تاثیر کاربری اراضی در ترسیب و ذخیره‌سازی کربن آلی خاک

محمد جواد روستا*[۱]، سید مسعود سلیمان‌پور[۲]، کوکب عنایتی[۳]، کورش کمالی[۴]

۱*- دانشیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران (*m.roosta@areeo.ac.ir*)

۲- استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران (*m.soleimanpour@areeo.ac.ir*)

۳- کارشناس‌ارشد بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران (*enayatik@yahoo.com*)

۴- استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گیلان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران (*kamali_kourosh@yahoo.com*)

چکیده

ماده‌ی آلی یکی از شاخص‌های مهم کیفیت خاک و پایداری آن در برابر انواع فرسایش آبی و بادی محسوب می‌شود. با نمونه‌برداری از خاک و گیاهان در کاربری‌های مختلف، مقدار کربن آلی اندازه‌گیری و در نهایت کل ذخیره‌ی کربن محاسبه شد. داده‌ها، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با استفاده از نرم‌افزار **SAS** تجزیه و تحلیل آماری شده و میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد مقایسه شدند. نتایج نشان داد که که تأثیر کاربری‌های مختلف بر درصد کربن آلی و ذخیره‌ی کربن در خاک و گیاه در سطح یک درصد معنی‌دار شد. جنگل‌کاری با اوکالیپتوس کامالدولنسیس همراه با پخش‌سیلاب، میزان کربن آلی خاک را از ۰/۵۱ درصد در شاهد (اوکالیپتوس بدون پخش‌سیلاب) به ۱/۶۸ درصد در نوار اول جنگل اوکالیپتوس افزایش داد (۳/۲۹ برابر). با محاسبه‌ی میانگین عرصه-هایی که در آن‌ها اوکالیپتوس کاشته شده بود، مشخص شد بیشترین کربن به میزان ۱۲۱/۸۴ تن در هکتار در این کاربری در درختان، لاشبرگ و در خاک زیر پوشش آن‌ها ذخیره شده است. با توجه به این که هر تن کربن، معادل ۳/۶۷ تن دی‌اکسیدکربن است، می‌توان نتیجه گرفت که هر هکتار از جنگل اوکالیپتوس ۴۴۷/۱۵ تن دی‌اکسیدکربن هوا را به‌صورت ماده‌ی آلی ذخیره کرده است. بنابراین، به‌منظور بهبود توان ذخیره‌ی کربن در خاک و به دنبال آن کاهش میزان فرسایش بادی، کاشت گونه‌های بومی و سازگار چندساله در سامانه‌های پخش‌سیلاب پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: ذخیره‌ی کربن، پخش‌سیلاب، اوکالیپتوس، آکاسیا، فارس

مقدمه

شخم زدن دیم‌زارها و چرای بی‌رویه (با کاهش مواد آلی خاک) از مهمترین عوامل موثر بر فرسایش بادی در دشت گربایگان فسا ذکر شده است. گسترش سیلاب یکی از روش‌های مؤثر در مهار سیلاب‌ها، تغذیه‌ی آبخوان‌ها و جلوگیری از بیابان‌زایی است (Kowsar، ۱۹۹۲). راه‌های پیشگیری و مهار ریزگردها به روش‌های زیستی (پوشش گیاهی و کمربندهای جنگلی)، مکانیکی (استفاده از پوشش-های کاه و کلش گندم، برنج، شن، سنگریزه، خاک اره، رس مونت‌موریلونیت، برگ گیاهان، لیگنین، کودهای گیاهی و حیوانی برای تثبیت تپه‌های شنی)، شیمیایی (مالچ‌های نفتی)، مهندسی (استفاده از حصارهای سیمی) و اقتصادی و اجتماعی (شامل سیاست‌های بهسازی زمین، استراتژی‌های کاهش فقر) تقسیم‌بندی می‌شوند (شاهسونی و همکاران، ۱۳۸۹).

خاک، بزرگ‌ترین ذخیره‌گاه کربن آلی در سطح زمین است، به‌طوری که میزان کربن ذخیره شده در خاک بیش از سه برابر مقدار آن در اتمسفر می‌باشد (Kochy و همکاران، ۲۰۱۵). غلظت CO_2 موجود در اتمسفر و دیگر گازهای گلخانه‌ای (GHGs) را می‌توان با کاهش انتشار CO_2 به اتمسفر و یا با جذب آن از اتمسفر از طریق فتوسنتز و ذخیره‌ی آن در خشکی‌ها، اقیانوس‌ها و اکوسیستم‌های آب

