای کوچک رسوب‌گیر) اندازه‌گیری شد که نتایج به‌دست آمده نشان داد که پوشش گیاهی روی سطح شبه تراس تحت تاثیر عملیات مکانیکی در حد صفر یا محدود به گونه‌های یک‌ساله است که بسیار تنک و دارای تولید زی‌توده کمی است. به‌دلیل فعال‌بودن روند فرسایش در اراضی بالادست بندها و تجمع سالانه این مواد در منطقه سراب‌بندها شرایط برای استقرار پوشش گیاهی فراهم نمی‌شود. مشاهدات میدانی نشان می‌دهد که

رسوبات دارای بافت روشن و درشت است.

**مشخصات عمومی خاک مناطق تحت مدیریت مکانیکی:** نتایج پارامترهای اندازه‌گیری شده خاک منطقه تحت عملیات مکانیکی و مناطق شاهد، در جدول ۲ درج شده است. میانگین، کمینه، بیشینه، CV (ضریب تغییرات)، SD (انحراف از معیار) و ضریب چولگی برای داده‌های جمع‌آوری شده خاک آمده است. نتایج پیمایش میدانی نشان می‌دهد که خاک مناطق تحت عملیات بندهای کنترل سیل، پدیدآمده از رسوب‌گذاری، موارد حمل‌شده به‌وسیله رواناب از دامنه‌های بالادست بند است و روشن‌بودن رنگ رسوبات پشت این سازه نشانه‌ای از آب‌شویی و فعال-بودن بستر رسوب‌گذاری است. مشخصات لایه سطحی خاک (۲۰-۰ سانتی‌متر) در مناطق تحت عملیات بندهای کنترل سیل نشان می‌دهد که خاک این مناطق دارای درصد بالایی آهک است که دلیل آن سازند آهکی بیستون و آسماری است. همچنین، به‌دلیل زهکشی خوب یا شسته‌شدن خاک و خروج مواد آلی از رسوبات پشت‌بندهای کوچک در آبراهه، مقدار کربن آلی ذخیره‌شده در خاک منطقه سراب‌بند کم است. به‌طوری که متوسط کربن آلی خاک در منطقه سراب‌بندهای کنترل سیل، نسبت به مناطق شاهد هم‌جوار فقیر است (جدول ۲). نتایج مشخصات اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک در مناطق بند کنترل سیل، چرای شدید و حفاظت‌شده نشان می‌دهد که این پارامترها در مناطق مختلف تقریبا یکسان است و اختلاف قابل قبولی میان این ویژگی‌های خاک وجود ندارد.

**جدول ۲**- کمینه، بیشینه، متوسط و واریانس داده‌های خاک در مدیریت‌های مختلف در خاک سطحی

| پارامترهای خاک | مدیریت | Min | Max | Mean | SD | CV | Skewness |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SOC درصد | عملیات مکانیکی | ۰/۷۰ | ۱/۹۲ | ۱/۵۸ | ۰/۸۲ | ۰/۴۱ | ۰/۵۵ |
| | منطقه چرای شدید | ۰/۶۸ | ۱/۶۳ | ۱/۱۶ | ۰/۲۸ | ۰/۰۸ | ۰/۰۲ |
| | منطقه حفاظت شده | ۱/۹۴ | ۳/۹۳ | ۳/۳۲ | ۰/۶۴ | ۰/۴۱ | -۱/۰۸ |
| Calcite درصد | عملیات مکانیکی | ۴/۴۲ | ۳۴/۳۰ | ۱۸/۲۲ | ۱۳/۳۴ | - | ۱/۸۰ |
| | منطقه چرای شدید | ۳/۸۰ | ۲۱/۷۰ | ۱۳/۲۵ | ۵/۵۸ | - | -۰/۱۹ |
| | منطقه حفاظت شده | ۳ | ۵۴/۸۰ | ۱۶/۹۴ | ۱۶/۴۷ | - | ۱/۲۴ |
| pH | عملیات مکانیکی | ۷/۴۴ | ۷/۸۳ | ۷/۶۰ | ۰/۲۱ | ۰/۱۱ | ۰/۷۳ |
| | منطقه چرای شدید | ۷/۴۳ | ۷/۹۰ | ۷/۶۴ | ۰/۱۶ | ۰/۰۲ | ۰/۴۴ |
| | منطقه حفاظت شده | ۷/۱۴ | ۷/۷۹ | ۷/۴۱ | ۰/۱۸ | ۰/۰۳ | ۰/۷۱ |
| EC ($dSm^{-1}$) | عملیات مکانیکی | ۰/۱۹ | ۰/۵۸ | ۰/۴۷ | ۰/۱۲ | ۰/۰۱ | ۰/۲۳ |
| | منطقه چرای شدید | ۰/۲۹ | ۰/۶۲ | ۰/۴۷ | ۰/۱۱ | ۰/۰۱ | -۰/۲۴ |
| | منطقه حفاظت شده | ۰/۴۰ | ۰/۷۸ | ۰/۵۹ | ۰/۱۲ | ۰/۰۱ | ۰/۱۲ |

