دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
بوم‌شناسی جنگل‌های ایران

"مقاله پژوهشی"

ارزش اقتصادی و سهم ذخیره کربن در اندام‌های اوکالیپتوس و آکاسیا در عرصه‌های پخش‌سیلاب ایستگاه کوثر

محمد جواد روستا[۱]، مریم عنایتی[۲]، سید مسعود سلیمان‌پور[۳] و 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 (نویسنده مسوول: m.roosta@areeo.ac.ir)
۲- 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
۳- 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
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

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۰۸
صفحه: ۱۷۵ تا ۱۸۴

چکیده

ذخیره کربن به‌وسیله جنگل‌های طبیعی، جنگل‌های دست‌کاشت، مراتع و خاک مناسب‌ترین راهکار کاهش کربن اتمسفری است. این پژوهش در سال ۱۳۹۷ با هدف ارزیابی تاثیر پخش‌سیلاب بر میزان زی‌توده و ذخیره کربن در اندام‌های مختلف درختان در جنگل‌های دست‌کاشت اوکالیپتوس (*Eucalyptus camaldulensis*) و آکاسیا (*Acacia salicina*) در ایستگاه کوثر واقع در دشت گربایگان فسا انجام شد. پس از کف‌برکردن درختان، اقدام به جداسازی تنه، شاخه‌ها و برگ‌ها شد. علاوه‌بر این، میزان لاشبرگ تولید شده در سایه‌انداز درختان مورد بررسی نیز جمع‌آوری و توزین شد. پس از آن، نمونه‌های خشک شده به‌وسیله آسیاب برقی پودر شدند و میزان کربن آلی موجود در نمونه‌ها شامل تنه، شاخه، برگ و لاشبرگ، به‌روش خاکستر کردن در کوره الکتریکی اندازه‌گیری شد. داده‌های به‌دست آمده در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی تجزیه و تحلیل شده و میانگین‌ها با آزمون توکی در سطح ۵ درصد مقایسه شدند. نتایج نشان داد برگ‌ها کمترین میزان زی‌توده و ذخیره کربن و تنه بیش‌ترین میزان زی‌توده و ذخیره کربن را به‌خود اختصاص داده‌اند. علاوه براین، مشخص شد در جنگل دست‌کاشت اوکالیپتوس (نوار اول)، بیش‌ترین کربن به‌میزان ۱۸۷/۵٦ تن در هکتار به‌صورت بافت‌های زنده گیاهی شامل تنه، شاخه و برگ و به‌شکل لاشبرگ ذخیره شده‌است. با توجه به این‌که هر تن کربن معادل با ۳/٦۷ تن گاز دی‌اکسیدکربن است، می‌توان نتیجه گرفت که مقدار ٦۸۸/۳٤ تن گاز دی‌اکسیدکربن موجود در هوا در اندام‌های مختلف گیاه و در لاشبرگ به‌صورت ماده آلی ذخیره شده است. در صورتی‌که در آکاسیا، میزان ذخیره کربن، ۷۲/۸۱ و معادل دی‌اکسیدکربن ذخیره‌شده، ۲٦۷/۲۱ تن در هکتار بود. ارزش اقتصادی-زیست-محیطی این مقدار کربن ذخیره‌شده، به‌ترتیب معادل ۵/۷۸ و ۲/۲٤ میلیارد ریال در هکتار محاسبه شد. با توجه به ۳۲ سال پخش‌سیلاب در این عرصه‌ها، هر هکتار از عرصه جنگل اوکالیپتوس و آکاسیا به‌طور متوسط سالانه به‌ترتیب، ۲۱/۵۱ و ۸/۳۵ تن گاز دی‌اکسیدکربن موجود در هوا را به‌صورت ماده آلی ذخیره کرده‌اند. از این نظر، جنگل دست‌کاشت اوکالیپتوس نقش بیش‌تری در کاهش آلودگی هوا ایفاء نموده است. ارزش زیست‌محیطی اکسیژن تولید شده در جنگل اوکالیپتوس و آکاسیا (به‌ترتیب ۰/٤۷ میلیارد ریال و ۷٤/۵۲ میلیون‌ریال) نیز به ارزش زیست‌محیطی کاهش دی‌اکسیدکربن اضافه شده و جمع ارزش کارکرد اقتصادی آن‌ها به‌ترتیب معادل ٦/۲۵ و ۲/۳۲ میلیارد ریال می‌گردد. بنابراین، توسعه روش جنگل‌کاری با اوکالیپتوس در مناطق مستعد پخش‌سیلاب با شرایط مشابه، از منظر ذخیره کربن دارای توجیه اقتصادی بیش‌تری بوده و پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: ایستگاه کوثر، تغییر اقلیم، ذخیره کربن، فارس، گازهای گلخانه‌ای

مقدمه

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 ترسیب آن در خشکی‌ها، اقیانوس‌ها و زیست‌بوم‌های آب‌شیرین کاهش داد (۸). زیرا ترسیب کربن در زیست‌توده گیاهی (جنگل‌ها، مراتع، توده‌های جنگل‌کاری شده) و خاک، ساده‌ترین و به‌لحاظ اقتصادی، عملی‌ترین راهکار ممکن برای کاهش غلظت دی-اکسیدکربن اتمسفری بوده و می‌تواند به متعادل کردن فرآیند گرم‌شدن زمین کمک کند (۴۵،۴۱،۲۶،۳).

سطح کل جنگل‌ها در جهان، ۴/۰۶ میلیارد هکتار است و بیش‌تر از نیمی از مساحت جنگل‌ها در پنج کشور فدراسیون روسیه، برزیل، کانادا، ایالات متحده آمریکا و چین قرار دارد (۱۳). در بسیاری از کشورهای دنیا، جنگل‌کاری به‌عنوان یکی از راهبردهای کم کردن اثرات گرم‌شدن جهانی مورد توجه جدی واقع شده است (۳۹،۱۸). میزان جنگل‌کاری در سطح دنیا، معادل ۴/۵ میلیون هکتار در سال برآورد شده‌است که در این میان، سهم قاره آسیا ۷۹ درصد (سهم ایران، یک درصد) و سهم آمریکای جنوبی ۱۱ درصد و در مجموع، سهم آن‌ها ۹۰ درصد است (۱۲) و جنس‌های کاج با ۲۰ درصد و اوکالیپتوس با ۱۰ درصد، بیشترین فراوانی را در بین درختان کاشته‌شده به‌خود اختصاص داده‌اند (۲۳).

یکی از روش‌های دقیق محاسبه زی‌توده جنگل و جنگل‌کاری‌ها، قطع کامل درختان و اندازه‌گیری زی‌توده

اجزای آن و تعیین کربن‌آلی هر جزء در آزمایشگاه است (۵). برای ارزش‌گذاری و فرآیندهای اقتصادی و بوم‌شناختی، اندازه‌گیری زی‌توده درختی، شاخصی بسیار مهم به‌شمار می‌آید (۹)، زیرا تولید جنگل، ذخیره کربن و پویایی کربن (جریان کربن) برمبنای اندازه‌گیری زی‌توده محاسبه شده و ذخیره کربن، شاخصی از تولید رویشگاه محسوب می‌شود (۱۰).