شیرین کاهش داد (Bruce و همکاران، ۱۹۹۹). ترسیب کربن به‌وسیله‌ی جنگل‌ها، مراتع، توده‌های جنگل‌کاری شده و خاک، مناسب-ترین راهکار کاهش کربن اتمسفری می‌باشد. ترکیبی از تمامی این فعالیت‌ها می‌تواند با کاهش غلظت دی‌اکسیدکربن اتمسفری، به متعادل کردن فرآیند گرم شدن زمین کمک کند (باده‌یان، ۱۳۸۵). مقدار ترسیب و کیفیت ذخیره‌ی کربن در خاک بستگی به تعامل میان آب و هوا، خاک، گونه‌های درختی، ترکیبات شیمیایی لاشبرگ و مدیریت آن‌ها دارد (Lal، ۲۰۰۵). نجم‌الدینی (۱۳۹۲) دریافت که میزان کربن ذخیره شده با نوع پوشش گیاهی رابطه‌ی مستقیم و مثبت دارد؛ به‌طوری که بین میزان ذخیره‌ی کربن پوشش گیاهی و فرم‌های متفاوت رویشی نظیر علوفه‌ای، بوته‌ای و خشبی و گستردگی سطوح اندام‌های گیاهی با میزان کربن ذخیره شده رابطه‌ی مثبت و معنی‌داری وجود داشت. تمرتاش و همکاران (۱۳۹۱) پتانسیل ذخیره‌ی کربن در خاک درختچه‌های انار وحشی و گونه‌های بوته‌ای چندساله و علفی یکساله مراتع جلگه‌ای میانکاله‌ی شهرستان بهشهر را به‌ترتیب ۱۲/۵، ۷/۲ و ۲ تن در هکتار در سال برآورد کردند. این پژوهشگران اظهار کردند که ذخیره‌ی کربن در خاک با درصد پوشش گیاهی، نوع گونه‌های گیاهی، مقدار لاشبرگ و بقایای گیاهی، نوع کاربری اراضی و مدیریت ارتباط دارد. به‌طوری که اگر در منطقه‌ای، پوشش‌گیاهی خوب مستقر شود، در بلندمدت میزان کربن آلی خاک افزایش می‌یابد. بررسی تأثیر گونه‌های سرو نقره‌ای، سروخمره‌ای، زبان‌گنجشک و اقاقیا بر ویژگی‌های خاک نشان داد که اسیدیته، درصد کربن آلی و نیتروژن کل در خاک زیرپوشش سوزنی‌برگان کمتر از خاک زیر پوشش پهن‌برگان بود (شعبانیان و همکاران، ۱۳۸۹). ورامش و همکاران (۱۳۸۹) میزان ذخیره‌ی کربن در خاک زیرپوشش اقاقیا و کاج تهران را به‌ترتیب، ۷۸/۱۹ و ۵۷/۰۰ تن در هکتار گزارش‌کردند. باده‌یان و همکاران (۱۳۹۳) ارزش کارکرد ترسیب کربن در توده‌ی خالص راش را ۹/۵ میلیون ریال (هکتار در سال) و توده‌ی آمیخته‌ی راش را ۸/۳ میلیون ریال (هکتار در سال) محاسبه کردند. محمودی‌طالقانی و همکاران (۱۳۸۶) به این نتیجه رسیدند که تأثیر ترکیب گونه‌ای و تیپ جنگل در فرایند ترسیب کربن در افق‌های آلی و معدنی خاک بسیار اثرگذار است. نوبخت و همکاران (۱۳۸۹) در مقایسه‌ی میزان ترسیب کربن خاک در جنگل‌کاری‌های خالص سوزنی‌برگ و پهن‌برگ در مازندران به این نتیجه دست یافتند که میزان ترسیب کربن در خاک توده‌ی پیسهآ بیش‌تر از کاج سیاه، ون، و بلوط بلند مازو است. نتایج پژوهش‌های Dinakaran و Krishnayya (۲۰۰۸) نشان داد نوع پوشش تأثیر معنی‌داری بر ذخیره‌ی کربن خاک می‌گذارد. به طوری که مقدار ذخیره‌ی کربن در خاک بستگی به مقدار ورودی کربن به خاک از راه بقایای گیاهی و هدررفت کربن از راه تجزیه دارد. برای افزایش کربن در خاک، باید فعالیت‌های مدیریتی نظیر افزایش میزان کربن وارد شده به خاک از طریق اضافه شدن لاشبرگ و بقایای گیاهی و نیز کاهش میزان تجزیه‌ی مواد آلی خاک اقدام گردد. سرعت تجزیه‌ی مواد آلی خاک تحت تأثیر وضعیت خاک (رطوبت، دما و دسترسی به اکسیژن)، ترسیب مواد آلی، قرار گرفتن مواد آلی در نیم‌رخ خاک و میزان حفاظت فیزیکی خاکدانه‌ها قرار می‌گیرد. در اثر عوامل مؤثر بر ترسیب یا تجزیه‌ی کربن در برخی از موارد، میزان ترسیب کربن از میزان تجزیه‌ی آن بیش‌تر و در برخی موارد نیز بر-عکس است (Bruce و همکاران، ۱۹۹۹). با توجه به نقش و اهمیت کربن آلی در پایداری خاک در برابر انواع فرسایش از جمله فرسایش بادی،این پژوهش، با هدف ارزیابی میزان تأثیر کاربری‌های مرتع بدون پخش‌سیلاب، مرتع با پخش‌سیلاب، جنگل‌کاری با اوکالیپتوس با و بدون پخش‌سیلاب و جنگل‌کاری با آکاسیا همراه با پخش سیلاب بر میزان ذخیره‌ی کربن در پوشش‌های گیاهی و در خاک انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال‌های ۱۳۹۸-۱۳۹۶ در ایستگاه تحقیقاتی، آموزشی و ترویجی پخش‌سیلاب و آبخوان‌داری کوثر، در دشت گربایگان فسا انجام شد. پخش‌سیلاب برای تغذیه‌ی آبخوان‌ها از سال ۱۳۶۱ در پهنه‌ای به وسعت ۲۲۰۰ هکتار در این دشت اجرا شده است. ایستگاه کوثر در ۵۰ کیلومتری جنوب‌شرقی فسا در موقعیت ۲۸ درجه و ۳۸ دقیقه‌ی عرض‌شمالی، و ۵۳ درجه و ۵۵ دقیقه‌ی طول شرقی بر مخروط‌افکنه‌ای با مساحت ۱۹۲ کیلومتر مربعی بیشه‌زرد در بخش شیب‌کوه و دهستان میان‌ده واقع شده است. شیب عمومی منطقه ۶ در هزار است که بین خط ارتفاعی ۱۱۴۰ تا ۱۱۶۰ متر از سطح دریا قرار گرفته است. بر اساس آمار ۲۳ ساله (۱۳۹۷- ۱۳۷۵) این ایستگاه، شاخص‌های آب و هوایی منطقه به این شرح است: میانگین بارش سالانه، ۲۱۹ میلی‌متر؛ دمای بیشینه، ۴۶ درجه‌ی سانتی‌گراد؛ دمای‌کمینه، ۸- درجه‌ی سانتی‌گراد؛ میانگین دمای سالانه، ۲۰ درجه‌ی سانتی‌گراد؛ میانگین تبخیر سالانه، ۲۵۴۸ میلی‌متر؛ متوسط تعداد روزهای یخبندان، ۲۷ روز در سال (قهاری، ۱۳۹۸). از ابتدا، وسط و انتهای هر نوار پخش‌سیلاب در

کاربری‌های مختلف و همچنین از قطعه‌ی شاهد (بدون پخش‌سیلاب)، نمونه‌برداری از گیاهان و خاک انجام شد. کاربری‌هایی که از آن‌ها نمونه‌برداری شد به شرح زیر بودند: ۱- مرتع- بدون پخش‌سیلاب- بدون قرق (شاهد)، ۲- مرتع- قرق- بدون پخش‌سیلاب، ۳- شش نوار مرتع- بدون قرق- با پخش‌سیلاب، ۴- مرتع- آتریپلکس دست‌کاشت- با پخش‌سیلاب، ۵- جنگل شاهد اوکالیپتوس- بدون پخش سیلاب، ۶- جنگل اوکالیپتوس- نوار اول- با پخش‌سیلاب- شبکه‌ی بیشه‌زرد ۴، ۷- جنگل اوکالیپتوس- نوار دوم- با پخش سیلاب- شبکه‌ی بیشه‌زرد ۴، ۸- جنگل اوکالیپتوس- نوار سوم- با پخش‌سیلاب- شبکه‌ی بیشه‌زرد ۴، ۹- جنگل آکاسیا- با پخش سیلاب- شبکه‌ی بیشه‌زرد ۴.

در مجموع، تعداد ۵۷ نمونه ساده‌ی خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر و ۵۴ نمونه‌ی گیاه برداشت شد. پس از تهیه‌ی نمونه‌های‌خاک، هوا خشک کردن و عبور دادن از الک ۲ میلی‌متری، میزان کربن آلی (OC) نمونه‌ها بر مبنای پژوهش‌های Nelson و Sommers (۱۹۸۶) به روش والکلی-بلاک اندازه‌گیری شد. جرم مخصوص ظاهری خاک در نزدیکی هر نقطه‌ی نمونه‌برداری، با استفاده از روش استوانه (core sampler)، تعیین شد. سپس، با توجه به جرم مخصوص ظاهری (BD) و عمق‌خاک (D)، میزان کربن آلی ذخیره شده (Cs) در لایه‌ی ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک از رابطه‌ی زیر محاسبه شد.

$$Cs = OC\ (\%) \times BD\ (g/cm^3) \times D\ (cm)$$

در مورد میزان کربن آلی در عرصه‌ی مرتع-با پخش‌سیلاب، میانگین نوارهای اول و دوم به‌عنوان تکرار ۱، میانگین نوارهای سوم و چهارم به‌عنوان تکرار ۲ و میانگین نوارهای پنجم و ششم به‌عنوان تکرار ۳ در نظر گرفته شد.

