بررسی تاثیر جنگلکاری شهری در میزان ترسیب کربن خاک و محاسبه ارزش پولی آن (مطالعه موردی: پارک پردیسان تهران)

محمود فتحی[1*]، ساسان بابائی‌کفاکی[2] و هادی کیادلیری[2]

۱) دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد رشته جنگلداری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران. *رایانامه نویسنده مسئول: mahmodfathi61@gmail.com

۲) استادیار گروه جنگلداری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۲/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۲/۱۴

چکیده

یکی از راهکارهای مهم برای حفاظت و اصلاح خاک، جنگل‌کاری و احیای زمین‌های تخریب یافته و در نتیجه کاهش دی اکسید کربن اتمسفر است. خاک مهمترین مخزن کربن اتمسفری محسوب می‌گردد و فقدان پوشش گیاهی مناسب بر روی آن منجر به فرسایش شده که این امر یکی از عوامل هدررفت کربن به شمار می‌رود. از این رو این پژوهش با هدف بررسی اثرات جنگل‌کاری شهری بر میزان ترسیب کربن خاک در توده‌های اقاقیا – زبان گنجشک، اقاقیا و سرو نقره‌ای در دو عمق ۱۵-۰ و ۳۰-۱۵ انجام شد. همچنین یک قطعه زمین جنگل‌کاری نشده (بایر) به‌عنوان قطعه شاهد در نظر گرفته شد. این پژوهش در پارک جنگلی پردیسان تهران انجام گرفت و مقدار ترسیب کربن خاک به همراه فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی آن اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که ترسیب کربن در خاک توده‌های اقاقیا – زبان گنجشک، اقاقیا و سرو نقره‌ای به‌ترتیب ۱۸/۹۶، ۱۴/۸۶ و ۹/۶۹ تن در هکتار و اراضی بایر ۶/۹۷ تن در هکتار می‌باشد. کربن ترسیب شده در توده اقاقیا – زبان گنجشک با معنی‌داری ($p<0/01$) بیشترین مقدار را نشان داد. نتایج تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام کربن آلی با عوامل دیگر بررسی شده خاک نشان داد که درصد ماده آلی و نیتروژن خاک از مهم‌ترین اجزاء تأثیرگذار بر مقدار کربن آلی خاک بود. سایر صفات بررسی شده تأثیر معنی‌داری بر کربن آلی خاک نداشتند. به این ترتیب هر یک از توده‌های فوق به‌ترتیب باعث افزایش ترسیب کربن خاک به میزان ۱۱/۹۹، ۷/۸۹ و ۲/۷۲ تن در هکتار نسبت به زمین بایر اطراف شده‌اند که ارزش اقتصادی آن برای گونه‌های مذکور به‌ترتیب ۳۷۹۲، ۲۹۷۲ و ۱۹۳۸ دلار به ازاء هر هکتار در مدت ۱۴ سال محاسبه شد. کربن آلی خاک در عمق اول توده‌های جنگل‌کاری شده بیشتر از عمق دوم بود، ولی در اراضی بایر عکس این قضیه مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: جنگلکاری، خاک، ترسیب کربن، پارک جنگلی پردیسان.

مقدمه

یکی از مهمترین روش‌های کاهش گازهای گلخانه‌ای، ترسیب آنها در خاک یا اندام‌های گیاهان است؛ بنابراین ترسیب کربن خاک اهمیت زیادی در کاهش تغییرات اقلیمی دارد. Lal (2004) نیز خاک‌های جهان را سومین ذخیره‌گاه اصلی کربن (آلی و معدنی) و حدود ۴ برابر کربن موجود در زیست‌توده و ۳/۳ برابر میزان کربن موجود در جو می‌داند.

اغلب بیان می‌شود که محصولات دست‌ساز بشر منجر به آلودگی اتمسفر و ایجاد گازهای گلخانه‌ای

می‌شود؛ اما اثرات گلخانه‌ای سابقه‌ای بسیار طولانی دارد که به قبل از خلقت بشر بر روی کره زمین برمی‌گردد.

آنچه در حال حاضر مهم است و باید مورد توجه خاص قرار گیرد، افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای و بازتاب و انعکاس امواج تابشی خورشید توسط این گازها می‌باشد (Lal, 2001). تا کنون اثرات متعددی برای گازهای گلخانه‌ای معرفی شده است. اولین اثر همان است که باعث افزایش احتمالی گرما در اثر جذب اشعه مادون قرمز می‌گردد (مظاهری و قنبری، ۱۳۸۳). دومین اثر عامل گلخانه‌ای، اثر ضدتعرقی CO_2 به خاطر انسداد شکاف روزنه برگ‌هاست.

