

## ارزیابی اثر بخشی عملیات احیائی آبخیزداری در ترسیب کربن به منظور اصلاح تغییرات اقلیمی

مهران زند<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> دانشیار پژوهشی، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم آباد، ایران

### چکیده

این پژوهش با هدف تعیین اثرات عملیات احیایی آبخیزداری، در افزایش پتانسیل ترسیب کربن اراضی و انتخاب الگوهای بهینه‌ی، اجرا شده است. به منظور برآورد میزان ترسیب کربن، در هر سه حوضه منتخب به روش سیستماتیک- تصادفی با استفاده از ترانسکت و پلات نمونه‌برداری صورت گرفت، سپس نمونه‌ها توزین شده و وزن آنها بر اساس پلات در واحد سطح مشخص شد، سپس از هر نمونه ۱۰ گرم به آزمایشگاه انتقال و میزان ترسیب کربن در واحد سطح تعیین شد. نتایج پژوهش نشان می‌دهد در پروژه بیومکانیکی پخش سیلاب رومشکان که گونه اکالیپتوس کشت شده است، شرایط ترسیب کربن نسبت به سایر گونه‌های کشت شده در دو سایت دیگر مطلوبتر بوده و میزان آن به طور میانگین ۳۷/۳۱ تن در هکتار می‌باشد. در مجموع میزان ترسیب کربن خاک حاصل از عملیات مکانیکی، برای سه حوضه معرف ریمله، رومشکان و کوه‌دشت به ترتیب ۴۵/۷، ۷۸/۴، ۵۴/۸ تن در هکتار و میانگین نمونه‌های شاهد ۲۶ تن در هکتار برآورد شد.

**واژه‌های کلیدی:** ترسیب کربن، تغییرات اقلیمی، عملیات بیولوژیکی، عملیات بیومکانیکی، عملیات مکانیکی.

## مقدمه

امروزه گرمایش و تغییر اقلیم کره زمین ناشی از اثر گلخانه‌ای تشدید یافته حاصل از تصاعد گازهای کربنی به‌جای زمین به‌عنوان یکی از مهم‌ترین تهدیدها برای توسعه پایدار و امنیت غذایی به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک جهان نظیر ایران است. علت این امر 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 پیش بینی می‌شود با تغییر اقلیم و گرم شدن زمین تا سال ۲۰۲۰ میلادی زمین با کم آبی ۳۰ تا ۴۰ درصدی مواجه خواهد شد. (کنوانسیون تغییر آب و هوا، ۲۰۱۰)

(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 بویژه دما بر ترسیب کربن به‌وسیله (Grunzwieg و همکاران، ۲۰۰۳). (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 نیمه استپی و بطور کلی مناطق نیمه خشک و خشک، بهترین نقاط هدف برای ترسیب کربن در سطح جهان می‌توانند باشند. (Lal، ۲۰۰۳) نتایج مطالعات ایشان نشان داد که تبدیل بوم‌سازگان‌های جنگلی و مرتعی به بوم‌سازگان‌های 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 باز گردانند. (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 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 ارز هستند. بطور کلی در مراتعی که تحت کشت یا هجوم گیاهان خشبی قرار گرفته اند، کربن ترسیب یافته پایدارتر بوده است (Liu و همکاران، ۲۰۰۶). (Liao، ۲۰۰۶) نشان داد که کشت گونه‌های درختی سریع‌الرشد و سازگار در یک مرتع مخروبه کربن بیوماس را افزایش داد. همچنین این عمل اگرچه در کوتاه مدت باعث کاهش کربن خاک شد. ولی در بلند مدت 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 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 حیاتی 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 (Dermer و Schuman، ۲۰۰۷). (Liu 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 نمودند. نمونه‌برداری سیستماتیک بود و مدل واریوگرام مناسب از نوع نمائی و یا کروی تشخیص داده شد. نتایج آن‌ها نشان داد اثر نوع مدیریت در ایجاد ساختار مکانی کربن آلی خاک و در نتیجه روند یابی ترسیب کربن در خاک بسیار مهم است. (Henry و همکاران، ۲۰۱۰) اظهار داشتند که تنه درختان حداکثر زیتوده هوایی 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٪ تغییرات میزان ترسیب کربن هوایی را شامل می‌شوند.

