فصلنامه علمی - پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران
جلد ۲۳ شماره ۱، صفحه ۶۳-۵۳، (۱۳۹۴)

تأثیر جنگل‌کاری با گونه‌های سوزنی‌برگ بر ترسیب کربن اتمسفری (پژوهش موردی: جنگل‌کاری‌های کارخانه ذوب‌آهن اصفهان)

حجت نریمانی[۱*]، محمدحسین ایران‌نژادپاریزی[۲]، بهمن کیانی [۲] و رسول قربعلی[۳]

۱*- نویسنده مسئول، دانشجوی کارشناسی ارشد جنگلداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران
پست الکترونیک: Hojatnarimani21167@yahoo.com
۲- استادیار، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی دانشگاه یزد، یزد، ایران
۳- پژوهشگر، بخش تحقیقات پایه، ایمنی، بهداشت و محیط‌زیست کارخانه ذوب‌آهن اصفهان، اصفهان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۰/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۷/۲۸

چکیده

به‌منظور ارزیابی توان ترسیب کربن گونه‌های سوزنی برگ سرو نقره‌ای (*Cupressus arizonica*) و کاج تهران (*Pinus eldarica*) در جنگل‌کاری‌های ذوب‌آهن اصفهان که در سنین ۱۷ تا ۱۸ سالگی بودند، پس از مشخص کردن قطعات کشت‌شده با این‌گونه‌ها، تعدادی از آنها به‌صورت کاملاً تصادفی انتخاب شدند. سپس از هر گونه تعداد پنج پایه از طبقات قطری مختلف (پنج طبقه) انتخاب و قطع شد. همچنین نمونه‌های خاک از دو عمق صفر تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متری در هر یک از قطعات کشت‌شده تهیه شد. پس از انتقال اندام‌های مختلف گیاهی به آزمایشگاه، ضریب تبدیل ترسیب کربن اندام‌های گیاهی به‌صورت جداگانه با روش احتراق تعیین شد. درنهایت میزان ترسیب کربن کل برای گونه‌های مختلف و اندوخته کربن اندام‌ها و عمق‌های مختلف خاک مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که میزان ترسیب کربن در دو گونه مورد بررسی، اختلاف معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد دارد و سرو نقره‌ای توان ترسیب کربن بیشتری را نسبت به کاج تهران به‌خود اختصاص داده است. همچنین ترسیب کربن در بین اندام‌های مختلف (برگ، اندام چوبی، ریشه) تفاوت معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد نشان داد، به‌طوری‌که اندام چوبی بیشترین مقدار ترسیب کربن در هکتار را داشت. کربن ذخیره شده در خاک دو منطقه کشت‌شده با این گونه‌ها اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشت.

واژه‌های کلیدی: ترسیب کربن، جنگل‌کاری، ذوب‌آهن اصفهان، سوزنی‌برگ.

مقدمه

از زمان شروع انقلاب صنعتی در قرن نوزدهم، غلظت گازکربنیک در اتمسفر از ۲۸۰ به ۳۶۵ قسمت در میلیون رسیده است و پیش‌بینی می‌شود در قرن ۲۱ به ۶۰۰ قسمت در میلیون برسد که این امر باعث افزایش دمای متوسط سالانه زمین به میزان یک تا ۴/۵ درجه سانتی‌گراد می‌شود (korner, 2003). گرم شدن هوا اثرات مخربی بر حیات موجودات داشته و سبب تخریب اکوسیستم‌های طبیعی، وقوع سیل و خشکسالی و برهم خوردن تعادل اقلیمی و اکولوژیکی می‌شود (Abdi *et al.*, 2008). افزایش سطح پوشش گیاهی از طریق جنگل‌کاری در بسیاری از کشورهای جهان، به‌عنوان یکی از راهکارهای کاهش آثار گرم شدن

زمین در مجامع مختلف زیست‌محیطی جهان مورد توجه و تأکید قرار گرفته است (Paul *et al*., 2002).

ترسیب کربن در زی‌توده گیاهی و خاک‌هایی که تحت پوشش این زی‌توده هستند، ساده‌ترین و ازنظر اقتصادی عملی‌ترین راهکار ممکن برای کاهش CO_2 اتمسفری است (Forouzeh *et al*., 2008). حدود ۷۵ درصد از کربن اتمسفر در خاک ذخیره می‌شود و خاک‌های مناطق جنگلی ۴۰ درصد از این مقدار را می‌توانند ذخیره کنند (Henderson, 1995)، بنابراین اکوسیستم‌های جنگلی جهان هم در جذب دی‌اکسیدکربن اتمسفری تأثیر دارند و هم شرایط مناسب برای چرخه کربن و ذخیره آن در خاک را فراهم می‌کنند (Lal, 2005). وسعت زمین‌های بایر و رهاشده در جهان حدود یک میلیارد هکتار است و اگر تولید در این عرصه‌ها سالانه ۱۲ تن ماده خشک در هکتار فرض شود (معادل شش تن کربن در هکتار در سال) حدوداً پنج گیگاتن کربن در سال جذب خواهد شد (Birdsey, 1992)، بنابراین برای کنترل غلظت فعلی گازکربنیک در هوا لازم است ۶۰ درصد مقدار آن کاهش یابد. مخارج لازم برای این کار در طول یک دوره ۹۰ ساله حدود ۵۲۰ میلیارد دلار خواهد بود. در صورت استفاده از پوشش گیاهی و کاشت درختان در قالب جنگل‌کاری می‌توان علاوه بر تولید فضای سبز و چوب و سایر مزایای جنگل به هدف ذخیره‌سازی کربن نیز دست یافت (Barnes *et al*.,1998).

