اثرهای جنگلکاری در افزایش ترسیب کربن و بهبود برخی ویژگی‌های خاک

سعید ورامش[1*]، سیدمحسن حسینی[2]، نوراله عبدی[3] و مسلم اکبری‌نیا[2]

[1]دانش‌آموختهٔ کارشناسی ارشد جنگلداری دانشکدهٔ منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس

[2]دانشیار دانشکدهٔ منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس

[3]استادیار دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک

(تاریخ دریافت: ۸۸/ ۷ /۵، تاریخ تصویب: ۸۸ / ۹ / ۱۰)

چکیده

افزایش نگرانی‌ها در زمینهٔ گرمایش جهانی و تغییر اقلیم موجب شده است که به خاک و توانایی آن در ترسیب کربن به‌صورت پایدار توجه ویژه‌ای شود. جنگلکاری در اراضی بایر و مدیریت بهینهٔ آن اثر زیادی بر افزایش ترسیب کربن خاک دارد، به‌طوری که خاک اکوسیستم جنگل در تعادل با پوشش درختی و گیاهی مخزن اصلی کربن آلی است. این تحقیق بر اساس طرح پایهٔ کاملاً تصادفی در قالب آزمایش فاکتوریل در توده‌های کاج تهران و اقاقیا همراه با اراضی بایر اطراف (شاهد) در پارک جنگلی چیتگر تهران انجام گرفت و مقادیر کربن ترسیب‌شده در خاک اندازه‌گیری شد. رابطهٔ بین برخی از فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی خاک با کربن آلی خاک نیز بررسی شد. نتایج نشان داد ترسیب کربن در خاک تودهٔ اقاقیا (۷۸/۱۹ تن در هکتار) به‌طور معنی‌داری ($P<0.01$) بیشتر از تودهٔ کاج تهران (۵۷ تن در هکتار) و اراضی بایر (۱۰/۸ تن در هکتار) اطراف است و ارزش اقتصادی آن برای گونه‌های مذکور به‌ترتیب، ۲/۷۹۰ و ۳/۷۴۱ میلیون دلار محاسبه شد. کربن آلی خاک در عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری توده‌های جنگلکاری شده بیشتر از عمق ۳۰-۱۵ سانتی‌متری بود، ولی در اراضی بایر، عکس این قضیه مشاهده شد. نتیجهٔ رگرسیون گام به گام نیز نشان داد که درصد رس و نیتروژن به‌ترتیب از مهم‌ترین اجزای تأثیرگذار بر مقدار کربن آلی خاک است. به‌طور کلی می‌توان گفت فرایند ترسیب کربن، به بهبود کیفیت آب و خاک، افزایش حاصلخیزی، بهبود سیستم هیدرولوژی خاک و نیز جلوگیری از فرسایش و کاهش هدررفت عناصر غذایی می‌انجامد، بنابراین مدیریت بهینهٔ اکوسیستم‌های مختلف باید در جهت افزایش پتانسیل ترسیب کربن باشد.

واژه‌های کلیدی: جنگلکاری، خاک، ترسیب کربن، فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی، پارک جنگلی چیتگر تهران .

[*]نویسندهٔ مسئول: تلفن: ۰۹۱۴۳۵۵۱۲۰۴ Email: varameshs@yahoo.com

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه و هدف

تغییر اقلیم با تأثیر بر رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک و همچنین چرخهٔ عناصر غذایی، بر پوشش گیاهی و ترکیب گونه‌ها اثر می‌گذارد (Cheddadi *et al.*, 2001) و به‌دلیل تغییر در بیومس (بقایای مواد، بیومس هوایی و زیرزمینی) به‌نظر می‌رسد بر ذخیرهٔ کربن آلی و در نتیجه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک نیز اثرگذار است (Lal, 2004). به‌عبارت دیگر تخریب خاک، به کاهش حاصلخیزی، کاهش مقدار و کیفیت بیومس برگشتی به خاک و در نتیجه کاهش ذخیرهٔ کربن آلی خاک می‌انجامد (Lal, 2004). افزایش نگرانی‌ها در زمینهٔ گرمایش جهانی و تغییر اقلیم موجب شده است که به خاک و قابلیت آن در ترسیب کربن به‌صورت پایدار توجه ویژه‌ای شود (Lal, 2001). در سال‌های اخیر توجه به مادهٔ آلی خاک در رابطه با ترسیب کربن افزایش یافته (Houghton, 2003) و دستیابی به افزایش ترسیب کربن خاک به‌عنوان روش مناسبی برای کاهش تراکم CO_2 اتمسفری در مجامع علمی و سیاسی جهان مطرح شده است (Kimble *et al.*, 2003).

افزایش ترسیب کربن در اکوسیستم جنگلی به‌آسانی میسر نیست و سازوکارهای مؤثر بر نهاده‌های ورودی کربن و چرخهٔ مادهٔ آلی خاک پیچیده‌اند (Stevenson, 1994) و با زمان تغییر می‌یابند، به‌طوری که در نتایج تحقیقات انجام گرفته درباره تأثیر جنگلکاری بر ترسیب کربن خاک تناقض‌هایی مشاهده می‌شود. به‌عنوان مثال در حالی که Neufeldt *et al.* (2002) و Zhao *et al.* (2007) نشان دادند که جنگلکاری، ترسیب کربن خاک را کاهش می‌دهد، پژوهش‌های دیگر (Xiao-Wen *et al.*, 2009; Cheng *et al.*, 2007) افزایش قابل توجه ترسیب کربن خاک در اثر جنگلکاری را ثابت کرده‌اند.

به‌عبارت دیگر، سطوح کربن خاک جنگل، حاصل تعادل میان نهاده‌ها (بقایای گیاهان) و ستاده‌هایی (تجزیهٔ میکروبی، آتش‌سوزی، فرسایش و آبشویی) است که به‌وسیله اقلیم، رژیم‌های آشفتگی، ترکیب جامعهٔ‌گیاهی و میکروارگانیسم‌ها و زمان تغییر می‌یابد (Jenny, 1994). پوشش گیاهی، هم در جذب CO_2 اتمسفری تأثیر دارد و هم با فراهم کردن نهاده‌های کربن به شکل بقایای گیاهی، بر مقدار ذخیرهٔ کربن خاک تأثیر می‌گذارد (De Neergaard *et al.*, 2002).