مورتنسن و شومن (۳۱) اظهار کردند که میزان ترسیب کربن به‌وسیله گونه‌های مختلف گیاهی با یکدیگر متفاوت است. نتایج یافته‌های گائو و همکاران (۱۶) و یانگ (۴۸) نشان‌دهنده بالاتر بودن پتانسیل ذخیره کربن در اندام‌های هوایی نسبت به اندام‌های زیرزمینی بود. وینجوم و شرودر (۴۶) بیش‌ترین پتانسیل ترسیب کربن در جنگل‌کاری‌های منطقه شمالی (boreal zone) را ۰/۹۶ تن در هکتار در سال گزارش کردند. سیلور و همکاران (۴۳) میزان ذخیره کربن در اندام‌های هوایی درختان در جنگل‌های دست‌کاشت مناطق حاره را در ۲۰ سال اول معادل ۶/۲ و در ۸۰ سال اول، معادل ۲/۹ تن در هکتار در سال ذکر کردند. روستا و همکاران (۴۰) گزارش کردند در اندام‌های هوایی توده جنگلی بنه (*Pistacia atlantica* Desf.) به‌میزان ۱/۹۹ تن در هکتار کربن ذخیره شده است. پناهی و همکاران (۳۵) متوسط وزن زی‌توده، میزان ذخیره کربن و مقدار دی‌اکسیدکربن جذب‌شده از هوا به‌وسیله برگ درختان بنه در باغ گیاهشناسی ملی را به‌ترتیب ۶۹/۴، ۲۶/۲ و ۹۶/۳ کیلوگرم برای هر درخت، اندازه‌گیری کردند. فتح‌الهی و همکاران (۱۴) مقدار کربن ذخیره‌شده در زی‌توده هوایی درختان افرا و ممرز را در جنگل دست‌کاشت به‌ترتیب ۳۵/۴۲ و ۱۹/۲۲ تن در هکتار و در جنگل طبیعی به‌ترتیب ۱۴/۶۸ و ۱۲۶/۸۱ تن در هکتار گزارش کردند. مقصودلونژاد و همکاران (۲۸) میزان ذخیره کربن در زی‌توده هوایی گونه ارس (*Juniperus excelsa* M. Bieb) را ۴/۴۲ تن در هکتار گزارش کردند و نشان دادند که بیش‌ترین میزان ذخیره کربن مربوط به تنه و کم‌ترین آن مربوط به برگ بود و ارزش اقتصادی کربن ذخیره شده به‌وسیله این گونه را معادل ۲۵ میلیون ریال در هکتار برآورد کردند. ایران‌منش و همکاران (۲۲)، میانگین وزن زی‌توده و ذخیره کربن اندام‌های‌هوایی هر درخت بلوط ایرانی را به‌ترتیب ۳۷۴/۱ و ۱۷۹/۹ کیلوگرم گزارش کردند. همچنین پژوهش انجام شده به‌وسیله میررجبی و همکاران (۲۹) نشان داد که میزان ذخیره کربن ذی‌توده هوایی درختان، در بوستان جنگلی چیتگر تهران، ۱۳/۲۴ تن در هکتار بود.

آریکاک و همکاران (۲) میزان ذخیره کربن در زی‌توده هوایی درختان کاج در استان کارس ترکیه را معادل ۲۸/۸ تن در هکتار برآورد کردند. براساس نتایج گزارش شده به‌وسیله مرادی (۳۰) در بررسی اقتصادی-زیست‌محیطی جنگل‌های زاگرس، میزان دی‌اکسیدکربن جذب‌شده ۲۹۹۱۳۰ تن در سال و ۱/۱۱ تن در هکتار در سال تعیین گردیده است. با توجه به نرخ مالیات ۲۷۸۱۰۰ ریالی، ارزش د ی‌اکسیدکربن جذب‌شده معادل ۳۷/۶۴ میلیارد ریال برآورد شده و براساس متوسط نرخ دلار مورد استفاده در این بررسی، ارزش آن حدود ۴ میلیون دلار محاسبه شد. نتایج پژوهش بردبار (۷) نشان داد که میزان کربن ذخیره‌شده در جنگل بلوط در منطقه کامفیروز فارس ۲۷/۸ تن در هکتار بوده که ۱۶ تن آن در خاک و ۱۱/۸ تن مربوط به اندام‌های مختلف درختان بلوط می‌باشد، که معادل ۱۰۲/۰۹ تن (۵۸/۹۵ تن در خاک و ۴۳/۱۴ تن در اندام‌های مختلف) دی‌اکسیدکربن جذب‌شده به‌وسیله گونه بلوط در هر هکتار است. برآورد ارزش اقتصادی ذخیره کربن در این توده نشان داد که هر هکتار از جنگل بلوط، ذخیره کربن با ارزشی به‌میزان ۶۱۹۳/۹۴ دلار داشته که ارزش سالانه آن برابر ۱۵۴/۸۴ دلار است. حسینی و همکاران (۲۱)، گزارش کردند هر هکتار از جنگل‌های پارک کیاسر مازندران ۱۷/۶۱ تن گاز دی‌اکسیدکربن هوا را جذب می‌کند. باده‌یان و همکاران (۴) در مطالعه خود با عنوان برآورد ارزش اقتصادی کارکرد ترسیب کربن در دو توده جنگلی خالص و آمیخته راش در جنگل مطالعاتی خیرود نوشهر، ارزش کارکرد ترسیب کربن در هر هکتار توده خالص راش را ۹/۵ میلیون ریال در سال و توده آمیخته راش را ۸/۳ میلیون ریال در سال محاسبه کردند. خرمدل و همکاران (۲۴) اظهار کردند با توجه به پتانسیل بالای گونه‌های چندساله در بهبود ترسیب کربن خاک به‌نظر می‌رسد که افزایش درصد چوبی شدن گونه‌ها و تفاوت‌های فیزیولوژیکی باعث افزایش پتانسیل ترسیب کربن این گونه‌ها در مقایسه با گیاهان زراعی شده است. بنابراین، به‌منظور بهبود پتانسیل ترسیب کربن خاک در زیست بوم‌های زراعی پیشنهاد دادند کاشت گونه‌های چندساله در تناوب زراعی مدنظر قرار گیرد.

بررسی‌ها نشان داده که گسترش سیلاب بر عرصه آبخوان‌ها، گزینه‌ای مطلوب برای کاهش مشکلات ناشی از کم‌آبی، سیل و تولید علوفه و چوب در مناطق خشک و نیمه‌خشک است (۳۳،۱۱). این روش برای دست‌یابی به اهدافی مشخص در مناطق مختلف ایران اجرا شده‌است. امروزه، پس از چند دهه تلاش علمی و اجرایی در کشور، شماری از سازمان‌های جهانی از جمله دانشگاه سازمان ملل[1]، برنامه پیشرفت و توسعه ملل متحد[3]، برنامه اسکان بشر سازمان ملل متحد[2]، مرکز بین‌المللی تحقیقات کشاورزی در مناطق خشک (ایکاردا)[4]، سازمان علمی، آموزشی و فرهنگی ملل‌متحد (یونسکو)[5] این برنامه را به‌عنوان یکی از راهکارهای مناسب برای مدیریت پایدار اراضی در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا، مورد تأیید قرار داده‌اند. ازآنجا که هزینه‌های قابل‌توجهی برای احداث، نگهداری، توسعه و تجهیز این عرصه‌ها صرف شده و از سوی دیگر قرار است این راهکار، به‌عنوان الگو در مناطق دیگر جهان اجرا شود، بنابراین، با توجه به اهداف پیش‌بینی شده، ارزیابی کارایی پخش‌سیلاب از جنبه‌های مختلف به‌ویژه نقش آن در کاهش گازهای گلخانه‌ای و ایجاد بیلان متناسب بین کربن اتمسفر و بیوسفر و در نتیجه تعدیل روند گرم‌شدن جهانی امری ضروری است.

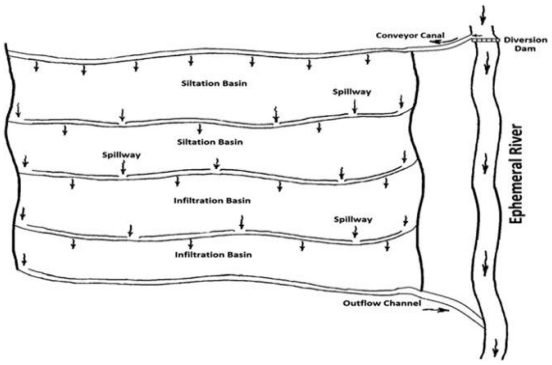
1- UNU 2- UNDP 3- UN-Habitat 4- ICARDA 5- UNESCO

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در سال ۱۳۹۷ در ایستگاه تحقیقاتی، آموزشی و ترویجی پخش‌سیلاب و آبخوان‌داری کوثر، در دشت گربایگان فسا انجام شد. پخش‌سیلاب، برای تغذیه آبخوان‌ها از سال ۱۳۶۱ در پهنه‌ای به وسعت ۲۵۰۰ هکتار در این دشت اجرا شده است. شکل ۱، نمایی از چگونگی پخش‌سیلاب را نشان می‌دهد. ایستگاه کوثر در ۵۰ کیلومتری جنوب‌شرقی فسا در موقعیت ′۳۸ °۲۸ عرض شمالی و ′۵۵ °۵۳ طول شرقی بر مخروط‌افکنه آبخیز 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. براساس آمار ۲۳ ساله (۱۳۷۵ تا ۱۳۹۷)، شاخص‌های آب و هوایی منطقه‌ای که ایستگاه در آن واقع شده به‌شرح زیر است:

میانگین بارش سالانه، ۲۱۹ میلی‌متر، دمای بیشینه، ۴۶ درجه سانتی‌گراد، دمای کمینه، ۸- درجه سانتی‌گراد، میانگین دمای سالانه، ۲۰ درجه سانتی‌گراد، میانگین تبخیر سالانه، ۲۵۴۸ میلی‌متر، متوسط تعداد روزهای یخبندان، ۲۷ روز در سال (۱۷).