ترسیب کربن فرآیندی است که طی آن دی‌اکسیدکربن اتمسفر جذب شده و در بافت‌های گیاهی به‌صورت هیدرات‌های کربن تجمع و رسوب می‌کند (Allen-Dias, 1996). تفاوت در محتوای کربن موجود در اکوسیستم‌های مختلف تا حدود زیادی وابسته به عامل‌های خاک و اقلیم است. به‌عنوان یک قاعده کلی، کربن موجود در خاک بیشتر از کربن موجود در زی‌توده ریشه‌هاست (Aradottir *et al*., 2000). Bordbar و Mortazavi Jahromi (۲۰۰۶) در بررسی پتانسیل ذخیره کربن در جنگل‌کاری‌های اکالیپتوس (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh) و آکاسیا (*Acacia salicina* Linda) در مناطق غربی استان فارس به این نتیجه رسیدند که مقدار ذخیره کربن در توده اکالیپتوس کمتر از توده آکاسیا است. Mahmoudi Taleghani و همکاران (۲۰۰۷) درمورد برآورد مقدار ترسیب کربن خاک در جنگل‌های تحت مدیریت شمال کشور نتیجه گرفتند که حجم در هکتار جنگل رابطه مستقیمی با زی‌توده جنگل دارد و در نتیجه به افزایش ذخیره کربن خاک کمک می‌کند. Varamesh و همکاران (۲۰۱۰a) نیز در بررسی اثر جنگل‌کاری بر مقدار ذخیره کربن خاک در پارک جنگلی چیتگر تهران به این نتیجه رسیدند که ترسیب کربن در خاک توده اقاقیا (*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. در مطالعه Hu و همکاران (۲۰۰۸) درمورد تاثیر جنگل‌کاری با گونه‌های *Pinus Sylvestris* var. *Mongolica* و *Populus alba* در علف‌زارها این نتیجه به‌دست آمد که جنگل‌کاری در علف‌زارها باعث افزایش ترسیب کربن خاک می‌شود.

هدف از پژوهش پیش‌رو تعیین قابلیت ترسیب کربن در زی‌توده و خاک توده‌های سرو نقره‌ای و کاج تهران در جنگل‌کاری‌های کارخانه ذوب‌آهن اصفهان و مقایسه این توده‌ها با یکدیگر است.

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه

منطقه موردبررسی در شمال شهرهای زرین‌شهر و لنجان و اطراف کارخانه ذوب‌آهن اصفهان در ارتفاع ۱۷۰۰ تا ۱۸۵۰ متری از سطح دریا و در محدوده ´۱۷ °۵۱ تا ´۲۱ °۵۱ طول جغرافیایی شرقی و ´۲۵ °۳۲ عرض جغرافیایی شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). از زمان تأسیس کارخانه تا سال ۱۳۷۰ یعنی طی ۲۵ سال، تنها ۲۲۰ هکتار فضای سبز به‌صورت درخت‌کاری ایجاد شده است، در صورتی‌که طی چند سال اخیر بیش از ۱۵۰۰۰ هکتار فضای سبز به فضاهای قبلی اضافه شده است. از این میزان حدود ۲۰۰۰ هکتار شامل انواع سوزنی‌برگان ازجمله سرو نقره‌ای (*Cupressu arizonica* Green *var.arizonica*) و کاج

تهران (*Pinus eldarica* Medw) و بقیه سطح به گونه‌های پهن‌برگ شامل انواع پهن‌برگان ازجمله اقاقیا، لیلکی، زبان گنجشک، توت و بادام کوهی با سنین مختلف اختصاص دارد. جنگل‌های مورد بررسی بین سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۷۶ (زمستان ۱۳۷۵ تا بهار ۱۳۷۶) کاشته شده‌اند و شامل قطعات منظم کشت‌شده با گونه‌های سرو نقره‌ای و کاج تهران با سنین ۱۷ تا ۱۸ سال می‌باشند.

آمار ایستگاه سینوپتیک ذوب‌آهن اصفهان نشان می‌دهد که میانگین بارندگی سالانه در منطقه حدود ۱۲۰ میلی‌متر است که عمدتاً به‌صورت باران است و در محدوده زمانی پاییز، زمستان و اوایل بهار ریزش می‌کند. بیشترین درجه حرارت در تابستان ۴۰/۷ درجه سانتی‌گراد بالای صفر و کمترین آن در زمستان ۱۲/۵ درجه سانتی‌گراد زیر صفر بوده است. ماه‌های تیر و مرداد به‌عنوان گرم‌ترین ماه و دی ماه سردترین ماه سال اعلام شده است. میانگین دمای منطقه ۱۵/۸ درجه سانتی‌گراد با ۸۹ روز یخبندان و میانگین رطوبت ۴۶ درصد است. خاک منطقه نیمه‌عمیق تا عمیق است و بافت خاک منطقه شامل واریزه‌ها و دشت‌های دامنه‌ای با مقدار نسبتاً زیاد سنگ‌ریزه و همراه با لایه‌ها و بلورهای گچی و آهکی می‌باشد که به‌عنوان یکی از محدودیت‌های اصلی خاک در اکثر مناطق مختلف فضای سبز ذوب‌آهن اصفهان مطرح است (Aiiubi, 2012).