**ذخیره کربن در خاک سطحی:** مقصد نهایی ترسیب کربن، خاک است و منبع اصلی تغذیه کننده آن عملیات فتوسنتز پوشش گیاهی است. میزان کربن آلی ترسیب‌شده در لایه خاک (۲۰-۰ سانتی‌متر) بر حسب درصد و تن در هکتار در تیمارهای مختلف در جدول ۳ درج شده است. نتایج به‌دست آمده بیانگر اثربخشی بالای تیمار حفاظت و قرق مرتع بر ترسیب کربن (۷۲/۰۵ تن درهکتار) است. مقدار ترسیب کربن خاک سطحی در تیمارهای عملیات مکانیکی، چرای شدید و مدیریت حفاظت و قرق به‌ترتیب ۱/۵۸، ۱/۱۶ و ۳/۳۲ درصد است (جدول ۳). همچنین، مقدار کربن ترسیب شده در خاک سطحی تیمار عملیات مکانیکی معادل ۳۰/۱۶ تن در هکتار بود که در مقایسه با تیمار مدیریت قرق (۷۲/۰۵ تن در هکتار) اندک است.

نتایج ضریب همبستگی پیرسون میان صفات مختلف خاک نشان می‌دهد که رابطه معنی‌داری بین خصوصیات خاک (اسیدیته، آهک کل و هدایت الکتریکی) و مقدار کربن آلی خاک وجود ندارد، یعنی میان خصوصیات ذکر شده خاک سطحی در سطح ۰/۰۵ ارتباط معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۴) .

**جدول ۳**- مقدار ترسیب کربن در تیمارهای مختلف خاک سطحی (عمق ۲۰-۰ سانتی‌متر)

| تیمارها | درصد کربن آلی خاک | مقدار ترسیب کربن آلی خاک ($tonha^{-1}$) |
|---|---|---|
| | ۰-۲۰ (cm) | ۰-۲۰(cm) |
| عملیات مکانیکی | ۱/۵۸ | ۳۰/۱۶ |
| چرای شدید | ۱/۱۶ | ۲۶/۶۰ |
| مدیریت قرق | ۳/۳۲ | ۷۲/۰۵ |

**جدول ۴**- ضریب همبستگی پیرسون میان متغیرهای خاک در لایه سطحی

| ویژگی‌ها | هدایت الکتریکی | اسیدیته | SOC |
|---|---|---|---|
| هدایت الکتریکی | -۰/۲۴ | -۰/۱۵ | -۰/۲۱ |
| اسیدیته | | -۰/۰۰۳ | -۰/۲۴ |
| آهک کل | | | -۰/۱۵ |

* در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار

همچنین، نتایج میانگین مربعات تجزیه واریانس یک‌طرفه خصوصیات خاک سطحی تیمارهای عملیات مکانیکی، چرای شدید و مدیریت حفاظت و قرق بیانگر آن است که درصد کربن آلی خاک سطحی در تیمارها در سطح ۰/۰۱ اختلاف معنی‌دار وجود دارد (جدول ۵). یعنی مقدار کربن آلی تحت تاثیر مدیریت-های مختلف حاکم بر منابع طبیعی تغییر می‌کند. همچنین، رابطه معنی‌دار میان خصوصیات اسیدیته، هدایت الکتریکی و آهک کل خاک سطحی در تیمارهای مختلف مشاهده نشد.