شکل ۱- نمایی از چگونگی پخش سیلاب در ایستگاه‌کوثر (۲۰)

Figure 1. View of how the flood spreads in Kowsar Station (20)

روش جمع‌آوری اطلاعات

با توجه به موجود بودن برخی اطلاعات مورد نیاز که از پژوهش‌های پیشین از جمله بردبار (۶) به دست آمده بود، نوارهای یک، دو و سه شبکه بیشه‌زرد چهار که با پخش سیلاب آبیاری می‌شوند و جنگل دست‌کاشت اوکالیپتوس بدون پخش سیلاب (شاهد) و جنگل دست‌کاشت آکاسیا که با پخش‌سیلاب آبیاری می‌شود، برای نمونه‌برداری از درختان در نظر گرفته شد. در این عرصه‌ها در سال ۱۳۶۳ درختان اوکالیپتوس (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.) و آکاسیا (*Acacia salicina* Lindl.) به تعداد ۹۰۰ اصله در هر هکتار کاشته شده است. با توجه به محدودیت قطع درختان، سه اصله درخت با سن ۳۲ سال از ابتدا، وسط و انتهای هر نوار جنگل دست‌کاشت اوکالیپتوس (جمعا نه درخت) و قطعه شاهد اوکالیپتوس (سه درخت) و همچنین از جنگل دست‌کاشت آکاسیا (سه درخت)، نشانه‌گذاری شد. هر درخت به‌عنوان یک بلوک در نظر گرفته شد. پس از کف‌بر کردن درختان نشانه گذاری شده، اقدام به جداسازی تنه، شاخه‌ها و برگ‌ها شد. علاوه‌براین، میزان لاشبرگ تولیدشده نیز با قرار دادن سه پلات یک متر مربعی در سایه‌انداز هر درخت، جمع‌آوری و توزین شد. سپس، با قرار دادن نمونه‌هایی به وزن ۱۰ گرم در کوره الکتریکی با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت، درصد رطوبت آنها تعیین شد و وزن زی‌توده قسمت‌های مختلف و از مجموع آن‌ها، وزن زی‌توده اندام‌هوایی هر درخت محاسبه شد. با توجه به داده‌های بردبار (۶) با در دست داشتن نسبت ریشه به اندام هوایی، وزن زی‌توده ریشه نیز محاسبه‌شد. با جمع ارقام مربوط به وزن زی‌توده اندام هوایی و ریشه، وزن زی‌توده کل درخت تعیین شد. سپس، نمونه‌های خشک شده به‌وسیله آسیاب برقی پودر شدند و میزان کربن آلی موجود در نمونه‌ها شامل تنه، شاخه، برگ و لاشبرگ، به‌روش خاکستر کردن در کوره الکتریکی به‌مدت ۴ ساعت در دمای ۵۰۰ تا ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد (۳۷). میزان کل ذخیره کربن به‌وسیله هر درخت، از مجموع ذخیره کربن به‌وسیله تنه، شاخه، برگ و ریشه بدست آمد. با شمارش میدانی درختان اوکالیپتوس و آکاسیا و با توجه به مساحت زیرپوشش این درختان در قطعات مورد بررسی، مقدار ذخیره کربن در هر هکتار محاسبه شد. میزان کل ذخیره کربن در واحد سطح (هکتار) با اضافه کردن میزان ذخیره کربن ناشی از لاشبرگ، تعیین شد.

داده‌های به‌دست‌آمده در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی تجزیه و تحلیل شده و میانگین‌ها با آزمون توکی در سطح ۵ درصد مقایسه شدند. همچنین، با استفاده از فرمول فتوسنتز و تنفس، براساس وزن کل ماده خشک تولیدی، میزان اکسیژن تولید شده به‌وسیله درختان نیز محاسبه شد (۱).

$$6CO_2\ (264g) + 6H_2O\ (108g) \rightarrow C_6H_{12}O_6\ (180g) + 6O_2\ (193g) \rightarrow \text{Polysaccharide}\ (162g) \quad (۱)$$

با توجه به این رابطه، برای تولید یک گرم ماده خشک، ۱/۶۳ گرم گاز دی‌اکسیدکربن جذب و ۱/۱۹ گرم گاز اکسیژن تولید (آزاد) می‌شود (۱).

ارزش اقتصادی-زیست‌محیطی کربن ذخیره شده براساس پیشنهاد ریورز (۳۸)، که میزان مالیات بر کربن را به‌ازای هر تن دی‌اکسیدکربن ۲۰۰ دلار اعلام کرده و هم‌اکنون نرخ

رسمی برابری هر دلار برابر با ۴۲۰۰۰ ریال است محاسبه شد. ارزش اقتصادی تولید اکسیژن نیز به‌ازای هر تن، ۴۰ دلار در نظر گرفته شد (۳۶).

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس وزن زی‌توده اندام‌های هوایی درختان اوکالیپتوس و آکاسیا و لاشبرگ آن‌ها در عرصه‌های پخش سیلاب در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- تجزیه واریانس وزن زی‌توده اندام‌های مختلف درختان اوکالیپتوس و آکاسیا و لاشبرگ آن‌ها

Table 1. Analysis of variance of dry weight of different organs of Eucalyptus and Acacia trees and their litters

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		تنه	شاخه	برگ	اندام‌هوایی
بلوک	۲	۳۸۵/۶۳^{ns}	۱۰/۷۷^{ns}	۴/۵۹^{ns}	۴۱۰/۵۱^{ns}
تیمار	۴	۷۲۸۰/۹۹**	۸۵/۱۰**	۱۵۱/۰۶**	۱۰۹۰۰/۷۳**
خطا	۸	۴۳۸/۷۳	۴/۰۶	۱/۷۸	۴۳۷/۰۴
ضریب تغییرات	–	۱۵/۰۱	۸/۹۷	۹/۱۰	۱۱/۷۸

** وns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ۱ درصد و غیر معنی‌دار

ادامه جدول ۱- تجزیه واریانس وزن زی‌توده اندام‌های مختلف درختان اوکالیپتوس و آکاسیا و لاشبرگ آن‌ها

Continue of table 1. Analysis of variance of dry weight of different organs of Eucalyptus and Acacia trees and their litters

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		ریشه	زی‌توده کل	لاشبرگ
بلوک	۲	۲۰/۶۸^{ns}	/۶۳^{ns}	۱/۸۲^{ns}
تیمار	۴	۸۸۱/۵۹**	۱۷۹۰۳/۸۲**	۴۲/۵۱**
خطا	۸	۱۸/۳۴	۶۳۲/۰۴	۱/۶۲
ضریب تغییرات	–	۱۱/۱۹	۱۱/۶۵	۱۲/۸۳

** وns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ۱ درصد و غیر معنی‌دار

با توجه به جدول ۱ مشخص می‌شود که اثر تیمار بر وزن زی‌توده تنه، شاخه، برگ، اندام‌هوایی، ریشه، زی‌توده کل و لاشبرگ در سطح ۱ درصد معنی‌دار شده‌است. مقایسه میانگین وزن زی‌توده اندام‌های اوکالیپتوس و آکاسیا و لاشبرگ آن‌ها با آزمون توکی در سطح ۵ درصد در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲- مقایسه میانگین وزن زی‌توده اندام‌های مختلف و لاشبرگ اوکالیپتوس و آکاسیا

Table 2. Comparison of the average of dry weight of different organs and litters of Eucalyptus and Acacia

