

جنگل و فرآورده‌های چوب، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۶۹، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۸/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۳/۱۷

ص ۵۲۳-۵۳۴

بررسی میزان ترسیب کربن خاک در تیپ‌های مختلف جنگلکاری‌شده و طبیعی (مطالعه موردی: طرح جنگلداری چمستان، مازندران)

- ❖ ضیاءالدین باده‌یان؛ استادیار گروه جنگلداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان
- ❖ معصومه منصورى*؛ دانشجوی دکتری جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان
- ❖ محبوبه فصحت؛ کارشناس ارشد رشته جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس پردیس نور
- ❖ محمدعلی فخاری؛ کارشناس ارشد اداره منابع طبیعی نور
- ❖ سید محسن حسینی؛ دانشیار دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، پردیس نور

چکیده

اکوسیستم‌های جنگلی و مدیریت بهینه آن، تأثیر بسیار مهمی در جذب کربن اتمسفر دارد. این تحقیق با هدف بررسی تأثیر جنگلکاری‌های طرح جنگلداری چمستان بر مقدار ترسیب کربن خاک صورت گرفت. نمونه برداری خاک به صورت منظم تصادفی و از عمق‌های ۰-۱۵، ۱۵-۳۰ و ۳۰-۴۵ سانتی‌متری انجام گرفت. در مجموع ۲۰ نمونه خاک از شش توده ۲۱ ساله جنگلکاری‌شده کریتومریا (*Cryptomeria japonica*)، زربین (*Cupressus sempervirens*)، تدا (*Pinus taeda*)، افرا شبه‌چناری (*Acer pseudo-platanus*)، جنگلکاری آمیخته و جنگل طبیعی برداشت و به آزمایشگاه منتقل شد. نتایج نشان داد که بین مقدار کربن موجود در توده‌های مختلف خالص، آمیخته و طبیعی در لایه‌های مختلف از نظر آماری تفاوت معنی‌داری وجود دارد و در مجموع لایه‌ها (۰-۴۵ سانتی‌متری)، این مقدار ترسیب کربن (۱۰۸ هکتار/تن) برای توده طبیعی به‌طور معنی‌داری ($P < 0/01$) بیشتر از سایر توده‌هاست. همچنین نتیجه رگرسیون گام‌به‌گام نشان داد که درصد نیتروژن و نسبت کربن به نیتروژن (C/N) به ترتیب از مهم‌ترین اجزای تأثیرگذار بر مقدار کربن آلی خاک در توده‌های بررسی‌شده است. به‌طور کلی، می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که با شناخت گونه‌هایی که توانایی بیشتری برای ترسیب کربن دارند و همچنین بررسی عوامل مدیریتی تأثیرگذار بر فرایند ترسیب کربن، می‌توان اصلاح و احیای اراضی را از جنبه ترسیب کربن دنبال کرد.

واژگان کلیدی: ترسیب کربن، جنگلکاری، چمستان، خاک

مقدمه

عوامل مختلفی در پدیده موسوم به گرمایش جهانی یا تغییر اقلیم تأثیر دارند که از مهم‌ترین آنها گازهای گلخانه‌ای و مرسوم‌ترین آنها CO_2 است. پس از کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی، بخش مهمی از کاهش تجمع CO_2 اتمسفر به ذخیره کربن در اکوسیستم‌های طبیعی برمی‌گردد. هرچند اقیانوس‌ها بیشتر کربن زمین را ذخیره می‌کنند، خاک‌ها در حدود ۷۵ درصد منبع کربن خشکی را دربردارند [۱]. اکوسیستم‌های جنگلی و مدیریت بهینه آنها تأثیر بسیار مهمی در جذب کربن اتمسفر دارند. بنابراین افزایش سطح جنگل از راه جنگلکاری به‌عنوان یکی از راه‌های کاهش آثار گرم شدن زمین، در مجامع مختلف زیست‌محیطی جهان، مورد توجه و تأکید قرار گرفته است، چراکه خاک‌های مناطق جنگلی ۴۰ درصد از این مقدار را می‌توانند ذخیره کنند. ترسیب کربن عبارت است از توانایی درختان و سایر گیاهان و خاک برای جذب دی‌اکسید کربن از اتمسفر و ذخیره آن به‌صورت کربن در چوب، ریشه، برگ و خاک. با توجه به تعاریف مختلف، استنباط می‌شود که ذخیره کربن در جنگل ناشی از تعادل بین مراحل مختلف چرخه کربن مانند فتوسنتز، رشد گیاه، تراکم و انباشت کربن در خاک‌ها از یک طرف و دفع کربن ناشی از تنفس اندام‌های زنده، نابودی درختان، تجزیه میکروبی لاشبرگ، اکسیداسیون کربن خاک و تخریب سرزمین از سوی دیگر است [۲]. بسیاری از پروژه‌های اصلاحی مانند جنگلکاری سبب افزایش ذخیره کربن در خاک می‌شوند. از طرفی افزایش کربن ساختاری به بهبود ساختمان، تخلخل و نفوذپذیری خاک منجر می‌شود. آرادوتیر و همکاران (۲۰۰۰) نشان دادند کربن