**جدول ۵**- میانگین مربعات تجزیه واریانس یکطرفه خصوصیات خاک در لایه سطحی

| منابع تغییر | درجه آزادی | میانگین مربعات | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | هدایت الکتریکی ($dSm^{-1}$) | اسیدیته | آهک کل (درصد) | SOC (درصد) |
| تیمار | ۳ | ۰/۰۴ ns | ۰/۰۴ns | ۱۰۷/۱۸ns | ۱۱/۰۷** |
| خطا | ۲۲ | ۰/۰۱ | ۰/۰۱ | ۱۶۸/۹۵ | ۰/۳۴ |

** رابطه معنی‌دار در سطح ۰/۰۱، * رابطه معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ و ns رابطه معنی‌داری نیست

تجزیه مقایسه میانگین خصوصیات خاک سطحی در مدیریت در جدول ۶ و به روش S.N.K در سطح ۰/۰۵ نشان می‌دهد که پارامترهای هدایت الکتریکی، اسیدیته و آهک کل خاک سطحی در مدیریت‌های مختلف در یک خوشه قرار دارند، در حالی‌که کربن آلی ترسیب‌شده در منطقه تحت عملیات بند کنترل سیل و چرای شدید در یک گروه یا خوشه قرار دارند و مدیریت قرق و حفاظت در گروه یا خوشه دیگری قرار دارد (جدول ۶).

نتایج نهایی ترسیب کربن زی‌توده پوشش گیاهی (اندام هوایی، ریشه و لاشبرگ) و خاک سطحی در جدول ۷، درج شده است. پوشش گیاهی مناطق تحت عملیات مکانیکی (بند کنترل سیل) در شرایط نرمال دارای کمینه توان ترسیب کربن است و خاک این مناطق تا عمق ۲۰ سانتی‌متری می‌توانند دست کم ۳۰/۱۶ تن در هکتار کربن آلی را در خود ذخیره کنند، در حالی‌که کمینه مقدار ترسیب کربن درلایه سطحی خاک (صفر تا ۲۰ سانتی‌متر) یک مرتع نرمال

(تیمار قرق و حفاظت) برابر ۷۶/۸ تن در هکتار است. مقدار ترسیب کربن آلی زی‌توده گیاهی در تیمار چرای شدید، ۳/۹۹ تن در هکتار است که نسبت به تیمار عملیات مکانیکی (صفر) قابل مقایسه نیست. افت کل ترسیب و ذخیره کربن در گیاه و خاک سطحی تیمار عملیات مکانیکی آبخیزداری نسبت به تیمار قرق برابر ۴۶/۶۴ تن در هکتار است (جدول ۷). همچنین، داده‌های جدول نشان می‌دهد که مقدار ذخیره کربن در لایه سطحی تیمار عملیات مکانیکی به مقدار ۳/۵۶ تن در هکتار بیشتر از تیمار چرای شدید است.

**جدول ۶**- تجزیه مقایسه میانگین پارامترهای خاک سطحی به‌روش S.N.K در سطح ۰/۰۵

| تیمارها | EC ($dSm^{-1}$) | pH | درصد آهک کل | درصد کربن آلی |
|---|---|---|---|---|
| عملیات مکانیکی | ۰/۴۷$^{(a)}$ | ۷/۶۰ $^{(a)}$ | ۱۸/۲۲ $^{(a)}$ | ۱/۵۸ $^{(b)}$ |
| چرای شدید | ۰/۴۷$^{(a)}$ | ۷/۶۱$^{(a)}$ | ۱۳/۲۵$^{(a)}$ | ۱/۱۶$^{(b)}$ |
| قرق و حفاظت | ۰/۴۶ $^{(a)}$ | ۷/۵۲$^{(a)}$ | ۱۱/۷۶$^{(a)}$ | ۳/۳۲$^{(a)}$ |