شکل ۱- موقعیت منطقه موردمطالعه در استان اصفهان (منبع: نرم‌افزار **Google Earth**)

روش پژوهش

منطقه موردمطالعه به‌صورت قطعات کشت شده با انواع مختلف گونه‌های درختی و درختچه‌ای (به‌صورت ردیفی) می‌باشد. پس از تعیین دقیق مشخصات جغرافیایی و توپوگرافی قطعات سرو نقره‌ای و کاج تهران، به‌طور تصادفی سه قطعه کشت شده از هرگونه انتخاب و به‌منظور برداشت مشخصات کمی دو توده موردمطالعه، در هر یک ترانسکتی به طول ۱۰۰ متر برداشت شد. در ترانسکت‌ها ارتفاع تا دقت دسی‌متر، قطر برابر سینه تا دقت میلی‌متر و قطرهای (کوچک و بزرگ) تاج درختان تا دقت سانتی‌متر برای محاسبه مساحت تاج اندازه‌گیری شد. برای تعیین دقیق‌تر تراکم، تعداد ۲۰ قطعه نمونه در هر توده موردمطالعه برداشت و تعداد در هکتار برای گونه‌های سرو نقره‌ای و کاج تهران محاسبه شد. لازم به ذکر است که قطعات نمونه تنها برای تعیین تراکم استفاده شدند، زیرا در بسیاری از ردیف‌ها درختان خشک شده و پیش‌بینی می‌شد روش ترانسکت نمی‌تواند برآورد درستی از تعداد در هکتار توده ارائه دهد. با توجه به اطلاعات ترانسکت‌ها و قطعات نمونه، متوسط تاج پوشش در هکتار، حجم در هکتار و سطح مقطع در هکتار توده‌ها نیز محاسبه شد. با توجه به حداقل و حداکثر

قطر موجود در داده‌ها (به‌ترتیب ۴/۴۵ و ۱۴/۶۹ سانتی‌متر برای کاج تهران و ۴/۷۷ و ۱۲/۷۳ سانتی‌متر برای سرو نقره‌ای) پنج طبقه در نظر گرفته شد. تعداد یک اصله درخت از هر طبقه قطری (از بین کل درختان موجود در سه ترانسکت برداشت شده در عرصه کشت هر گونه)، به‌صورت تصادفی انتخاب و نشانه‌گذاری شد. پس از قطع، اقدام به برداشت نمونه از زی‌توده هوایی (برگ و اندام چوبی) و زیرزمینی تا عمق نفوذ ریشه (ریشه‌های با قطر بیشتر از یک میلی‌متر) شد. سپس اندام‌های مختلف هوایی و زیرزمینی با دقت گرم توزین شدند. همچنین به‌منظور محاسبه میزان ترسیب کربن در خاک دو منطقه کشت شده با گونه‌های موردمطالعه، در عرصه کشت هر گونه تعداد پنج پروفیل خاک حفر (در مجموع ۱۰ پروفیل خاک) و از دو عمق صفر تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متری نمونه‌های خاک برداشت شد. نمونه‌های گیاهی و خاک به آزمایشگاه منتقل و میزان ترسیب کربن در آنها اندازه‌گیری شد (Narimani, 2013).

نمونه‌های خاک در هوای آزاد خشک شدند و سپس وزن مخصوص ظاهری خاک به روش کلوخه بر حسب گرم بر سانتی‌مترمکعب اندازه‌گیری شد (Blake & Hartge, 1986). بعد از خرد کردن کلوخه‌ها و جدا کردن ریشه‌ها، سنگ و سایر ناخالصی‌ها، آسیاب و از الک دو میلی‌متری (مش۲۰) عبور داده شد. اسیدیته خاک به روش پتانسیومتری از طریق دستگاه pH متر الکترونیکی و هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع با استفاده از دستگاه EC متر الکترونیکی مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. کربن و ماده 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.

نمونه‌های برگ، اندام چوبی و ریشه در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند و سپس وزن خشک آنها با استفاده از ترازو تعیین شد. به‌منظور تعیین کربن آلی نمونه‌ها از روش احتراق در کوره الکتریکی استفاده شد (MacDicken, 1997). بر این اساس ابتدا نمونه‌ها آسیاب شدند، سپس از هر کدام یک نمونه یک گرمی جدا شد. این نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد در کوره الکتریکی قرار گرفتند. خاکستر نمونه‌ها پس از خارج شدن از کوره الکتریکی تا دقت هزارم گرم توزین شد. از اختلاف وزن اولیه (وزن خشک) از وزن خاکستر، میزان مواد آلی نمونه‌ها محاسبه و با استفاده از رابطه ۱ مقدار کربن آلی در هر کدام از اندام‌های گیاه به‌صورت جداگانه محاسبه شد (Narimani, 2013). در رابطه ۱، OC کربن آلی و OM ماده آلی بر حسب درصد است. براساس این معادله نیمی از ماده آلی گیاهان را کربن آلی تشکیل می‌دهد.