ترسیب کربن خاک بخش مهمی از ترسیب کربن در اکوسیستم خشکی است و تأثیر شدیدی بر CO_2 اتمسفری دارد، به‌طوری که تغییرات کم در تراکم کربن خاک در اثر تغییر کاربری اراضی ممکن است تغییرات زیادی در تراکم CO_2اتمسفری ایجاد کند (Harrison *et al.*, 1993). همچنین کاهش ذخیرهٔ کربن آلی خاک با افزایش احتمال فرسایش‌پذیری و فشردگی خاک و افزایش رواناب اثر زیادی بر ساختمان خاک می‌گذارد (Lal, 2004).

جنگلکاری در اراضی بایر و تخریب‌شده و مدیریت بهینهٔ آن، اثر زیادی بر ترسیب کربن خاک خواهد داشت (Veldkamp, 2001; Laclau, 2003). به‌عبارت دیگر، ترسیب کربن در خاک‌های جنگلی، در حاصلخیزی رویشگاه و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای مفید است، ولی تشخیص شرایط خاک و فعالیت‌های مدیریتی (جنگلکاری) که تراکم و بقای کربن را افزایش می‌دهند، کار دشواری است (Busse *et al.*, 2009).

در داخل کشور نیز تحقیقاتی در خصوص ترسیب کربن انجام شده است که از آن جمله می‌توان به گزارش امانی و مداح عارفی (۱۳۸۲) در خصوص ترسیب کربن تاغزارهای کشور، بررسی پتانسیل ذخیرهٔ کربن در جنگلکاری‌های اکالیپتوس (*Eucalyptus camadulensis*) و آکاسیا (*Acacia salicina*) توسط بردبار و مرتضوی جهرمی (۱۳۸۵)، بررسی تأثیر آمیختگی گونه‌ها بر ترسیب کربن خاک و ارتباط pH و کربن آلی خاک توسط باده‌هیان و همکاران (۱۳۸۵)، تحقیقات محمودی طالقانی و همکاران (۱۳۸۶) در خصوص تأثیر مقدار حجم سرپا، آمیختگی گونه‌ها و تیپ جنگل در مقدار ترسیب کربن خاک و همچنین مقایسهٔ مقدار ترسیب کربن گونه‌های پهن‌برگ و سوزنی‌برگ در جنگل شهری توسط ورامش و همکاران (۱۳۸۸) اشاره نمود. از طرف دیگر با توجه به اینکه کاج تهران (*Pinus eldarica* Medw) و اقاقیا (*Robinia Pseudoacacia* L.) جزء گونه‌هایی هستند که در مناطق وسیعی از کشور برای جنگلکاری استفاده می‌شوند، هدف از این تحقیق ارزیابی قابلیت افزایش ترسیب کربن خاک

Archive of SID

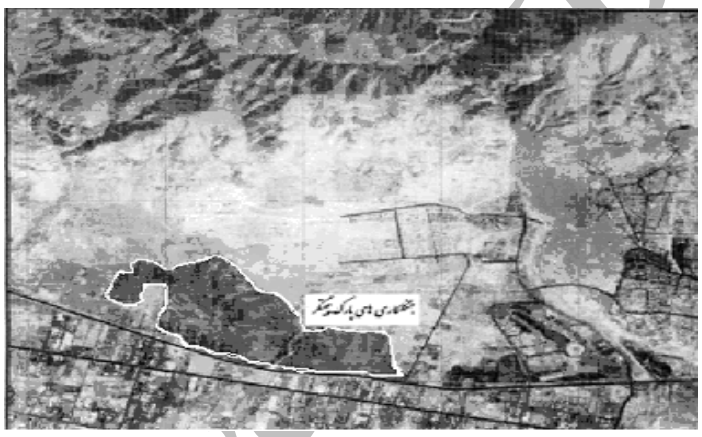
www.SID.ir

توسط گونه‌های مذکور در پارک جنگلی چیتگر تهران، مقایسهٔ این توده‌ها با یکدیگر و با منطقهٔ شاهد و همچنین بررسی ارتباط کربن آلی با برخی از خصوصیات فیزیکی- شیمیایی خاک است.

مواد و روش‌ها

- منطقهٔ مورد بررسی

منطقهٔ مورد بررسی به‌وسعت حدود ۹۰۰ هکتار در غرب شهر تهران (در مسیر اتوبان تهران ــ کرج، کیلومتر ۱۶) و در محدودهٔ پارک چیتگر واقع است و بین ´۱۰ °۵۱ تا ´۱۵ °۵۱ طول جغرافیایی شرقی و ´۴۲ °۳۵ تا ´۴۵ °۳۵ عرض جغرافیایی شمالی قرار دارد (شکل ۱). این پارک در سال ۱۳۴۷ احداث شده است. ۴۵ درصد از کل مساحت پارک را درختان کاج تهران و ۲۳ درصد آن را درختان اقاقیا دربر می‌گیرند. از لحاظ اقلیمی جزء محدودهٔ اقلیمی مدیترانه‌ای خشک بوده و میانگین ارتفاع آن از سطح دریا ۱۳۰۰ متر و متوسط بارندگی آن ۲۳۲ میلی‌متر است.



شکل ۱- موقعیت منطقهٔ مورد بررسی

- روش نمونه‌برداری

دو تودهٔ کاج تهران و اقاقیا به وسعت ۱۰ هکتار به‌همراه اراضی بایر اطراف (قطعهٔ شاهد) در پارک جنگلی چیتگر تهران انتخاب شد. برای کاهش اثرهای مرزی، چند ردیف اطراف هر توده برای نمونه‌برداری در نظر گرفته نشد. در هر توده ۱۰ پلات ۵×۵ متری مستقر شد و در داخل هر پلات پس از کنار زدن لایهٔ لاشبرگی، از دو عمق ۱۵-۰ و ۳۰-۱۵ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری شد. برای به حداقل رساندن خطا، نمونه‌برداری به‌صورت ترکیبی انجام گرفت، به‌این صورت که ۴ نمونه خاک از ۴ گوشهٔ پلات برداشت شد و سپس نمونه‌ها با هم مخلوط و در هر پلات یک نمونه از هر عمق برداشته شد. به‌این ترتیب در هر توده از هر عمق، ۴۰ نمونه برداشت و از مخلوط کردن نمونه‌ها در هر توده و از هر عمق ۱۰ نمونه در کیسه‌های پلاستیکی ریخته شد و به آزمایشگاه انتقال یافت. نمونه‌ها در هوای آزاد خشک شد و بعد از خرد کردن کلوخه‌ها، جدا کردن ریشه‌ها، سنگ و دیگر ناخالصی‌ها، آسیاب شده و از الک ۲ میلی‌متری (مش۲۰) عبور داده شد (Mac Dicken, 1997; Maranona *et al.*, 1999; Paul *et al.*, 2002; Losi *et al.*, 2003; Hernandez *et al.*, 2004).