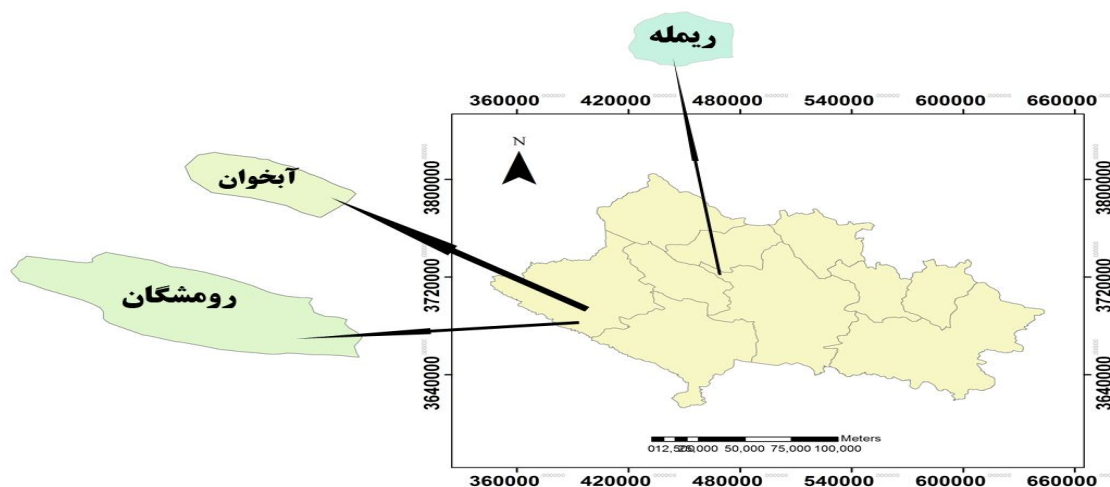
(Girmay Reda, ۲۰۱۷) در پژوهشی تحت عنوان "چارچوبی به منظور ارزیابی ترسیب کربن و شیوه‌های مدیریت زمینی پایدار (SLM) برای مقابله با تغییرات اقلیمی در اتیوپی" اظهار داشت که می‌توان ذخایر کربن را با بکار بردن رهیافت‌های مختلف از سطح یک پلات تا سطح کشور بر پایه نحوی کاربری زمین و شیوه‌های مختلف مدیریت زمینی پایدار محاسبه نمود. 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.

## ۲- داده‌ها و روش تحقیق

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 ۸ 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 درآمده است ۳- حوضه پخش سیلاب رومشکان که این حوضه در جنوب شهرستان کوه‌دشت با مساحت ۱۰۰۰ هکتار به عنوان پخش سیلاب انتخاب گردیده است. عملیات آبخیزداری از سال ۷۵ در سه حوضه فوق شروع شده است. (جدول ۱ و شکل ۱)

جدول ۱- مشخصات عمومی سایتهای معرف

نام حوضه ردیف	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	میزان بارندگی	عملیات مکانیکی	عملیات بیولوژیکی	مدت اجرای پروژه (سال)
۱ ریمله	۴۸°-۲۵'-۵"	۳۳°-۳۷'-۶" ۳۳°-۳۴'-۴"	۷۰۰ mm	دارد	دارد	۱۵
۲ آبخوانداری	۴۷°-۴۰'-۴" ۴۷°-۴۱'-۹"	۳۳°-۳۳'-۳" ۳۳°-۳۳'-۶"	۴۲۰ mm	دارد	دارد	۱۵
۳ پخش سیلاب	۴۷°-۲۸'-۴" ۴۷°-۳۳'-۵"	۳۳°-۱۳'-۲" ۳۳°-۱۶'-۱"	۴۲۰ mm	دارد	دارد	۱۵



شکل ۱ - موقعیت مناطق مورد مطالعه در استان لرستان

## روش‌ها

با توجه به اهداف تحقیق، در ابتدا با استفاده از گزارش و نقشه‌های موجود (توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰) هر کدام از حوضه‌ها بر روی نقشه مشخص و نوع عملیات انجام شده آبخیزداری (مکانیکی، بیولوژیکی و بیو مکانیکی) حوضه‌ها جهت نمونه برداری تعیین گردیدند. 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. با توجه محدودیت موجود در ارایه مطالب و تشابه روشهای نمونه برداری در پروژه‌ها مختلف، در اینجا روش نمونه برداری برای پروژه‌های بیولوژیک به اختصار تشریح می شود:

