

مقایسه مقدار ترسیب کربن خاک در جنگلکاری‌های خالص سوزنی‌برگ و پهن‌برگ (مطالعه موردی: طرح جنگلداری ده‌میان، مازندران)

عباسعلی نوبخت^۱، محمدرضا پورمجیدیان^۲، سید محمد حجتی^{۳*} و اصغر فلاح^۲

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد جنگلداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

^۲ دانشیار گروه جنگلداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

^۳ استادیار گروه جنگلداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

(تاریخ دریافت: ۸۹/۰۸/۱۱، تاریخ پذیرش: ۸۹/۱۰/۱۵)

چکیده

تراکم دی‌اکسید کربن اتمسفر در اثر فعالیت‌های انسانی، روند گرم شدن کره زمین را بسیار افزایش داده است. اکوسیستم‌های جنگلی و مدیریت بهینه آن، نقش بسیار مهمی در جذب کربن اتمسفر ایفا می‌کند. این تحقیق با هدف بررسی تأثیر جنگلکاری‌های طرح جنگلداری ده‌میان در مقدار ترسیب کربن خاک انجام گرفته است. نمونه‌برداری خاک به صورت منظم تصادفی و از عمق‌های ۰-۱۰ و ۱۰-۲۰ سانتی‌متری انجام گرفته است. در مجموع، ۵۴ نمونه خاک از ۴ توده ۳۵ ساله جنگلکاری شده با گونه‌های پیسه‌آ (*Picea Abies L. Krast*)، کاج سیاه (*Pinus nigra Arn*)، ون (*Fraxinus excelsior L.*) و بلوط بلند مازو (*Quercus castanifolia C.A.Mey*) برداشت و به آزمایشگاه منتقل شد. مشخصه‌های بافت خاک، اسیدیته خاک، وزن مخصوص ظاهری، هدایت الکتریکی، کربن آلی و نیتروژن کل در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. نتایج نشان می‌دهد که ترسیب کربن خاک در توده پیسه‌آ (۱۲۴/۳ تن در هکتار) به طور معنی‌داری ($P < 0/05$) بیشتر از کاج سیاه (۹۴/۷ تن در هکتار)، ون (۸۷/۶ تن در هکتار) و بلوط بلندمازو (۷۸/۱ تن در هکتار) است. مقدار کربن آلی، اسیدیته، نیتروژن و هدایت الکتریکی خاک در بین توده‌های مورد بررسی، اختلاف معنی‌داری را نشان می‌دهد ($P < 0/01$). نتیجه رگرسیون گام به گام نشان داد که درصد نیتروژن و نسبت کربن به نیتروژن به ترتیب از مهم‌ترین اجزای تأثیرگذار بر مقدار کربن آلی خاک در توده‌های بررسی شده است.

واژه‌های کلیدی: جنگلکاری، خاک، ترسیب کربن، رگرسیون گام به گام.

مقدمه و هدف

افزایش سطح جنگل از راه جنگلکاری در بسیاری از کشورهای جهان، به‌عنوان یکی از راه‌های کاهش آثار گرم شدن زمین، در مجامع مختلف زیست‌محیطی جهان، مورد توجه و تأکید قرار گرفته است (Paul et al., 2002). تراکم دی‌اکسیدکربن اتمسفر، در اثر فعالیت‌های انسانی در ۱۵۰ سال اخیر افزایش یافته و تا حد بسیار زیادی موجب افزایش گرم شدن کره زمین را فراهم آورده است (محمودی طالقانی و همکاران، ۱۳۸۶). مقدار دی‌اکسیدکربن در چرخه طبیعت، معادل ۲۰۰ میلیارد تن در سال است که گیاهان و اقیانوس‌ها، از اتمسفر دریافت می‌کنند و حاصل آن تعادل چرخه گازکربنیک در طبیعت است (Maclaron & Turner et al., 1995; Wakelin, 1991). حدود ۷۵ درصد از کربن اتمسفر در خاک ذخیره می‌شود (Henderson, 1995) و خاک‌های مناطق جنگلی ۴۰ درصد از این مقدار را می‌توانند ذخیره کنند (Dixon et al., 1994). بنابراین اکوسیستم‌های جنگلی جهان هم در جذب دی‌اکسیدکربن اتمسفری تأثیر دارند و هم شرایط مناسب برای چرخش کربن و ذخیره آن در خاک را فراهم می‌کنند (Lal, 2005). به‌عبارتی کربن خاک جنگل، حاصل تعادل میان نهاده‌ها (لاشه‌ریزی) و ستاده‌هایی (تجزیه میکروبی، آتش‌سوزی، فرسایش و آبشویی) است که تحت تأثیر اقلیم، رژیم‌های آشفستگی، ترکیب جامعه گیاهی و میکروارگانیسم‌ها و زمان تغییر می‌یابد (ورامش، ۱۳۸۹). بدیهی است که تغییر در کربن خاک در اثر تغییر در کاربری اراضی و شیوه‌های مدیریتی عرصه‌های جنگلی، ممکن است دگرگونی‌های زیادی در تراکم دی‌اکسیدکربن اتمسفری ایجاد کند. کاهش ذخیره کربن آلی خاک با افزایش احتمال فرسایش پذیری و فشرده‌گی خاک و افزایش رواناب اثر زیادی بر ساختمان خاک می‌گذارد (Hoover, 2003). از این‌رو جنگلکاری در اراضی بایر و تخریب‌شده و مدیریت آن، اثر زیادی بر ترسیب کربن خاک خواهد داشت، به‌طوری‌که (Zhao et al., 2007) نشان دادند که جنگلکاری، ترسیب کربن خاک را کاهش می‌دهد، در حالی که بسیاری از محققان افزایش چشمگیر ترسیب کربن خاک تحت پوشش جنگلکاری‌ها را گزارش کرده‌اند (Cheng et al., 2007; Xiao - Wen et al., 2009).