تعرق کمتر بخار آب عامل کاهش خنک‌کنندگی مؤثر برگ‌هاست. این امر در همه گیاهان صدق نمی‌کند، ولی در برخی از آنها بسیار مشکل‌ساز بوده و باعث افزایش دمای گیاه خواهد شد. سومین اثر گلخانه‌ای تحلیل غذایی فرآیند تولید است. افزایش عملکرد غلات مهم مانند گندم و برنج ممکن است در اثر افزایش غلظت CO_2 به بهای کاهش کیفیت پروتئین و ویتامین موجود در آنها حاصل شود (مظاهری و قنبری، ۱۳۸۳). از جمله راهبردهای اساسی در مواجه با پدیده گرم شدن زمین و کاهش گازهای گلخانه‌ای، توسعه جنگل‌کاری بوده است.

از اکوسیستم‌های جنگلی با پوششی معادل ۱/۴ بیلیون هکتار از سطح زمین به‌عنوان یکی از بزرگترین ذخیره‌کنندگان کربن یاد می‌شود (Lal, 2004). افزایش نگرانی‌ها در زمینه گرمایش جهانی و تغییر اقلیم موجب شده است که به خاک و قابلیت آن در ترسیب کربن به صورت پایدار توجه ویژه‌ای شود (Lal, 2001).

در سال‌های اخیر توجه به ماده 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).

تغییر اقلیم با تاثیر بر رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک و همچنین چرخه عناصر غذایی بر پوشش گیاهی و ترکیب گونه‌ها اثر می‌گذارد (Cheddadi *et al*., 2001) و به دلیل تغییر در زی‌توده (بقایای مواد، زی‌توده هوایی و زیرزمینی) بر ذخیره کربن آلی و در نتیجه خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک نیز اثرگذار است (Lai, 2004).

به‌عبارت دیگر تخریب خاک به کاهش حاصلخیزی، کاهش مقدار و کیفیت بیوماس برگشتی به خاک و در نتیجه کاهش ذخیره کربن آلی خاک می‌انجامد (Lai, 2004). در داخل کشور نیز پژوهش‌هایی در خصوص ترسیب کربن انجام شده است که از آن جمله می‌توان به گزارش امانی و مداح‌عارفی (۱۳۸۲) در خصوص ترسیب کربن تاغزارهای کشور؛ بررسی پتانسیل ذخیره کربن در جنگل‌کاری‌های اکالیپتوس (*Eucalyptus camadulensis*) و آکاسیا (*Acasia salisina*) توسط بردبار و مرتضوی‌جهرمی (۱۳۸۵)؛ بررسی تاثیر آمیختگی گونه‌ها بر ترسیب کربن خاک و ارتباط pH و کربن آلی خاک توسط باده‌هیان (۱۳۸۵)؛ تحقیقات محمودی‌طالقانی و همکاران (۱۳۸۶) در خصوص تاثیر مقدار حجم سرپا، آمیختگی گونه‌ها و تیپ جنگل در مقدار ترسیب کربن خاک و همچنین مقایسه مقدار کربن گونه‌های پهن برگ و سوزنی برگ در جنگل شهری توسط ورامش (۱۳۸۸) اشاره نمود.

Harrison *et al*. (1993) در پژوهشی نشان داد که ترسیب کربن خاک بخش مهمی از ترسیب کربن در اکوسیستم خشکی است و تاثیر شدیدی بر CO_2 اتمسفری دارد، به‌طوری‌که تغییرات کم در تراکم کربن خاک در اثر تغییر کاربری اراضی ممکن است تغییرات زیادی در تراکم CO_2 اتمسفری ایجاد کند. Lai (2004) نیز در پژوهش خود بیان داشت که کاهش ذخیره کربن آلی خاک با افزایش احتمال فرسایش‌پذیری و فشردگی خاک و افزایش رواناب اثر زیادی بر ساختمان خاک می‌گذارد.