کاربری	کیلوگرم در هر درخت						لاشبرگ
	تنه	شاخه	برگ	اندام هوایی	ریشه	زی‌توده کل	(تن در هکتار)
اوکالیپتوس- نوار اول (سه درخت)	۲۱۵/۷۹ ±۱۸/۲۳a	۲۹/۷۰ ±۴/۱۵a	۲۰/۸۶ ±۱/۶۳ab	۲۶۶/۳۴ ±۱۹/۰۴a	۶۳/۰۴ ±۴/۵۱a	۳۲۹/۳۸ ±۲۳/۵۵a	۸/۹۱ ±۰/۴۳b
اوکالیپتوس- نوار دوم (سه درخت)	۱۴۳/۳۶ ±۲۶/۹۴bcd	۲۵/۸۵ ±۰/۴۱ab	۱۷/۰۸ ±۱/۰۴a	۱۸۶/۲۶ ±۲۷/۶۴b	۴۰/۵۳ ±۶/۰۱b	۲۲۶/۷۹ ±۳۳/۶۶b	۶/۶۵ ±۱/۴۶b
اوکالیپتوس- نوار سوم (سه درخت)	۱۳۸/۴۰ ±۲۴/۶۰bc	۱۸/۸۷ ±۳/۰۵c	۱۹/۵۴ ±۲/۷۰a	۱۸۰/۸۱ ±۲۳/۴۵b	۳۹/۳۴ ±۵/۱۰b	۲۲۰/۱۵ ±۲۸/۵۵b	۷/۳۲ ±۱/۱۵b
میانگین اوکالیپتوس	۱۶۵/۸۵ ±۸/۴۴ab	۲۴/۸۰ ±۱/۶۵ab	۱۹/۱۶ ±۱/۰۰a	۲۱۱/۱۴ ±۸/۰۵ab	۴۷/۶۴ ±۱/۸۷b	۲۵۸/۷۸ ±۹/۹۳ab	۷/۶۳ ±۰/۶۵b
اوکالیپتوس- شاهد	۹۲/۵۱ ±۲۰/۵۱cd	۱۴/۹۶ ±۱/۲۱c	۶/۲۵ ±۰/۴۲b	۱۱۳/۷۳ ±۱۹/۴۶c	۲۴/۷۵ ±۴/۲۳c	۱۳۸/۴۷ ±۲۳/۷۰c	۱۶/۰۲ ±۱/۹۳a
آکاسیا (سه درخت)	۸۱/۲۱ ±۲۰/۵۹d	۲۰/۶۲ ±۰/۳۷bc	۵/۰۴ ±۱/۱۴b	۱۰۶/۸۷ ±۲۱/۸۱c	۱۴/۲۱ ±۲/۹۱c	۱۲۱/۰۸ ±۲۴/۷۱c	۱۳/۰۶ ±۱/۴۸a

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

جدول ۳- تجزیه واریانس ذخیره کربن در اندام‌های مختلف و لاشبرگ درختان اوکالیپتوس و آکاسیا

Table 3. Analysis of carbon storage variance in different organs and litters of Eucalyptus and Acacia trees

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		تنه	شاخه	برگ	اندام‌هوایی
بلوک	۲	۱۳۵/۲۶^{ns}	۴/۱۰^{ns}	۱/۵۲^{ns}	۱۰۵/۹۸^{ns}
تیمار	۴	۲۴۳۲/۶۴**	۲۶/۲۴**	۴۶/۲۲**	۳۵۸۸/۰۲**
خطا	۸	۱۳۶/۶۹	۱/۴۷	۰/۵۹	۱۶۰/۶۵
ضریب تغییرات	–	۱۴/۷۷	۹/۵۸	۹/۶۹	۱۲/۷۱

** وns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ۱ درصد و غیر معنی‌دار

ادامه جدول ۳- تجزیه واریانس ذخیره کربن در اندام‌های مختلف و لاشبرگ درختان اوکالیپتوس و آکاسیا
Continue of table 3. Analysis of carbon storage variance in different organs and litters of Eucalyptus and Acacia trees

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		ریشه	زی‌توده کل	لاشبرگ
بلوک	۲	۵/۱۷^{ns}	۱۵۸/۳۵^{ns}	۰/۵۹^{ns}
تیمار	۴	۲۲۰/۴۲**	۵۵۶۴/۱۴**	۱۰/۸۴**
خطا	۸	۴/۵۸	۲۱۹/۳۴	۰/۴۸
ضریب تغییرات	–	۱۱/۱۹	۱۲/۴۶	۱۳/۴۴

** وns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ۱ درصد و غیر معنی‌دار

تجزیه واریانس میزان ذخیره کربن در اندام‌های مختلف و لاشبرگ درختان اوکالیپتوس و آکاسیا در جدول ۳ نشان داده شده است. با توجه به جدول ۳ مشخص می‌شود که اثر تیمار بر میزان ذخیره کربن به‌وسیله تنه، شاخه، برگ، اندام‌هوایی، ریشه، زی‌توده کل و لاشبرگ در سطح ۱ درصد معنی‌دار شده است. در جدول ۴، مقایسه میانگین ذخیره کربن در اندام‌های مختلف اوکالیپتوس و آکاسیا و لاشبرگ آن‌ها با آزمون توکی در سطح ۵ درصد نشان داده شده است.

جدول ۴- مقایسه میانگین ذخیره کربن در اندام‌های مختلف اوکالیپتوس و آکاسیا و لاشبرگ آن‌ها
Table 4. Comparison of mean carbon storage in different organs of eucalyptus, Acacia and litter

کاربری	کیلوگرم در هر درخت						لاشبرگ
	تنه	شاخه	برگ	اندام هوایی	ریشه	زی‌توده کل	(تن در هکتار)
اوکالیپتوس- نوار اول	۱۲۳/۲۰	۱۶/۶۶	۱۱/۴۹	۱۵۱/۳۵	۳۱/۵۲	۱۸۲/۸۶	۴/۷۰
(سه درخت)	±۱۰/۳۰a	±۲/۲۳a	±۰/۹۴a	±۱۰/۷۲a	±۲/۲۵a	±۱۲/۹۷a	±۰/۲۵bc
اوکالیپتوس- نوار دوم	۸۱/۴۴	۱۴/۵۰	۹/۲۴	۱۰۵/۱۷	۲۰/۲۷	۱۲۵/۳۴	۳/۴۴
(سه درخت)	±۱۵/۳۵bc	±۰/۷۱ab	±۰/۴۹b	±۱۵/۹۱b	±۳/۰۰b	±۱۸/۹۹b	±۰/۷۱c
اوکالیپتوس- نوار سوم	۷۸/۴۵	۱۰/۹۴	۱۰/۵۹	۹۹/۹۷	۱۹/۶۷	۱۱۹/۶۵	۳/۸۵
(سه درخت)	±۱۳/۶۵bc	±۲/۱۸cd	±۱/۶۲ab	±۱۶/۲۵b	±۲/۵۵b	±۱۸/۸۰b	±۰/۷۰c
میانگین اوکالیپتوس	۹۴/۳۶	۱۴/۰۳	۱۰/۴۴	۱۱۸/۸۳	۲۳/۸۲	۱۴۲/۶۲	۴/۰۰
	±۴/۸۷ab	±۱/۰۹abc	±۰/۶۱ab	±۳/۷۲ab	±۰/۹۴b	±۴/۶۵ab	±۰/۳۴c
اوکالیپتوس- شاهد	۵۲/۱۶	۸/۴۴	۳/۴۲	۶۴/۰۲	۱۲/۳۷	۷۶/۳۹	۸/۳۰
	±۱۱/۶۱cd	±۰/۷۰d	±۰/۲۲c	±۱۱/۰۶c	±۲/۱۲c	±۱۳/۱۷c	±۱/۱۰a
آکاسیا	۴۵/۲۷	۱۱/۳۵	۲/۵۴	۵۹/۱۶	۷/۱۰	۶۶/۲۶	۶/۵۵
(سه درخت)	±۱۱/۵۱d	±۰/۲۲bcd	±۰/۵۹c	±۱۱/۹۱c	±۱/۴۵c	±۱۳/۳۵c	±۰/۷۶ab

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

جدول ۵، میزان اکسیژن تولید شده، کل ذخیره کربن و مقدار معادل دی‌اکسیدکربن و ارزش زیست‌محیطی آن‌ها را در عرصه‌های دست‌کاشت اوکالیپتوس و آکاسیا را نشان می‌دهد.