بردبار و مرتضوی جهرمی (۱۳۸۵) در بررسی پتانسیل ذخیره کربن در جنگلکاری‌های اکالیپتوس (*Eucalyptu*) و آکاسیا (*Acacia salicina camaldulensis Dehnh*) در مناطق غربی استان فارس به این نتیجه رسیدند که مقدار ذخیره کربن در توده اکالیپتوس کمتر از توده آکاسیا است. محمودی طالقانی و همکاران (۱۳۸۶) 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. ورامش و همکاران (۱۳۸۹) نیز در بررسی اثر جنگلکاری به مقدار ذخیره کربن خاک در پارک چیتگر تهران به این نتیجه رسیدند که ترسیب کربن در خاک توده اقاچیا (*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. با توجه به اهمیت ترسیب کربن در سطح جهانی، در سال‌های اخیر پژوهش‌های متنوعی در زمینه ترسیب کربن در مناطق جنگلی، توده‌های جنگلکاری شده و جنگل شهری در نقاط مختلف جهان انجام گرفته، ولی متأسفانه تحقیقات چندانی در ایران صورت نگرفته است. این تحقیق با هدف بررسی تأثیر توده جنگلکاری ۳۵ ساله با گونه‌های پیسه‌ا (*Picea Abies L. Krast*)، کاج سیاه (*Pinus nigra Arn*)، ون (*Fraxinus excelsior L*) و بلوط بلندمازو (*Quercus castanifolia C.A.Mey*) بر مقدار ترسیب کربن و برخی خصوصیات خاک در جنگلکاری‌های سری ۱ ده‌میان تحت مدیریت شرکت بهره‌برداری و صنایع چوب فریم انجام گرفته است. در این تحقیق فرض بر این بوده است که مقدار ترسیب کربن در خاک توده‌های مختلف جنگلکاری شده در منطقه با هم تفاوت دارد.

مواد و روش‌ها

- منطقه تحقیق

محل مورد نظر در پارسل ۷ سری ۱ طرح جنگلداری ده‌میان در محدوده ۳۰' ۵۲° طول جغرافیایی شرقی و ۳۲' ۳۶° عرض جغرافیایی شمالی با حداقل ارتفاع ۱۱۰۰ و حداکثر ارتفاع ۱۳۰۰ متر واقع شده است. جنگل‌های مورد

روش کجدال و درصد رطوبت خاک نیز به روش خشک کردن مقدار معین خاک تر در اون یا خشک‌کن در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد (غازان شاهی، ۱۳۷۶؛ جعفری حقیقی، ۱۳۸۲).

مقدار ترسیب‌کربن بر حسب کیلوگرم بر متر مربع بر اساس رابطه $BD \times E \times OC = 10000 \times OC$ درصد محاسبه شد. در این معادله OC مقدار ترسیب‌کربن آلی بر حسب کیلوگرم بر مترمربع، درصد OC درصد کربن آلی، BD وزن مخصوص ظاهری خاک بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب و E عمق نمونه‌برداری خاک بر حسب سانتی‌متر است (محمودی طالقانی و همکاران، ۱۳۸۶).

- تجزیه و تحلیل داده‌ها

در این تحقیق برای تجزیه و تحلیل و مقایسه داده‌ها، ابتدا نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولوموگراف-اسمیرنوف و همگنی واریانس آنها با آزمون لون بررسی شد. به‌منظور بررسی تفاوت یا عدم تفاوت مقادیر خصوصیات خاک در ارتباط با توده‌های جنگلکاری‌شده و عمق‌های خاک، از تجزیه واریانس دوطرفه استفاده شد. آزمون دانکن نیز به‌منظور مقایسه چندگانه میانگین به‌کار گرفته شد. برای تعیین ارتباط بین متغیرهای مستقل (مشخصه‌های خاک) و وابسته (مقدار ترسیب‌کربن خاک) از آزمون رگرسیون چندمتغیره استفاده شد. در این مرحله، آزمون همگنی واریانس خطاها با استفاده از نمودار مقادیر خطای استانداردشده در مقابل مقادیر پیش‌بینی استانداردشده انجام گرفت. آزمون عدم خودهمبستگی بین خطاها با استفاده از آماره دورین واتسون اجرا شد. در این بخش مقادیر نزدیک به دو پذیرفتنی است. بعد 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 به‌گام استفاده شد. آنالیز آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS16 و رسم نمودارها به‌کمک نرم‌افزار Excell صورت گرفت.

بررسی که در سال ۱۳۵۵ کاشته شدند، شامل گونه‌های پیسه‌آ (*Picea Abies L. Krast*)، کاج سیاه (*Pinus Arn*)، ون (*Fraxinus excelsior L*) و بلوط بلندمازو (*Quercus castanifolia C.A.Mey*) هستند. تاج‌پوشش متوسط این جنگل‌ها ۷۰ درصد و شیب متوسط منطقه ۳۵ درصد است. سطوح زیر کشت کاج سیاه ۴/۶ هکتار، پیسه‌آ ۱/۳ هکتار، بلوط بلندمازو ۲/۳ هکتار و ون ۲/۵ هکتار (در مجموع ۱۰/۷ هکتار) است. بر اساس اطلاعات هواشناسی ایستگاه سنگده، میانگین دمای سالیانه ۱۱/۹ درجه سانتی‌گراد، میانگین کمترین دما در سردترین ماه سال ۶- درجه سانتی‌گراد، میانگین دما در گرم‌ترین ماه سال ۲۴ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی سالیانه ۸۵۸ میلی‌متر است. خاک منطقه به‌نسبت عمیق تا عمیق، بافت خاک در افق‌های بالا متوسط و در عمق زیرین به‌شدت سنگین، ساختمان خاک فشرده و نفوذپذیری آب در خاک برای ریشه‌دوانی متوسط تا ضعیف است.