در این پروژه با انجام بازدیدهای صحرایی سایت‌های تیمار و شاهد مکان یابی 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 نونه برداری به صورت تصادفی انتخاب شدند. اعمال نمونه‌برداری به صورت مستقیم و به روش ترانسکت و پلات است. بدین صورت که تعداد ۶ ترانسکت ۵۰ متری انتخاب و به فاصله هر ۱۰ متر بطور تصادفی یک پلات بر روی آن مطالعه گردید. بعبارتی ۳۰ پلات مقدار نمونه در تیمار و همین مقدار هم در شاهد مطالعه شد. در هر سایت ۶۰ پلات و در جمع دو حوضه مورد مطالعه ۱۲۰ پلات جامعه آماری را تشکیل می دهد. 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 خشک شدن 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 و خشک شدند. 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 جهت اندازه گیری میزان کربن به آزمایشگاه منتقل گردید. 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 ۸ ساعت یا ۴۰ درجه به مدت کمینه ۱۵ ساعت قرار گرفت تا خشک شوند.

سپس نمونه‌ها خرد و آسیاب شدند. در مرحله بعد ۲ نمونه ۱۰ گرمی از آن را توزین نموده و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴۵۰ درجه سانتیگراد در کوره قرار گرفت. سپس نمونه‌ها را در دیسکاتور سرد نموده جهت اطمینان مجدداً به مدت یک ساعت در کوره قرار داده و سپس توزین شدند. وزن بدست 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.

$$om = w1 - w2$$

رابطه (۱)

OM = وزن ماده آلی گیاه بر حسب gr

W1 = وزن اولیه بر حسب gr

W2 = وزن ثانویه بر حسب gr

بررسی‌ها نشان می دهد که ۵۴ درصد ماده آلی برابر کربن موجود در گیاه است (Ritson & Sochaki, 2003) و لذا درصد کربن موجود در گیاه با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شده است:

$$OC = \%54 OM$$

رابطه (۲)

OC = میزان کربن موجود در گیاه (درصد)

OM = میزان ماده آلی موجود در گیاه (درصد)

## روش آماری مورد استفاده

در این پژوهش به منظور مقایسه مقادیر میانگین ترسیب کربن گونه‌های درختی مورد نظر از آزمون کروسکال والیس در نرم افزار مینی تب استفاده شد. آزمون کروسکال - والیس (Kruskal- Wallis Test) متناظر غیر پارامتری آزمون F است و همچون آزمون F، موقعی بکار برده می شود که تعداد گروه‌ها بیشتر از دو گروه باشد. فرضیات در این آزمون بدون جهت است یعنی فقط تفاوت را نشان می دهد و جهت بزرگتر یا کوچکتر بودن گروهها را از نظر میانگین‌هایشان نشان نمی دهد. 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.

به منظور مقایسه میزان ترسیب کربن پروژه‌های مکانیکی در حوضه‌های مختلف و حوضه‌های شاهد، آزمون‌های t و آزمون مقایسه زوجی صورت گرفتند.

### ۳ نتایج و بحث

از آنجایی که در این پژوهش، نقش عملیات آبخیزداری در ترسیب کربن اتمسفری در قالب پروژه‌های مکانیکی، بیولوژیکی و بیو مکانیکی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل نیز به تفکیک این پروژه‌ها ارائه می‌شود. به منظور تعیین میزان موفقیت تیمارهای بیولوژیک در مقدار ترسیب کربن، هر کدام از پارامترهای هدف با مقادیر متناظر خود در شاهد مقایسه شدند. جدول (۲) مقایسه بین حوضه‌های شاهد و تیمار را نشان می‌دهد و این که حوضه‌های تیمار در ذخیره کربن از توان بالایی برخوردارند.