جدول ۵- میزان اکسیژن تولید شده، کل ذخیره کربن و مقدار معادل دی‌اکسیدکربن (تن در هکتار) و ارزش زیست‌محیطی آن‌ها (میلیون ریال)
Table 5. The amount of produced oxygen, total carbon stock and carbon dioxide equivalent (t/ha) and their environmental value (million Rials)

عرصه	زی‌توده کل	مقدار اکسیژن تولید شده	کل ذخیره‌کربن در گیاه و لاشبرگ	معادل دی‌اکسیدکربن	ارزش زیست‌محیطی کربن ذخیره شده	ارزش زیست‌محیطی اکسیژن تولید شده	کل ارزش زیست‌محیطی
اوکالیپتوس-نواراول	۲۳۶/۵۱	۲۸۱/۴۵	۱۸۷/۵۶	۶۸۸/۳۴	۵۷۸۱/۲۲	۴۷۲/۸۴	۶۲۵۴/۰۶
اوکالیپتوس-نوار دوم	۱۵۱/۶۵	۱۸۰/۴۶	۱۲۸/۷۸	۴۷۲/۶۲	۳۹۷۰/۰۰	۳۰۳/۱۷	۴۲۷۳/۱۷
اوکالیپتوس-نوار سوم	۵۴/۳۵	۶۴/۶۸	۱۲۳/۵۰	۴۵۳/۲۴	۳۸۰۷/۲۲	۱۰۸/۶۶	۳۹۱۵/۸۸
میانگین‌اوکالیپتوس	۱۴۷/۵۰	۱۷۵/۵۳	۱۴۶/۶۱	۵۳۸/۰۷	۴۵۱۹/۴۸	۲۹۴/۸۹	۴۸۱۴/۳۷
اوکالیپتوس-شاهد	۳۹/۶۷	۴۷/۲۱	۷۶/۴۰	۲۸۰/۳۹	۲۳۵۵/۲۸	۷۹/۳۱	۲۴۳۴/۵۹
جنگل آکاسیا	۳۷/۲۸	۴۴/۳۶	۷۲/۸۱	۲۶۷/۲۱	۲۲۴۴/۵۶	۷۴/۵۲	۲۳۱۹/۰۸

با توجه به جدول ۲، مشخص می‌شود از نظر وزن زی‌توده تنه، بیش‌ترین مقدار، متعلق به درختان اوکالیپتوس کاشته شده در نوار اول و میانگین سه نوار، از نظر وزن زی‌توده شاخه، بیش‌ترین مقدار متعلق به درختان اوکالیپتوس کاشته شده در نوار اول، دوم و میانگین سه نوار، از نظر وزن زی‌توده برگ، بیش‌ترین مقدار را درختان اوکالیپتوس کاشته‌شده در نوار اول، دوم، سوم و میانگین سه نوار، به‌خود اختصاص داده‌اند. از نظر وزن زی‌توده کل اندام‌هوایی، بیش‌ترین مقادیر را درختان اوکالیپتوس کاشته شده در نوار اول، دوم، سوم و میانگین سه نوار، به‌خود اختصاص داده‌اند. از نظر وزن زی‌توده

ریشه، بیش‌ترین مقادیر مربوط به درختان اوکالیپتوس کاشته شده در نوار اول، دوم، سوم و میانگین سه نوار است. از نظر وزن زی‌توده کل (اندام‌های هوایی+ریشه) بیش‌ترین مقادیر را درختان اوکالیپتوس کاشته‌شده در نوار اول، دوم، سوم و میانگین سه نوار، به‌خود اختصاص داده‌اند. کم‌ترین وزن زی‌توده تنه، شاخه، برگ، کل اندام‌هوایی، ریشه و وزن زی‌توده کل (اندام‌های هوایی+ریشه) را درختان اوکالیپتوس کاشته شده در قطعه شاهد (بدون پخش‌سیلاب) و درختان آکاسیا که میزان کم‌تری آب دریافت می‌کنند به‌خود اختصاص داده‌اند.

در مقایسه با جنگل شاهد اوکالیپتوس، افزایش وزن زی‌توده کل در نوارهای اول، دوم، سوم که با پخش‌سیلاب آبیاری می‌شوند و میانگین این سه نوار، به‌ترتیب ۱/۳۸ برابر، ۶۳/۷۸ درصد، ۵۸/۹۹ درصد و ۸۶/۸۸ درصد محاسبه شد. میانگین وزن زی‌توده کل درختان اوکالیپتوس که از طریق پخش‌سیلاب آبیاری می‌شوند در مقایسه با درختان آکاسیا در شرایط مشابه، ۱/۱۴ برابر بیش‌تر بود. میزان زی‌توده لاشبرگ درختان اوکالیپتوس شاهد و درختان آکاسیا در مقایسه با لاشبرگ تولید شده به‌وسیله درختان اوکالیپتوس موجود در نوارهای اول، دوم، سوم و میانگین آن‌ها به‌طور معنی‌داری ($p<0.05$) بیش‌تر بود (جدول ۴).

بر اساس فرمول فتوسنتز و تنفس، به‌ازای تولید هر گرم ماده‌خشک، ۱/۱۹ گرم اکسیژن آزاد می‌شود. بنابراین، می‌توان برآورد کرد که طی ۳۲ سال گذشته، نوار اول اوکالیپتوس ۲۸۱/۴۵، نوار دوم ۱۸۰/۴۶ و نوار سوم ۶۴/۶۸ تن در هکتار و به‌طور میانگین، ۱۷۵/۵۳ تن در هکتار اکسیژن تولید کرده‌است. میزان تولید اکسیژن در جنگل شاهد اوکالیپتوس ۴۷/۲۱ و در جنگل آکاسیا ۴۴/۳۶ تن در هکتار محاسبه شد (جدول ۵). با در نظر گرفتن هزینه تولید هر تن اکسیژن در واحدهای صنعتی که رائو و مولر (۳۶) آن‌را معادل ۴۰ دلار (۱۶۸۰۰۰۰ ریال) گزارش کرده‌اند، ارزش اقتصادی میزان اکسیژن تولید شده در عرصه‌های دست‌کاشت اوکالیپتوس، به ترتیب ۴۷۲/۸۴، ۳۰۳/۱۷، ۱۰۸/۶۶، با میانگین ۲۹۴/۸۹ میلیون ریال محاسبه شد. ارزش ریالی میزان اکسیژن تولید شده در جنگل شاهد اوکالیپتوس و جنگل آکاسیا به‌ترتیب ۷۹/۳۱ و ۷۴/۵۲ میلیون ریال محاسبه شد. از طرف دیگر، با توجه به این‌که هر ۲/۵۰ تن اکسیژن می‌تواند نیاز سالانه ۱۰ نفر را تأمین کند، تاکنون هر هکتار از نوار اول جنگل اوکالیپتوس، اکسیژن لازم را برای ۱۱۲۶ نفر تأمین کرده است.

گائو (۱۵) در پژوهشی برای تعیین ارزش ذخیره کربن و تولید اکسیژن در جنگل‌ها در چین، با استفاده از روش هزینه جایگزین، مقدار اکسیژن تولید شده به‌وسیله جنگل‌های منطقه مورد بررسی را ۱۲۲۵۱۳ تن در سال برآورد نموده و ارزش اقتصادی آن را معادل ۵/۵۷۵ میلیون دلار در سال محاسبه کرد.