موجود در خاک بیش از کربن موجود در بیوماس ریشه‌هاست، ولی مقدار ذخیره کربن بیوماس هوایی گیاهان در طول زمان، نسبت به خاک افزایش بیشتری نشان می‌دهد و نیز ذخیره کربن در بیوماس اندام هوایی بیش از کربن موجود در بیوماس ریشه‌هاست [۳]. نتایج بررسی دیگری در مقایسه پهن‌برگان و سوزنی‌برگان، نشان داد که مقدار کربن، اسیدپته و نیتروژن کل و هدایت الکتریکی خاک در توده‌های مختلف اختلاف معنی‌داری دارد و درصد نیتروژن و نسبت کربن به نیتروژن به‌ترتیب از مهم‌ترین اجزای تأثیرگذار بر مقدار کربن خاک در توده‌های مورد بررسی هستند. نتایج این تحقیق نشان داد که از بین گونه‌های موجود، گونه پیسه‌آ (*Picea abies*)، نیتروژن بیشتری جذب کرده است، از این رو نیتروژن خاک افزایش یافته و تأثیر بسیار مهمی در افزایش کربن آلی خاک داشته است. حداکثر مقدار کربن موجود در توده‌های سوزنی‌برگ برعکس توده‌های پهن‌برگ در لایه اول بیشتر شده است [۴]. آگوست و همکاران (۲۰۰۲) در تحقیق خود ثابت کردند که سوزنی‌برگان سبب کاهش pH خاک می‌شوند. بدیهی است تغییرات pH موجب تغییراتی در جذب نیتروژن و فعالیت میکروارگانیسم‌ها و جذب مواد غذایی توسط درختان می‌شود و در مقدار کربن خاک نیز تغییر ایجاد می‌کند [۵]. یافته‌های مطالعه دیگری در این زمینه، نشان‌دهنده افزایش جذب کربن در اثر افزایش سطح جنگل‌ها به‌ویژه در اراضی بایر و تخریب‌شده است. از طرفی دیگر بیان شده است که بیشتر مطالعات تأثیر جنگل‌کاری‌ها بر مقدار جذب کربن خاک را مثبت ارزیابی کرده‌اند [۶]. جعفری حقیقی (۲۰۰۳) بیان داشت که یک هکتار جنگل، در شرایط مناسب بهره‌برداری، سالانه حدود ۱۵ تن ماده خشک یا تقریباً شش تن کربن

کمترین میزان ترسیب کربن در بیوماس خود بودند. دامنه تغییرات کربن آلی خاک نیز در کلیه پلات‌ها ۷۱/۲۵ تا ۲۳۳/۴۱ کیلوگرم در هکتار است [۱۱]. ورامش و همکاران (۲۰۱۰) نیز در بررسی ذخیره کربن خاک در پارک چیتگر تهران نتیجه گرفتند که ترسیب کربن در خاک توده افاقیا (*Robinia pseudoacacia* L.) ۷۸/۱۹ تن در هکتار، در توده کاج تهران (*Pinus eldarica* Medw) ۵۷ تن در هکتار و در اراضی بایر ۱۰/۸ تن در هکتار است. همچنین در این پژوهش درصد رس و نیتروژن مهم‌ترین اجزای تأثیرگذار خاک بر مقدار کربن آلی و ذخایر ترسیب کربن گزارش شدند [۱۲]. نوبخت و همکاران (۲۰۰) در بررسی طرح جنگلداری ده‌میان مازندران با بررسی میزان ترسیب کربن در بین گونه‌های جنگلکاری شده، ون (*Fraxinus excelsior*)، کاج‌سیاه (*Pinus nigra*)، پیسه‌آ (*Picea abies*) و بلوط بلندمازو (*Quercus castaneifolia*)، نشان دادند که توده پیسه‌آ بیشترین میزان ترسیب را به خود اختصاص می‌دهد (۱۲۴ تن بر هکتار) و پس از آن به ترتیب توده‌های کاج‌سیاه (۹۴/۷ تن بر هکتار)، ون (۸۷/۶ تن بر هکتار) و بلندمازو (۷۸/۱ تن بر هکتار) قرار می‌گیرند [۱۳]. با توجه به اهمیت ترسیب کربن در جهان، همان‌طور که اشاره شد، در سال‌های اخیر پژوهش‌های متنوعی در زمینه ترسیب کربن در مراتع، مناطق جنگلی، توده‌های جنگلکاری شده و جنگل‌های شهری در نقاط مختلف جهان انجام گرفته، ولی متأسفانه تحقیقات چندانی در ایران صورت نگرفته است. مطالعه پوشش گیاهی منطقه هیرکانی به دلیل اهمیت محیط‌زیست جهانی و اینکه امروزه در معرض خطرهای متعددی قرار گرفته است، و نیز به سبب توانایی زیاد ترسیب کربن بسیار حائز اهمیت است. از سوی دیگر، به دلیل تأثیر عوامل انسانی مانند

در خود ذخیره می‌کند که در این صورت ۲۲ تن گازکربنیک جذب و ۱۶ تن اکسیژن تولید می‌شود. بنابراین اگر ذخیره دی‌اکسید کربن اتمسفر با آزاد شدن دی‌اکسید کربن تنفسی و تخمیری جبران نشود، به سرعت تمام خواهد شد [۷]. عبدی (۲۰۰۵) در تحقیقی گزارش کرد که در مراتع گونزار، با افزایش درصد سنگ و سنگریزه و شن در بافت خاک، ترسیب کربن افزایش می‌یابد. وی این موضوع را به سازگاری زیاد گونه‌ها در خاک‌های سبک نسبت می‌داد [۸]. در همین زمینه، بردبار و مرتضوی جهرمی (۲۰۰۶) پتانسیل ذخیره کربن را در دو گونه *Eucalyptus Dehnh* و *camaldulensis* کاشته شده به صورت دیم در دو منطقه فسا و ممسنی بررسی کردند. نتایج تحقیق نشان‌دهنده مقدار کربن ذخیره شده گونه اکالیپتوس در منطقه فسا و در رویشگاه حاصلخیز به مقدار ۳/۶۱۹ تن در هکتار در سال و در رویشگاه ضعیف ۲/۲۷۳ تن در هکتار در سال و برای گونه آکاسیا در رویشگاه ضعیف ۱/۵۰۲ تن در هکتار در سال بود [۹]. بعدها، محمودی طالقانی و همکاران (۲۰۰۷) در تحقیق در مورد برآورد مقدار ترسیب کربن خاک در جنگل‌های تحت مدیریت کشور نتیجه گرفتند که حجم در هکتار جنگل رابطه مستقیمی با بیوماس جنگل دارد و در نتیجه به افزایش ذخیره کربن خاک کمک می‌کند. همچنین تنوع در ترکیب و آمیختگی گونه‌ها از عوامل مهم افزایش ذخیره کربن در افق‌های معدنی خاک است [۱۰]. نتایج بررسی نوبخت و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد که از بین نه گونه مورد بررسی در ۴۳ پلات مطالعاتی، گونه *Astragalus gosypinus* دارای بیشترین مقدار ترسیب کربن (۳۶۹ کیلوگرم در هکتار) و گونه *Echinophora platiloba* (۷ کیلوگرم در هکتار) دارای