- نمونه‌گیری و تجزیه خاک

در مجموع ۲۷ نقطه برای برداشت نمونه از ۴ توده مورد بررسی انتخاب شد. تعداد این نقاط در هر یک از توده‌ها متناسب با سطح توده در نظر گرفته شد. ۷، ۸، ۷ و ۵ نقطه به‌ترتیب در توده‌های بلوط، کاج سیاه، ون و نوئل به‌طور منظم تصادفی انتخاب شد. به‌منظور کاهش اثر حاشیه‌ای توده‌های مجاور از نمونه‌برداری در نقاط مرزی اجتناب شد. نمونه‌های خاک از عمق‌های ۱۰-۲۰ و ۱۰-۲۰ سانتی‌متری در هر نقطه به روش استوانه فلزی (به قطر ۸ سانتی‌متر) برداشت شد (Hojjati, 2008). نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه در هوای آزاد خشک شدند و خاک به‌دست‌آمده خرد و از الک ۲ میلی‌متری (مش ۲۰) عبور داده شد (جعفری حقیقی، ۱۳۸۲).

بافت خاک (درصد اجزای تشکیل‌دهنده خاک) با استفاده از روش هیدرومتری، اسیدیته خاک از دو روش، تعلیق آب مقطر و KCl به کمک دستگاه pH متر، وزن مخصوص ظاهری به روش کلوخه بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب، هدایت الکتریکی با استفاده از دستگاه سنجش هدایت الکتریکی، کربن آلی به روش والکی بلاک، نیتروژن کل به

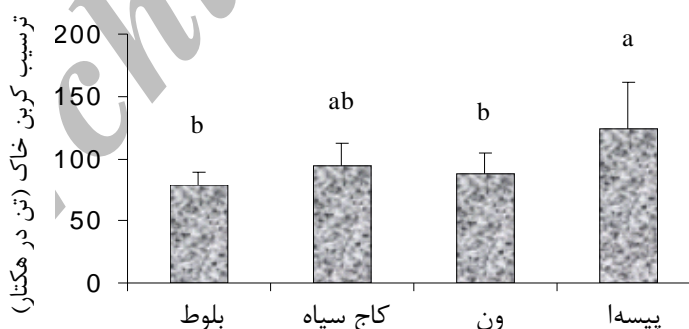
نتایج

با گونه‌های پهن‌برگ، به افزایش چشمگیر مقدار ترسیب کربن خاک خواهد انجامید. ترسیب کربن خاک در توده پیسه‌آ (۱۲۴/۲۷ تن در هکتار) به‌طور معنی‌داری (۰/۰۵ P) بیشتر از ون (۸۷/۵۸ تن در هکتار) و بلوط بلندمازو (۷۸/۱۱ تن در هکتار) است.

پس از اندازه‌گیری مشخصه‌های درصد کربن و وزن مخصوص ظاهری، مقادیر ترسیب کربن خاک در عمق‌های مختلف توده‌های جنگلکاری شده محاسبه شد (جدول ۱). بر این اساس، جنگلکاری با گونه‌های سوزنی‌برگ در مقایسه

جدول ۱- میانگین ترسیب کربن خاک (\pm انحراف معیار) در توده‌های مختلف جنگلکاری شده

توده	عمق لایه خاک (سانتی‌متر)	کربن آلی (درصد)	ترسیب کربن (تن در هکتار)
بلوط	۰-۱۰	۳/۳۳	۴۶/۶۱ ($\pm ۳/۱۲$)
	۱۰-۲۰	۱/۴۹	۳۱/۵۰ ($\pm ۲/۰۵$)
	۰-۲۰	۴/۸۲	۷۸/۱۱ ($\pm ۲/۷۶$)
کاج سیاه	۰-۱۰	۳/۷۳	۵۴/۳۴ ($\pm ۲/۴۴$)
	۱۰-۲۰	۲/۶۹	۴۰/۲۳ ($\pm ۷/۷۳$)
	۰-۲۰	۶/۴۲	۹۴/۶۷ ($\pm ۴/۳۲$)
ون	۰-۱۰	۴/۰۴	۵۴/۱۱ ($\pm ۶/۱۰$)
	۱۰-۲۰	۲/۳۵	۳۳/۴۷ ($\pm ۴/۲۸$)
	۰-۲۰	۶/۳۹	۸۷/۵۸ ($\pm ۴/۵۸$)
پیسه‌آ	۰-۱۰	۶/۰۵	۸۱/۶۱ ($\pm ۱۹/۷۹$)
	۱۰-۲۰	۲/۹	۴۲/۶۶ ($\pm ۶/۴۵$)
	۰-۲۰	۸/۹۵	۱۲۴/۲۷ ($\pm ۱۱/۷۶$)



شکل ۱- مقدار ترسیب کربن خاک (عمق ۰-۲۰ سانتی‌متر) در توده‌های سوزنی‌برگ و پهن‌برگ جنگلکاری شده

آنالیز واریانس یکطرفه نیز نشان‌دهنده آن است که ترسیب کربن خاک در توده‌های مورد بررسی به‌طور معنی‌داری متفاوت است. بر اساس نتایج گروه‌بندی آزمون دانکن نیز خاک در توده پیسه‌آ با بیشترین مقدار ترسیب کربن اختلاف معنی‌داری را با توده‌های ون و بلوط نشان می‌دهد (شکل ۱).