امیرنژاد و عطایی سلوط (۱) میزان تولیداکسیژن به‌وسیله جنگل‌های‌زاگرس را ۲۱۲۵۰۰۰ تن و ارزش‌اقتصادی تولید اکسیژن در این جنگل‌ها را معادل ۶۸ میلیار ریال برآورد کردند. از نظر میزان ذخیره کربن در زی‌توده تنه، بیش‌ترین مقدار، متعلق به درختان اوکالیپتوس کاشته‌شده در نوار اول و میانگین سه نوار، از نظر میزان ذخیره کربن در زی‌توده شاخه، بیش‌ترین مقدار متعلق به درختان اوکالیپتوس کاشته شده در نوار اول، دوم و میانگین سه نوار، از نظر میزان ذخیره کربن در زی‌توده برگ، بیش‌ترین مقدار را درختان اوکالیپتوس کاشته شده در نوار اول، دوم، سوم و میانگین سه نوار، به‌خود اختصاص داده‌اند. از نظر میزان ذخیره کربن در زی‌توده کل اندام هوایی، بیش‌ترین مقادیر را درختان اوکالیپتوس کاشته شده در نوار اول و میانگین سه نوار، به‌خود اختصاص داده‌اند.

از نظر میزان ذخیره کربن در زی‌توده ریشه، بیش‌ترین مقادیر مربوط به درختان اوکالیپتوس کاشته‌شده در نوار اول است. از نظر میزان ذخیره کربن در زی‌توده کل (اندام‌های هوایی+ریشه) بیش‌ترین مقادیر را درختان اوکالیپتوس کاشته شده در نوار اول و میانگین سه نوار، به‌خود اختصاص داده‌اند. کمترین میزان ذخیره‌کربن در زی‌توده تنه، شاخه، برگ، کل اندام‌هوایی، ریشه و زی‌توده کل (اندام‌های هوایی+ریشه) را درختان اوکالیپتوس کاشته شده در قطعه شاهد (بدون پخش سیلاب) و درختان آکاسیا که میزان کمتری آب دریافت می‌کنند به خود اختصاص داده‌اند (جدول ۴).

در مقایسه با جنگل شاهد اوکالیپتوس، افزایش میزان ذخیره کربن در زی‌توده کل در نوارهای اول، دوم، سوم که با پخش سیلاب آبیاری می‌شوند و میانگین این سه نوار، به ترتیب ۱/۳۹ برابر، ۶۴/۰۸ درصد، ۵۶/۶۳ درصد و ۸۶/۷۰ درصد محاسبه شد. میانگین ذخیره کربن در زی‌توده کل درختان اوکالیپتوس که از طریق پخش‌سیلاب آبیاری می‌شوند در مقایسه با درختان آکاسیا در شرایط مشابه، ۱/۱۵ برابر بیش‌تر بود و این افزایش‌ها از نظر آماری با آزمون توکی در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد.

مقایسه میانگین ذخیره کربن در زی‌توده تنه، شاخه، برگ، کل اندام هوایی، ریشه و زی‌توده کل درختان اوکالیپتوس و آکاسیا نشان‌داد که میزان ذخیره‌کربن در همه این موارد (به‌جز شاخه) در درختان اوکالیپتوس به‌طور معنی‌داری ($p<0.05$) بیش‌تر از آکاسیا بود. همچنین، مشخص شد میزان ذخیره کربن به‌وسیله اندام‌های هوایی درختان اوکالیپتوس و آکاسیا در مقایسه با اندام زیرزمینی یا ریشه‌های این درختان بیش‌تر است. ضمن این‌که، میزان ذخیره‌کربن به‌وسیله اندام‌های هوایی نیز با یکدیگر متفاوت است. به‌طوری‌که برگ‌ها کم‌ترین میزان ذخیره کربن و تنه بیش‌ترین میزان ذخیره کربن را به‌خود اختصاص داده‌اند. وجود بافت خشبی‌تر در تنه و همچنین وزن بالاتر آن در مقایسه با سایر اندام‌های گیاهی موجب افزایش پتانسیل ذخیره کربن در آن شده است.

میزان ذخیره‌کربن در زی‌توده لاشبرگ درختان اوکالیپتوس شاهد در مقایسه با میزان ذخیره‌کربن در زی‌توده لاشبرگ تولیدشده به‌وسیله درختان اوکالیپتوس موجود در نوارهای اول، دوم، سوم و میانگین آنها به‌طور معنی‌داری ($p<0.05$) بیش‌تر بود، هر چند تفاوت معنی‌داری بین میزان ذخیره کربن در لاشبرگ درختان شاهد اوکالیپتوس و آکاسیا وجود نداشت و همچنین تفاوت میزان ذخیره کربن در

لاشبرگ درختان اوکالیپتوس کاشته‌شده در نوار اول و درختان آکاسیا هم از نظر آماری معنی‌دار نشد (جدول ۴).

افزایش توان حفظ رطوبت خاک سبب ایجاد شرایط مساعد برای رشد گیاهی در خاک رویشگاه می‌شود. بنابراین، احتمالاً وضعیت رطوبتی خاک عامل مهم تعیین‌کننده میزان رشد گیاه و ذخیره کربن است (۴۴). ازآن‌جا که بافت خاک عاملی مهم در ترسیب کربن است و بررسی‌های نادری و همکاران (۳۴) نقش ته‌نشینی مواد معلق سیلاب را در تغییر بافت خاک از شنی به شنی متوسط در گربایگان نشان داده است، افزایش توان نگه‌داری آب قابل استفاده خاک در این پدیده مؤثر بوده‌است. در اثر پخش‌سیلاب، محیط مناسبی برای رشد گیاهان ایجاد شده زیرا این محیط، حاوی عناصر غذایی بیش‌تری (از جمله اضافه‌شدن یون‌های نیترات و آمونیوم از طریق سیلاب ورودی) بوده و دارای ظرفیت نگهداری آب بیش‌تری می‌باشد که به تکثیر خودبخودی پوشش گیاهی موجود و گونه‌های مهاجم کمک می‌کند (۴۷،۲۵).

میزان لاشبرگ تولید شده که بیش‌تر شامل شاخ و برگ ریخته شده درختان دچار تنش خشکی است، این موضوع را تأیید می‌کند. به‌طوری‌که میانگین لاشبرگ تولید شده در عرصه‌های اوکالیپتوس که با سیلاب آبیاری می‌شوند، ۷/۶۳ تن در هکتار تعیین شد ولی در عرصه اوکالیپتوس بدون پخش سیلاب (شاهد)، این میزان به ۱۶/۰۲ تن در هکتار و در جنگل آکاسیا که مقدار کمتری سیلاب دریافت می‌کند به ۱۳/۰۶ تن در هکتار افزایش پیدا کرد و این افزایش‌ها از نظر آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲).

مادیرا و همکاران (۲۷) نشان دادند که میزان افزایش کربن موجود در توده اوکالیپتوس گلوبولوس با تیمارهای مختلف شامل آبیاری، آبیاری و کوددهی، شاهد پس از گذشت ۶ سال، به‌ترتیب ۵/۸۶ و ۷/۸۶، ۷/۸۷، ۱۱/۴۰ کیلوگرم بر مترمربع بود. آن‌ها چنین نتیجه‌گیری کردند که کمبود رطوبت، مهم‌ترین عامل محدود کننده رشد است. نتایج این پژوهش با نتایج بردبار (۶)، روستا و همکاران (۴۰)، مقصودلونژاد و همکاران (۲۸)، مادیرا و همکاران (۲۷) و گائو و همکاران (۱۶) هماهنگی دارد.