با میانگین قطر ۱۸ سانتی‌متر از گونه‌های کریپتومریا (*Cupressus japonica*)، زربین (*Cupressus sempervirens*)، کاج تدا (*Pinus taeda*)، افرا شبه‌چناری (*Acer pseudo-platanus*)، جنگلکاری آمیخته (با گونه‌های ذکرشده) و جنگل طبیعی (قطعه شاهد) انتخاب شد. مساحت توده زربین ۸/۸ هکتار، تدا ۱۶/۸ هکتار، افرا شبه‌چناری ۱۰/۱ هکتار، کریپتومریا ۱/۵ هکتار و مساحت توده آمیخته جنگلکاری ۱۰/۱ هکتار بود. جنگل طبیعی مورد بررسی جزء اراضی جلگه‌ای تخریب‌یافته منطقه و با دامنه جنگلی کم‌ارتفاع شامل گونه‌هایی از بلوط بلندمازو (*Quercus castaneifolia*)، توسکاقشلاقی (*Alnus glutinosa*)، خرمندی (*Diospyros lotus*) و غیره انتخاب شد. در هر توده پنج پلات ۵×۵ متری و در هر پلات چهار نمونه خاک به صورت تصادفی اندازه‌گیری شد. به‌منظور از بین بردن آثار جانبی دو ردیف از درختان هر قطعه جنگلکاری حذف شد. با توجه به مطالعات انجام‌گرفته، عمده ذخیره کربن تا عمق ۵۰ سانتی‌متری خاک صورت می‌گیرد [۱۴]. بنابراین، در چهار گوشه هر پلات آماربرداری، پس از کنار زدن لایه لاشبرگی، از سه عمق ۱۵-، ۳۰- و ۴۵- سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری شد. به این ترتیب در هر توده و از هر عمق، ۲۰ نمونه برداشت و به‌منظور کاهش خطا نمونه‌ها در پلات‌ها با هم مخلوط شد. از این‌رو در هر توده و از هر عمق ۵ نمونه جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل شد. نمونه‌ها در هوای آزاد خشک شدند و پس از خرد کردن کلوخه‌ها و جدا کردن ریشه‌ها، سنگ و دیگر ناخالصی‌ها، خاک آسیاب شده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد [۱۵].

چرای دام بر میزان ترسیب کربن، ضروری است میزان ترسیب کربن در این منطقه ارزیابی شود. بنابراین در این بررسی سعی بر این است که تیپ‌های مختلف جنگلکاری‌شده با گونه‌های کریپتومریا (*Cryptomeria japonica*)، زربین (*Cupressus sempervirens*)، کاج تدا (*Pinus taeda*) و افرا شبه‌چناری (*Acer pseudo-platanus*) با توده طبیعی مقایسه شده و پتانسیل نسبی ترسیب کربن این گونه‌ها برآورد شود. این تحقیق با هدف بررسی تأثیر جنگلکاری‌های طرح جنگلداری چمستان بر مقدار ترسیب کربن خاک صورت می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این بررسی در جنگلکاری‌های واقع در منطقه چمستان نور که در ۱۶ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان نور (۳۶ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۲ درجه و ۵ دقیقه طول شرقی) واقع شده و ارتفاع آن از سطح دریای آزاد بین ۱۹۰ تا ۲۲۰ متر است. براساس آمار ۲۲ ساله (۱۳۸۴-۱۳۵۴) ایستگاه هواشناسی منطقه، میانگین بارندگی سالانه منطقه اجرای طرح، ۸۳۰ میلی‌متر است که بیشترین بارندگی در ماه‌های شهریور تا آذر اتفاق افتاده است. متوسط دمای منطقه ۱۴ درجه سانتی‌گراد، حداکثر مطلق دما ۳۶ درجه سانتی‌گراد و حداقل مطلق دما ۸/۵- درجه سانتی‌گراد است. در منطقه مذکور فصل خشک از اواسط خرداد آغاز می‌شود و تا اواخر مرداد ادامه دارد.

روش تحقیق

در مجموع بیست نمونه خاک از شش توده مورد بررسی شامل قطعات ۲۱ ساله جنگلکاری‌شده خالص و آمیخته

(مشخصه‌های خاک) و وابسته (میزان ترسیب کربن خاک) از آزمون رگرسیون چندمتغیره استفاده شد. در این مرحله، آزمون همگنی واریانس خطاها با استفاده از مقادیر خطای استاندارد شده در مقابل مقادیر پیش‌بینی استاندارد شده انجام گرفت. آزمون عدم خودهمبستگی بین خطاها با استفاده از آماره دورین واتسون اجرا شد. در این بخش مقادیر نزدیک به دو پذیرفتنی است. پس از تأیید همه فرضیه‌های یاد شده، رابطه رگرسیونی بین متغیرهای مستقل و وابسته تعیین شد. برای انتخاب مدل مناسب و همچنین مؤثرترین متغیرهای مستقل مرتبط، از روش رگرسیون گام به گام استفاده شد. تجزیه و تحلیل آماری در محیط نرم‌افزارهای آماری SPSS 16، SAS و EXCEL انجام گرفت.