- روش آزمایشگاهی

ابتدا در آزمایشگاه درصد سنگ و سنگریزه محاسبه و سپس خصوصیات خاک شامل موارد زیر بررسی شد:

بافت خاک با استفاده از روش دانسیمتری بایکاس (Bouyoucos, 1962)، وزن مخصوص ظاهری به‌روش کلوخه بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب (Blake & Hartge, 1986)، اسیدیتهٔ خاک به روش پتانسیومتری با استفاده از دستگاه pH متر الکترونیکی، هدایت الکتریکی در عصارهٔ گل اشباع و با استفاده از دستگاه EC متر الکترونیکی و تعیین ازت کل خاک با دستگاه کجلدال انجام گرفت (Bremner & Mulvaney, 1982). مادهٔ آلی و کربن

Archive of SID

www.SID.ir

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 (Allison, 1965). در پایان درصد رطوبت اشباع خاک نیز اندازه‌گیری شد.

مقدار ترسیب کربن بر حسب کیلوگرم بر هکتار بر اساس فرمول زیر محاسبه شد:

$$Cs = 10000 \times OC\ (\%) \times Bd \times e$$

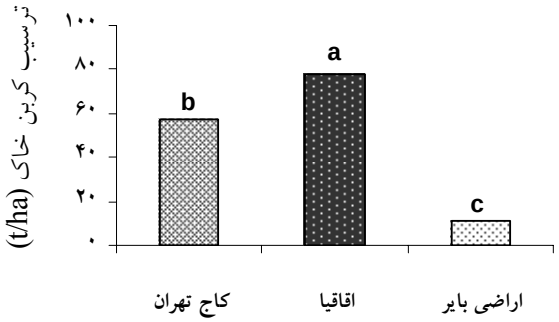
Cs= مقدار ترسیب کربن آلی (kg/ha)، OC%= درصد کربن آلی، Bd= وزن مخصوص ظاهری خاک (gr/cm^3)
e= عمق نمونه‌داری (cm)

- روش آماری

در این تحقیق، طرح آزمایشی فاکتوریل دو فاکتوره در قالب طرح پایهٔ کاملاً تصادفی با ۱۰ تکرار مورد استفاده قرار گرفت. فاکتور اول شامل توده‌ها در سه سطح (کاج تهران، اقاقیا و شاهد) و فاکتور دوم نمونه‌برداری در عمق‌های ۱۵-۰ و ۳۰-۱۵ سانتی‌متری خاک بود. ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون Kolmogorov-Smirnov و همگنی واریانس داده‌ها بر اساس آزمون Levene، بررسی شد. با توجه به نرمال بودن داده‌ها و همگنی واریانس داده‌ها برای مقایسهٔ کلی سه تیپ از نظر ویژگی‌های خاک، از آنالیز واریانس یکطرفه (ANOVA) استفاده شد. برای مقایسهٔ چندگانهٔ میانگین‌ها با توجه به داشتن منطقهٔ شاهد (اراضی بایر که در آن عملیات جنگلکاری انجام نگرفته بود)، از آزمون حداقل تفاوت‌های معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد. برای رسم نمودارها نیز از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج

نتایج نشان داد که جنگلکاری در پارک جنگلی چیتگر تهران، به افزایش چشمگیر در ترسیب کربن خاک انجامیده است. ترسیب کربن خاک در تودهٔ اقاقیا (۷۸/۱۹ تن در هکتار) به‌طور معنی‌داری ($P<0.01$) بیشتر از کاج تهران (۵۷ تن در هکتار) و اراضی بایر اطراف (۱۰/۸۲ تن در هکتار) بود (شکل۲).



شکل ۲- مقدار ترسیب کربن خاک در توده‌های کاج تهران، اقاقیا و اراضی بایر در پارک جنگلی چیتگر تهران

آنالیز واریانس یکطرفهٔ صفات مورد بررسی نشان داد که مقدار اسیدیته، کربن آلی، مادهٔ آلی، نیتروژن ($P<0.01$) و رطوبت اشباع خاک ($P<0.05$) در بین توده‌های مورد بررسی معنی‌دار بودند. در بین دو عمق مورد بررسی اسیدیته، کربن آلی، مادهٔ آلی، نیتروژن ($P<0.01$) و وزن مخصوص ظاهری خاک ($P<0.05$) معنی‌دار بودند. بررسی اثرهای متقابل توده و عمق نیز نشان داد که کربن آلی، مادهٔ آلی و نیتروژن معنی‌دار ($P<0.01$) بودند (جدول ۱).

مقایسهٔ میانگین خصوصیات خاک در توده‌های کاج تهران، اقاقیا و اراضی بایر نشان داد که درصد رطوبت اشباع خاک، نیتروژن، مادهٔ آلی و کربن آلی در تودهٔ اقاقیا بیشتر از تودهٔ کاج تهران و اراضی بایر اطراف بود، در حالی که اسیدیتهٔ خاک عکس این قضیه را نشان داد. به‌طوری که بیشترین مقدار اسیدیتهٔ خاک به‌ترتیب در اراضی بایر، تودهٔ اقاقیا و تودهٔ کاج تهران مشاهده شد (شکل ۳).

بررسی دو عمق ۱۵-۰ (لایهٔ اول) و۳۰-۱۵ (لایه دوم) سانتی‌متری نیز نشان داد که وزن مخصوص ظاهری و اسیدیته در لایهٔ دوم بیشتر از لایهٔ اول بود، در حالی که مقدار نیتروژن، مادهٔ آلی و کربن آلی در لایهٔ اول بیشتر از لایهٔ دوم بود (شکل ۴). بررسی تأثیر متقابل توده و عمق نشان داد که مقدار کربن، مادهٔ آلی و نیتروژن در عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری تودهٔ اقاقیا بیشتر از بقیه بود. همچنین مقدار مادهٔ آلی و کربن آلی در لایهٔ اول توده‌های جنگلکاری‌شده بیشتر از لایهٔ دوم بود، در حالی که در اراضی بایر عکس این نتیجه مشاهده شد (جدول ۲).