به‌منظور نمونه‌برداری از گیاهان بوته‌ای، ابتدا با توجه به نتایج پژوهش فروزه (۱۳۸۵)، گیاهان غالب هلیانتموم (*Heliantemum lippii*)، دندورا (*Dendrostellera lessertii*) و درمنه‌ی دشتی (*Artemisia sieberi*) در شش نوار مرتع با پخش‌سیلاب و همچنین در قطعه‌ی شاهد (بدون پخش‌سیلاب) شناسایی شد. در هر نوار و در قطعه‌ی شاهد، برای محاسبه سطح تاج پوشش، قطرهای متقاطع سه بوته از این گیاهان در ابتدا، وسط و انتهای هر نوار و در شاهد اندازه‌گیری شد. سپس کل اندام هوایی گیاه برداشت و توزین گردید. برای تعیین وزن خشک گیاه، درصد رطوبت نمونه‌های تهیه شده از هر گیاه با استفاده از آون در دمای ۷۵ درجه‌ی سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت تعیین شد. با تعیین وزن خشک هر بوته و تقسیم آن بر عدد سطح پوشش، در نهایت وزن خشک اندام هوایی هر گیاه بر حسب کیلوگرم در هکتار محاسبه گردید. با توجه به نسبت ریشه به اندام هوایی بوته‌ها (فروزه، ۱۳۸۵ و مهدوی و همکاران، ۱۳۸۸)، میزان وزن خشک ریشه‌ها نیز محاسبه شد. با جمع وزن‌خشک اندام هوایی و وزن خشک ریشه‌ها، میزان وزن خشک کل هر بوته محاسبه شد. سپس، با ضرب‌کردن عدد وزن خشک به دست آمده در درصد تاج پوشش هر گیاه، میزان وزن خشک کل در هر هکتار محاسبه گردید. در کاربری مرتع با پخش‌سیلاب، میانگین وزن خشک گیاهان نوارهای اول و دوم به‌عنوان تکرار ۱، میانگین نوارهای سوم و چهارم به‌عنوان تکرار ۲ و میانگین نوارهای پنجم و ششم به‌عنوان تکرار ۳ در نظر گرفته شد. در کاربری‌های جنگل اوکالیپتوس (نوارهای یک، دو و سه بیشه‌زرد چهار) از ابتدا، وسط و انتهای هر نوار و در کاربری جنگل شاهد اوکالیپتوس (بدون پخش‌سیلاب) و همچنین در جنگل آکاسیا، سه درخت به صورت تصادفی انتخاب شد. پس از قطع درختان، اقدام به جداسازی تنه، شاخه‌ها و برگ‌ها گردید. علاوه بر این، میزان لاشبرگ تولید شده در زیر درختان نیز با قرار دادن سه پلات یک متر مربعی در هر نوار (قطعه)، جمع-آوری و توزین شد. سپس، با قرار دادن نمونه‌هایی به وزن ۱۰ گرم در آون با دمای ۷۵ درجه‌ی سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت، پس از تعیین درصد رطوبت آن‌ها، وزن خشک قسمت‌های مختلف و وزن خشک اندام هوایی هر درخت محاسبه گردید. با توجه به داده‌های بردبار (۱۳۸۴) با در دست داشتن نسبت ریشه به اندام هوایی، وزن خشک ریشه محاسبه شد. با جمع ارقام مربوط به وزن خشک اندام هوایی و ریشه، وزن‌خشک کل درخت تعیین شد. نمونه‌های خشک شده توسط آسیاب برقی پودر شده و میزان کربن آلی موجود در نمونه گیاهان بوته‌ای و درختی (شامل تنه، شاخه، برگ) و لاشبرگ، به روش خاکستر کردن در کوره‌ی الکتریکی به مدت ۴ ساعت در دمای ۵۵۰-۵۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد (Rice، ۲۰۰۰). میزان کل ذخیره‌ی کربن توسط هر درخت، از مجموع ذخیره‌ی کربن توسط تنه، شاخه، برگ و ریشه به دست آمد. با شمارش درختان اوکالیپتوس و آکاسیا و با توجه به مساحت زیر پوشش این درختان در قطعات مورد بررسی، مقدار ذخیره‌ی کربن در هکتار محاسبه گردید. میزان کل ذخیره‌ی کربن در هر کاربری (تیمار)، از مجموع میزان ذخیره‌ی کربن در خاک و زیست‌توده‌ی گیاهی و در مورد درختان با اضافه کردن میزان ذخیره‌ی کربن ناشی از لاشبرگ، محاسبه شد. داده‌های به دست آمده از اندازه‌گیری‌های مختلف، با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل

تصادفی تجزیه و تحلیل شده و میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه‌ی واریانس داده‌های مربوط به جرم مخصوص ظاهری، درصد کربن آلی و میزان ذخیره‌ی کربن در خاک در جدول ۱ نشان داده شده است. با توجه به نتایج جدول ۱، مشخص می‌شود که تأثیر کاربری‌های مختلف، بر جرم مخصوص ظاهری، درصد کربن آلی و میزان ذخیره‌ی کربن در خاک در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد. نتایج مقایسه‌ی میانگین ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در کاربری-های مختلف در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱- تجزیه‌ی واریانس ویژگی‌های مورد مطالعه در کاربری‌های مختلف

منابع تغییرات	درجه‌ی آزادی	میانگین مربعات		
		جرم‌مخصوص‌ظاهری	درصد کربن آلی	میزان ذخیره‌ی کربن
تکرار	۲	۰/۰۰۱۷	۰/۰۴۶۱	۳۲/۹۹
تیمار (کاربری‌های مختلف)	۸	۰/۰۶۰۶**	۰/۶۱۹۵**	۸۱۸/۰۵**
خطا	۱۶	۰/۰۰۳۴	۰/۰۱۵۹	۹/۴۰
ضریب‌تغییرات	-	۴/۸۴	۲۰/۲۱	۱۲/۵۳

** معنی‌دار در سطح ۱ درصد

جدول ۲- مقایسه‌ی میانگین ویژگی‌های خاک در کاربری‌های مختلف (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر)

کاربری	جرم‌مخصوص‌ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	کربن آلی (درصد)	میزان ذخیره‌ی کربن (تن‌درهکتار)
مرتع- بدون‌پخش‌سیلاب- بدون قرق (شاهد)	۱/۴۸ a	۰/۱۴ e	۶/۲۲ e
مرتع- قرق- بدون پخش‌سیلاب	۱/۴۵ a	۰/۲۰ e	۸/۶۱ e
مرتع- بدون قرق- پخش‌سیلاب	۱/۴۳ a	۰/۴۳ d	۱۸/۲۶ d
مرتع- آتریپلکس‌دست‌کاشت	۱/۴۹ a	۰/۵۴ cd	۲۴/۱۲ cd
جنگل شاهد اوکالیپتوس- بدون پخش‌سیلاب	۱/۴۷ a	۰/۵۱ cd	۲۲/۳۹ cd
جنگل اوکالیپتوس- پخش‌سیلاب- نوار اول	۱/۲۳ b	۱/۶۸ a	۶۱/۸۶ a
جنگل اوکالیپتوس- نوار دوم	۱/۴۳ a	۰/۸۶ b	۳۶/۸۳ b
جنگل اوکالیپتوس- نوار سوم	۱/۰۷ c	۰/۷۱ bc	۲۲/۷۸ cd
جنگل‌آکاسیا - پخش‌سیلاب	۱/۴۱ a	۰/۵۵ cd	۲۳/۱۴ cd

* در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف‌مشترک، از نظر آماری با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

میانگین جرم مخصوص ظاهری خاک، در کاربری‌های مختلف، نشان‌داد که جنگل اوکالیپتوس (نوار سوم) در سامانه‌های پخش‌سیلاب دارای کم‌ترین جرم مخصوص ظاهری در مقایسه با سایر کاربری‌ها بود و تفاوت این کاربری با کاربری‌های دیگر از نظر آماری معنی‌دار گردید. نوار اول جنگل اوکالیپتوس دارای بیش‌ترین درصد کربن آلی و بیش‌ترین میزان ذخیره‌ی کربن در خاک بود و تفاوت آماری این دو ویژگی در این کاربری با سایر کاربری‌ها معنی‌دار شد. در میان کاربری‌های مورد بررسی، کم‌ترین میزان ذخیره‌ی کربن مربوط به کاربری‌های شاهد و مرتع‌قرق بدون پخش‌سیلاب بود.