نتایج و بحث

میانگین میزان کربن ترسیب شده در لایه‌های مختلف خاک در تیپ‌های مختلف در شکل‌های ۲ تا ۴ نمایش داده شده است. تحلیل‌های آماری نشان می‌دهد که بین مقدار کربن موجود در توده‌های مختلف خالص و آمیخته و طبیعی، در لایه‌های مختلف از نظر آماری تفاوت معنی‌داری وجود دارد. در لایه ۰-۱۵ سانتی‌متری تفاوت معنی‌داری در سطح ۱ درصد و در لایه‌های بعدی شامل لایه‌های ۱۵-۳۰ و ۳۰-۴۵ سانتی‌متری این اختلاف در سطح ۵ درصد معنی‌دار است. همان‌طور که در مقایسات میانگین به روش دانکن (شکل ۲) مشخص است، توده طبیعی بیشترین میزان ترسیب کربن را به خود اختصاص داده است. پس از آن توده دست‌کاشت افرا شبه‌چناری، کریپتومریا و توده آمیخته قرار دارند که در یک سطح قرار می‌گیرند. توده زربین نیز در سطح پایین‌تری قرار گرفته است و توده دست‌کاشت تدا نیز

عملیات آزمایشگاهی: ابتدا درصد سنگ و سنگریزه محاسبه و سپس خصوصیات خاک در آزمایشگاه بررسی شد. بافت خاک با استفاده از روش دانسیمتری بایکاس^۱، وزن مخصوص ظاهری به روش کلوخه بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب [۱۴]، اسیدیته خاک به روش پتانسیومتری با استفاده از دستگاه pH متر الکترونیکی، هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع و با استفاده از دستگاه EC متر الکترونیکی و ازت کل خاک با دستگاه کجلدال تعیین شد [۱۵]. ماده آلی و کربن آلی با استفاده از روش سرد و بر مبنای اکسیداسیون کربن آلی به کمک بی‌کربنات پتاسیم ($K_2Cr_2O_7$) در محیط کاملاً اسیدی (H_2SO_4)، اندازه‌گیری شد [۱۶]. در پایان درصد رطوبت اشباع خاک نیز اندازه‌گیری شد. مقدار ترسیب کربن بر حسب کیلوگرم بر هکتار براساس فرمول ۱ محاسبه شد [۷].

$$C_s = 10000 \times OC(\%) \times Bd \times E \quad (1)$$

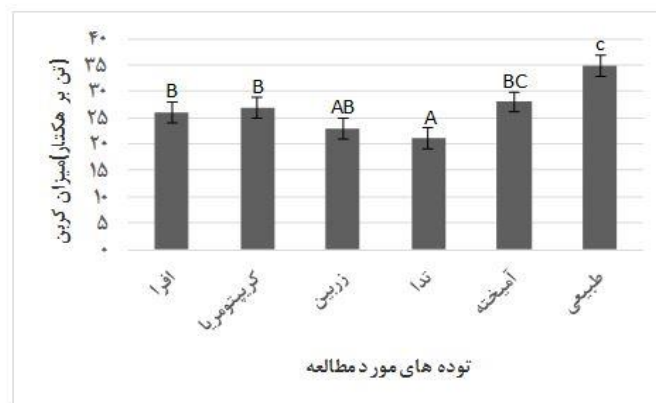
C_s : کربن آلی بر حسب کیلوگرم بر هکتار، Bd : وزن مخصوص ظاهری خاک بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب، OC %: درصد کربن آلی و E : عمق نمونه برداری خاک بر حسب سانتی‌متر است [۱۷].

روش تجزیه و تحلیل آماری: ابتدا نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و همگنی واریانس آنها با آزمون لون بررسی شد. به منظور بررسی تفاوت یا عدم تفاوت $C_s = 10000 \times OC(\%) \times Bd \times E$ مقادیر خصوصیات خاک در ارتباط با توده‌های جنگلکاری شده و عمق‌های خاک، از تجزیه واریانس دوطرفه استفاده شد. آزمون دانکن نیز به منظور مقایسه چندگانه میانگین‌ها به کار گرفته شد. برای تعیین ارتباط بین متغیرهای مستقل

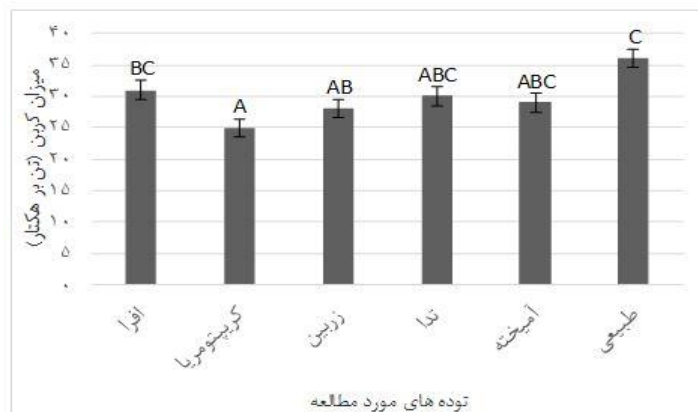
بیشترین میزان ترسیب کربن را به خود اختصاص می‌دهد، اما میزان ترسیب توده طبیعی با میزان ترسیب در توده دست کاشت افرا شبه‌چناری و کاج تدا اختلاف معنی‌داری ندارند. توده دست کاشت افرا شبه‌چناری با توده‌های آمیخته، تدا و زرین نیز اختلاف معنی‌داری را نشان نمی‌دهد و هر چهار توده در یک گروه میانگین قرار می‌گیرند. از طرفی دیگر توده‌های آمیخته، تدا و زرین اختلاف معنی‌داری ندارند و در یک سطح قرار می‌گیرند. توده دست کاشت کریپتومریا اختلاف معنی‌داری با طبقه دست کاشت افرا شبه‌چناری و توده طبیعی نشان می‌دهد و کمترین میزان ترسیب در این توده اتفاق می‌افتد.