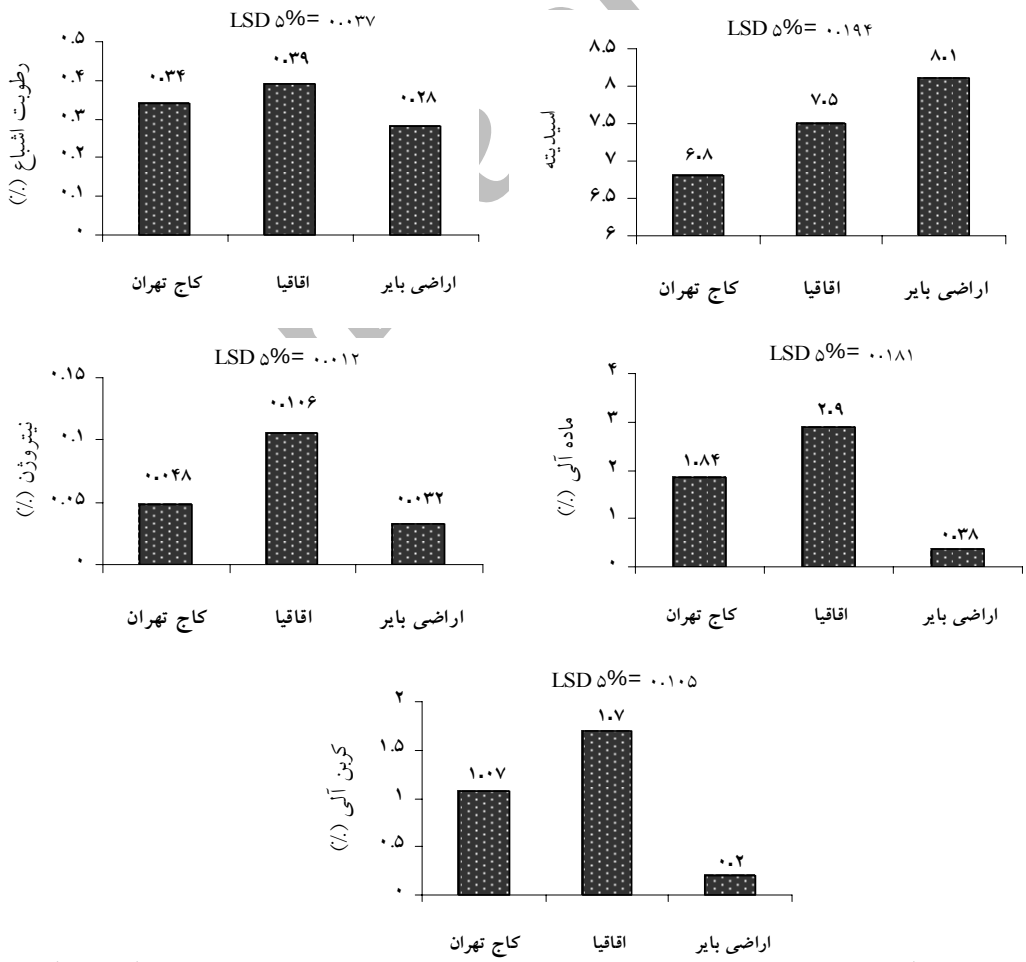
Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱- آنالیز واریانس یکطرفهٔ صفات خاک در دو عمق ۱۵-۰ و ۳۰-۱۵ سانتی‌متری توده‌های کاج تهران، اقاقیا و اراضی بایر

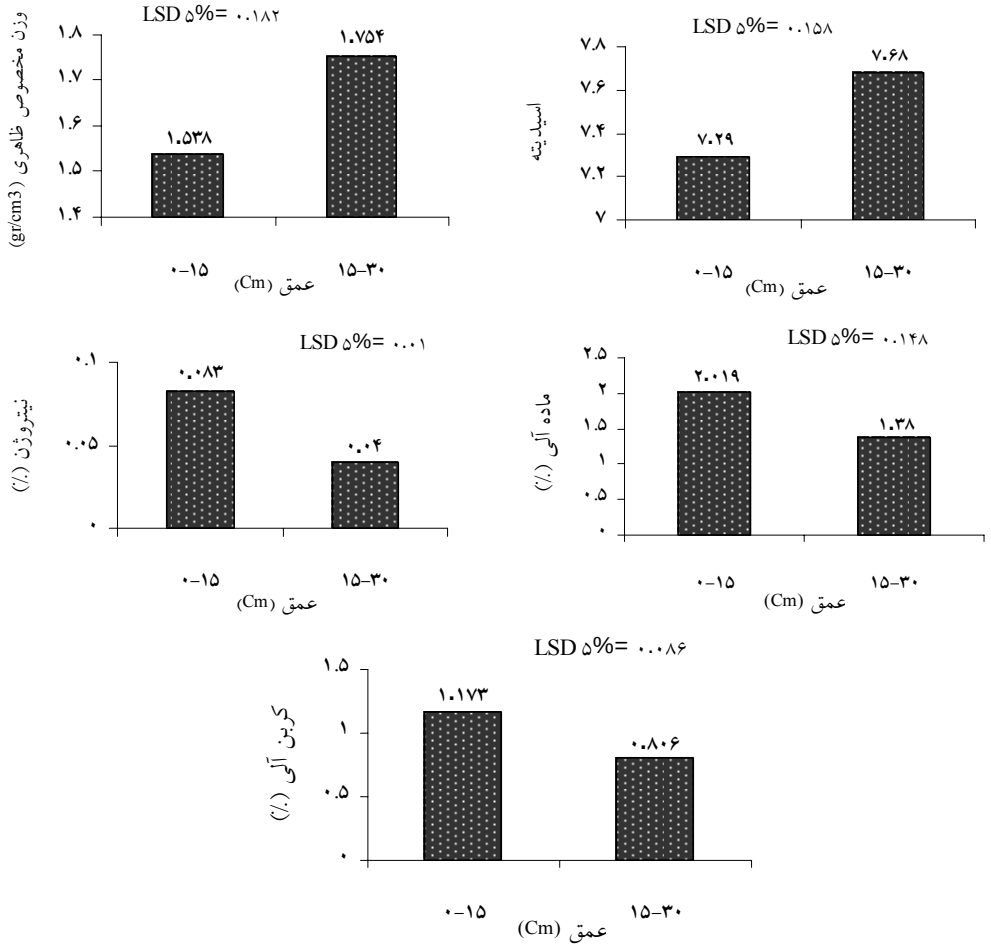
منبع تغییرات	درجهٔ آزادی	سنگریزه و سنگ (درصد)	وزن مخصوص ظاهری (gr/cm^3)	اسیدیته	رطوبت اشباع (درصد)	سیلت (درصد)	شن (درصد)	رس (درصد)	کربن آلی (درصد)	ماده آلی (درصد)	هدایت الکتریکی (dS/m)	نیتروژن (درصد)	کربن/ نیتروژن
توده	۲	۰/۱۶۳	۰/۰۷	**۳/۸۲	*۰/۰۰۹	۱۳۶/۱۱	۲۰۵۰/۰۸	۱۲۸۴/۰۸۳	**۶/۴۹	**۱۹/۲۲۸	۰/۰۳۹	**۰/۲۷۶	۱۲۳۵/۴۱
عمق	۱	۰/۰۰۹	*۰/۲۷۹	۰/۷۳۷ **	۰/۰۰۵	۴۴/۴۴	۰/۲۵	۲۶/۶۹۴	**۱/۲۱	۳/۵۹۷ **	۰/۰۶۰	۰/۳۶۴ **	۵۲۴/۷
توده × عمق	۲	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۸	۰/۲۶۸	۰/۰۰۴	۳۸/۱۱	۱۹/۷۵	۲/۰۲۸	**۰/۰۷۰	**۲/۰۸۱	۰/۰۴۲	**۰/۰۸۳	۱۰۱/۱۴۹
خطا	۳۰	۰/۰۱۳	۰/۰۴۸	۱/۶۲۵	۰/۰۰۲	۲۲/۶۲۲	۶۶/۲۲۸	۱۸/۵۲۸	۰/۰۱۶	۰/۰۴۸	۰/۰۳۵	۰/۱۰	۷۹/۷۳
ضریب تغییرات		۳۴/۰۸	۱۳/۳۱	۳/۰۹	۱۲/۷	۳۰/۵۸	۱۵/۳۳	۱۷/۸۷	۱۲/۸۴	۱۲/۸۳	۲۵/۹	۱۳/۷۱	۳۱/۹