آنالیز واریانس دوطرفه صفات مورد بررسی خاک نیز نشان داد که تفاوت مقدار اسیدیته، کربن آلی، ماده آلی، نیتروژن و هدایت الکتریکی در بین توده‌های بررسی شده معنی‌دارند ($P < 0/01$). بین رطوبت خاک و وزن مخصوص ظاهری خاک و نسبت C/N در بین توده‌های مورد بررسی، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در بررسی مشخصه‌های بالا در

اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. بررسی آثار متقابل توده و عمق نیز عدم معنی‌داری را بین عوامل یادشده نشان داد (جدول ۲).

بین دو عمق نیز بین نیتروژن، کربن و ماده آلی و هدایت الکتریکی ($P < 0.05$) اختلاف معنی‌داری وجود داشت. بین رطوبت و اسیدیته خاک، وزن مخصوص ظاهری خاک و نسبت C/N در بین دو عمق ۰-۱۰ و ۱۰-۲۰ سانتی‌متر

جدول ۲- آنالیز واریانس دو طرفه صفات خاک در توده‌های سوزنی‌برگ و پهن‌برگ جنگلکاری شده

توده × عمق	عمق	توده	منبع تغییرات
۱/۸۵	۰/۰۰۷	** ۲۷/۴۵	اسیدیته (pH KCl)
۲/۰۰۱	۳/۰۴	** ۳۳/۳۱	اسیدیته (pH H ₂ O)
۱/۵۹	* ۲۹/۴۳	** ۴/۲	نیتروژن (درصد)
۱/۵۵	* ۲۴/۷۹	** ۳/۷۷	ماده آلی (درصد)
۲/۸۵	* ۲۲/۷۱	** ۴/۷۱	کربن آلی (درصد)
۰/۴۲۳	* ۴/۲۸	** ۹/۷۷	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)
۰/۶۸	۰/۰۴۲	۰/۴۴	رطوبت اشباع (درصد)
۲/۶۱	۰/۲۱	۱/۰۴	نسبت کربن به نیتروژن ($\frac{C}{N}$)
۰/۶۴	۲/۰۸	۰/۵۰	وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)
۰/۶۴	۵/۵۶	** ۹/۱۷	رس (درصد)
۰/۶۹	۱/۱۷	** ۷/۲۲	شن (درصد)
۱/۲۹	۳/۴۸	** ۱۱/۳۷	سیلت (درصد)
۳	۱	۳	درجه آزادی

* معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد ** معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد

است و تفاوت معنی‌داری را با توده‌های پهن‌برگ نشان می‌دهد. حداکثر مقدار رس نیز در توده بلوط مشاهده می‌شود. بررسی دو عمق ۰-۱۰ (لایه اول) و ۱۰-۲۰ سانتی‌متر (لایه دوم) نیز نشان می‌دهد که حداکثر مقدار نیتروژن، هدایت الکتریکی، کربن آلی و ماده آلی در لایه اول بیشتر از لایه دوم است (جدول ۳).

مقایسه میانگین خصوصیات خاک در توده‌های بلندمازو، ون، کاج سیاه و پیسه‌آ نشان می‌دهد که درصد کربن آلی، ماده آلی و نیتروژن در توده پیسه‌آ بیشتر از توده کاج سیاه، بلندمازو و ون است. بیشترین و کمترین مقدار هدایت الکتریکی در توده بلوط و پیسه‌آ است. جنگلکاری با کاج سیاه در مقایسه با پیسه‌آ نیز به کاهش pH منجر شده