$$OC=0.54\ OM \qquad \text{رابطه (۱)}$$

برای تعیین میزان کربن آلی خاک در آزمایشگاه ابتدا وزن مخصوص ظاهری خاک به روش کلوخه بر حسب گرم بر سانتی‌مترمکعب اندازه‌گیری شد (Blake & Hartge, 1986). سپس درصد کربن آلی به روش والکی بلاک به‌دست آمد (Nosetto *et al.*, 2006). در پایان برای محاسبه میزان ترسیب کربن خاک بر حسب گرم در هر مترمربع از رابطه ۲ استفاده شد که در این رابطه Cc میزان وزن کربن ترسیب شده در یک مترمربع بر حسب گرم بر مترمربع، C تراکم کربن در عمق مشخصی از خاک بر حسب درصد، Bd وزن مخصوص ظاهری خاک بر حسب گرم بر سانتی‌مترمکعب و e ضخامت عمق خاک بر حسب سانتی‌متر است (Narimani, 2013).

$$Cc=10000\times C\%\times Bd\times e \qquad \text{رابطه (۲)}$$

تجزیه‌وتحلیل آماری

داده‌های حاصل از اندازه‌گیری‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSSمورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفتند. ابتدا نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف- سمیرونوف موردبررسی قرار گرفت. به‌منظور مقایسه ترسیب کربن در اندام‌های دو گونه سرو نقره‌ای و کاج تهران از آزمون تجزیه‌واریانس استفاده شد. لازم به ذکر است که در این پژوهش طبقه قطری به‌عنوان بلوک درنظر گرفته شد و طرح به‌صورت فاکتوریل در پایه بلوک‌های کامل تصادفی تجزیه شد که در آن اندام و گونه دو فاکتور مورد بررسی بودند (Varamesh *et al.*,

2010b). برای مقایسه میانگین‌ها نیز از آزمون دانکن استفاده شد. برای مقایسه ترسیب کل دو گونه موردمطالعه و ترسیب کربن خاک نیز از تجزیه‌واریانس استفاده شد. مشخصات کمی دو توده ازجمله تعداد، حجم و تاج‌پوشش در هکتار نیز با آزمون t مستقل مورد مقایسه قرار گرفت.

نتایج

مشخصات کمی توده‌های سرو نقره‌ای و کاج تهران

با توجه به اینکه داده‌ها نرمال بودند، نیازی به تبدیل آنها نبود. نتایج نشان داد که اختلاف توده‌های موردمطالعه برای هیچ‌یک از مشخصات کمی ازنظر آماری معنی‌دار نبود. جدول ۱ میانگین مشخصه‌های کمی در توده‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

ضریب تبدیل و میزان ترسیب کربن گیاه

نتایج محاسبه ضریب تبدیل اندام‌های گیاهی نشان داد که در میان اندام‌های هوایی دو گونه موردمطالعه، برگ سرو نقره‌ای بیشترین ضریب تبدیل و درنتیجه بیشترین درصد کربن آلی را دارد، اما اندام چوبی و ریشه کاج تهران ضریب تبدیل بیشتری نسبت به سرو نقره‌ای دارد (جدول ۲).

ترسیب کربن اندام‌ها

نتایج نشان داد که بین گونه‌های مختلف و اندام‌های مختلف ازنظر میزان کربن ترسیب شده اختلاف معنی‌داری وجود دارد. همچنین اثر متقابل گونه و اندام در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

جدول ۱- میانگین مشخصه‌های کمی در توده‌های موردمطالعه

گونه	تعداد در هکتار	تاج پوشش در هکتار (مترمربع)	حجم در هکتار (مترمکعب)	سطح مقطع در هکتار (مترمربع)
سرو نقره‌ای	۱۴۰۰	۶۳۶۰/۶۶	۱۴/۵۲	۷/۱۴
کاج تهران	۱۳۵۰	۶۴۸۶/۷۵	۳۳/۲۵	۱۲/۱۷

جدول ۲- ضریب تبدیل اندام‌های مختلف به کربن آلی (درصد)

گونه	اندام		
	برگ	اندام چوبی	ریشه
سرو نقره‌ای	۴۹/۲	۴۸/۵	۴۷/۶
کاج تهران	۴۸/۵	۴۸/۷	۴۸/۹

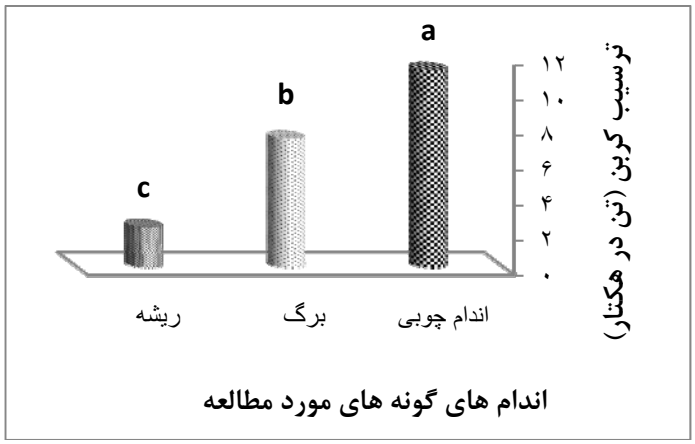
جدول ۳- نتایج تجزیه‌واریانس ترسیب کربن در هکتار در اندام‌های گونه‌های موردمطالعه

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	معنی‌داری
گونه	۱	۳۱۳/۲۸۲	۵۱/۰۶۰	۰/۰۰۰**
اندام	۳	۱۴۱/۹۹۷	۲۳/۱۴۳	۰/۰۰۰**
گونه × اندام	۳	۴۴/۳۱۹	۷/۲۲۳	۰/۰۰۶**
خطا	۲۸	۶/۱۳۶	...	...
کل	۴۰	...	...	...