* و ** به‌ترتیب نشان‌دهندهٔ معنی‌داری در سطح ۵ درصد و ۱ درصد



شکل ۳- مقایسهٔ میانگین برخی از خصوصیات خاک در توده‌های کاج تهران، اقاقیا و اراضی بایر در پارک جنگلی چیتگر تهران

www.SID.ir



شکل ۴- مقایسهٔ میانگین برخی از صفات خاک در دو عمق ۱۵-۰ و۳۰-۱۵ سانتی‌متری در پارک جنگلی چیتگر تهران

جدول۲- مقایسهٔ میانگین درصد کربن آلی، مادهٔ آلی و نیتروژن در تأثیر متقابل توده و عمق

توده * عمق	درصد کربن آلی	درصد ماده آلی	درصد نیتروژن
اقاقیا ۱۵-۰	۲/۱۳	۳/۶۶	۰/۱۶۳
اقاقیا ۳۰-۱۵	۱/۲۳	۲/۱۲	۰/۰۴۸
کاج تهران ۱۵-۰	۱/۲	۲/۰۶	۰/۰۴۹
کاج تهران ۳۰-۱۵	۰/۹۴	۱/۶۲	۰/۰۴۴
اراضی بایر ۱۵-۰	۰/۱۹	۰/۳۲	۰/۰۳۵
اراضی بایر ۳۰-۱۵	۰/۲۴	۰/۴۱	۰/۰۲۸
LSD 5%	۰/۱۴۹	۰/۲۵۶	۰/۰۱۷۴۰۹۷

جدول۳- رگرسیون چندمتغیره به‌روش گام به گام کربن آلی خاک (متغیر تابع) با دیگر خصوصیات خاک در پارک جنگلی چیتگر تهران

معادله	ضریب تبیین (R^2)
$Y = ۲/۲ - ۵/۵۵ \times ۱۰^{-۲} X_1$	۷۳/۲
$Y = ۱/۴ - ۴/۹ \times ۱۰^{-۲} X_1 + ۰/۸۹۸ X_2$	۸۶/۲

Y= وزن کربن، X_1= رس، X_2= نیتروژن

Archive
www.SID.ir

بحث

بسیاری از تحقیقات اخیر (بردبار و مرتضوی جهرمی، ۱۳۸۵؛ ورامش و همکاران، ۱۳۸۸ ;Rossi *et al.*, 2009 Qing-Biao *et al.*, 2009; Hopmans & Elms, 2009; Wauthers *et al.*, 2008) نشان داده‌اند که جنگلکاری قابلیت زیادی در ترسیب کربن خاک دارد. نتایج این تحقیق (شکل ۲) نیز نشان داد که توده‌های جنگلکاری شدهٔ کاج تهران و اقاقیا به‌ترتیب سبب افزایش ترسیب کربن خاک به مقدار ۴۶/۱۸ و ۶۷/۳۷ تن در هکتار نسبت به زمین بایر اطراف شدند. ترسیب کربن در خاک تودهٔ اقاقیا بیشتر از تودهٔ کاج تهران بود که این موضوع را می‌توان به قابلیت زیاد گیاهان خانوادهٔ *Leguminosae* در تثبیت ازت و رابطهٔ مستقیم ترسیب کربن و تثبیت ازت نسبت داد. Paul *et al.* (2002) نیز بر اساس تحقیقات خود اظهار داشتند که ترسیب کربن خاک زمانی که گونه‌های پهن‌برگ خزان‌کننده یا گونه‌های تثبیت‌کنندهٔ ازت کاشته شوند، افزایش می‌یابد.

تثبیت نیتروژن نیز در خاک تودهٔ اقاقیا بیشتر از کاج تهران بود. با توجه به اینکه اقاقیا از خانوادهٔ *Leguminosae* است، بدیهی است که انتظار می‌رفت بیشترین مقدار تثبیت ازت در این توده صورت گیرد. همچنین با توجه به اینکه درختان خزان‌کننده موجب افزایش فعالیت کرم‌های خاکی و دیگر بی‌مهرگان می‌شوند (Jongmans *et al.*, 2003; Jug *et al.*, 1999)، مادهٔ آلی و در نتیجه کربن و ازت خاک را نیز افزایش می‌دهند.