کمترین میزان ترسیب کربن در این لایه را به خود اختصاص می‌دهد. همان‌طور که در مقایسات میانگین به روش دانکن در شکل زیر (شکل ۱) مشخص است، توده طبیعی بیشترین میزان ترسیب کربن را به خود اختصاص داده است (طبقه C). پس از آن توده آمیخته در طبقه (AB) و در درجه بعدی توده دست کاشت افرا، کریپتومریا و توده تدا قرار دارند که در یک طبقه (B) قرار می‌گیرند. توده زرین نیز در دو طبقه A و B قرار می‌گیرد و توده دست کاشت تدا نیز کمترین میزان ترسیب کربن در این لایه را به خود اختصاص می‌دهد و در طبقه (A) قرار می‌گیرد.

در لایه ۱۵-۳۰ سانتی‌متری همان‌طور که مقایسات میانگین در شکل ۲ نشان داده شده است نیز توده طبیعی



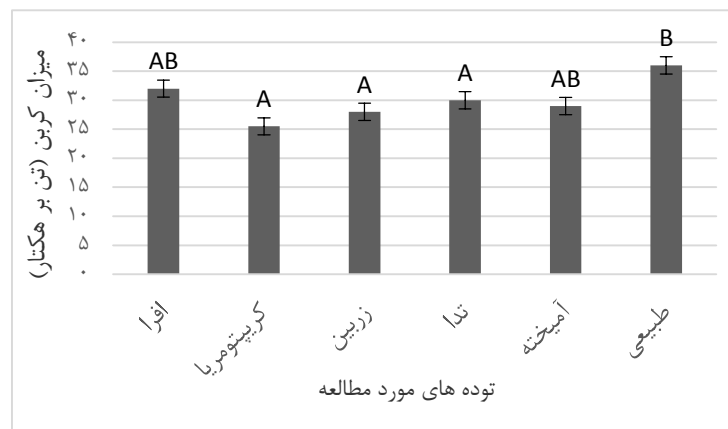
شکل ۱. میانگین کربن در لایه ۰-۱۵ سانتی‌متری خاک در تیپ‌های مختلف



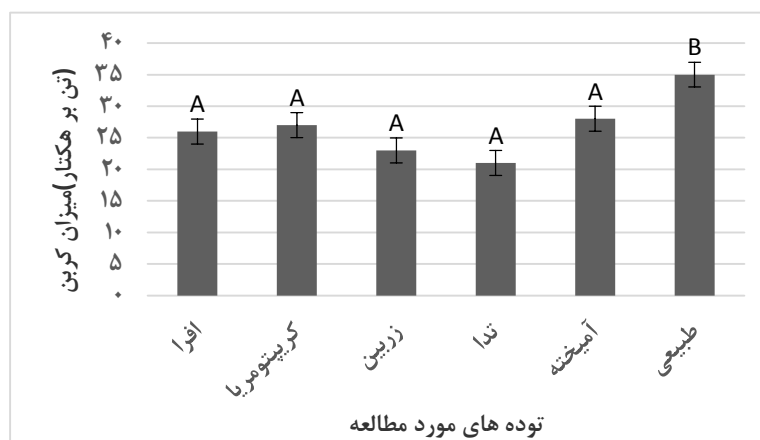
شکل ۲. میانگین کربن در لایه ۱۵-۳۰ سانتی‌متری خاک در تیپ‌های مختلف

در نهایت با مقایسه بین میانگین کربن در مجموع لایه‌های خاک (شکل ۴)، یعنی از صفر تا ۴۵ سانتی‌متری عمق خاک، تفاوت معنی‌داری در سطح ۱ درصد خطا بین توده‌ها مشاهده شد. همانطوری که در شکل ۵ مشخص شده است، توده طبیعی نسبت به سایر توده‌ها در طبقه بالاتری (B) قرار گرفته و در مجموع ۳ لایه‌ی خاک، کربن بیشتری را ترسیب می‌نماید. سایر توده‌ها نیز در یک طبقه میانگین (A) قرار می‌گیرند و کربن کمتری را ترسیب می‌نمایند.

با توجه به نتایج مندرج در شکل ۳، در مقایسه میانگین انجام‌گرفته در لایه ۰-۳۰ سانتی‌متری، توده طبیعی به‌جز با توده افرا شبه‌چناری، اختلاف معنی‌داری را با سایر توده‌ها نشان نمی‌دهد و در طبقه بالاتری نسبت به توده‌های دیگر قرار می‌گیرد. توده افرا شبه‌چناری علاوه بر اینکه تفاوت معنی‌داری با توده طبیعی ندارد، تفاوت معنی‌داری را با سایر توده‌های دست‌کاشت و آمیخته نیز نشان نمی‌دهد. توده‌های زربین، کریپتومریا، تدا و توده آمیخته در طبقه پایین‌تری نسبت به توده طبیعی قرار می‌گیرند و کربن کمتری را ترسیب می‌کنند.