جدول ۲- برآورد میزان ذخیره کربن تیمارهای بیولوژیک در حوضه‌های تیمار و شاهد (ریمله و آبخوان)

ردیف	نام حوضه	نوع نمونه	میزان نمونه (کیلوگرم در هکتار)	ذخیره کربن (کیلوگرم در هکتار)
۱	تیمار ریمله	اندام هوایی	۳۰۸۳	۱۶۰۴
۲	تیمار ریمله	ریشه	۱۳۳۲	۶۹۴
۳	شاهد ریمله	اندام هوایی	۴۰۰	۲۰۵
۴	شاهد ریمله	ریشه	۱۳۴	۶۶
۵	تیمار آبخوانداری	اندام هوایی	۴۰۰	۲۰۵
۶	تیمار آبخوانداری	ریشه	۱۲۱۱	۶۰۸
۷	شاهد آبخوانداری	اندام هوایی	۳۶۳	۱۲۲
۸	شاهد آبخوانداری	ریشه	۱۰۴	۴۷

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 قرار گیرند که به میزان ۲۶ تن در هکتار است تفاوت آنها روشن است. 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-سیلته نسبت به سایر بافت‌های خاک بیشتر بوده و همچنین این قابلیت در شرایط مدیریت پخش سیلاب بیشتر بروز کرده است. در جدول (۳) 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 بدست آورد.

به منظور مقایسه مقادیر میانگین ترسیب کربن گونه‌های درختی مورد نظر از آزمون کروسکال والیس در نرم افزار مینی تب استفاده شد. همان گون که در جدول (۴) مشاهده می‌شود، مقادیر میانه داده‌های ترسیب کربن گونه‌های مورد بررسی تفاوت ناچیزی دارند. اما میانگین رتبه آنها تفاوت قابل ملاحظه ای را نشان می‌دهد. به طوری که اختلاف بین بالاترین رتبه یعنی بادام کوهدشت و پائین رتبه یعنی انجیر رومشکان ۴۶/۳ می‌باشد. بنابراین موارد و مقدار  $p\_value$  حاصل که کمتر از ۰/۰۱ می‌باشد فرض عدم تساوی میانگین ترسیب کربن در گونه‌های درختی مورد بررسی پذیرفته می‌شود.

جدول ۳ - برآورد میزان ترسیب کربن عملیات مختلف مکانیکی در حوضه های معرف

ردیف	نوع سازه	حجم (هکتار)	میزان ترسیب کربن تن در هکتار	کل ترسیب کربن برای عملیات مختلف (تن در هکتار)	محل اجرا
۱	نهاد کاری	۱۰۵		۴۷۷۳	ریمله
۲	تورکینست	۷۵	۴۶/۴۵	۳۴۰۹	
۳	گابیون	۸۵۰		۳۸۶۴۱	
۴	خشکه چین	۴۰۰		۱۸۱۸۴	
۵	تراس بندی	۳۰		۱۳۶۴	
۶	سکوبندی	۸		۳۶۴	
۷	بانکت	۲۰		۱۰۹۵۷	آبخوان کوهدشت
۸	تورکینست	۸۰	۷۸/۵۴	۴۳۸۲	
۹	چاله های فلسی	۲۰		۱۰۹۶	
۱۰	پخش سیلاب	۲۰		۱۰۹۶	
۱۱	نهاد کاری	۲۵۳۰		۱۳۸۵۹	
۱۲	بانکت	۱۰۰۰		۷۸۳۸۵	پخش سیلاب
۱۳	بند خاکی	۹۳۴	۳۸۵/۷۸	۷۳۲۱۱	
۱۴	نهاد کاری	۱۰۰۰		۷۸۳۸۵	

جدول ۴ - نتایج آزمون کروسکال والیس برای مقایسه میانگین ترسیب کربن گونه های درختی

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

با عنایت به وسعت ۷۲ هکتاری پخش سیلاب رومشکان و ۲۰ هکتاری پروژه آبخوان کوهدشت با توجه به جدول زیر (جدول ۵) کل میزان کربن رسوب شده در اثر انجام عملیات بیومکانیکی آبخیزداری سایت های مورد مطالعه به شرح زیر می باشد.