نتایج تجزیه‌واریانس اثر کاربری بر وزن‌خشک و ذخیره‌ی کربن به‌وسیله‌ی سه گونه‌ی مرتعی هلیانتموم، دندورا و درمنه در جدول ۳ نشان داده شده است. با توجه به این جدول مشخص می‌شود که اثر کاربری، گونه‌ی گیاه و اثر متقابل آن‌ها بر وزن خشک گیاه و میزان ذخیره‌ی کربن در گیاه در سطح ۱ درصد معنی‌دار شده است.

جدول ۳- تجزیه‌ی واریانس تأثیر کاربری و گونه‌ی گیاه بر وزن خشک و ذخیره‌ی کربن در گونه‌های مرتعی غالب

منابع تغییرات	درجه‌ی آزادی	میانگین مربعات	
		وزن خشک	ذخیره‌ی کربن در گیاه
تکرار	۲	۱۰۶۶۳۳/۵۴	۲۵۱۳۵/۵۹
کاربری	۲	۹۵۸۴۴۴/۳۶**	۲۳۸۵۹۲/۱۵**
گونه‌ی گیاه	۲	۵۶۹۷۳۲/۶۷**	۱۳۳۰۹۶/۹۰**
گونه‌ی گیاه × کاربری	۴	۴۹۳۰۰۶/۰۶**	۱۵۳۴۲۶/۴۹**
ضریب تغییرات (درصد)	-	۲۱/۶۶	۱۸/۸۹

** معنی‌دار در سطح ۱ درصد

اثر متقابل کاربری و گونه‌ی گیاهی بر وزن خشک گیاه و ذخیره‌ی کربن به‌وسیله‌ی گیاه در جدول ۴ نشان داده شده است. با توجه به این جدول، مشخص می‌شود گونه‌های مرتعی هلیانتموم و دندورا، در کاربری بدون‌قرق با پخش‌سیلاب، بیش‌ترین وزن‌خشک و گونه‌ی هلیانتموم در این کاربری، بیش‌ترین میزان ذخیره‌ی کربن را به خود اختصاص داده است. این موضوع نشان می‌دهد که تأثیر پخش‌سیلاب بر تولید زیست‌توده گیاهی و ذخیره‌کربن بیش‌تر از تأثیر قرق بر این شاخص‌ها بوده‌است. در همه‌ی کاربری‌ها، گونه درمنه کمترین وزن خشک و ذخیره‌کربن را نشان داد. جدول ۵ کل ذخیره‌ی کربن در خاک و گیاهان کاربری‌های مختلف و ارزش زیست محیطی آن را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول، مشخص می‌شود بیش‌ترین میزان ذخیره‌ی کربن در خاک و درختان کاربری جنگل اوکالیپتوس با پخش‌سیلاب و در نتیجه بیش‌ترین مجموع (کل) ذخیره‌ی کربن در این کاربری اتفاق افتاده است. کم‌ترین میزان ذخیره‌ی کربن در خاک و گیاه در کاربری مرتع بدون قرق و بدون پخش‌سیلاب (شاهد) و در نتیجه کم‌ترین مقدار کل ذخیره‌ی کربن به این کاربری اختصاص داشته است (جدول ۵).

جدول ۴- اثر متقابل کاربری و گونه‌ی گیاهی بر میانگین وزن خشک و ذخیره‌ی کربن توسط گیاهان مرتعی غالب

کاربری	گونه‌ی گیاه	وزن خشک (کیلوگرم در هکتار)	ذخیره‌ی کربن(کیلوگرم در هکتار)
بدون‌قرق- بدون پخش‌سیلاب (شاهد)	هلیانتموم	۶۷۱/۶۳ c	۳۸۱/۹۰ d
	دندورا	۱۱۴۵/۸۸ b	۶۳۸/۰۰ c
	درمنه	۱۰۰۲۵/۵ bc	۵۴۷/۱۰ cd
بدون‌قرق- پخش‌سیلاب	هلیانتموم	۲۰۱۳/۹۴ a	۱۱۰۶/۲۰ a
	دندورا	۱۶۰۹/۱۳ a	۸۸۴/۵۰ b
	درمنه	۷۸۰/۹۹ bc	۴۲۹/۳۰ cd
قرق- بدون پخش‌سیلاب	هلیانتموم	۸۰۷/۷۹ bc	۴۵۶/۸۰ cd
	دندورا	۱۱۵۰/۴۰ b	۶۴۵/۶۰ c
	درمنه	۶۵۵/۵۰ c	۴۷۸/۶۰cd

* در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک، از نظر آماری با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

جدول ۵- برآورد میزان کل ذخیره‌ی کربن (تن‌درهکتار) در کاربری‌های مختلف

عرصه	ذخیره‌ی کربن در خاک	ذخیره‌ی کربن در گیاه	ذخیره‌ی کربن در لاشبرگ	کل ذخیره‌ی کربن
مرتع- بدون پخش‌سیلاب- بدون قرق	۶/۲۲	۱/۶۰	-	۷/۸۲
مرتع- قرق- بدون پخش‌سیلاب	۸/۶۰	۲/۶۱	-	۱۱/۲۱
مرتع- بدون قرق- پخش‌سیلاب	۱۸/۲۶	۲/۴۲	-	۲۰/۶۸
مرتع- آتریپلکس دست‌کاشت	۲۴/۱۲	۴/۱۶	-	۲۸/۲۸
جنگل‌شاهد اوکالیپتوس- بدون پخش‌سیلاب	۲۲/۳۹	۱۳/۰۴	۸/۳۰	۴۳/۷۳
جنگل اوکالیپتوس- پخش‌سیلاب*	۴۰/۴۹	۷۷/۳۵	۴/۰۰	۱۲۱/۸۴
جنگل آکاسیا - پخش‌سیلاب	۲۳/۱۴	۳۴/۰۶	۶/۵۵	۶۳/۷۵

* میانگین نوارهای اول، دوم و سوم که با پخش‌سیلاب آبیاری می‌شوند.