Dinakaran & Krishnayya (2008) معتقدند که نوع پوشش تأثیر معنی‌داری بر ترسیب کربن خاک می‌گذارد. به‌طوری که تغییر در مقدار ترسیب کربن خاک، به مقدار ورودی کربن به خاک از راه بقایای گیاهی و هدررفت کربن از راه تجزیه بستگی دارد. نتایج تحقیقات محمودی طالقانی و همکاران (۱۳۸۶) نیز نشان داد که حجم در هکتار جنگل و تنوع در ترکیب و آمیختگی گونه‌ها از عوامل مهم تأثیرگذار بر ترسیب کربن است. بنابراین برای افزایش کربن در خاک، باید فعالیت‌های مدیریتی مانند افزایش میزان کربن واردشده به خاک مثل لاشبرگ و بقایای گیاهی و کاهش مقدار تجزیهٔ کربن خاک اعمال شوند.

سرعت تجزیهٔ مواد آلی خاک تحت تأثیر وضعیت خاک (رطوبت، دما و دسترسی به اکسیژن)، ترسیب مواد آلی، قرارگرفتن مواد آلی در پروفیل خاک و شدت حفاظت فیزیکی خاکدانه‌ها قرار می‌گیرد. عوامل مؤثر بر ترسیب یا تجزیهٔ کربن در برخی از موارد، مقدار ترسیب کربن از مقدار تجزیهٔ آن بیشتر است و در برخی موارد نیز این نسبت عکس می‌شود (Bruce *et al.*, 1999). چنانچه در مورد اراضی بایر نیز مشاهده شد تجزیه کربن از ترسیب آن بیشتر بود. Singh *et al.* (2003) نیز معتقدند مقدار مواد آلی خاک و به‌تبع آن مقدار کربن ترسیب‌شده در خاک، در واحد سطح به عوامل چندی از جمله وزن مخصوص ظاهری خاک بستگی دارد.

کربن آلی در عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری توده‌های جنگلکاری شده در مقایسه با عمق ۳۰-۱۵ سانتی‌متری بیشتر بود. Rice (2000) نیز با بررسی تأثیر عمق خاک بر مقدار ترسیب کربن، به این نتیجه رسید که بین مقدار ترسیب کربن خاک در نواحی خشک و نیمه‌خشک و عمق خاک رابطهٔ غیرمستقیم وجود دارد. این نتیجه با یافته‌های Schuman *et al.* (2002) نیز مطابقت دارد و دلیل آن را می‌توان روند تدریجی تجزیهٔ لاشبرگ و تبدیل آن به هوموس که از لایه‌های سطحی خاک آغاز می‌شود دانست. درصد رس و نیتروژن خاک مهم‌ترین عامل‌های تأثیرگذار بر ترسیب کربن خاک در این تحقیق بودند. Allard *et al.* (2007) نیز در تحقیقات خود مشاهده کردند که افزودن کود ازته، مقدار ترسیب کربن را حدود ۳۰ درصد افزایش داد. برخی از محققان نیز به تأثیر اجزای مختلف بافت خاک بر ترسیب کربن اشاره کرده‌اند. Bauer *et al.* (1987) معتقدند کربن آلی خاک با محتوای رس خاک ارتباط دارد. Power & Schlesinger (2002) نیز با تحقیقاتی که در کاستاریکا انجام دادند، مشاهده کردند که غلظت کربن آلی خاک با مقدار رسهای خاک ارتباط دارد. نتایج تحقیق Garten & Charles (2002) نشان داد که ترسیب کربن خاک با مادهٔآلی و با درصد سیلت- رس همبستگی دارد. کربن آلی خاک همچنین از خواص تبادل کاتیونی، بافت و تراکم خاک تأثیر می‌پذیرد (Chandler, 1939).

Archive of SID

www.SID.ir

با در نظر گرفتن اینکه حدود ۴۰۵ هکتار (۴۵ درصد) از سطح کل پارک جنگلی چیتگر به کاج تهران و ۲۰۷ هکتار (۲۳ درصد) آن به اقاقیا اختصاص دارد، دو تودهٔ مذکور، به‌ترتیب سبب افزایش ترسیب کربن خاک به مقدار ۱۸۷۰۳ و ۱۳۹۴۶ تن در پارک جنگلی چیتگر شده‌اند. پالایش کربن اتمسفری با استفاده از روش‌های مصنوعی هزینه‌های سنگینی را در بر دارد، به‌طوری که این هزینه را در آمریکا حدود ۳۰۰- ۱۰۰ دلار تخمین زده‌اند (Cannell, 2003). درصورتی که متوسط هزینهٔ ترسیب کربن به ازای هر تن ۲۰۰ دلار در نظر گرفته شود، برآورد می‌شود که ارزش اقتصادی حاصل از ترسیب کربن خاک در توده‌های کاج تهران و اقاقیا در پارک چیتگر تهران به‌ترتیب ۳/۷۴۱ و ۲/۷۹۰ میلیون دلار باشد. چنانچه مقدار کربن ترسیب‌شده در بیومس هوایی و زیرزمینی درختان به عدد یادشده اضافه شود، اهمیت اقتصادی پروژه‌های جنگلکاری از حیث ترسیب کربن چشمگیرتر خواهد بود. امانی و مداح عارفی (۱۳۸۲) نیز معتقدند، چنانچه مقدار کربن ترسیب شده در اندام‌های زیرزمینی و خاک تاغزارها، در حداقل مقدار ممکن، یعنی معادل اندام‌های هوایی برآورد شود، مجموع مقدار کربن ترسیب‌شده در اندام‌های هوایی و زیرزمینی تاغزارهای دست‌کاشت کشور، معادل ۱۵ میلیون تن خواهد بود.