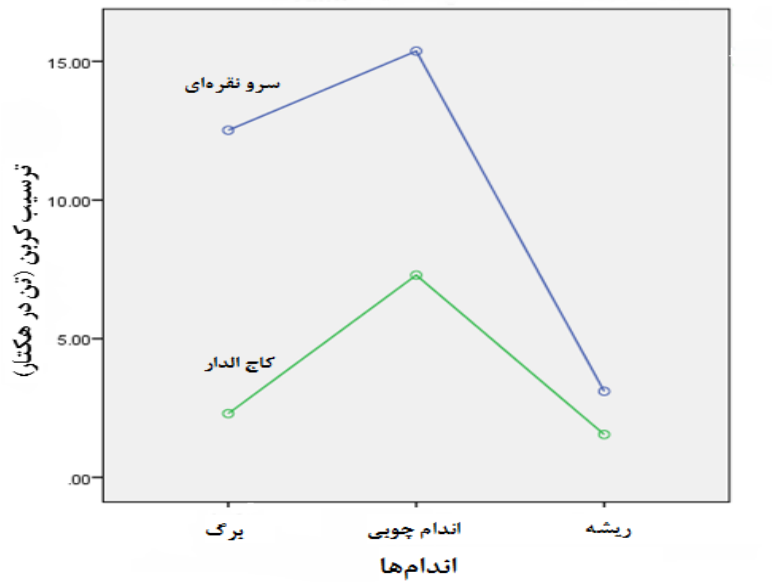
** : معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد

مقایسه میانگین کربن ذخیره‌شده در اندام‌های مختلف گونه‌ها نشان داد که بین متوسط کربن ذخیره شده در اندام‌های سه‌گانه گونه‌های موردمطالعه تفاوت معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد وجود دارد (شکل ۲).

به‌طورکلی در میان اندام‌های مختلف، اندام چوبی بیشترین میزان ترسیب کربن در هکتار را به‌خود اختصاص داد و اندام‌های برگ و ریشه در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. در این پژوهش اثر متقابل گونه و اندام نیز معنی‌دار بود (شکل ۳). بر این اساس بیشترین ترسیب کربن مربوط به اندام چوبی گونه سرو نقره‌ای و کمترین ترسیب مربوط به اندام ریشه کاج تهران بود. به‌طورکلی سرو نقره‌ای در تمامی اندام‌ها ترسیب کربن بیشتری داشت. درمجموع برگ و اندام چوبی سرو نقره‌ای و کاج تهران اختلاف زیادی ازنظر ترسیب کربن در هکتار داشتند، اما ریشه این دو گونه تفاوت چندانی ازنظر ترسیب کربن در هکتار نشان نداد.



شکل ۲- مقایسه میزان ترسیب کربن در هکتار مجموع اندام‌های مختلف گونه‌ها



شکل ۳- اثر متقابل گونه و اندام بر ترسیب کربن در هکتار

ترسیب کربن کل

نتایج نشان داد که بین دو گونه ازنظر ترسیب کربن کل تفاوت معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد وجود دارد (جدول ۴).

آزمون دانکن نیز نشان داد که سرو نقره‌ای با میانگین ۳۰/۹۹ تن در هکتار ترسیب کربن بیشتری نسبت به کاج تهران (۱۱/۱۳ تن در هکتار) دارد (شکل ۴).

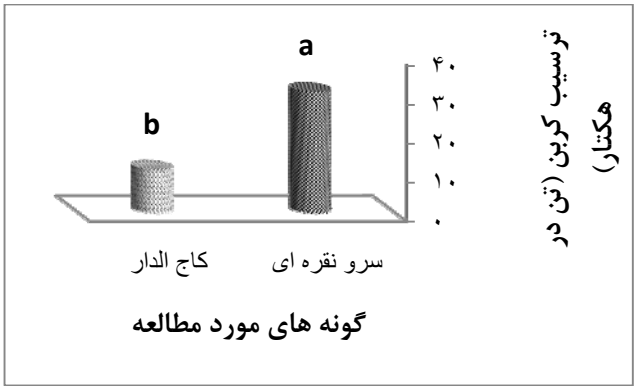
ترسیب کربن و سایر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

نتایج نشان داد که اختلاف بین دو عرصه کشت شده با گونه‌های موردمطالعه ازنظر کربن ذخیره شده در خاک معنی‌دار نیست. درمورد سایر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، نتایج نشان داد خاک موجود در عرصه کشت گونه‌های سرو نقره‌ای و کاج تهران ازنظر میزان پتاسیم و سیلت در سطح اطمینان ۹۹ درصد و ازنظر درصد رطوبت اشباع (SP) و میزان شن در سطح اطمینان ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری دارند (شکل ۵).