جرم مخصوص ظاهری خاک در عرصه‌ی جنگل دست‌کاشت اوکالیپتوس (نوار سوم) به‌طور معنی‌داری کاهش نشان‌داد. علت کاهش معنی‌دار جرم مخصوص ظاهری خاک در کاربری جنگل اوکالیپتوس (جدول ۲)، می‌تواند وجود ریشه‌های سطحی درختان اوکالیپتوس و تجمع مواد آلی از جمله لاشبرگ درختان این عرصه و عرصه‌های ۱ و ۲ در سطح خاک باشد. مقایسه میانگین درصد تخلخل خاک و ضریب پوکی در کاربری‌های مختلف، نشان داد که جنگل متراکم اوکالیپتوس در سامانه‌های پخش‌سیلاب، در مقایسه با سایر کاربری‌ها، باعث افزایش معنی‌دار این ویژگی‌ها شده‌اند (روستا و همکاران، ۱۳۹۷). کم‌ترین مقدار جرم مخصوص ظاهری خاک، بیش‌ترین درصد تخلخل، ضریب پوکی و درصد کربن آلی در خاک عرصه‌های با جنگل متراکم اوکالیپتوس گزارش گردید (روستا و همکاران، ۱۳۹۷). بیش‌ترین مقدار کربن آلی در خاک نوار اول جنگل متراکم اوکالیپتوس مشاهده گردید و علت آن می‌تواند آبگیری بیش‌تر این نوار نسبت به نوارهای دوم و سوم باشد. کم‌ترین میزان کربن آلی مربوط به کاربری مرتع بدون پخش‌سیلاب (شاهد) بود. در اثر پخش سیلاب در مرتع، میزان کربن آلی از ۰/۱۴ درصد به ۰/۴۳ درصد یعنی بیش از دو برابر افزایش یافت (جدول ۲). قرق مرتع بدون پخش‌سیلاب نتوانست باعث افزایش معنی‌دار میزان کربن آلی خاک شود. بنابراین، مشخص می‌گردد وجود رطوبت در خاک که از طریق پخش‌سیلاب تأمین شده، در این شرایط مهم‌تر از تأثیر قرق می‌باشد. علاوه بر این،افزایش میزان رطوبت خاک می‌تواند فرسایش پذیری خاک (فرسایش بادی) را کاهش دهد و مدت زمان فرسایش بادی را کوتاه کند(**Huimin** و همکاران، ۲۰۱۹). **Chepil** (۱۹۵۶) دریافت که با افزایش میزان رطوبت خاک، فرسایش پذیری خاک (فرسایش بادی) ابتدا به آرامی کاهش می‌یابد، سپس به سرعت کاهش می‌یابد و سرانجام در یک نقطه که ذرات خاک دیگر نمی‌توانند فرسایش یابند، تثبیت می‌شود . با این حال، مقدار رطوبت خاک که در آن ذرات خاک دیگر فرسایش نمی‌یابند، در بین انواع خاکها بسیار متفاوت است (راوی و همکاران، ۲۰۰۶) . کاربری مرتع بدون پخش‌سیلاب و بدون قرق (شاهد)، باعث ذخیره‌ی کربن در خاک به میزان ۶/۲۲ تن در هکتار گردید؛ در صورتی که کاربری مرتع بدون پخش‌سیلاب در شرایط قرق، این میزان ذخیره‌ی کربن را تنها به میزان ۱/۳۹ تن در هکتار افزایش داد. در مقایسه با شاهد، پخش-سیلاب در مرتع، باعث افزایش ذخیره‌ی کربن به میزان ۱۲/۰۴ تن در هکتار شد (جدول ۲). عملیات پخش‌سیلاب در مرتع، میزان ذخیره‌ی کربن خاک را از ۶/۲۲ تن در هکتار در شاهد به ۱۸/۲۶ تن در هکتار یعنی به میزان ۱/۹۴ برابر افزایش داد. در صورتی که قرق مرتع باعث شد میزان ذخیره‌ی کربن در خاک به میزان ۳۸/۴۲ درصد بیش‌تر شود (جدول ۲). عملیات پخش‌سیلاب در مرتع دست‌کاشت آتریپلکس باعث شد میزان کربن آلی و ذخیره‌ی کربن خاک به‌ترتیب از ۰/۱۴ درصد و ۶/۲۲ تن در هکتار در شاهد به-ترتیب به ۰/۵۴ درصد و ۲۴/۱۲ تن در هکتار افزایش یابد (جدول ۲). در شرایط عدم پخش‌سیلاب، جنگل‌کاری با اوکالیپتوس، مقدار ۲۲/۳۹ تن در هکتار کربن را در خاک ذخیره نمود. جنگل‌کاری با اوکالیپتوس همراه با عملیات پخش‌سیلاب باعث شد میزان ذخیره‌ی کربن در خاک به ۶۱/۸۶ تن در هکتار افزایش یابد. از مقایسه این دو کاربری می‌توان چنین استنباط کرد که پخش‌سیلاب باعث افزایش ۱/۷۶ برابری میزان ذخیره‌ی کربن در خاک گردیده است (جدول ۲). کاشت درختان اوکالیپتوس همراه با پخش‌سیلاب، میزان کربن آلی خاک را از ۰/۵۱ درصد در کاربری جنگل اوکالیپتوس بدون پخش‌سیلاب به ۱/۶۸ درصد در نوار اول افزایش داد (۳/۲۹ برابر) کاشت درختان آکاسیا همراه با عملیات پخش‌سیلاب، باعث شد میزان کربن آلی و ذخیره‌ی کربن خاک به‌ترتیب به ۰/۵۵ درصد و ۲۳/۱۴ تن در هکتار افزایش یابد (جدول ۲). افزایش توان حفظ رطوبت خاک سبب ایجاد شرایط مساعد برای رشد گیاهی در خاک رویشگاه می‌شود. در اثر پخش سیلاب، محیط مناسبی برای رشد گیاهان ایجاد شده زیرا این محیط حاوی عناصر غذایی بیش‌تری بوده و دارای ظرفیت نگهداری آب بیش‌تری می‌باشد که به تکثیر خودبخودی پوشش گیاهی موجود و گونه‌های مهاجم کمک می‌کند (Yazdian و Kowsar، ۲۰۰۳ و Kowsar، ۱۹۹۲). نتایج این پژوهش با نتایج گزارش شده به‌وسیله‌ی سررشته‌داری (۱۳۸۳)، Schlup و همکاران (۲۰۰۸) هماهنگی دارد ولی با نتایج پژوهش‌های فخری و همکاران (۱۳۸۴) و نصرتی و همکاران (۱۳۹۳) متناقض‌است. جدول ۳ نشان می‌دهد که در کاربری بدون قرق و بدون پخش‌سیلاب (شاهد)، بیش‌ترین و کم‌ترین وزن خشک تولید شده به‌ترتیب مربوط به گونه‌های دندورا و هلیانتموم است. در این کاربری، وزن خشک تولید شده توسط گونه‌های هلیانتموم و درمنه، از نظر آماری در سطح ۵ درصد تفاوتی با یکدیگر ندارد. گونه‌ی دندورا در مقایسه با گونه‌ی هلیانتموم، وزن خشک بیش‌تری تولید کرده و از این نظر دارای تفاوت معنی‌داری با این گونه می‌باشد. هر چند وزن خشک تولید شده توسط گونه‌های دندورا و درمنه از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند. در کاربری بدون قرق و با پخش‌سیلاب، بیش‌ترین و کم‌ترین وزن‌خشک تولید شده به‌ترتیب مربوط به