جدول ۳- میانگین مشخصه‌های خاک در توده‌های سوزنی‌برگ و پهن‌برگ جنگلکاری‌شده

مشخصه‌های خاک	کاج سیاه										بلوط		
	۰-۲۰	۱۰-۲۰	۰-۱۰	۱۰-۲۰	۰-۲۰	۰-۱۰	۱۰-۲۰	۰-۲۰	۰-۱۰	۱۰-۲۰	۰-۲۰	۱۰-۲۰	۰-۱۰
سیلیت (درصد)	۳۷/۸ ^a	۳۷/۶	۳۳/۸	۲۸/۸۵ ^b	۲۶/۵۷	۳۱/۱۴	۳۱/۳۱ ^b	۲۹/۶۲	۳۳	۳۰/۶۴ ^b	۳۰/۸۵	۳۰/۴۲	۳۰/۱۸۵
شن (درصد)	۳۲/۴ ^c	۳۰	۳۴/۸	۳۹/۱۴ ^b	۳۶/۳۸	۴۲	۴۱/۸۱ ^a	۴۲/۱۲	۴۱/۵	۳۰/۳۱ ^c	۳۰/۵۷	۲۹/۸۵	۳۰/۵۷
رس (درصد)	۲۹/۸ ^b	۳۲/۴	۲۷/۲	۳۲ ^b	۳۷/۱۴	۲۶/۸۵	۲۶/۸ ^b	۲۸/۲۵	۲۵/۵	۳۹/۱۴ ^a	۳۸/۵۷	۳۹/۷۱	۳۸/۵۷
وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	۱/۴۱ ^a	۱/۴۸	۱/۳۴	۱/۳۸ ^a	۱/۴۱	۱/۳۵	۱/۴۵ ^a	۱/۴۳	۱/۴۶	۱/۴۴ ^a	۱/۴۹	۱/۳۹	۱/۴۹
نسبت کربن به نیتروژن	۱۳/۷۱ ^a	۱۱/۶۷	۱۵/۷۴	۱۶/۰۶ ^a	۱۷/۹۱	۱۴/۲۱	۱۴/۳ ^a	۱۲/۷۴	۱۵/۸۵	۱۳/۰۵۹ ^a	۱۴/۲۶	۱۲/۹۲	۱۴/۲۶
رطوبت (درصد)	۲۱/۴۱ ^a	۲۲/۶۲	۲۰/۲	۲۰/۰۹ ^a	۲۰/۰۲	۲۰/۱۵	۱۹/۹۵ ^a	۱۹/۱۳	۲۰/۷۷	۱۹/۹۳ ^a	۲۰/۰۱	۱۹/۸۶	۲۰/۰۱
هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	۰/۱۱ ^c	۰/۱	۰/۰۱۲	۰/۲۱ ^b	۰/۱۸	۰/۰۲۴	۰/۱۶ ^{bc}	۰/۱۳	۰/۱۲	۰/۲۷ ^a	۰/۲۶	۰/۲۸	۰/۲۶
کربن آلی (درصد)	۴/۴۸ ^a	۲/۹	۶/۰۵	۳/۲ ^b	۲/۳۹	۴/۰۴	۳/۲۱ ^b	۲/۶۹	۳/۷۳	۲/۷۲ ^b	۳/۶۵	۳/۳۳	۳/۶۵
ماده آلی (درصد)	۷/۷۳ ^a	۵/۰۱	۳/۱۳	۵/۵۱ ^{ab}	۴/۰۶	۲/۶	۵/۵۴ ^{ab}	۴/۶۵	۲/۵۲	۴/۶۹ ^b	۳/۶۵	۲/۳۹	۳/۶۵
نیتروژن (درصد)	۰/۳ ^a	۰/۲۴	۰/۳۶	۰/۲۱ ^b	۰/۱۴	۰/۲۹	۰/۳۳ ^{ab}	۰/۲۱	۰/۲۵	۰/۲۱ ^b	۰/۱۶	۰/۲۷	۰/۱۶
اسیدیته (pH H2O)	۶/۶۱ ^c	۶/۹۱	۶/۳۲	۷/۲۸ ^b	۷/۳۱	۷/۲۵	۶/۵۵ ^c	۶/۵	۶/۶۱	۷/۷۴ ^a	۷/۸۳	۷/۶۵	۷/۸۳
اسیدیته (pH KCl)	۴/۹۴ ^c	۵/۱۶	۴/۷۲	۵/۶۷ ^b	۵/۶۱	۵/۷۲	۴/۷۹ ^c	۴/۵	۵/۰۸	۶/۶۷ ^a	۶/۸۲	۶/۵۲	۶/۸۲

مدل رگرسیونی ترسیب کربن

از روش رگرسیون گام به گام برای دستیابی به مدل ترسیب کربن بر اساس مشخصه‌های خاک از تمامی داده‌های موجود استفاده شد. در مرحله اول مقدار کربن ترسیب شده با بافت خاک (اجزای تشکیل دهنده خاک) مورد آزمون قرار گرفت. در این مرحله تنها درصد شن در مدل با ضریب تبیین ۰/۴۶ محاسبه شد ($F = ۴/۳۴$ و $P = ۰/۰۴$). در مرحله دوم درصد نیتروژن به مدل اولیه اضافه شد که ضریب تبیین آن به

۰/۵۲ افزایش یافت ($P = ۰/۰۱$ و $F = ۵۶/۸۶$). در نهایت مدل نهایی با قراردادن تمامی مشخصه‌های خاک به منظور برآورد بهترین مدل مورد آزمون قرار گرفت و تنها مشخصه‌های درصد نیتروژن و نسبت کربن به نیتروژن با ضریب تبیین ۰/۸۲، تأیید شد ($P = ۰/۰۱$ و $F = ۱۱۶/۰۲$). در جدول‌های ۴ و ۵ کلیه مدل‌های تأیید شده و شاخص‌های آماری آنها نشان داده شده است.

جدول ۴- تجزیه رگرسیونی گام به گام کربن آلی خاک (متغیر وابسته) با دیگر خصوصیات خاک (متغیر مستقل)

مدل	معادله رگرسیونی
۱	$Y = 10.104 + 0.56 \text{ Sand}$
۲	$Y = 5.98 + 0.32 \text{ Sand} + 172.63N$
۳	$Y = -46.58 + 214.42N + 2.94 \frac{C}{N}$

جدول ۵- ضریب تبیین و خطای محاسبه شده در مدل‌های پیش بینی شده ترسیب کربن بر اساس مشخصه‌های خاک

مدل	ضریب همبستگی	ضریب تبیین	ضریب تصحیح شده	انحراف معیار ضریب تبیین	ضریب دوربین واتسن
۱	۰/۶۴	۰/۴۶	۰/۴۴	۱۹/۱۸	۱/۰۹
۲	۰/۷۲	۰/۵۲	۰/۵۱	۱۵/۲۹	۱/۲۳
۳	۰/۹۰	۰/۸۲	۰/۸۱	۹/۴۸	۱/۹۱