شکل ۳. مقایسه میانگین کربن در لایه ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک در تیپ‌های مختلف



شکل ۴. مقایسه میانگین کربن در مجموع لایه‌ها و در توده‌های مختلف

نقی پوربرج و همکاران (۲۰۱۲) در منطقه سیساب بجنورد [۱۴]، یوسفی فرد و همکاران (۲۰۰۷) در چشمه علی استان چهارمحال و بختیاری نیز به این نتیجه رسیدند که کربن آلی در اثر تغییر کاربری اراضی طبیعی (جنگل یا مرتع) به زمین زراعی یا با جنگلکاری کاهش می‌یابد [۱۵]. زرین کفش (۱۹۹۸) دلایل به دست آمدن این یافته را، برداشت سریع محصول در توده جنگلکاری شده با سوزنی‌برگان می‌داند که فرصت کافی را به تجزیه مواد نمی‌دهد [۱۹]. نتایج تحقیقات لاندگرین (۱۹۷۸) نیز مؤید این یافته است؛ وی اضافه می‌کند که وجود ترکیبات مقاوم به تجزیه مانند تانن در لاشبرگ‌های سوزنی‌برگان به خصوص کاج تدا موجب کمتر بودن ماده آلی این توده‌های خالص می‌شود و درصد کربن ترسیب شده در آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد و به احتمال فراوان سبب کاهش آن می‌شود [۲۰]. بالا بودن کربن خاک در لایه‌های پایین در منطقه مورد مطالعه نسبت به لایه‌های بالاتری مثل لایه ۱۵-۰، را می‌توان به دلیل حجم کم لاشبرگ در اثر تجزیه سریع تر آنها و احتمالاً اثر فرسایش و آبشویی مواد و پایین رفتن مواد و عناصر خاک دانست. با توجه به شکل ۵، نتایج نشان داد که میزان ترسیب کربن گونه افرا شبه‌چناری نسبت به توده‌های دیگر، چه خالص و چه آمیخته، به توده طبیعی شبیه‌تر است، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که گونه افرا شبه‌چناری می‌تواند کربن آلی خاک را نسبت به سایر گونه‌های سوزنی‌برگ و پهن‌برگ بررسی شده در این مطالعه با سرعت بیشتری گسترش دهد و با داشتن بیشترین مقدار کربن ذخیره شده می‌توان از آن به عنوان گونه مناسب برای جنگلکاری در منطقه استفاده کرد؛ احتمالاً ترشحات ریشه و بازگشت آن به خاک از دلایل قوی این رخداد

این نتیجه در راستای بررسی محمودی طالقانی و همکاران (۲۰۰۷) قرار دارد که تنوع در ترکیب و آمیختگی گونه‌ها را از عوامل مهم افزایش ذخیره کربن در افق‌های معدنی خاک بیان کردند [۱۰]. همین‌طور در مطالعه چیتا و همکاران (۲۰۰۶) روی جنگلکاری‌های خالص و آمیخته بلوط، آمیختگی گونه‌ها از عوامل مؤثر در تثبیت ازت و فرایندهای تحول خاک و چرخه کربن شناخته شد، اما اختلاف معنی‌داری بین توده آمیخته و سایر توده‌های خالص مشاهده نشد [۱۸]. در تحقیق ورامش و همکاران (۲۰۱۰) نیز آمیختگی گونه‌ها از عوامل مؤثر در تثبیت ازت و فرایندهای تحول خاک و چرخه کربن شناخته شد [۱۲]. نتایج تحقیقی در جنگل‌های اسکاتلند، نشان داد که گونه‌های سوزنی‌برگ موجب افزایش تراکم لاشبرگ‌های سطح خاک و به عبارتی افزایش کربن آلی خاک می‌شود. وارد کردن گونه‌های سوزنی‌برگ در توده‌های پهن‌برگ موجب افزایش کربن در افق‌های آلی و معدنی خاک می‌شود، چراکه اسیدیت خاک در توده‌های سوزنی‌برگ و پهن‌برگ متفاوت است و توده‌های سوزنی‌برگ خاک اسیدیت بیشتری را ایجاد می‌کنند [۴]. همچنین آگوست (۲۰۰۲) در تحقیق خود گزارش کرد که سوزنی‌برگان سبب کاهش pH خاک می‌شوند. بدیهی است تغییرات pH موجب بروز تغییراتی در جذب نیتروژن و فعالیت میکروارگانیسم‌ها و جذب مواد غذایی توسط درختان می‌شود و در مقدار کربن خاک تغییر ایجاد می‌کند [۵]. همان‌طور که نتایج مقایسه میانگین کربن در مجموعه لایه‌ها (۰-۴۵ سانتی‌متری) در تحقیق حاضر نشان داد، مقدار کربن ترسیب شده در توده طبیعی بیشتر از توده آمیخته و خالص جنگلکاری شده بود. احمدی ایلاخچی و همکاران (۲۰۰۲) در زاگرس مرکزی [۱۷]،