گونه‌های هلیانتموم و درمنه است. در این کاربری، دو گونه‌ی هلیانتموم و دندورا وزن خشک بیش‌تری نسبت به گونه‌ی درمنه تولید کرده‌اند. به طوری که از این نظر، تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد بین وزن خشک این دو گونه با گونه‌ی درمنه مشاهده می‌شود (جدول ۳). در کاربری قرق بدون پخش‌سیلاب، بیش‌ترین و کم‌ترین وزن خشک تولید شده به‌ترتیب مربوط به گونه‌های دندورا و درمنه است. در این کاربری، وزن خشک تولید شده توسط هلیانتموم و درمنه تفاوت آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارند ولی تفاوت وزن خشک دندورا و درمنه با یکدیگر معنی‌دار است (جدول ۳). در کاربری بدون قرق و بدون پخش‌سیلاب (شاهد)، بیش‌ترین و کم‌ترین ذخیره‌ی کربن به‌ترتیب مربوط به گونه‌های دندورا و هلیانتموم است. در این کاربری، کربن ذخیره شده توسط گونه‌های دندورا و درمنه، از نظر آماری در سطح ۵ درصد تفاوتی با یکدیگر ندارد. گونه دندورا در مقایسه با گونه‌ی هلیانتموم، مقدار کربن بیش‌تری ذخیره کرده و از این نظر دارای تفاوت معنی‌داری با این گونه می‌باشد. هر چند میزان ذخیره‌ی کربن توسط گونه‌های دندورا و درمنه از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند (جدول ۳). در کاربری بدون قرق و با پخش‌سیلاب، بیش‌ترین و کم‌ترین کربن ذخیره شده به‌ترتیب مربوط به گونه‌های هلیانتموم و درمنه است. در این کاربری، دو گونه‌ی هلیانتموم و دندورا مقدار کربن بیش‌تری نسبت به گونه‌ی درمنه ذخیره کرده‌اند. به طوری که از این نظر، تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد بین میزان کربن ذخیره شده در اندام‌های این دو گونه با گونه‌ی درمنه مشاهده می‌شود. در کاربری قرق بدون پخش‌سیلاب، بیش‌ترین و کم‌ترین وزن خشک تولید شده به‌ترتیب مربوط به گونه‌های دندورا و هلیانتموم است. هر چند، میزان کربن ذخیره شده توسط هر سه گونه‌ی هلیانتموم، دندورا و درمنه تفاوت آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارند. جدول ۳ نشان می‌دهد که وزن خشک تولید شده و میزان ذخیره‌ی کربن توسط گونه‌ی هلیانتموم به‌ترتیب از ۶۷۱/۶۳ و ۳۸۱/۹۰ کیلوگرم در هکتار در کاربری بدون قرق و بدون پخش‌سیلاب (شاهد) به‌ترتیب به ۲۰۱۳/۹۴ و ۱۱۰۶/۲۰ کیلوگرم در هکتار در کاربری بدون قرق و با پخش‌سیلاب افزایش یافته و این افزایش‌ها از نظر آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد، یعنی عملیات پخش‌سیلاب به تنهایی باعث افزایش دو برابری وزن خشک و افزایش ۱/۹۰ برابری ذخیره‌ی کربن توسط این گونه شده است. در صورتی‌که قرق مرتع به تنهایی وزن خشک تولید شده و میزان ذخیره‌ی کربن توسط این گونه را به‌ترتیب به ۸۰۷/۷۰ و ۴۵۶/۸۰ کیلوگرم در هکتار یعنی به‌میزان ۲۰/۲۵ و ۱۹/۶۱ درصد افزایش داد ولی این افزایش‌ها در مقایسه با شاهد از نظر آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار نگردید. وزن خشک تولید شده و میزان ذخیره‌ی کربن توسط گونه‌ی دندورا به‌ترتیب از ۱۱۴۵/۸۸ و ۶۳۸/۰۰ کیلوگرم در هکتار در کاربری بدون قرق و بدون پخش‌سیلاب (شاهد) به‌ترتیب به ۱۶۰۹/۱۳ و ۸۸۴/۵۰ کیلوگرم در هکتار در کاربری بدون قرق و با پخش‌سیلاب افزایش یافته و این افزایش‌ها از نظر آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد، یعنی عملیات پخش‌سیلاب به تنهایی باعث افزایش ۴۰/۴۳ درصدی وزن خشک و افزایش ۳۸/۶۴ درصدی ذخیره‌ی کربن توسط این گونه شده است. در صورتی‌که قرق مرتع به تنهایی وزن خشک تولید شده و میزان ذخیره‌ی کربن توسط این گونه را به‌ترتیب به ۱۱۵۰/۴۰ و ۶۴۵/۶۰ کیلوگرم در هکتار یعنی به میزان ۰/۳۹ و ۱/۱۹ درصد افزایش داد و این افزایش‌ها در مقایسه با شاهد از نظر آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار نگردید (جدول ۳). با توجه به جدول ۴، وزن خشک تولید شده و میزان ذخیره‌ی کربن توسط گونه‌ی درمنه به‌ترتیب از ۱۰۰۵/۲۵ و ۵۴۷/۱۰ کیلوگرم در هکتار در کاربری بدون قرق و بدون پخش‌سیلاب (شاهد) به‌ترتیب به ۷۸۰/۹۹ و ۴۲۹/۳۰ کیلوگرم در هکتار در کاربری بدون قرق و با پخش‌سیلاب کاهش یافته ولی این کاهش‌ها از نظر آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشد، یعنی عملیات پخش‌سیلاب در مرتع باعث کاهش ۲۲/۳۱ درصدی وزن خشک و کاهش ۲۱/۵۳ درصدی ذخیره‌ی کربن توسط این گونه شده است. در صورتی که قرق مرتع، وزن خشک تولید شده و میزان ذخیره‌ی کربن توسط این گونه را به‌ترتیب به ۶۵۵/۵۰ و ۴۷۸/۶۰ کیلوگرم در هکتار یعنی به میزان ۳۴/۷۹ و ۱۲/۵۲ درصد کاهش داد، هر چند این کاهش‌ها در مقایسه با شاهد از نظر آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار نگردید. نتایج این پژوهش با نتایج Madeira و همکاران (۲۰۰۲) و Dinakaran و Krishnayya (۲۰۰۸) هماهنگی دارد ولی با نتایج فروزه (۱۳۸۵) متناقض است. از نظر شاخص میزان ذخیره‌ی کربن، در نوار اول کاربری جنگل اوکالیپتوس، بیش‌ترین کربن به‌میزان ۱۲۱/۸۴ تن در هکتار به‌صورت بافت‌های زنده‌ی گیاهی شامل تنه، شاخه و برگ، به شکل لاشبرگ در سطح خاک و به صورت مواد آلی در خاک ذخیره شده است (جدول ۵). با توجه به این که هر تن کربن معادل با ۳/۶۷ تن گاز دی‌اکسید-کربن می‌باشد، می‌توان نتیجه گرفت که مقدار ۴۴۷/۱۵ تن گاز دی‌اکسیدکربن موجود در هوا در خاک به‌صورت ماده‌ی آلی ذخیره شده است. با توجه به ۳۲ سال پخش‌سیلاب در این عرصه‌ها، هر هکتار از خاک عرصه‌ی جنگل متراکم اوکالیپتوس به طور متوسط سالانه ۱۳/۹۷ تن گاز دی‌اکسیدکربن موجود در هوا را به صورت ماده‌ی آلی در خاک ذخیره کرده است. افزایش توان حفظ رطوبت