بحث

جذب کربن توسط خاک‌های جنگلی و کاهش گازهای گلخانه‌ای یکی از راهکارهای جلوگیری از گرم شدن کره زمین است. بهبود شرایط خاک و انجام فعالیت‌های مدیریتی مناسب در عرصه‌های جنگلی (جنگلکاری) برای افزایش جذب کربن توسط خاک به همراه حفظ حاصلخیزی رویشگاه‌ها کاری دشوار است (Paul et al., 2002). نتایج تحقیقات گذشته در زمینه تأثیر جنگل‌ها بر ترسیب کربن خاک همگی حاکی از آن است که افزایش سطح جنگل‌ها به ویژه 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 تحقیق حاضر نشان داد که کاشت گونه سوزنی‌برگ پیسه‌آ در مقایسه با گونه‌های ون و بلوط

بلندمازو، به افزایش معنی‌دار کربن خاک منجر می‌شود. به طوری که در این تحقیق میانگین ترسیب کربن خاک در توده پیسه‌آ، ۱۲۴/۲۷ تن در هکتار؛ توده کاج سیاه، ۶۷/۹۴ تن در هکتار؛ ون، ۸۷/۵۸ تن در هکتار و بلوط بلندمازو، ۷۸/۱۱ تن در هکتار است. نتایج تحقیقات موجود نیز مؤید این است که نوع و ترکیب گونه‌های موجود در آشکوب فوقانی جنگل، تأثیر زیادی در ورودی کربن به خاک دارد و مقدار کربن خاک را تغییر می‌دهد (Schulp et al., 2002; Augusto et al., 2008). محمودی طالقانی و همکاران (۱۳۸۶) در درباره برآورد مقدار ترسیب کربن خاک در جنگل‌های تحت مدیریت شمال کشور به این نتیجه دست یافتند که تنوع در ترکیب و آمیختگی گونه‌ها، از عوامل مهم در افزایش ذخیره کربن در افق‌های معدنی خاک است. به نظر می‌رسد تجمع لاشبرگ در سطح خاک و حفاظت

گونه‌های سوزنی‌برگ موجب افزایش تراکم لاشبرگ‌های سطح خاک و به‌عبارتی موجب افزایش کربن آلی خاک می‌شود. وارد کردن گونه‌های سوزنی‌برگ در توده‌های پهن‌برگ موجب افزایش کربن در افق‌های آلی و معدنی خاک می‌شود، چرا که اسیدینه خاک در توده‌های سوزنی‌برگ و پهن‌برگ متفاوت است و توده‌های سوزنی‌برگ خاک اسیدی‌تری را ایجاد می‌کنند. (Augusto et al., 2002) در تحقیق خود گزارش کردند که سوزنی‌برگان سبب کاهش pH خاک می‌شوند. بدیهی است تغییرات pH خاک موجب تغییراتی در جذب نیتروژن و فعالیت میکروارگانیسم‌ها و جذب مواد غذایی توسط درختان می‌شود و در مقدار کربن خاک تغییر ایجاد می‌کند.

نتایج حاصل از روش رگرسیون گام به‌گام در تحقیق حاضر حاکی از تأثیر بافت خاک، نیتروژن و نسبت C/N در مقدار ترسیب کربن خاک بود. عبدی (۱۳۸۴) در تحقیق خود گزارش کرد که در مراتع گون‌زار، با افزایش درصد سنگ و سنگریزه و شن در بافت خاک، ترسیب کربن افزایش می‌یابد. او این موضوع را به سازگاری زیاد گون‌ها در خاک‌های سبک و واریزه‌ای نسبت داد. ورامش و همکاران (۱۳۸۹) نیز مشخصه درصد رس و نیتروژن را به‌عنوان مهم‌ترین اجزای تأثیرگذار خاک بر مقدار کربن آلی و ذخایر ترسیب کربن گزارش کردند. با توجه به متفاوت بودن سطح زیر کشت گونه‌های جنگلکاری‌شده، هر یک از توده‌های کاج سیاه، پیسه‌آ، ون و بلوط به‌ترتیب ۴۳۵/۴۸، ۱۶/۵۵، ۲۱۸/۹۵ و ۱۷۹/۶۵ تن کربن آلی را در خاک تحت پوشش خود حفظ کرده‌اند. پالایش کربن اتمسفری با استفاده از روش‌های مصنوعی هزینه‌های سنگینی را در بردارد، به‌طوری‌که این هزینه را در آمریکا حدود ۳۰۰-۱۰۰ دلار تخمین زده‌اند (Canell, 2003). اگر متوسط هزینه ترسیب کربن به ازای هر تن ۲۰۰ دلار در نظر گرفته شود، ارزش اقتصادی ترسیب کربن خاک در توده‌های کاج سیاه، پیسه‌آ، ون و بلوط به‌ترتیب ۸۷۰۹۶، ۳۲۳۱۰، ۴۳۷۹۰ و ۳۵۹۳۰ دلار خواهد شد. چنانچه مقادیر ترسیب کربن در بیومس هوایی و زیرزمینی گونه‌های مذکور به ارقام ذکرشده اضافه شود، اهمیت اقتصادی پروژه‌های جنگلکاری از نظر ترسیب کربن بیشتر خواهد بود. به‌طور کلی نتایج تحقیقات گذشته و نیز