از نظر شاخص میزان ذخیره کربن، در کاربری جنگل اوکالیپتوس (نوار اول)، بیشترین کربن به‌میزان ۱۸۷/۵۶ تن در هکتار به‌صورت بافت‌های زنده گیاهی شامل تنه، شاخه و برگ و به‌شکل لاشبرگ در سطح خاک ذخیره شده‌است (جدول ۵). با توجه به این‌که هر تن کربن معادل با ۳/۶۷ تن گاز دی‌اکسیدکربن در نظر گرفته می‌شود، می‌توان نتیجه گرفت که مقدار ۶۸۸/۳۴ تن گاز دی‌اکسیدکربن موجود در هوا در اندام‌های مختلف گیاه و در لاشبرگ به‌صورت ماده آلی ذخیره شده است. در صورتی‌که در آکاسیا، میزان ذخیره‌کربن، ۷۲/۸۱ و معادل دی‌اکسیدکربن ذخیره‌شده، ۲۶۷/۲۱ تن در هکتار بود. ارزش اقتصادی-زیست‌محیطی این مقدار کربن ذخیره شده بر اساس پیشنهاد ریورز (۳۸)، که میزان مالیات بر کربن را به‌ازای هر تن دی‌اکسیدکربن ۲۰۰ دلار اعلام کرده (۸۴۰۰۰۰۰ ریال)، به‌ترتیب معادل ۵/۷۸ و ۲/۲۴ میلیارد ریال در هکتار محاسبه شد. با توجه به ۳۲ سال پخش‌سیلاب در این عرصه‌ها، هر هکتار از عرصه جنگل اوکالیپتوس و آکاسیا به‌طور متوسط سالانه به‌ترتیب، ۲۱/۵۱ و ۸/۳۵ تن گاز دی‌اکسیدکربن موجود در هوا را به‌صورت م اده آلی ذخیره کرده‌اند. از این نظر، جنگل دست‌کاشت اوکالیپتوس نقش بیش‌تری در کاهش آلودگی هوا ایفاء نموده است. ارزش زیست‌محیطی اکسیژن تولید شده در جنگل اوکالیپتوس و آکاسیا (به‌ترتیب ۰/۴۷ میلیارد ریال و ۷۴/۵۲ میلیون ریال) نیز به ارزش زیست‌محیطی کاهش دی‌اکسیدکربن اضافه‌شده و جمع ارزش کارکرد اقتصادی آن‌ها به‌ترتیب معادل ۶/۲۵ و ۲/۳۲ میلیارد ریال می‌گردد. بنابراین، توسعه جنگل‌کاری با اوکالیپتوس همراه با پخش‌سیلاب در مناطق مستعد و با شرایط مشابه منطقه مورد بررسی، دارای توجیه اقتصادی است.

نتایج این بررسی نشان داد از دو گونه درختی اوکالیپتوس و آکاسیای کاشته‌شده در عرصه‌های پخش‌سیلاب ایستگاه کوثر، گونه اوکالیپتوس سازگاری بهتری با شرایط منطقه، از خود نشان داده‌است. بنابراین، امکان رشد بیش‌تری داشته و در نتیجه توانایی تولید زی‌توده، ذخیره کربن، جذب دی‌اکسیدکربن و تولید اکسیژن بیش‌تری داشته و درنهایت، ارزش اقتصادی زیست‌محیطی بالاتری ایجاد کرده است. با توجه به این موارد و با در نظر گرفتن سایر شرایط، در مناطق مناسب برای پخش سیلاب، می‌توان اصلاح و احیای اراضی خشک و نیمه‌خشک که دارای محتوای مواد آلی بسیار پایین (کمتر از حدود ۰/۱ درصد) است (۱۹،۳۲،۴۲) را با کاشت این گونه درختی دنبال کرد؛ زیرا این امر می‌تواند ضمن کمک به مدیریت حفاظت کمی و کیفی خاک، راهکاری مؤثر برای مواجهه با آلودگی هوا و بحران تغییر اقلیم باشد و در نهایت، زمینه توسعه پایدار را فراهم می‌آورد.

تشکر و قدردانی

این اثر برگرفته از بخشی نتایج پروژه تحقیقاتی مستقل با عنوان "بررسی روند تغییرات میزان کربن آلی ذخیره شده در عرصه‌های پخش‌سیلاب ایستگاه کوثر"با شماره مصوب ۹۶۰۱۹۹-۰۰۸-۲۹-۵۰-۲ در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری است. به‌همین دلیل، نویسندگان مقاله برخود لازم می‌دانند از حمایت‌های مادی و معنوی این پژوهشکده و همچنین، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع‌طبیعی استان فارس نهایت تشکر و قدردانی خود را اعلام نمایند.

منابع

1. Amirnejad, H., K. Ataei Saluot. 2011. Economic valuation of environmental resources. Vol I, Avaye Masih Publication, Sari, Iran, 432 pp (In Persian).
2. Arickak, B., A. Bultat, A. Altunel and O. Sakici. 2015. Estimating aboveground carbon biomass using satellite image reflection values: A case study in camiazi forest directorate, Turkey. Izvorni znanstveni članci-original scientific paper sšumarski list, 7-8: 369-376.
3. Badeban, Z., Z. Mashayekhi, L. Zebardast and N. Mobrghee. 2014. Economic Valuation of Carbon Sequestration Function in the Mixed and Pure Beech Stands (Case study: Kheyrud Forests). Environmental Researches, 15(9): 147-156 (In Persian).
4. Badeian, Z. 2006. Relation between carbon stock and pH in the organic and mineral soil layers of a mixed forest of beech. A master thesis in faculty of natural forest, Tehran University, 69 pp (In Persian).
5. Basuki, T.M., P.E. Van Laake, A.K. Skidmore and Y.A. Hussin. 2009. Allometric equations for estimating the above-ground biomass in tropical lowland Dipterocarp forests. Forest Ecology and Management, 257: 1684-1694.
6. Bordbar S.K. 2005. Study of carbon storage potential in eucalyptus and acacia forests in western regions of Fars province, Ph.D. thesis, Islamic Azad University, Science and Research Branch, 153 pp (In Persian).
7. Bordbar S.K. 2012. Estimation of carbon sequestration in Kamfirouz Oak shoots of Fars Province, Final report of research project, Agriculture Research, Education and Extension Organization. Iran, 47 pp (In Persian).
8. Bruce, J.P., M. Frome, E. Haites, H. Joanne, R. Lal and K. Faustion. 1999. Carbon sequestration in soils. Journal of Soil and Water Conservation, First Quarter, 124-139.
9. Chambers, J.Q., J.S. Santos, R.J. Ribeiro, and N. Higuchi. 2001. Tree damage, allometric relationships, and above-ground net primary production in central Amazon forest. Forest Ecology and Management, 152(1–3): 73-84.
10. Clark, D.A., S. Brown, D.W. Kicklighter, J.Q. Chambers, J.R. Tomlison, and J. Ni. 2001. Measuring net primary production in forests: concepts and field methods. Ecological Applications 11: 356–370.
11. Emani, J., A. Tavili, E. Bandak and M. Khosravi. 2010. Assessment the effects of flood spreading on the variation of rangelands vegetation cover (In Mayhem watershed in Ghorveh, Kurdistan), Iranian Journal of Rangeland and Desert Research, 17(2): 234-242 (In Persian).
12. FAO. 2000. www. Fao.org/3/yz316e/y2361eob.htm
13. FAO. 2020. www. Fao.org/state of fotests/2020/ew
14. Fatholahi, M., A. Fallah, S.M. Hodjati, S. Kalbi. 2013. Comparison of Carbon stock in plantation and natural forest of Maple and Hornbeam. International Conference the 3rd Environmental Planning and Management ICEPM. Nov. 26th, Tehran (In Persian).
15. Gao, Y.H., P. Lue, C.H. Wu and G.X. Wang. 2007. Grazing intensity impacts on carbon sequestration in an Alpine Meadow on the Eastern Tibetan Plateau. Journal of Agricultural and Biological Sciences, 3(6): 642-647.
16. Gao, Z., X. Xiao, Y. Gan, and Y. Zheng. 2001. Ecosystem functions, services and their values, a case study in Xingshan country of China. Ecological Economics, 38: 141-154.
17. Ghahari, G.R. 2019. Vegetation monitoring of Kowsar research aquifer management station, Annual report of research project, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, 55 pp (In Persian).
18. Hagen-Thorn, A., I. Callesen, K. Armolaitis and B. Nihlgard. 2004. The impact of six European tree species on the chemistry of mineral topsoil in plantations of former agricultural land, Forest Ecology and Management, 195: 373-384.
19. Hajabbasi, M.A. and A. Hemmat. 2000. Tillage impacts on aggregate stability and crop productivity in a clay-loam soil in central Iran. Soil and Tillage Research, 59: 205-212.
20. Hashemi, H. 2015. Climate Change and the Future of Water Management. In Iran, Middle East Critique, 24: 307-323.
21. Hosseini, S., H. Amirnejad and J. Oladi. 2017. The valuation of functions and services of forest ecosystem of KIASAR NATIONAL PARK. Agricultural Economic, 11(1): 211-239 (In Persian).
22. Iranmanesh, Y., Kh. Sagheb Talebi, H. Sohrabi, S.Gh. Jalali and S.M. Hosseini. 2014. Biomass and carbon Stocks of Brant's oak (*Quercus brantii* Lindl.) in two vegetation forms in Lordegan, Chaharmahal & Bakhtiari Forests. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 22(4): 749-762 (In Persian).
23. John, N.O. and H.G. Lund. 2009. Forest and Forest Plants, Vol 1, Eolls Publishers Co. Oxford, United Kingdom, 413 pp.
24. Khorramdel, S., P. Rezvani Moghaddam and L. Jafari. 2016. Evaluating the potential of carbon sequestration for canola fields under Khorasan Razavi. Journal of Crop Production, 9(3): 22-43 (In Persian).