خاک سبب ایجاد شرایط مساعد برای رشد گیاهی و افزایش ذخیره‌ی تولید لاشبرگ و ذخیره‌ی کربن در خاک محیط می‌گردد. به‌طورکلی، می‌توان گفت که کاشت درختان اوکالیپتوس در عرصه‌های پخش‌سیلاب، باعث افزایش مقدار ماده‌ی آلی خاک از طریق اضافه نمودن شاخ و برگ، بقایای ریشه‌ی درختان، بقایای گیاهان رشد کرده در زیراشکوب درختان و به دنبال آن افزایش فعالیت جانوران‌خاکزی، قارچها و باکتری‌ها شده است. افزایش ۳۴ و ۲۴ برابری جمعیت کل باکتری‌ها، افزایش ۹/۸ و ۴/۲ برابری تعداد باکتری‌های نیتریت‌ساز به‌ترتیب در مکان‌هایی که اوکالیپتوس کاشته‌شده و مراتع طبیعی همراه با پخش‌سیلاب و افزایش ۱/۷ برابری تعداد باکتری‌های نیترات‌ساز در محل‌هایی که اوکالیپتوس کاشته‌شده و با پخش‌سیلاب آبیاری می‌شوند در مقایسه با مرتع بدون پخش‌سیلاب (شاهد) گزارش شده است (روستا، ۱۳۸۶). نتایج این پژوهش با نتایج Madeira و همکاران (۲۰۰۲)، بردبار (۱۳۸۴) و نجم‌الدینی (۱۳۹۲) هماهنگی دارد. Madeira و همکاران (۲۰۰۲) نشان دادند که میزان افزایش کربن موجود در توده‌ی اوکالیپتوس گلوبولوس با تیمارهای مختلف شامل آبیاری، آبیاری و کوددهی، شاهد پس از گذشت ۶ سال، به‌ترتیب ۵/۸۶ و ۷/۸۶، ۷/۸۷ و ۱۱/۴۰ کیلوگرم بر متر مربع بود. آن‌ها چنین نتیجه‌گیری کردند که کمبود رطوبت، مهم‌ترین عامل محدود کننده‌ی رشد است. حسینی و همکاران (۱۳۹۶) گزارش کردند هر هکتار از جنگل‌های پارک کیاسر مازندران ۱۷/۶۱ تن گاز دی‌اکسیدکربن هوا را جذب می‌کند. با توجه به جدول ۵، مشخص می‌شود که در عرصه‌های مرتعی، مقدار کربن ذخیره شده در خاک در مقایسه با گیاه بیش‌تر است. به طوری که سهم خاک در مرتع بدون قرق و بدون پخش‌سیلاب (شاهد) ۷۹/۵۴ درصد و سهم گیاه ۲۰/۴۶ درصد و در مرتع قرق و بدون پخش‌سیلاب، سهم خاک در ذخیره‌ی کربن ۷۶/۷۲ درصد و سهم گیاه ۲۳/۲۸ درصد محاسبه گردید. قرق مرتع به تنهایی باعث شد که میزان ذخیره‌ی کربن در خاک به میزان ۳۸/۲۶ درصد یعنی از ۶/۲۲ به ۸/۶۰ تن در هکتار و میزان ذخیره‌ی کربن در گیاه به میزان ۶۳/۱۲ درصد یعنی از ۱/۶۰ به ۲/۶۱ تن در هکتار افزایش یابد، در صورتی‌که پخش‌سیلاب در مرتع باعث شد میزان ذخیره‌ی کربن در خاک و گیاه نسبت به شاهد، به‌ترتیب به ۱۸/۲۶ و ۲/۴۲ تن در هکتار افزایش یابد. کاشت درختان اوکالیپتوس همراه با پخش‌سیلاب باعث شد میزان ذخیره‌ی کربن در خاک و گیاه از ۲۲/۳۹ و ۱۳/۰۴ تن در هکتار در کاربری جنگل‌کاری با اوکالیپتوس بدون پخش سیلاب به‌ترتیب به ۴۰/۴۹ و ۷۷/۳۵ تن در هکتار افزایش یابد. کاشت درختان آکاسیا همراه با عملیات پخش‌سیلاب، کل ذخیره‌ی کربن را به ۶۳/۷۵ تن در هکتار افزایش داد. تمرتاش و همکاران (۱۳۹۱) اظهار کردند که ذخیره‌ی کربن در خاک با درصد پوشش گیاهی، نوع گونه‌های گیاهی، مقدار لاشبرگ و بقایای گیاهی، نوع کاربری اراضی و مدیریت ارتباط دارد؛ به طوری که اگر در منطقه‌ای، پوشش گیاهی خوب مستقر شود، در بلندمدت کربن آلی خاک افزایش می‌یابد. بین میزان کربن ذخیره شده کل و کربن آلی موجود در خاک رابطه‌ای مستقیم وجود دارد. بنابراین، می‌توان گفت که مدیریت مناسب اراضی مرتعی، تأثیر قابل توجهی در افزایش پوشش گیاهی و ذخیره‌ی کربن در گیاه و خاک دارد. از آنجا که پوشش گیاهی و زیست‌توده‌ی گیاهی بهترتیب، نقش مؤثری در جلوگیری از فرسایش بادی و افزایش ذخیره‌ی کربن و کاهش غلظت گاز دی‌اکسیدکربن دارد، بنابراین هرگونه اقدامی که باعث افزایش پوشش - گیاهی گردد؛ مستقیماً بر کاهش فرسایش خاک و به طور غیرمستقیم در بهبود کیفیت خاک از طریق ذخیره‌ی کربن تأثیرگذار خواهد بود. نتایج پژوهش حاضر نشان‌داد که در کاربری جنگل اوکالیپتوس همراه با پخش‌سیلاب، بیش‌ترین ذخیره‌ی کربن به میزان ۱۲۱/۸۴ تن در هکتار به صورت بافت‌های زنده گیاهی شامل تنه، شاخه و برگ، به شکل لاشبرگ در سطح خاک و به صورت مواد آلی در خاک صورت گرفته است. با توجه به این که این مقدار ذخیره و ترسیب کربن در طی ۳۲ سال گذشته اتفاق افتاده، نرخ سالانه‌ی ذخیره‌ی کربن در این کاربری، معادل ۳/۸۰ تن در سال در هکتار محاسبه گردید.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

کاربری‌های مختلف پخش‌سیلاب به‌ویژه عرصه‌ی جنگل‌کاری شده با اوکالیپتوس در ایستگاه کوثر، باعث شده مقادیر قابل توجهی گاز دی‌اکسیدکربن موجود در هوا به‌صورت ماده‌ی آلی در اندام‌های هوایی و زیرزمینی گیاهان موجود در عرصه‌ها و در خاک ذخیره و ترسیب شده و مقادیر زیادی گاز اکسیژن نیز وارد محیط شده و از این نظر، نقش مهمی را در کاهش آلودگی هوا ایفا نموده است. با نگاهی به ارزش‌اقتصادی-زیست‌محیطی کربن ذخیره شده در عرصه‌های جنگل دست‌کاشت اوکالیپتوس، توسعه‌ی جنگل‌کاری همراه با گسترش سیلاب در مناطق مستعد پخش‌سیلاب از نظر اقتصادی کاملاً توجیه‌پذیر است. با توجه به پتانسیل بالای گونه‌های درختی در بهبود ذخیره‌ی کربن خاک، به نظر می‌رسد که افزایش درصد چوبی شدن گونه‌ها و تفاوت‌های فیزیولوژیکی باعث افزایش توان ذخیره‌ی

کربن به‌وسیله‌ی این گونه‌ها شده است. بنابراین، به‌منظور بهبود توان ذخیره‌ی کربن در سامانه‌های پخش‌سیلاب و به دنبال آن کاهش میزان فرسایش بادی، پیشنهاد می‌شود کاشت گونه‌های بومی و سازگار چندساله در این سامانه‌ها مورد توجه قرار گیرد.

منابع

۱. باده‌یان، ض. ۱۳۸۵. بررسی ارتباط بین ذخیره‌ی کربن و pH در لایه‌های آلی و معدنی خاک در یک جنگل آمیخته‌راش. پایان‌نامه‌ی کارشناسی‌ارشد، دانشکده‌ی منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۶۹ صفحه.

۲. باده‌یان، ض، ز. مشایخی، ل. زبردست، و ن. مبرقی. ۱۳۹۳. برآورد ارزش اقتصادی کارکرد ترسیب کربن در دو توده‌ی جنگلی‌خالص و آمیخته‌ی راش (مطالعه‌ی موردی: جنگل خیرود نوشهر). دو فصل‌نامه‌ی علمی پژوهش‌های محیط زیست، ۵(۹): ۱۴۷-۱۵۶.

۳ .بردبار، س.ک. ۱۳۸۴. بررسی پتانسیل ذخیره‌ی کربن در جنگل‌کاری‌های اکالیپتوس و اکاسیا در مناطق غربی استان فارس. رساله‌ی دوره‌ی دکتری تخصصی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، ۱۵۳ صفحه.

۴. تمرتاش، ر.، م. طاطیان، و م. یوسفیان. ۱۳۹۱. تأثیر گونه‌های‌رویشی مختلف در ترسیب کربن در مراتع جلگه‌ای میانکاله. مجله‌ی محیط شناسی، ۳۸(۶۲): ۵۴-۴۵.

۵. حسینی، س.، ح. امیرنژاد، و ج. اولادی. ۱۳۹۶. ارزش‌گذاری خدمات و کارکردهای بوم نظام جنگلی پارک ملی کیاسر. فصل نامه‌ی اقتصاد کشاورزی، ۱۱(۱): ۲۳۹-۲۱۱.

۶. روستا، م.ج. ۱۳۸۶. بررسی جمعیت باکتری‌ها در کاربری‌های مختلف خاک و پخش‌سیلاب. فصل‌نامه‌ی علوم خاک و آب، ۲۱(۱): ۱۲۸-۱۲۱.