**جدول ۷**- متوسط ترسیب کربن آلی در زی‌توده گیاهی و خاک سطحی تیمارهای مورد بررسی

| تیمارها | ترسیب کربن ($tonha^{-1}$) | | ذخیره کربن خاک ($tonha^{-1}$) | کل ترسیب و ذخیره کربن در خاک و گیاه ($tonha^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|
| | پوشش گیاهی | لاشبرگ | (۰-۲۰ cm) | |
| عملیات مکانیکی | ۰ | ۰ | ۳۰/۱۶ | ۳۰/۱۶ |
| چرای شدید | ۳/۹۹ | ۰/۰۶ | ۲۶/۶۰ | ۳۰/۶۵ |
| قرق و حفاظت | ۴/۶۳ | ۰/۱۲ | ۷۲/۰۵ | ۷۶/۸ |

سهم‌بندی ترسیب کربن میان گیاه، لاشبرگ و خاک سطحی در تیمارهای مختلف نشان می‌دهد، بیشترین سهم ذخیره کربن، مربوط به خاک سطحی (صفر تا ۲۰ سانتی‌متر) است (جدول ۸). سهم ترسیب کربن زی‌توده گیاهی در تیمارهای بند کنترل سیل، چرای شدید و قرق و حفاظت به‌ترتیب برابر صفر، ۱۳/۰۱ و ۶/۰۳ درصد است، در حالی‌که این سهم در خاک به‌ترتیب برابر ۱۰۰، ۸۶/۷۹ و ۹۳/۸۱ درصد است. مقایسه ترسیب کربن میان پوشش گیاهی، لاشبرگ و خاک در مناطق تحت عملیات مکانیکی حاکی از ذخیره ۱۰۰ درصدی کربن در خاک است.

**جدول ۸**- درصد سهم زی‌توده گیاهی، لاشبرگ و خاک سطحی در ترسیب و ذخیره کربن در تیمارهای مختلف

| تیمارها | درصد سهم ترسیب کربن | | | جمع کل (درصد) |
|---|---|---|---|---|
| | زی‌توده گیاه | لاشبرگ | خاک سطحی | |
| عملیات مکانیکی | ۰ | ۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ |
| چرای شدید | ۱۳/۰۱ | ۰/۲۰ | ۸۶/۷۹ | ۱۰۰ |
| قرق و حفاظت | ۶/۰۳ | ۰/۱۶ | ۹۳/۸۱ | ۱۰۰ |

## نتیجه‌گیری

**اثر عملیات مکانیکی بر ترسیب کربن**: زهکشی خوب یا شسته‌شدن خاک و خروج مواد آلی از رسوبات پشت بندهای کوچک در آبراهه منجر به افت ماده آلی (کربن آلی) ذخیره‌شده در خاک این رسوبات شده است. به‌طوری که متوسط کربن آلی خاک در رسوبات پشت‌بندهای گابیونی و خشکه‌چین در عملیات مکانیکی، نسبت به مناطق هم‌جوار فقیر است و جدول