داده شده است. نتایج حاصل از روش رگرسیون گام‌به‌گام در مطالعه حاضر حاکی از تأثیر بافت خاک، نیتروژن و نسبت C/N در مقدار ترسیب کربن خاک بود و در نهایت درصد نیتروژن و نسبت کربن به نیتروژن (C/N) به ترتیب از مهم‌ترین اجزای تأثیرگذار بر مقدار کربن آلی خاک در توده‌های بررسی شده تشخیص داده شدند. در همین زمینه، عبدی (۲۰۰۵) در مطالعه خود بیان کرد که در مراتع گون‌زار، با افزایش درصد سنگ و سنگریزه و شن در بافت خاک، ترسیب کربن افزایش می‌یابد. وی این موضوع را به سازگاری بالای گون‌ها در خاک‌های سبک نسبت داد [۸]. ورامش و همکاران (۲۰۱۰) نیز مشخصه درصد رس و نیتروژن را مهم‌ترین اجزای مثبت تأثیرگذار خاک بر مقدار کربن آلی و ذخایر ترسیب کربن گزارش کردند [۱۲]. در این مطالعه نیز ضمن در نظر گرفتن تفاوت بین مقدار کربن موجود در توده‌های مختلف نتایج نشان داد که میزان کربن ترسیب شده در توده‌های آمیخته که برابر با ۸۶ تن در هکتار بود و مقدار کربن موجود در توده‌های خالص تدا، زرین، کریپتومریا و افرا شبه‌چناری، که به ترتیب معادل ۷۸، ۷۹، ۷۸/۵ و ۸۹ تن در هکتار بودند، در مقایسه با کربن موجود در توده طبیعی (شاهد) که معادل ۱۰۸ تن در هکتار بود، مقادیر شایان توجهی را شامل می‌شوند. بنابراین می‌توان گفت که به‌طور کلی نتایج تحقیقات گذشته و نیز این تحقیق اثبات می‌کند که جنگلکاری به‌ویژه با گونه‌های بومی و به‌صورت آمیخته تأثیر مهمی در جذب دی‌اکسید کربن دارد.

است، اما متأسفانه اطلاعات زیادی در این زمینه در دست نیست و به مطالعات بیشتری در این مورد نیاز است. همچنین با توجه به اینکه وجود درختان خزان‌کننده موجب افزایش فعالیت کرم‌های خاکی و دیگر بی‌مهرگان می‌شود، ماده آلی و در نتیجه کربن و ازت خاک را نیز افزایش می‌دهند. در نهایت اینکه با وجود اختلاف کربن کل موجود در مناطق مختلف مورد مطالعه، توزیع نسبی کربن در این مناطق تقریباً ثابت است. به بیان دیگر، اختلاف معنی‌داری بین مقادیر کربن مشاهده نمی‌شود. در مورد چنین نتایجی باید یادآور شد که یافته‌های این‌گونه تحقیقات در مناطق مختلف، متفاوت است و علت اصلی این اختلاف در نتایج را می‌توان عوامل اقلیمی، توپوگرافی، ویژگی‌های خاک، ترکیب جامعه گیاهی و اعمال مدیریتی مختلف بیان کرد.

مدل رگرسیونی ترسیب کربن: در مرحله اول مقدار کربن ترسیب شده با بافت خاک از طریق رگرسیون گام‌به‌گام آزمون شد. در این مرحله تنها درصد فسفر در مدل با ضریب تبیین $F=4/34$ و $P=0/4$ محاسبه شد (در مرحله دوم درصد نیتروژن به مدل اولیه اضافه شد که ضریب تبیین آن به $0/52$ افزایش یافت $F=4/34$ و $P=0/4$). در نهایت مدل نهایی با قرار دادن تمامی مشخصه‌های خاک به‌منظور برآورد بهترین مدل آزمون شد و تنها مشخصه‌های درصد نیتروژن و نسبت کربن به نیتروژن با ضریب تبیین $0/46$ تعیین شدند. در جدول‌های ۱ و ۲ کلیه مدل‌های تأییدشده و شاخص‌های آماری آنها نشان

جدول ۱. نتیجه تجزیه رگرسیونی گام به گام کربن آلی خاک (متغیر وابسته) با دیگر خصوصیات خاک (متغیر مستقل)

مدل	معادله رگرسیونی
۱	$Y = 11.21 + 0.76p$
۲	$Y = 6.83 + 0.32p + 181.5N$
۳	$Y = -56.78 + 235.98N + 3.98 \frac{C}{N}$

جدول ۲. ضریب تبیین و خطای محاسبه شده در مدل‌های پیش‌بینی شده ترسیب کربن بر اساس مشخصه‌های خاک

مدل	ضریب همبستگی	ضریب تبیین	ضریب تبیین تصحیح شده	انحراف معیار ضریب تبیین	ضریب دوربین واتسون
۱	۰/۵۳	۰/۲۸	۰/۲۶	۱۸/۱۷	۱/۸۱
۲	۰/۶۸	۰/۴۶	۰/۴۵	۱۵/۲۹	۱/۰۳
۳	۰/۸۲	۰/۶۷	۰/۶۵	۱۰/۲۰	۱/۷۸

نتیجه گیری

بر اساس نتایج این تحقیق کاشت گونه‌های مختلف در عرصه‌های جنگلی می‌تواند صفات شیمیایی خاک‌ها را تحت تأثیر قرار دهد که این تأثیر بیشتر ناشی از سرشت طبیعی و ویژگی‌های هر گونه درختی و ترکیب شیمیایی اندام‌های مختلف آن است. همان‌گونه که مشاهده شد، توان ترسیب کربن گونه‌های مختلف، متفاوت است. لذا با شناخت گونه‌هایی که توانایی بیشتری برای ترسیب کربن دارند و همچنین بررسی عوامل مدیریتی تأثیرگذار بر فرایند ترسیب کربن، می‌توان اصلاح و احیای اراضی را از جنبه ترسیب کربن دنبال نمود. از بین گونه‌های مختلف جنگلکاری شده در منطقه مورد بررسی، گونه افرا شبه‌چناری با دارا بودن بالاترین پتانسیل نسبت به سایر گونه‌های جنگلکاری شده به‌خوبی در شرایط

موجود در منطقه به استقرار نسبی دست یافته است. بنابراین به‌منظور احیا و اصلاح جنگل‌های تخریب‌یافته (در منطقه مورد بررسی و همچنین مناطق با شرایط مشابه) می‌توان در مرحله اول گونه افرا شبه‌چناری را پیشنهاد کرد و پس از آن بر گونه‌های چون تدا، زربین و کریپتومریا تأکید ورزید. از سوی دیگر می‌توان گفت که جنگلکاری با پهن‌برگان مناسب‌تر از کشت خالص سوزنی‌برگان در چنین مناطقی است. به‌طورکلی، می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که با شناخت گونه‌هایی که توانایی بیشتری برای ترسیب کربن دارند و همچنین بررسی عوامل مدیریتی تأثیرگذار بر فرایند ترسیب کربن، می‌توان در راستای اصلاح و احیای اراضی از جنبه ترسیب کربن اقدام نمود.