بیشتر توده‌های سوزنی‌برگ از خاک، تأثیر زیادی در جلوگیری از هدررفتن کربن دارد. بر این اساس توده‌های سوزنی‌برگ در مقایسه با توده‌های پهن‌برگ کربن بیشتری را جذب می‌کنند. ورامش و همکاران (۱۳۸۹) در بررسی تأثیر جنگلکاری در افزایش ترسیب کربن و بهبود ویژگی‌های خاک در پارک چیتگر تهران نتیجه گرفتند که کربن ترسیب‌شده خاک در توده افاقیا بیشتر از توده کاج تهران و اراضی بایر بوده است. در این تحقیق، علت افزایش ترسیب کربن خاک در توده افاقیا نسبت به توده کاج تهران را می‌توان تثبیت ازت در گیاهان خانواده *Leguminosae* و رابطه مستقیم آن با ترسیب کربن خاک دانست. ترسیب کربن خاک با درصد پوشش گیاهی، نوع گونه‌های گیاهی، مقدار لاشبرگ و بقایای گیاهی، نوع کاربری اراضی و مدیریت ارتباط دارد، به‌طوری‌که اگر در منطقه‌ای، پوشش گیاهی خوب مستقر شود، در بلندمدت کربن آلی خاک افزایش می‌یابد، زیرا تغییرات کربن آلی خاک تدریجی است. (Chiti et al., 2007) در بررسی تأثیر جنگلکاری‌های خالص و آمیخته بلوط بر مقدار مواد آلی و معدنی و ازت خاک به این نتیجه رسیدند که مقدار کربن آلی و ازت در سطح خاک (تا ۱۵ سانتی‌متر) در جنگلکاری‌های آمیخته بلوط و توسکای بیلاقی بیشتر از جنگلکاری‌های خالص بلوط است. آنها دریافتند که توسکا به‌عنوان گونه همراه، نقش مؤثری در تثبیت ازت و فرایندهای تحول خاک و چرخه کربن دارد. در این تحقیق نیز گونه پیسه‌آ، نیتروژن بیشتری را جذب کرده است، از این‌رو نیتروژن خاک افزایش یافته و نقش بسیار مهمی در افزایش کربن آلی خاک ایفا کرده است. در تحقیق حاضر مقدار نیتروژن، کربن آلی و مواد آلی خاک نیز در لایه اول (۱۰-۰ سانتی‌متر) بیشتر از لایه دوم (۲۰-۱۰ سانتی‌متر) بوده است. نسبت C/N در توده‌های مختلف، اختلاف معنی‌داری نداشت، ولی حداکثر مقدار C/N در توده ون ثبت شد. نسبت C/N در توده‌های سوزنی‌برگ برعکس توده‌های پهن‌برگ در لایه اول بیشتر شده است. زیاد بودن نسبت C/N به‌عنوان شاخص کند بودن تجزیه لاشبرگ در توده‌های سوزنی‌برگ موجب افزایش مواد آلی در افق‌های سطحی خاک می‌شود. (Cannel & Dewar, 1993) در بررسی خود در جنگل‌های اسکاتلند به این نتیجه دست‌یافتند که

- Augusto, L., R. Jacques, D. Binkley & Roth A., 2002. Impacts of several common tree species of European temperate forests on soil fertility, *Annals of Forest Science*, 59: 233-253.
- Cannell, R., 2003. Carbon sequestration and biomass energy offset: theatrical, potential and achievable capacities globally, in Europe and UK, *Biomass and Bioenergy*, 24: 97-116.
- Cannell, M.G.R. & R.C. Dewar, 1993. The carbon sinks provided by plantation forests and their products in Britain. Institute of terrestrial ecology, Scotland, 124 pp.
- Chiti, T., A. Cerini, A. Puglisi, A. Sanesi & C. Capperucci, 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.
- Cheng, C.M., R.S. Wang & J.S. Jiang, 2007. Variation of soil fertility and carbon sequestration by planting *Hevea brasiliensis* in Hainan Island, China. *Journal of Environmental Sciences*, 19(3): 348-352.
- Dixon, R.K., S. Brown, R.A. Houghton, A.M. Solomon, M.C. Trexler & J. Wisniewski, 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science*, 263, 185-190.
- Hoover, C.M., 2003. Soil carbon sequestration and forest management: challenges and opportunities. In: Kimble, J.M., L. S. Heath, R.A. Birdsey & R. Lal, (Eds.), *The potential of U.S. forest soils to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect*. CRC Press. Boca Raton, FL: 211-238 pp.
- Hojjati, S.M., 2008. The impact of canopy composition on the nutritional status of an admixed spruce and beech forest at Solling, central Germany. Dissertation –Buesgen Institute- Soil Science of temperate and Boreal Ecosystems, Georg- August Goettingen University, 114 pp.
- Henderson, G.S., 1995. Soil organic matter: a link between forest management and productivity. In: Bigham, J.M. & J.M. Bartels, (Eds.), *Carbon forms and Functions in Forest soils*. Soils Science Society of America, Madison, WI, 419-435 pp.
- Lal, R., 2005. Forest soils and carbon sequestration. *Forest Ecology and Management*. (180): 1-3, 317-333.
- Losi, C.J., T.G. Siccamo, R. C. Juan & E. Morales, 2003. Analysis of alternative methods for estimating carbon stock in young tropical plantations. *Forest Ecology and Management*, 184: 355-368.
- Maclaren, J.P. & S.J. Wakelin, 1991. Forestry and forest products as a carbon sink in New Zeland. FRI Bulletin No. 162. Forest Research Institute. Rotoura, New Zeland.
- این تحقیق اثبات کرد که جنگلکاری نقش مهمی در جذب دی‌اکسیدکربن دارد. ذکر این نکته ضروری است که پتانسیل ترسیب کربن تحت تأثیر عامل‌هایی همچون نوع گونه درختی، سن جنگلکاری، اقلیم، عمق خاک، شرایط رویشگاه و عملیات پرورشی جنگل متفاوت خواهد بود (Yan et al., 2007). از این رو جنگلکاری در اراضی مخروطه، هم مانع از سیر قهقرایی، فرسایش و آبشویی خاک می‌شود و هم گام مثبتی در جهت افزایش ترسیب کربن و کاهش دی‌اکسید کربن جو خواهد بود.
- ### منابع
- بردبار، سید کاظم و سید مرتضی مرتضوی جهرمی، ۱۳۸۵. بررسی پتانسیل ذخیره کربن در جنگل‌کاری‌های اکالیپتوس و آکاسیا در مناطق غربی استان فارس، مجله پژوهش و سازندگی، ۷۰: ۱۰۳-۹۰.
- جعفری حقیقی، مجتبی، ۱۳۸۲. روش‌های تجزیه خاک (نمونه‌برداری و تجزیه‌های مهم فیزیکی و شیمیایی)، انتشارات ندای ضحی، ۲۳۶ ص.
- غازان‌شاهی، جواد، ۱۳۷۶. آنالیز خاک و گیاه، انتشارات هما، ۳۱۱ ص.
- محمودی‌طالقانی، عبادا...، قوام‌الدین‌زاهدی‌امیری، ابراهیم عادل‌ی و خسرو ثاقب‌طالبی، ۱۳۸۶. برآورد میزان ترسیب کربن خاک در جنگل‌های تحت مدیریت (مطالعه موردی جنگل گلبن در شمال کشور)، فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۱۵: ۲۵۲-۲۴۱.
- ورامش، سعید، سید محسن حسینی، نوراله عبدی و مسلم اکبری‌نیا، ۱۳۸۹. اثر جنگل‌کاری در افزایش ترسیب کربن و بهبود برخی ویژگی‌های خاک، مجله جنگل ایران، ۳۵: ۲۵-۱.
- عبدی، نوراله، ۱۳۸۴. برآورد ظرفیت ترسیب کربن توسط جنس گون در استان‌های مرکزی و اصفهان، رساله دکتری علوم مرتع، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، ۱۹۴ ص.
- Paul, K., I. Polglase, J.G. Nyakuengama & P.K. Khanna, 2002. Change in soil carbon Following afforestation. *Forest Ecology and Management*, 168: 241-257.