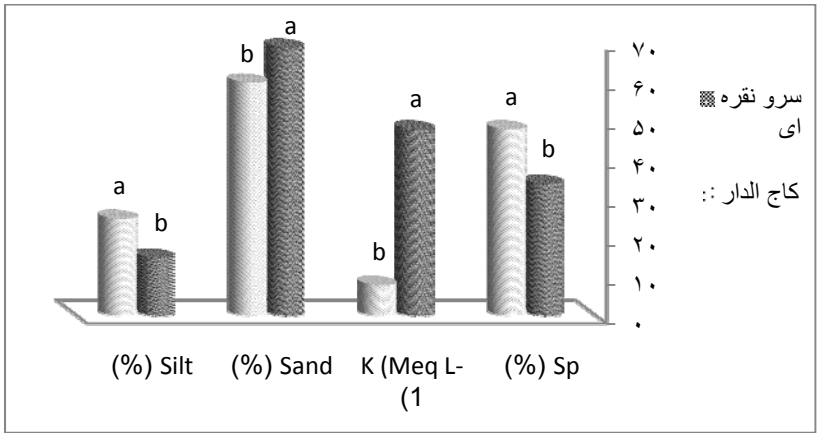
جدول ۴- نتایج تجزیه‌واریانس ترسیب کربن در هکتار گونه‌های موردمطالعه

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	معنی‌داری
گونه	۱	۹۸۵/۲۸۲۲۹۷	۲۸/۰۹۷	۰/۰۰۶**
خطا	٤	۳۵/۰٦۸	...	...
کل	۱۰	...	...	...

** : معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد



شکل ۴- مقایسه میزان ترسیب کربن کل در گونه‌های موردمطالعه



شکل ۵- مقایسه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

بحث

در پژوهش پیش‌رو، مقایسه میزان ترسیب کربن در اندام‌های مختلف گونه‌های موردمطالعه نشان داد که اندام چوبی در سرو نقره‌ای، بیشترین مقدار ذخیره کربن در هکتار را در میان اندام‌های دو گونه موردمطالعه دارد. نتایج بررسی محققان نشان داده است که سهم اندام‌های مختلف گیاهان در میزان ترسیب کربن متفاوت است، به‌طوری‌که میزان ترسیب کربن در اندام چوبی به‌خصوص ساقه گیاهان دارای بیشترین مقدار می‌باشد (Indufor, 2002). این نتایج مؤید آن است که اندام‌هایی که دارای بافت چوبی هستند از توانایی بیشتری در ترسیب کربن برخوردار بوده و هرچه نسبت اندام چوبی در گیاه بیشتر باشد، توان آن در ترسیب کربن افزایش می‌یابد. Forouzeh و همکاران (۲۰۰۸) نشان دادند که میزان ترسیب کربن در ساقه سه گونه بوته‌ای گل آفتابی، سیاه‌گینه و درمنه کوهی اختلاف معنی‌داری با ریشه، ساقه و برگ آنها دارد. همچنین Fang و همکاران (۲۰۰۷) تولید زی‌توده و پتانسیل ترسیب کربن در جنگل‌کاری‌های سپیدار با الگوهای مدیریتی متفاوت را در اراضی جنگلی هانیوان در چین مورد بررسی قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که برای تمامی الگوهای کشت، بیشترین زی‌توده تولیدی به‌ترتیب به تنه، ریشه، شاخه و سپس برگ تعلق داشت.

پس از مقایسه کربن آلی ذخیره‌شده در کل زی‌توده دو گونه موردمطالعه، مشاهده شد که گونه‌ها ازنظر ترسیب کربن تفاوت دارند و سرو نقره‌ای با ۳۰/۹۹ تن در هکتار، توان ترسیب کربن بیشتری را نسبت به کاج تهران دارد. همچنین مقایسه ترسیب کربن خاک در عرصه کشت گونه‌ها نشان داد که دو گونه موردمطالعه ازنظر ترسیب کربن خاک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند. درمجموع در هر دو گونه موردمطالعه، میزان کربن ذخیره‌شده در خاک بیشتر از زی‌توده بود. در مطالعه‌ای که Uri و همکاران (۲۰۱۲) در توده‌های جوان توس انجام دادند، مشخص شد که کربن ذخیره شده در زی‌توده روی زمین کمتر از خاک بود، اما در توده‌های بالغ و نیمه‌بالغ این قضیه برعکس بود. ذخیره کربن در زی‌توده درخت با افزایش سن توده زیاد می‌شود، درحالی‌که کربن آلی خاک ثابت باقی می‌ماند. به‌طور کلی درختان جوان مقدار و سرعت ترسیب کربن بیشتری نسبت به درختان مسن دارند، اما درختان مسن نیز کربن را به میزان بیشتر و برای مدت طولانی‌تری ترسیب می‌کنند (Schlesinger ,1999).

Mahdavi و همکاران (۲۰۰۹) در بررسی خود به این نتیجه رسیدند که سیستم ریشه‌ای در فواصل کمتر، تراکم بیشتری در واحد حجم خاک دارد و به‌دلیل رقابت در جذب رطوبت از اعماق پایین‌تر، رشد عمقی‌تری خواهد داشت، درنتیجه میزان کربن خاک افزایش می‌یابد. همچنین Bruce و همکاران (۱۹۹۹) اعتقاد دارند مقدار مواد آلی خاک با قابلیت تولیدی آن رابطه مستقیم دارد و با افزایش زی‌توده گیاهی در اراضی، مقدار مواد آلی خاک و درنتیجه ترسیب کربن در خاک افزایش خواهد یافت.