References

- [1]. Rice, C.W. (2000). Soil organic C and N in rangeland soils under elevation CO₂ and land management. Advances in terrestrial ecosystem carbon inventory, measurements and monitoring conference in Raleigh, North Carolina, October 3- 5, 2000, 15-24.
- [2]. Atkin, J., and Dayal, P. (1999). Carbon sequestration using sustainable forestry management in South America. In proceeding of the Electric utilities Environmental conference, Tucson, Az, 155 PP.
- [3]. Aradottir, A., Savarsdottir, L., Kristin, H., Jonsson, P. and Gudbergsson, G. (2000). Carbon accumulation in vegetation and solids by reclamation of degraded areas. Icelandic Agricultural Sciences, 13: 99-113.
- [4]. Cannel, M.G.R., and Dewar, R.C. (1993). The carbon sinks provided by plantation forests and their products in Britain. Institute of terrestrial ecology, Scotland, 124 pp.
- [5]. Augusto, L., Jacques, R., Binkley, D., and Roth, A. (2002). Impacts of several common tree species of European temperate forests on soil fertility, Annals of Forest Science, 59: 233-253.
- [6]. Schulp Catharina J. E., Naburus, G.J., Verburg, P.H., and Waal, R.W. (2008). Effect of tree Species on Carbon Stock in forest floor and mineral soil and implication for soil carbon inventories. Forest Ecology and Management, 256: 482-490.
- [7]. Jafari Haghghi, M. (2003). Methods of Soil Analysis, Sampling and important physical and chemical analysis (a with emphasis on theoretical and applied principals). Nedaye Zoha Publishers, 236 p.
- [8]. Abdi, N. (2005). Estimate the carbon sequestration capacity by *Astragalus* in Markazi and Isfahan provinces. MSc thesis (Grassland Science). Science and Research, Islamic Azad University, Tehran Branch, 194 p.
- [9]. Bordbare, S.k., and Mortazavi Jahromi, M. (2006). Carbon Sequestration Potential of *Eucalyptus Camaldulensis*, *Dehnh.* and *Acacia Salicina Lindl.* Plantation in Western areas of Fars province. Pajouhesh and Sazandegi, 70: 95-103.
- [10]. Mahmoudi Taleghani, E., Zahedi Amiri, G.h., Adeli, E., and Sagheb Talebi, Kh. (2007). Assessment of carbon sequestration in soil layers of managed forest. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 15 (3): 241-252.
- [11]. Nobakht, A., M. Pourmajidian, Hojjati, M., and Fallah, A. (2011). A comparison of soil carbon sequestration in hardwood and softwood monocultures (Case study: Dehmian forest management plan, Mazindaran). Iranian Journal of Forest, 3(1): 13-23.
- [12]. Varamesh S., Hosseini, S.M., Abdi, N., and Akbarinia, M. (2010). Increment of soil carbon sequestration due to forestation and its relation with some physical and chemical factors of soil. Iranian Journal of Forest, 2 (1): 25-35.
- [13]. Zahedi Amiri, Gh. (1999). Relation between ground vegetation and soil characteristics in a mixed hard wood stand. Academic press, Ghent University (Belgium), 319 p.
- [14]. Naghipour Borji, A.A., Heidariyan Aghakhani, M and Nasri, M. (2012). An investigation of carbon sequestration and plant biomass in modified rangeland communities (Case study: Sisab rangelands of Bojnord), Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi), 94: 19-26.
- [15]. Yousefifard, M. Khademi, H., and Jalaian, A. (2007). Decline in soil quality as a result of land use change in Cheshmeh Ali region of Chaharmahal Bakhtiari province. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 14 (1): 28-38.
- [16]. Whalen, J.K., Walter, D., Dormar, W., and Dormar, J.F. (2003). Soil carbon, nitrogen and phosphorus in modified rangeland communities, Jour. Range Mana, 56(6):665-672.

- [17]. Ahmadi Ilakhchi, A. Hajabbasi, M.A., and Jalalian, A. (2003). Effects of Converting Range to Dry-farming Land on Runoff and Soil Loss and Quality in Dorahan, Chaharmahal & Bakhtiari Province. *Journal of Sciences & Techniques in Natural Resources*, 6 (4): 103-115.
- [18]. Chiti, T., Cerini, A. Puglisi, A., Sanesi, A., and Capperucci, C. (2006). Effects of associating an N-fixer species to monotypic oak plantations on the quantity and quality of organic matter in mine soils, *Geoderma Journal*, 61: 35-43.
- [19]. Zarrinkafsh, M. (1993). *Applied soil science, soil survey and soil-Plant-water analysis*. Tehran University Press, Tehran, 342pp.
- [20]. Lundgren, B., 1978. *Soil Conditions and Nutrient Cycling Under Natural and Plantation Forests in Tanzanian Highlands*. Reports in Forest Ecology and Forest Soils. Reports No. 31. Department of Forest Soils, Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala, Sweden, 426 pp.