نتایج این تحقیق ثابت کرد که جنگلکاری در اراضی بایر تأثیر بسیار زیادی در ترسیب کربن خاک دارد. به‌دلیل اینکه قسمت اعظم کربن ترسیب‌شده در خاک قرار دارد، فرایند فرسایش خاک موجب هدررفت کربن می‌شود و هرگونه عملیات بیولوژیکی و مکانیکی که مانع سیر قهقرایی خاک و پوشش گیاهی شود، بی‌گمان گام مثبتی در راستای مدیریت ترسیب کربن خواهد بود. با توجه به اینکه بخش بزرگی از کربن خاک در عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری ذخیره می‌شود، این فرایند در افزایش حاصلخیزی و بهبود سیستم هیدرولوژی خاک و نیز جلوگیری از فرسایش بسیار مؤثر است. بهبود کیفیت آب و خاک، کاهش هدررفت عناصر غذایی، کاهش فرسایش خاک، افزایش حفاظت آب و تولید محصول بیشتر نیز از مزایای ترسیب کربن در خاک‌ها است. به‌طور کلی ترسیب کربن را می‌توان به‌عنوان یک ارزش افزوده در کنار دیگر ارزش‌ها و استفاده‌های اکوسیستم‌های جنگلی و به‌عنوان شاخصی برای سنجش پایداری منابع طبیعی منظور کرد.

منابع

امانی منوچهر و حسن مداح عارفی، ۱۳۸۲. بررسی قابلیت ترسیب کربن در تاغزارهای دست‌کاشت کشور و استراتژی آینده، مجموعه مقالات اولین همایش تاغ و تاغ‌کاری، تابستان ۸۲، کرمان.

باده‌هیان ضیاءالدین، ۱۳۸۵. بررسی ارتباط بین ذخیره کربن و pH در لایه‌های آلی و معدنی خاک در یک جنگل آمیختهٔ راش، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران، ص ۶۹.

بردبار سیدکاظم و سیدمرتضی مرتضوی جهرمی، ۱۳۸۵. بررسی پتانسیل ذخیرهٔ کربن در جنگلکاری‌های اکالیپتوس(*Eucalyptus Camadulensis*) و آکاسیا (*Acacia Salicina*) در مناطق غربی استان فارس، فصلنامهٔ پژوهش و سازندگی، ۷۰: ۹۵-۱۰۳.

محمودی طالقانی عباداله، قوام‌الدین زاهدی امیری، ابراهیم عادلی و خسرو ثاقب‌طالبی، ۱۳۸۶. برآورد ترسیب کربن خاک در جنگل‌های تحت مدیریت (مطالعهٔ موردی جنگل گلبند در شمال کشور). فصلنامهٔ جنگل و صنوبر، ۲۴۱-۲۵۲.

ورامش سعید، ۱۳۸۸. مقایسهٔ میزان ترسیب کربن گونه‌های پهن‌برگ و سوزنی‌برگ در جنگل شهری (مطالعهٔ موردی پارک چیتگر تهران)، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، ص ۱۳۲.

Allard V., J.F. Soussana, R. Falcimagne, P. Berbigier, J.M. Bonnefond, E. Ceschia, P. D'hou, C. Henault, P. Laville, C. Martin & C. Pinare`s-Patino, 2007. The role of grazing management for the net biome productivity and Greenhouse gas Budget (CO2, N2O and CH4) of semi-natural grassland, Agriculture, Ecosystems and Environment, 121: 47-58.

Allison, L.E., 1965. Organic carbon. In: Black, C.A., Evans, D.D., White, J.L., Ensminger, L.E., Clark, F.E. (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy, Madison, p. 1367.

Bauer, A., C.V. Cole, A.L. Black, 1987. Soil property comparisons in virgin grasslands between

Archive of SID

www.SID.ir

Harrison, K.G., W.S. Broecker & G. Bonani, 1993. The effect of changing land use on soil radio carbon. Science, 262: 725-726.

Hernandez. R., P. koohafkan & J. Antoine, 2004. Assessing Carbon Stocks and modeling win-win Scenarios of carbon sequestration through land-use change.166 pp.

Hopmans. P. & S.R. Elms, 2009. Changes in total carbon and nutrients in soil profiles and accumulation in biomass after a 30-year rotation of Pinus radiata on podzolized sands: Impacts of intensive harvesting on soil resources. *Forest Ecology and Management*, 258(10): 2183-2193.

Houghton, R.A., 2003. Why are estimates of the terrestrial carbon balance so different? *Global Change Biology*, 9 (4): 500-509.

Jenny, H., 1994. Factors of Soil Formation. A System of Quantitative Pedology. Dover Press, New York.

Jongmans, A.G., M.M. Pulleman, M. Balabane, F. Oort & J.C.Y. Marinissen, 2003. Soil structure and characteristics of organic matter in two orchards differing in earthworm activity. *Applied Soil Ecology*, 24: 219-232.

Jug, A., F.M. Makeschin, K.E. Rehfuess & C. Hofmann-Schielle, 1999: Short-rotation plantations of balsam poplars, aspen and willows on former arable land.

Kimble, J.M., L.S. Heath, R.A. Birdsey & R. Lal, 2003. The Potential of U.S. Forest Soils to Sequester Carbon and Mitigate the Greenhouse Effect. CRC Press, New York.

Laclau. P., 2003. Biomass and Carbon Sequestration of Ponderosa Pine Plantations and Native Cypress forests in Northwest Patagonia. *Forest Ecology and Management*, (180):1-3, 317-333.

Lal, R., 2001. The potential of soil carbon sequestration in forest ecosystems to mitigate the greenhouse effect. In: Lal, R. (Ed.), Soil Carbon Sequestration and the Greenhouse Effect. Soil Science Society of America Special Publication 57. Soil Science Society of America, Madison, WI.

Lal R. 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. Geoderma, 123: 1 -22.

Losi, C.J., T.G. Siccama, 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.

grazed and nongrazed management systems. *Soil Science Society of America Journal*, 51: 176-182.

Blake, G.R. & K.H. Hartge, 1986. Bulk density. In: Klute, A. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part I. Physical and Mineralogical Methods. Soil Sci. Soc. Am. Pub. No 9. Part 1. pp. 363-376.

Bouyoucos, G.J., 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils, *Agronomy Journal*, 56: 464-465.

Bremner, J.M., C.S. Mulvaney, 1982. Nitrogen-total. In: page, A.L., Miller, R.H., Keeney, R.R. (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 2. Second ed.American Society of Agronomy, Madison, WI, pp. 595-624.

Bruce, J.P., M. Frome, E. Haites, H. Joanne, R. Lal, & K. Faustion, 1999. Carbon sequestration in soils. Journal of Soil and Water Conservation, First Quarter, 124-139.

Busse, M.D., F.G. Sanchez, A.W. Ratcliff, J.R. Butnor, E.A. Carter, R.F. Powers, 2009. Soil carbon sequestration and changes in fungal and bacterial biomass following incorporation of forest residuesq. *Soil Biology & Biochemistry*, 41: 220-227.