تجزیه واریانس نشان می‌دهد که رابطه معنی‌دار هم در پوشش گیاهی و هم در خاک بین منطقه تحت عملیات مکانیکی بندهای کنترل سیل با مناطق شاهد حفاظت‌شده (قرق) و چرای شدید وجود دارد. بررسی اثربخشی عملیات مکانیکی بر ترسیب کربن پوشش گیاهی سه منطقه انتخاب‌شده تحت مدیریت عملیات مکانیکی نشان داد که پوشش گیاهی روی سطح شبه‌تراس تحت تاثیر عملیات مکانیکی در حد صفر یا محدود به گونه‌های یک ساله و فصلی تنک با تولید زی‌توده کم است. عدم استقرار پوشش گیاهی به‌دلیل فعال‌بودن سطح سکو به‌لحاظ رسوب‌گذاری و حمل مواد معلق (مواد آلی و بذر گیاهان) است. مقدار ذخیره کربن‌آلی خاک رابطه مسقیمی با کیفیت مدیریت سه محور خاک، زی‌توده و لاشبرگ گیاهی دارد (Feiza و همکاران، ۲۰۰۸؛ McCarty و Ritchie، ۲۰۰۰). همچنین، Singh و همکاران (۲۰۰۳) طی مطالعاتی که در هند انجام دادند، دریافتند که کربن آلی خاک با پوشش گیاهی همبستگی مثبت دارد. آن‌ها همچنین بیان کردند که مقدار مواد آلی خاک و به‌تبع آن مقدار کربن ترسیب‌شده در خاک، در واحد سطح به عوامل چندی از جمله وزن مخصوص ظاهری خاک بستگی دارد، در مورد رطوبت وزنی خاک نیز می‌توان چنین بیان داشت که هر چه مقدار کربن آلی خاک بیشتر باشد، درصد رطوبت اشباع خاک و مقدار هدایت الکتریکی افزایش می‌یابد و اسیدیته کاهش پیدا می‌کند. مشاهدات حاکی از آن است که مواد ریزدانه همراه با ماده آلی ناشی از فرسایش خاک به‌وسیله جریان آب از منافذ درشت بند گابیونی و خشکه‌چین از منطقه سراب به‌سوی منطقه پایاب هدایت می‌شود. نتایج بررسی نشان داد که با توجه به شرایط منطقه، عدم طراحی مناسب سازه‌ها (از دیدگاه فنی)، فقیربودن خاک و عدم وجود رطوبت مناسب برای رشد گیاه (بافت درشت و زهکش زیاد) در منطقه سراب‌بند امکان استقرار پوشش گیاهی سخت است و جداول تجزیه واریانس نشان می‌دهد که عملیات مکانیکی تاثیر معنی‌داری بر پوشش گیاهی ندارد و عملکرد عملیات مکانیکی برای استقرار و بهبود پوشش گیاهی و افزایش ترسیب کربن نسبت به سایر عملیات آبخیزداری (بیولوژیک و بیومکانیکی) پایین است.

مقایسه ترسیب کربن میان پوشش گیاهی، لاشبرگ و خاک در منطقه تحت عملیات مکانیکی نشان داد که تقریبا ۱۰۰ درصد ترسیب کربن در خاک ذخیره شده است که این مقدار نتیجه فرسایش خاک مناطق بالادست و رسوب مواد در منطقه سراب‌بند است. بنابراین، عملیات مکانیکی در آبخیزداری (بندهای کوچک رسوب‌گیر) تنها به‌واسطه رسوب مقداری از مواد فرسایش‌یافته در بالادست دامنه در ترسیب کربن نقش دارند. نتایج این پژوهش نشان داد که خاک اراضی تحت تاثیر سازه‌های بند رسوب‌گیر دارای کمترین مقدار ماده آلی (کربن آلی ترسیب‌شده) نسبت به سایر عملیات بیولوژیک و بیومکانیکی است.

از دیدگاه هزینه و اقتصاد، عملیات مکانیکی در مقایسه با سایر روش‌های آبخیزداری پرهزینه است. به‌طوری که هزینه احداث یک مترمکعب بند رسوبگیر گابیون معادل ۱۰۰ هزار تومان است که دارای عمر مفید بیشینه ۱۰ ساله است. در مقابل روش بیولوژیک با هزینه بسیار کمتر و از دیدگاه ترسیب کربن دارای عملکرد بالاتر است. همچنین، عملیات بیولوژیک می‌تواند در راستای بهبود معیشت حوضه‌نشینان و کاهش گازهای گلخانه‌ای مفید واقع شود. چنانچه وضعیت پوشش گیاهی مراتع تحت عملیات بیولوژیک به شرایط مطلوب بازگردد، کمینه پتانسیل ترسیب کربن در سطح مراتع استان (۱۱۸۸۴۰۰ هکتار) معادل ۱۴۱۶۹۲۹۳۲ تن در هکتار است. اگر ارزش یک تن کربن ترسیب‌شده معادل ۲۰۰ دلار (Lal، ۲۰۰۸) فرض شود، ارزش اقتصادی مراتع استان کرمانشاه به لحاظ ترسیب کربن برابر ۲۸/۳۴ میلیارد دلار است. حال اگر ارزش اقتصادی کربن به‌دست آمده از عملیات مکانیکی (ذخیره کربن ۴۹/۲۸ تن در هکتار) معادل ۹۸۵۶ دلار در هکتار تعیین شود، در مقایسه با عملیات بیولوژیک (معادل ۲۳۸۴۶ دلار در هکتار) کارایی پایینی دارد، به‌طوری که ارزش اقتصادی ترسیب کربن عملیات بیولوژیک ۲/۵ برابر عملیات مکانیکی است.