با درنظر گرفتن اینکه حدود ۸۰ هکتار از مساحت کل جنگل‌کاری‌های ذوب‌آهن اصفهان به کاشت سرو نقره‌ای و ۸۵۰ هکتار آن به کاج تهران اختصاص دارد، هر کدام از توده‌های فوق به‌ترتیب باعث جذب و ترسیب کربن اتمسفری به میزان ۹۱۳۷/۰۴ و ۳۵۰۰۳/۸۵ تن در زی‌توده گیاهی و ۱۴۱۵۱/۷۶ و ۱۷۴۱۷۰/۱ تن در خاک عرصه کشت خود از زمان کاشت تا به امروز شده‌اند.

نتایج پژوهش‌های پیشین درمورد تأثیر جنگل‌ها بر ترسیب کربن خاک همگی حاکی از آن است که افزایش سطح جنگل‌ها به‌ویژه در اراضی بایر و تخریب شده، به افزایش جذب کربن منجر خواهد شد. بیشتر محققان تأثیر جنگل‌کاری‌ها بر مقدار جذب کربن خاک را مثبت ارزیابی کرده‌اند (Schulp *et al*., 2008). نتایج پژوهش پیش‌رو نیز نشان داد که سرو نقره‌ای بی‌شک از جنبه ترسیب کربن و سایر ارزش‌های شناخته‌شده جنگل‌کاری‌ها حائز اهمیت فراوانی است. با توجه به جدول ۱ مشخصه‌های کمی ازجمله تاج‌پوشش، حجم و سطح‌مقطع در هکتار کاج تهران بیشتر از سرو نقره‌ای است، اما با توجه به اینکه وزن تر و خشک عامل‌های تعیین کننده در محاسبه میزان ترسیب کربن اندام هستند، چون اندام سرو نقره‌ای وزن تر بیشتری نسبت به

کاج تهران دارد، درنتیجه با توجه به شکل ۳ دارای میزان ترسیب کربن در هکتار بیشتری نسبت به کاج تهران است، بنابراین کاشت، محافظت و مدیریت مناسب جنگل‌کاری با این گونه گیاهی همراه با درنظر گرفتن ملاحظات اکولوژیک در اطراف مراکز صنعتی، هم مانع از سیر قهقرایی، فرسایش و آب‌شویی خاک می‌شود و هم گام مثبتی در جهت افزایش ترسیب کربن و کاهش دی‌اکسیدکربن جو خواهد بود.

سپاسگزاری

ضروریست از همکاری‌های شایسته و بی‌دریغ اساتید محترم گروه جنگلداری دانشگاه یزد و همچنین پرسنل زحمت‌کش فضای سبز ذوب‌آهن اصفهان که ما را در انجام این پژوهش یاری نمودند، قدردانی شود.

References

- Abdi, N., Maadah Arefi, H. and Zahedi Amiri, Gh., 2008. Estimation of carbon sequestration in Astragalus rangelands of Markazi province (Case study: Malmir rangeland in Shazand region). Iranian Journal of Range and Desert Research, 15(2): 269-282 (In Persian).
- Aiiubi, Sh., 2012. Assessment limitations and capacity of soils current range green space of Isfahan steel company (Final Report). Isfahan Steel Company in Collaboration with Technical University of Isfahan, 431p (In Persian).
- Allen-Dias, B., 1996. Rangelands in a changing climate: impacts, adaptations and mitigation. In: Watson, Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate change: Scientific- Technical Analyses. Cambridge University Press, Cambridge, 131-158.
- Aradottir, A., Savarsottri, L., Kristin, H., Jonsson, P. and Gudbergsson, G., 2000. Carbon accumulation in vegetation and soils by reclamation of degraded areas. Icelandic Agricultural Sciences, 13: 99-113.
- Barnes, B.V., Zak, D.R., Denton, S.R. and Spurr, S.H., 1998. Forest Ecology. 4th edition, John Wiley and Sons, Inc, New York, 56p.
- Birdsey, R.A., 1992. Carbon storage and accumulation in United States forest ecosystems. Washington, DC: USDA Forest Service, 12p.
- Blake, G.R. and Hartge, K.H., 1986. Bulk density. In: Klute, A. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part I. Physical and Mineralogical Methods. Soils Science Society of America, Publication No. 9, Part 1: 363-376.
- Bordbar, S.K. and Mortazavi Jahromi, M., 2006. Carbon sequestration potential of *Eucalyptus comaldulensis* Dehnh. and *Acacia salicina* Lindl. plantation in western areas of Fars province. Journal of Pajuhesh & Sazandegi, 70: 95-103 (In Persian).
- Bruce, J.P., Frome, M., Haites, E., Joanne, H., Lal, R. and Faustion, K., 1999. Carbon sequestration in soils. Journal of Soil and Water Conservation, First Quarter, 382-389.
- Forouzeh, M.R., Heshmati, G. and Messbah, S.H., 2008. Comparing on carbon sequestration potential of three shrub species: *Helianthemum lippii* (L.) Pers., *Dendrostellera lessertii* Van Tiegh. And *Artemisia sieberi* Besser in semi-arid rangelands of Iran. Journal of Environmental Studies, 46: 65-72 (In Persian).
- Henderson, G.S., 1995. Soil organic matter: a link between forest management and productivity. In: Bigham, J.M. and Bartels, J.M. (Eds.), Carbon forms and Functions in Forest soils. Soils Science Society of America, Madison, WI, pp. 419-435.
- Hu, Y.L., Zeng, D.H., Fan, Z.P., Chen, G.S., Zhao, Q. and Pepper, D., 2008. Changes in ecosystem carbon stocks following grassland afforestation of semiarid sandy soil in the southeastern Keerqin Sandy Lands, China. Journal of Arid Environments, 72: 2193-2200.
- Indufor, 2002. Assessing forest based carbon sinks in the Kyoto protocol forest management and carbon sequestration. Discussion paper, 115p.
- Korner, C., 2003. Carbon limitation in trees. Journal of Ecology, 91: 4-17.
- Lal, R., 2005. Forest soils and carbon sequestration. Forest Ecology and Management, 180 (1-3): 317-333.
- MacDicken, K.G., 1997. A Guide to monitoring carbon storage in forestry and agro forestry projects. Winrock International Arlington, VA, USA, 87p.
- Mahmoudi Taleghani, E.A., Zahedi Amiri, G.H., Adeli, E. and Sagheb Talebi, Kh., 2007. Assessment of carbon sequestration in soil layer