25. Kowsar, S.A. 1997. Aquifer management: A key to food security in the deserts of Iran. Proceeding of 8th International. Conference on Rainwater Catchment Systems, Tehran, Iran, 2: 990-996.
26. Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change, Geoderma, 123: 1-22.
27. Madeira, M.V., A. Fabiao, J.S. Pereira, M.C. Araajo, 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.
28. Maghsoudlou Nezhad, M., A. Bonyad and S. H. Shataee. 2020. Estimation stock and economic value of carbon storage of Juniperus excelsain Gorgan Chahar Bagh. Forest and Wood Products, 72(4): 301-311.
29. Mirrajabi, H., J. Oladi and A. Mataji. 2016. Estimating above Ground Carbon Storage in Urban Afforestation Using Satellite Data (Case Study: Chitgar Forest Park in Tehran). Ecology of Iranian Forests, 4(7): 35-42 (In Persian).
30. Moradi, M. 2008. Economic and environmental study Iran's Zagros forests (Case study: Kohgiluyeh and Boyer Ahmad). Ph.D. Thesis of Islamic Azad University, Science and Research Branch of Tehran, 299 pp (In Persian).
31. Mortenson, M. and G. Schuman. 2002. Carbon sequestration in rangeland interseeded with yellow flowering alfalfa (*Medicago Sativa* Spp. Falcata) USDA Symposium on Natural Resource Management to Offset Greenhouse Gas Emission in University of Wyoming.
32. Mosaddeghi, M.R., M.A. Hajabbasi, A. Hemmat and M. Afyuni. 2000. Soil compatibility as affected by soil moisture content and farmyard manure in central Iran. Soil and Tillage Research, 55: 87-97.
33. Moslemi H., A. Abkar and S. Choopani. 2015. Evaluation studies on the effect of flood spreading on thedevelopment of water resources. Rainwater Harvesting Systems, 3(8): 73–91 (In Persian).
34. Naderi, A., S.A. Kowsar and A. Sarafraz. 2000. Reclamation of a sandy desert through floodwater spreading. I. sediment induced changes in selected soil chemical and physical properties. Journal of Agricultural Science and Technology, 2: 9-20.
35. Panahi, P., M. Pourhashemi and M. Hassani Nejad. 2011. Estimation of leaf biomass and leaf carbon sequestration of Pistacia atlantica in National Botanical Garden of Iran, Iranian Journal of Forest, 3(1): 1-12.
36. Rao, P. and M. Muller. 2007. Industrial Oxygen: Its Generation and Use. ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry, 135 pp.
37. Rice, C.W. 2000. Soil organic C and N in rangeland soils under elevation CO_2 and land management. Advances in Terrestrial Ecosystem Carbon Inventory, Measurements and Monitoring Conference in Raleigh, North Carolina, October, 15-24 pp.
38. Rivers, N. 2014. The case for a carbon tax in Canada, Canada 2020. Article available athttp://canada2020.ca/canada-carbon-tax/.
39. Ross, D.J., K.R. Tate, N.A. Scott, R.H. Wilde, N.J. Rodda and J.A. Townsend. 2002. Afforestation of pastures with *Pinus radiata* influences soil carbon and nitrogen pools and mineralisation and microbial properties. Australian Journal of Soil Research, 40: 1303-1318.
40. Rousta, T., A. Fallah and H. Amirnejad. 2013. Estimation of carbon storage for *Pistachio atlantica* Desf. (Case study: Firuzabad Pistachio and Amygdalus forest research, Fars province). Iranian Journal of Forest, 5(2): 131-139 (In Persian).
41. Schuman, G.E., H. Janzen and J.E. Herrick. 2002. Soil carbon information and potential carbon sequestration by rangelands, Environmental Pollution, 116: 391-396.
42. Shirani, H., M.A. Hajabbasi, M. Afyuni and A. Hemmat. 2002. Effects of farmyard manure and tillage systems on soil physical properties and corn yield in central Iran. Soil and Tillage Research, 68: 101-108.
43. Silver, W.L., R. Ostertag and A.E. Lugo. 2000. The potential for carbon sequestration through reforestation of abandoned tropical agricultural and pasture lands, Restoration Ecology, 8(4): 394-407.
44. Wang, Sh., X. Wang and Z.H. Ouyang. 2012. Effects of land use, climate, topography and soil properties on regional soil organic carbon and total nitrogen in the upstream watershed of Miyun Reservoir, North China. Journal of Environmental Sciences, 24(3): 387-395.
45. Whlliam, E. 2002. Carbon dioxide fluxes in a semi -arid environment with high carbonate soils. Journal of Agricultural and Forest Meteorology, 116: 91–10.
46. Winjum, J.K. and P.E. Schroeder. 1997. Forest plantations of the world: their extent, ecological attributes, and carbon storage. Agricultural and Forest Meteorology, 84(1-2): 153-167.
47. 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.
48. Yong, Z.S. 2007. Soil Carbon and nitrogen sequestration following the conversion of cropland to alfalfa land in northwest china. Soil and Tillage Research, 92: 181-189.

Economic Value and Contribution of Carbon Storage in Different Organs of Eucalyptus and Acacia in the Flood Spreading Fields of Kowsar Station

Mohammad Javad Rousta[1], Maryam Enayati[2], Seyed Masoud Soleimanpour[3] and Kourosh Kamali[4]

1- Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran (Corresponding Author: m.roosta@areeo.ac.ir)
2- M.Sc., Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Fars agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran
3- Assistant professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran
4- Assistant professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Gilan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran
Received: February 23, 2020 Accepted: June 28, 2020

Abstract

Carbon storage by natural forests, plantation forests, pastures and soils is the best way to reduce atmospheric carbon. This study was conducted in 2018 with the aim of evaluating the effect of spate irrigation on the biomass and carbon storage in various organs of *Eucalyptus camaldulensis* and *Acacia salicina* plantation at the Kowsar station located in Gare-Bygone Plain. After truncating the trees, trunk, branches and leaves were separated. In addition, the amount of litter produced under the trees was also collected and weighed. Afterwards, the dried samples were powdered by electric milling and the carbon content in the samples including trunk, branch, leaf and litter was measured by electro-ash method. Data were analyzed using randomized complete block design and the means were compared by Tukey test at $P<0.05$. The results showed that leaves had the lowest amount of carbon storage and trunk had the highest amount of carbon storage. In eucalyptus stand (first strip), the highest carbon content of 187.56 t/ha was stored as living tissue including trunk, branch and leaf litter. Given that each ton of carbon equals 3.67 tons of carbon dioxide gas, it can be concluded that the amount of 688.34 tons of carbon dioxide gas in the air in different organs of the plant and in litter stored as organic matter. In acacia, however, the amount of carbon stored was 72.81 t/ha and the equivalent of stored carbon dioxide was 267.21 t/ha. The economic-environmental value of this amount of stored carbon was calculated to be $137619.05 and $5333.33 per hectare, respectively. With respect to 32 years of spreading water in these areas, each hectare of eucalyptus and acacia trees averages 21.51 and 8.35 tons of carbon dioxide gas have been stored as organic matter per year, respectively. In this respegt, the eucalyptus plantation has played a greater role in reducing air pollution. The economic value of the oxygen produced in the forests of eucalyptus and acacia ($11190.5 and $1774.28, respectively) is also adds to the economic value of reducing carbon dioxide, and their economic performance value reach to $148809.52 and $55238.10, respectively. Therefore, the development of eucalyptus afforestation toghether with spate irrigation method in similar prone areas is more economically justified and recommended from a carbon storage perspective.

Keywords: Carbon storage, Climate change, Fars, Greenhouse gases, Kowsar Station