جمع‌بندی نتایج نشان می‌دهد که توان متوسط ترسیب کربن در عملیات مکانیکی در مقایسه با عملیات بیولوژیک و بیومکانیکی و حتی بهره‌برداری متداول از منابع‌طبیعی (چرای شدید دام) پایین است

و می‌توان بیان کرد که عملیات بندهای کنترل سیل کارایی مناسبی در رسیدن به اهداف ترسیب کربن ندارد و از دیدگاه اقتصادی توجیه‌پذیر نیست. بنابراین، نتیجه این پژوهش بیانگر آن است که با توجه به این که عملیات مکانیکی بندهای کنترل سیل در مدیریت یک حوزه آبخیز بیشترین هزینه را به‌خود تخصیص می‌دهد، ولی از دیدگاه ترسیب کربن کارایی قابل قبولی نسبت به سایر روش‌های آبخیزداری در شرایط استان کرمانشاه ندارد.

**منابع مورد استفاده**


1. Akala, V.A. and R. Lal. 2000. Potential of mineland reclamation for soil C sequestration in Ohio. Land Degradation and Development, 11: 289- 297.
2. Asner, G.P., A.J. Elmore., L.P. Olander, R.E. Martin and A.T. Harris. 2004. Grazing systems, ecosystem responses and global change. Annual Review of Environment and Resources, 29: 261–299.
3. Arrouays, D., W. Deslais and V. Badeau. 2001. The carbon content of topsoil and its geographical distribution in France. Soil Use and Management, 17: 7-11.
4. Baladok, J.A. 2000. Soil organic matter. In: Sumner, M.E. (Ed.), Handbook of Soil Science, CRC Press, New York, 251 pages.
5. Bierke, A., K. Kaiser and G. Guggenberger. 2008. Crop residue management effects on organic matter in paddy soils, the lignin component. Geoderma, 146: 48–57.
6. Cannel, M, R.C. Dewar and J.H. M Thornley. 1992. Carbon flux and storage in European forests. Elsevier, New York, 271 pages.
7. Derner, J.D. and G.E. Schuman. 2007. Carbon sequestration and rangelands: synthesis of land management and precipitation effects. Journal of Soil and Water Conservation, 62(2): 77-85.
8. Feiza, V., D. Feizien, B. Jankauskas and G. Jankauskien. 2008. The impact of soil management on surface runoff, soil organic matter content and soil hydrological properties on the undulating landscape of Western Lithuania. Zemdirbyste, 95: 3-21.
9. Houghton, J., L.G.M. Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg, and K. Maskell. 1996. Climate change 1995: the science of climate change. Cambridge University Press, 572 pages.
10. IPCC. 2014. Climate change 7005. The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, GB, Cambridge University Press.
11. Lal, R. 2008. The role of soil organic matter in the global carbon cycle. Soil and Environment Pollution, 116: 353–362.
12. McCarty, G.W. and J.C. Ritchie. 2000. Impact of soil movement on carbon sequestration in agricultural ecosystems. Advances in Terrestrial Ecosystem Carbon Inventory, Measurements and Monitoring Conference in Raleigh, North Carolina, October 3-5.
13. Singh, G., N. Bala, K.K. Chaudhuri and R.L. Meena. 2003. Carbon sequestration potential of common access resources in arid and semi-arid regions of northwestern India. Indian Forester, 129(7): 859-864.