جدول ۵ - میزان کل کربن ترسیب شده در اثر انجام عملیات بیومکانیکی در سایتهای مورد مطالعه (هکتار / تن)

ردیف	نام حوضه مورد مطالعه	وسعت (هکتار)	میزان کربن ترسیب شده (تن)	میزان کربن ترسیب شده در سطح حوزه (هکتار / تن)
۱	پخش سیلاب رومشکان	۷۲	۲۸۰۳/۶۹	۳۸/۹۴
۲	آبخوان کوهدشت	۲۰	۶۸/۱۴	۳/۴۱
	جمع کل	۹۲	۲۸۷۱/۸۳	۳۱/۲۲

## نتیجه گیری

با توجه به نتایج آزمایشات و تحلیل اطلاعات به دست آمده در حوضه های مورد مطالعه مشخص شد که توان ترسیب کربن حوضه هایی که در آن ها عملیات بیولوژیکی آبخیزداری صورت گرفته است بسیار بالا است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می دهد در سایت های مورد مطالعه که عملیات بیولوژیکی آبخیزداری در آن ها صورت گرفته، دارای مدیریت صحیح و کنترل شده هستند شرایط ترسیب کربن نسبت به مناطقی که فاقد هر گونه مدیریت هستند مطلوب تر است. به عنوان مثال در پروژه حوضه تیمار ریمله توان نمونه های 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 می باشد 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 ذخیره ای را با مقدار ۲۰/۸۸ تن در هکتار داراست که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت.

فعالیت های بیولوژیکی آبخیزداری شرایط افزایش ترسیب کربن را فراهم می آورد. با توجه به مقایسه بین مناطق شاهد با محل نمونه گیری در حوضه های تیمار که عملیات بیولوژیکی آبخیزداری در آن ها صورت گرفته، مشخص شد در مکان هایی که پروژه های بیولوژیکی در آن ها صورت پذیرفته شرایط ترسیب کربن به مراتب فراهم تر است. به گونه ای که مقدار ترسیب کربن در حوضه آبخیزداری به طور 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 توسط گونه بنه ۱۲/۷۸ تن در هکتار است. همچنین (Alizadeh و همکاران، ۲۰۱۱). در برآورد مقدار ترسیب کربن خاک در مراتع استپی رود شور ساوه دست یافتند که میزان کل ذخیره کربن در تیمارهای مختلف و نیز در خاک پای گیاهان و حد فاصل بین آنها با همدیگر اختلاف دارد. دلیل این اختلاف حضور گونه های گیاهی است که تأثیر به سزایی در ترسیب کربن هر منطقه داشته است که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت.

با بررسی های انجام شده مشخص شد، میزان ذخیره کربن برآورد شده با توجه به نوع عملیات بیولوژیکی و نمونه های حاصل بیانگر تفاوت های قابل توجهی است. بدین منظور رتبه بندی عملیات مختلف بیولوژیکی آبخیزداری به لحاظ نقش آن ها در ترسیب کربن، در قالب شش پروژه عملیات بیولوژیکی در محدوده دو حوضه مورد مطالعه و در مقایسه با نمونه های شاهد هر حوضه انجام شد. نتایج نشان می دهد عملیات بیولوژیکی بذکاری 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 شده در دو حوضه نیز در کل مشخص می شود، پروژه های بیولوژیکی انجام شده در حوضه ریمله از نظر ترسیب کربن موفق تر بوده اند.

محاسبات بعمل آمده در این پژوهش نشان داد که در گونه های 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 بطور مشترک بیشترین مقدار ترسیب کربن را به خود اختصاص داده اند. همچنین بررسی ها نشان می دهد که برگ تمامی گونه های مورد مطالعه کمترین نقش را در این زمینه داشته یعنی بخش هایی نظیر شاخه، تنه و ساقه بیشترین ضریب کربن را دارد. همچنین نتایج نشان می دهد که در گونه های درختی مثمر و غیر مثمر مورد مطالعه گونه اکالیپتوس بیشترین توان ترسیب کربن را داشته و در بین اندام های مختلف گونه مذکور نیز بخش های خشبی نظیر شاخه بیشترین ضریب ترسیب کربن را دارا می باشد.

(Ritchie و McCarty، ۲۰۰۰) نشان دادند که خاک ها مخزن اصلی کربن آلی در اکوسیستم ها هستند، در عین حال مجموعه عملیاتی که باعث کنترل خاک ناشی از فرسایش می گردند نیز در آماده سازی بستر ترسیب کربن موثرند. آنها اظهار داشتند مدیریت منابع خاکی و به خصوص کنترل فرسایش و رسوب می تواند سبب مهیا نمودن ترسیب کربن شود. فعالیت های مکانیکی و بیومکانیکی آبخیزداری در کنار فعالیت های بیولوژیکی شرایط را برای افزایش ترسیب کربن فراهم می آورد با توجه به نتایج آزمایشات و تحلیل اطلاعات به دست آمده از سایت های مورد مطالعه، مشخص گردید در پروژه بیومکانیکی پخش سیلاب رومشکان که گونه اکالیپتوس کشت شده است، شرایط ترسیب کربن نسبت به سایر گونه های کشت شده در سایت های ریمله و آبخوان مطلوبتر بوده و میزان آن به

طور میانگین ۳۷/۳۱ تن در هکتار می باشد .