Schulp Catharina J. E., G.J. Naburus, P.H. Verburg & R.W. Waal, 2008. Effect of tree Species on Carbon Stock in forest floor and mineral soil and implication for soil carbon inventories. *Forest Ecology and Management*, 256: 482-490.

Turner, D.P., G.J. Koerper, M.E. Harmon & J.J. Lee, 1995. Carbon sequestration by forests of the United States-current status and projections to the year 2040. *Tellus Ser. B* 47, 232-239 pp.

Xiao-Wen, D. Shi-Jie, H. Yan-ling & ZH. Yumei, 2009. Carbon and Nitrogen Transformations in Surface Soils under Ermans Birch and Dark Coniferous Forests. *Pedosphere*, 19(2): 230-237.

Yan, H., M. Cao, J. Liu & B. Tao, 2007. Potential and sustainability for carbon sequestration with improved soil management in agricultural soils of China. *Agriculture , Ecosystems and Environment*, 121: 325-335.

Zhao, Q., D.H. Zeng, D.K. Lee, X.Y. He, Z.P. Fan & Y.H. Jin, 2007. Effects of *Pinus sylvestries* Var. *Mongolica* on Soil Phosphorous status of the Kerrqin sandy lands in China. *Journal of Arid Environments*, 69: 568-582.

Archive of SID

A comparison of soil carbon sequestration in hardwood and softwood monocultures (Case study: Dehmian forest management plan, Mazindaran)

A. Nobakht¹, M. Pourmajidian², S.M. Hojjati^{*3} and A. Fallah²

¹M. Sc student, Faculty of Natural Resources and Agriculture, University of Mazindaran, I. R. Iran

²Associate Prof., Faculty of Natural Resources and Agriculture, University of Mazindaran, I. R. Iran

³Assistant Prof., Forestry Faculty of Natural Resources and Agriculture, University of Mazindaran, I. R. Iran

(Received: 2 November 2010, Accepted: 5 January 2011)

Abstract

Emission of carbon dioxide via human activities is known as the main cause of global warming. Appropriate forest management practices can have effective role to mitigate carbon emission as well as adsorb atmospheric carbon. The present research was carried out to investigate the effect of 35 years old Common ash (*Fraxinus excelsior* L.), Chestnut-leaved Oak (*Quercus castaneifolia* C.A.Mey), Norway spruce (*Picea abies* L. Krast) and Black pine (*Pinus nigra* Arn.) plantations on soil carbon sequestration in Dehmian plantation. Systematic soil sampling was done randomly. Totally 54 soil samples were taken from the top soil layers (0 – 10 and 10 – 20cm depths) in four plantations. Soil texture, pH, bulk density, electrical conductivity, organic carbon and total nitrogen were measured in the laboratory. Analysis of variance indicated that the amount of soil carbon sequestration of softwood plantations stands increased in comparison with hardwood ones. Results showed that the amount of soil carbon sequestration in Norway spruce stand (124.27 ton/ha) was significantly ($P<0.05$) higher than Black pine (94.67 ton/ha), Common ash (87.58 ton/ha) and oak (78.11 ton/ha). Results of stepwise regression showed that nitrogen percentage and C/N ratio were the most important factors affecting soil organic carbon content.

Key words: Reforestation, Soil, Carbon sequestration, Stepwise regression.