۷. روستا، م.ج.، س.م. سلیمان‌پور، ک. عنایتی، س.ح. مصباح، ح. کشاورزی، ک. کمالی، ل. جوکار، س.آ. کوثر، غ.ع. نکوئیان، و ع.ن. فریدونیان. ۱۳۹۷. بررسی تأثیر سی سال پخش‌سیلاب بر بعضی ویژگی‌های فیزیکی خاک در کاربری‌های مختلف ایستگاه کوثر. مجموعه مقالات سیزدهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران و سومین همایش ملی صیانت از منابع طبیعی و محیط زیست، اردبیل.

۸. سررشته‌داری، ا. ۱۳۸۳. اثرات طرح پخش‌سیلاب بر نفوذپذیری و حاصلخیزی خاک. نشریه‌ی پژوهش و سازندگی، ۱۷(۱): ۹۲-۸۳.

۹. شاهسونی، ع.، م. یاراحمدی، ن. جعفرزاده‌ی حقیقی‌فرد، ا. نعیم‌آبادی، م.ح. محمودیان، ح. صاکی، م.ح. صولت، ز. سلیمانی، و ک. ندافی. ۱۳۸۹. اثرات طوفان‌های گرد و غباری بر سلامت و محیط زیست. مجله‌ی دانشگاه علوم پزشکی خراسان‌شمالی، ۲(۴): ۵۶-۴۵.

۱۰. شعبانیان، ن.، م. حیدری، و م. زینی‌وندزاده. ۱۳۸۹. اثر جنگل‌کاری با گونه‌های سوزنی‌برگ و پهن‌برگ بر تنوع گیاهی و برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (مطالعه‌ی موردی: جنگل‌کاری دوشان سنندج). فصل‌نامه‌ی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۱۸(۳): ۴۳۷-۴۴۶.

۱۱. فخری، ف.، م. جعفری، م. ح. مهدیان، و ح. آذرنیوند. ۱۳۸۴. تأثیر پخش‌سیلاب بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک ایستگاه تحقیقاتی نگست استان بوشهر. فصل‌نامه‌ی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۲(۳): ۲۳۳-۲۴۸.

۱۲. فروزه، م.ر. ۱۳۸۵. بررسی ترسیب کربن خاک و زی‌توده‌ی سرپای گونه‌های بوته‌ای غالب در منطقه‌ی پخش‌سیلاب گربایگان فسا. پایان‌نامه‌ی کارشناسی‌ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۷۵ صفحه.

۱۳. قهاری، غ.ر. ۱۳۹۸. ارزیابی اثر گسترش سیلاب بر پوشش گیاهی ایستگاه تحقیقات آبخوان‌داری کوثر. گزارش سالانه‌ی پروژه‌ی تحقیقاتی، ۵۵ صفحه.

۱۴. مهدوی، س.خ.، ع. سندگل، ح. آذرنیوند، س. بابایی‌کفاکی، م. جعفری، و ف. مهدوی. ۱۳۸۸. بررسی اثر تراکم آتریپلکس در پروژه‌های بوته‌کاری در مرتع (مطالعه‌ی موردی: اصفهان). فصل‌نامه‌ی علمی گیاه و زیست‌بوم، ۵(۱۷): ۱۹-۲۹.

۱۵. محمودی‌طالقانی، ع.، ق. زاهدی‌امیری، ا. عادلی‌بیش‌بیجاری، و خ. ثاقب‌طالبی. ۱۳۸۶. برآورد میزان ترسیب کربن خاک در جنگل‌های تحت مدیریت (مطالعه‌ی موردی: جنگل گلبند در شمال کشور). فصل‌نامه‌ی علمی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۱۵(۳): ۲۵۲-۲۴۱.

۱۶. نجم‌الدینی، ن. ۱۳۹۲. بررسی اثرات عملیات سازه‌ای مکانیکی آبخیزداری در ترسیب کربن به منظور اصلاح تغییرات اقلیمی (مطالعه‌ی موردی: حوزه‌ی آبخیز گاودره در استان‌کردستان). مجموعه مقالات دومین همایش ملی تغییر اقلیم و تأثیر آن بر کشاورزی و محیط زیست، ارومیه.

۱۷. نصرتی، ک.، ز. محمدی، و ع.ا. نظری‌سامانی. ۱۳۹۳. تأثیر عملیات پخش‌سیلاب دشت ذهاب کرمانشاه بر ذخیره‌ی کربن آلی خاک. فصل‌نامه‌ی پژوهش‌های فرسایش محیطی، ۴(۲): ۲۲-۱۲.

۱۸. نوبخت، ع.ع.، م. پورمجیدیان، س. م. حجتی، و ا. فلاح. ۱۳۸۹. مقایسه‌ی میزان ترسیب کربن خاک در جنگل‌کاری‌های خالص - سوزنی‌برگ و پهن‌برگ (مطالعه‌ی موردی: طرح جنگل‌کاری دهمیان، مازندران). مجله‌ی جنگل ایران، ۳(۱): ۱۳-۲۳. ۱۹. ورامش، س.، س.م. حسینی، ع. نوری، و م. اکبری‌نیا. ۱۳۸۹. اثرهای جنگل‌کاری در افزایش ترسیب کربن و بهبود برخی ویژگی‌های خاک. مجله‌ی جنگل ایران، ۲(۱): ۳۵-۲۵.

20. Bruce, J.P., Frome, M., Haites, E., Joanne, H., Lal, R. and K. Faustion. 1999. Carbon sequestration in soils. Journal of Soil and Water Conservation, 1:124-139.
21. Chepil W S. 1956. Influence of moisture on erodibility of soil by wind. Soil Science Society of America Proceedings, 20(2): 288– 292.
22. Dinakaran, J., and N.S.R. Krishnayya. 2008. Variations in type of vegetal cover and heterogeneity of soil organic carbon in affecting sink capacity of tropical soils. Current Science, 94(9):1144-1150.
23. Köchy, M., Hiederer R., and A. Freibauer. 2015. Global distribution of soil organic carbon – Part 1: Masses and frequency distributions of SOC stocks for the tropics, permafrost regions, wetlands, and the world. SOIL, 1:351-365.
24. Kowsar, S.A. 1992. Desertification control through floodwater spreading in Iran. Unasylva, 168 (43):27-30.
25. Lal, R. 2005. Soil carbon sequestration in natural and managed tropical forest ecosystems. Journal of Sustainable Forestry, 21:1-30.
26. Madeira, M.V., Fabiao A., Pereira J.S., Araajo M.C. and C. Ribeiro. 2002. Changes in carbon stocks in Eucalyptus globules Labill. Plantations induced by different water and nutrient availability. Forest Ecology and Management, 171:75-85.
27. Nelson, D.W., and L.P. Sommers. 1986. Total carbon, organic carbon and organic matter, pp. 539–579. In: Page, A.L. (ed.), methods of Soil Analysis: Part 2, Agronomy Handbook No 9, American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, WI.
28. Ravi, S., T. M. Zobeck, T. M. Over, G.S. Okin, and P. DOdorico. 2006. On the effect of moisture bonding forces in air-dry soils on threshold friction velocity of wind erosion. Sedimentology, 53(3): 597–609.
29. Rice, C.W. 2000. Soil organic C and N in rangeland soils under elevation CO_2 and land management. Proceedings of the Advances in Terrestrial Ecosystem Carbon Inventory, Measurements and Monitoring Conference, October 3-5, 2000, Raleigh, North Carolina, pp. 15-24.
30. Rivers, N. 2014. The Case for a carbon tax in Canada 2020. Article available athttp://canada2020.ca/canada-carbon-tax/.
31. Schlup, C.J.E., Naburus G.J., Verburg P.H., and R.W. Waal. 2008. Effect of tree species on carbon stock in forest floor and mineral soil and implication for soil carbon inventories. Forest Ecology Management, 256:482-490.
32. Yazdian, A.R., and S.A. Kowsar. 2003. The Agha Jari Formation: A potential source of ammonium and nitrate nitrogen fertilizers. Journal of Agricultural Sciences and Technology, 5:153-163.