Cannell. R., 2003. Carbon sequestration and biomass energy offset: theoretical, potential and achievable capacities globally, in Europe and UK. Biomass and Bioenergy, 24: 97-116.

Chandler, R.F., 1939: Cation exchange properties of certain forest soils in the Adirondack section. J. Agric. Res. 59: 491-505.

Cheddadi, R., J. Guiot & D. Jolly, 2001. The Mediterranean vegetation: what if the atmospheric CO2 increased? Landscape Ecology 16, 667- 675.

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.

De Neergaard, A., J.R. Porter & A. Gorissen, 2002. Distribution of assimilated carbon in plants and rhizosphere soil of basket willow (Salix viminalis L.), Plant Soil, 245: 307-314.

Dinakaran, J. & N.S.R. Krishnayya, 2008. Variations in type of vegetal cover and heterogeneity of soil organic carbon in affecting sink capacity of tropical soils, 94:1144-1150.

Garten, Jr. & T. Charles, 2002. Soil carbon storage beneath recently established tree plantations in Tennessee and South Carolina, USA, *Biomass and Bioenergy*. 23(2): 93-102.

Archive of SID

www.SID.ir

and Secondary Forest in two different climate zones of South America, Project location in Ecuador and Argentina, 68pp.

Wauters J.B., S. Coudert., E. Grallien, M. Jonard & Q. Ponette, 2008. Carbon stock in rubber tree plantations in Western Ghana and Mato Grosso (Brazil). *Forest Ecology and Management*, 255(7): 2347-2361.

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

Zhao, Q., D.H. Zeng, D.K. Lee, X.Y. He, Z.P. Fan & Y.H. Jin, 2007: Effects of Pinus sylvestris var. mongolica afforestation on soil phosphorus status of the Keerqin Sandy Lands in China, *Journal of Arid Environments*, 69: 568-582.

Mac Dicken, K.G., 1997. A Guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agro forestry Projects. Winrock International Institute for Agricultural Development, Forest Carbon Monitoring Program, 91 pp.

Maranona, T., R. Ajbiloua, F. Ojedab & J. Arroyob, 1999. Biodiversity of woody species in oak woodlands of southern Spain and northern Morocco, *Forest Ecology and Management*, 115: 147-156.

Neufeldt, H., D.V.S. Resck & M.A. Ayarza, 2002: Texture and land use effects on soil organic matter in cerrado oxisols, central Brazil, Geoderma, 107: 151-164.

Paul K.I., P.J. Polglase, J.G. Nyakuengama & P.K. Khanna, 2002. Change in soil carbon following afforestation . Forest Ecology and Management. 168(1-3): 241-257.

Powers, J.S. & W.H. Schlesinger, 2002. Relationships among soil carbon distributions and biophysical factors at nested spatial scales in rainforests of northeastern Costa Rica, Geoderma, 109: 165-190.

Qing-Biao, W.U, W. Xiao-Ke2 & O. Zhi-Yun2, 2009. Soil Organic Carbon and Its Fractions across Vegetation Types:Effects of Soil Mineral Surface Area and Micro aggregates, *Pedosphere*, 19(2): 258-264.

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.

Rossi J, Govaerts A, De Vos B, Verbist B, Vervoort A, Poesen J, Muys B, Deckers J. 2009. Spatial structures of soil organic carbon in tropical forests-a case study of Southeastern Tanzania, Catena, 77: 19-27.

Schuman, G.E., H. Janzen & J.E. Herrick, 2002. Soil Carbon Information and Potential Carbon Sequestration by Rangelands, *Environmental Pollution*, 116: 391-396.

Singh, G., N. Bala, K.K. Chaudhuri & R.L. Meena, 2003. Carbon sequestration potential of common access resources in arid and semi-arid regions of northwestern India, Indian Forester, 129: 7, 859-864.

Stevenson, F.J., 1994. Humus Chemistry. Genesis, Composition, Reactions, John Wiley and Sons, New York.

Veldkamp, R.O., 2001. Evaluation of the CO_2 Sequestration, Potential of Afforestation Projects

Archive of SID

www.SID.ir

Increment of soil carbon sequestration due to forestation and its relation with some physical and chemical factors of soil

S. Varamesh[*1], S. M. Hosseini[2], N. Abdi[3] and M. Akbarinia[2]
[1]M.Sc. Graduate, Faculty of Natural Resources and Marine Science, University of Tarbiat Modares, I. R. Iran
[2]Associate Prof., Faculty of Natural Resources and Marine Science, University of Tarbiat Modares, I. R. Iran
[3]Assistant Prof., Faculty of Agricultur, Islamic Azad University, Arak, I. R. Iran
(Received: 27 September 2009, Accepted: 1 December 2009)

Abstract
The increasing concerns about global warming and climate change has caused a special attention to soil and its potential to sequestrate the carbon permanently. Afforestation in barren lands with optimal management can have the noticeable effect to increase the soil carbon sequestration in the way that the soil of forest ecosystem in balance with tree and plant coverage would be the main store of organic carbon. This research was done by factorial design in *Pinus eldarica*, *Robinia Pseudoacacia* stands and the surrounding barren land (as blank) in Chitgar forest park of Tehran. The amounts of soil carbon sequestration were measured. The relation between some physical and chemical factors of soil and soil organic carbon were also investigated. The results indicated that soil carbon sequestration of *R.Pseudoacacia* (78.19 mg/ha) was significantly ($p<0.01$) more than *P.eldarica* (57 mg/ha) and barren land (10.8 mg/ha). Their economic values for mentioned species were computed 2.790 and 3.741 million dollar's respectively. The soil organic carbon in depth of 0-15cm of planted stands was more than depth of 15-30cm, in contrast to barren land. The result of stepwise regression showed that the percentages of clay and Nitrogen were respectively the most important factors for soil organic carbon. Totally it could be said that the process of carbon sequestration is important for water and soil quality, fertility increment, Hydrology system of soil improvement and also preventing the erosion and wasting the nutrients. Therefore the forest ecosystem should be managed in order to increase the carbon sequestration potential.

Key words: Afforestation, Soil, Carbon sequestration, Physical and chemical factors, Chitgar forest park of Tehran.

Archive of SID

[*]Corresponding author Tel: +98 914 3551204 Email: varameshs@yahoo.com

www.SID.ir