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.
- Fang, S., Xue, J. and Tang, L., 2007. Biomass production and carbon sequestration potential in poplar plantations with different management patterns. Journal of Environmental Management, 85: 672-679.
- Varamesh, S., Hoseini, S.M., Abdi, N. and Akbarinia, M., 2010a. Effect of plantation on increasing carbon sequestration and improved some soil characteristics. Iranian Journal of Forest, 1(2): 25- 35 (In Persian).
- Varamesh, S., Hoseini, S.M., Abdi, N. and Akbarinia, M., 2010b. Increment of soil carbon sequestration due to forestation and its relation with some physical and chemical factors of soil. Iranian Journal of Forest, 35: 1-25 (In Persian).
- Uri, V., Varik, M., Aosaar, J., Kanal, A., Kukumagi, M. and Lohmus, K., 2012. Biomass production and carbon sequestration in a fertile silver birch (*Betula pendula* Roth) forest chronosequence. Forest Ecology and Management, 267: 117-126.

of managed forest. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 15(2): 241-252 (In Persian).
- Narimani, H., Iran Nezhad Parizi, M.H., Kiani, B. and Ghorbali, R., 2013. Evaluation and comparison potential carbon sequestration of important species in green space of Isfahan Steel Company. M. Sc. Thesis,azd University, 111p.
- Nosetto, M.D., Jobbagy, E.G. and Paruelo, J.M., 2006. Carbon sequestration in semi-arid rangelands. Journal of Arid Environments, 67: 142-156.
- Mahdavi, S.Kh., Sanadgol, A., Azarneivandi, H., Babaee Kafaee, S., Jafari, M. and Mahdavi, F., 2009. The impact of *Atriplex lentiformis* density on carbon sequestration and comparison with its Rangeland plantation project (Case study: Isfahan). Plant and Ecosystem, 17: 19-29 (In persian).
- Paul, K.I., Polglase, P.J., Nyakuengama, J.G. and Khanna P.K., 2002. Change in soil carbon following afforestation. Forest Ecology and Management, 168(1-3): 241-257.
- Schlesinger., 1999. Soil Organic matter a Source of atmospheric CO_2 Department of Botany. North Carolina, USA, pp. 111-125.
- Schulp Catharina, J.E., Naburus, G.J., Verburg,

Effects of plantation with conifers on Carbon sequestration (Case study: Zob-e-Ahan company, Isfahan)

H. Narimani [1*], M.H. Iran Nezhad Parizi [2], B. Kiani [2] and R. Ghorbali [3]

1*- Corresponding author, M.Sc. Student Forestry, Faculty of Natural Resources and Desert Science, Yazd University, Yazd, Iran. E-mail: Hojatnarimani21167@yahoo.com

2- Assistant Prof., Faculty of Natural Resources and Desert Science, Yazd University, Yazd, Iran

3- Research Expert, Division of Main, Safety, Hygiene and Environment, Esfahan Steel Company, Isfahan, Iran

Received: 01.15.2014 Accepted: 10.20.2014

Abstract

The potential for carbon sequestration was evaluated for two coniferous species (*Cupressus arizonica* Green var. *arizonica* and *Pinus eldarica* Medw) in 17-18 year old plantations of Zob-e-Ahan industrial company near Isfahan. Transect sampling was conducted in each section, and five trees in each of the available 5 diameter classes were randomly selected and cut. Moreover, soil samples from 0 to 30 and 30 to 60 cm depth were collected in each part. Shoots and roots of the trees were separately collected and weighted. In addition, carbon sequestration of organs and soil was determined with an in-situ combustion method. Results showed that the rate of carbon sequestration was significantly different between two species (p<0.01), for which *C. arizonica* showed higher rate than *P. eldarica*. In addition, carbon sequestration showed significant difference (p<0.01) amongst the tree parts (roots, woody organs and leaves), where woody parts exhibited the highest carbon sequestration. Investigation of soil carbon storage showed no significant difference between soils in which two plantations were established.

Keywords: Carbon Sequestration, plantation, conifer, Zob-e-Ahan company of Isfahan.