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 توسط آوندها و در نهایت ریشه‌ها به درون خاک دانست. (Aradottir و همکاران، ۲۰۰۰). (Batjes، ۱۹۹۶). نشان دادند بیشترین سهم از کربن ترسیب شده به بخش خاک اختصاص یافته و خاک بزرگترین مخزن ذخیره کربن محسوب می‌شود که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت. در مجموع میزان ترسیب کربن خاک حاصل از عملیات مکانیکی، برای سه حوضه معرف ریمله، رومشگان و کوه‌دشت به ترتیب ۴۵/۷، ۷۸/۴، 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 رومشگان با میزان ترسیب کربن ۷۸/۴ تن در هکتار پروژه موفق از لحاظ ترسیب کربن با اعمال مدیریتی کارآ و انجام عملیات آب‌خیزداری است.

#### منابع:

- Ardo, J. L. Olsson. 2003. Assessment of soil organic carbon in semiarid Sudan using GIS and the CENTURY model. *J. of Arid Environ.* 2:83-99.
- Derner, J.D. and Schuman, G.E. 2007. Carbon sequestration and rangelands: A synthesis of land management and precipitation effects, *Journal of Soil and Water Conservation*, 62: 2, 77-85.
- Fang, S., Xue, J. and L. Tang. 2006. Biomass production and carbon sequestration potential in polar plantations with different management patterns. *J. Environ. Manag.* 85:672-679.
- Girmay Reda, A. 2017. Framework for Carbon Sequestration and Accounting of SLM Practices for Climate Change Mitigation in Ethiopia
- Grunzweig, J.M., T. Lin, and A. Yakir. 2003. Carbon sequestration in arid land forest. *Global Change Biol.* 9: 791-799.
- Henry, M., Besnard, A., Asante, W.A., Eshun, J., Adu-Bredu, S., Valentini, R., Bernoux, M and Saint-André, L. 2010. Wood density, phytomass variations within and among trees, and allometric equations in a tropical rainforest of Africa. *Forest Ecology and Management* 260: 1375–1388.
- IPCC. 2000. Land-use, land-use change, and forestry. In: Watson, R.T., Noble, I.R., Bolin, B., Ravindranath, N.H., Verardo, D.J., Dokken, (Eds.). A Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma* 123: 1–22
- Lal, R. 2008. The Role of Soil Organic Matter in the Global Carbon Cycle. *Soil and Environ. Pollut.* 116, 353–362.
- 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 J. of Soil Sci.* ISSN. 1816-4978.
- 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. *Soil Biol. and Biochem.* 38:3188-3198.
- 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, Northeast China. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 113:73–81.
- Liu S.L. X.D. Guo. B.J. Fue. 2007. The effects of environmental factors on soil characteristics at different scales in the transition zone of loess plateau in China. *Soil Use and Manag.* 23-92-99.
- Marshall, A.R., Willcock, S., Platts, P.J., Lovett, J.C., Balmford, A., Burgess, N.D., Latham, J.E., Munishi, P.K.T., Salter, R., Shirima, D.D. and Lewis, S.L. 2012. Measuring and modeling aboveground carbon and tree allometry along a tropical elevation gradient. *Biological Conservation*, Article in press.
- 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. *Soil Biology & Biochemistry.* 36:917–925.
- Povirk K.L., J.M. Welker G.F. Vance. 2001. Carbon sequestration in arctic Tundra and mountain meadow ecosystems, Lewis Publisher, Washington. Pp.189-228.
- soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52, 1114–1117.
- 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.

Su-Yong, Z. and Zhao, H. L. 2003. Influences of grazing and enclosure on carbon sequestration in degraded sandy grassland. Inner mongolia, north china, New Zealand Journal of Agricultural Research 46:4, 321 - 328.