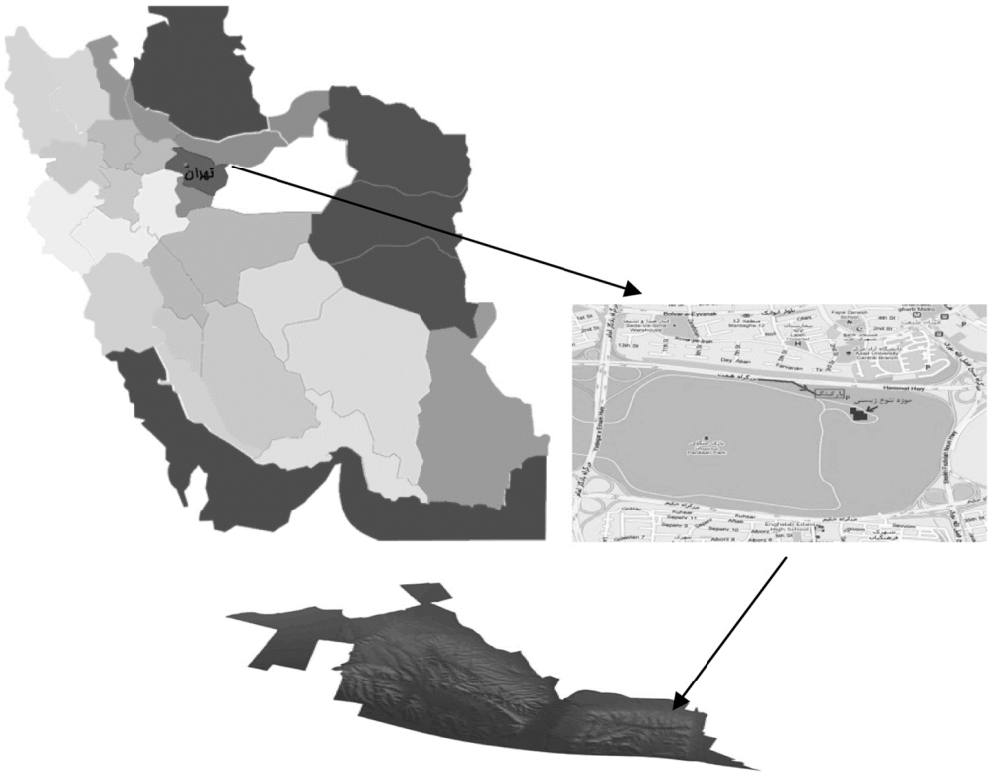
Laclau (2003) در پژوهش خود بیان داشت که جنگل‌کاری در اراضی بایر و تخریب شده و مدیریت بهینه آن، اثر زیادی بر ترسیب کربن خاک خواهد داشت، به عبارت دیگر ترسیب کربن در خاک‌های جنگلی، در حاصلخیزی رویشگاه و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای مفید است. Busse *et al*. (2009) در بررسی خود اعلام نمود که تشخیص شرایط خاک و فعالیت‌های مدیریتی (جنگل‌کاری) که تراکم و بقای کربن را افزایش می‌دهند، کار دشواری است.

توده‌های اقاقیا – زبان گنجشک، اقاقیا و سرو نقره‌ای جز گونه‌هایی هستند که در مناطق وسیعی از کشور برای جنگل‌کاری استفاده می‌شوند و شرایط در این منطقه (پارک پردیسان تهران) به‌دلیل احتراق سوخت‌های فسیلی و استفاده زیاد انرژی و گرمای ناشی از آن نسبت به نواحی بکر و طبیعی متفاوت می‌باشد و اثرات تغییرات اقلیمی در این مناطق بیشتر است، بنابراین پژوهش در این منطقه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

پارک پردیسان با مختصات ′۲۱ °۵۱ شمالی و ′۴۴ °۳۵ غربی، منطقه‌ای است به مساحت ۲۵۰ هکتار که در شمال غربی تهران قرار دارد. نقطه شروع این پارک در شمال شرقی از بزرگراه شیخ فضل الله نوری شروع شده و در امتداد اتوبان همت تا انتهای غربی پونک به طول ۲۵۵۰ متر امتداد می‌یابد. محدوده پارک در غرب از مسیل غربی پونک از اتوبان شهید همت آغاز شده و به سمت جنوب تا اتوبان رسالت امتداد می‌یابد که طول این مسیر ۱۱۷۰ متر می‌باشد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی پارک پردیسان تهران

محدوده پارک در شرق به طول ۹۰۰ متر در امتداد بزرگراه شیخ فضل الله نوری به سمت جنوب در حد فاصل اتوبان شهید همت و اتوبان رسالت است. بالاترین ارتفاع در شمال غرب، ۱۴۰۰ متر و پایین‌ترین ارتفاع در جنوب شرق، ۱۳۶۰ متر و اختلاف ارتفاع نیز در حدود ۴۰ متر است. تعدادی مسیل‌های محلی در سطح پارک موجود است که به طور معمول جهت عبور جریان بارندگی در سطح پارک بوده و با توجه به متوسط بارندگی منطقه با حدود ۲۰۵ میلی‌متر (بر اساس آمار بارندگی ۱۰ ساله اخیر تهران) حجم جریان سالانه در آن پس از کسر میزان نفوذ و تبخیر و تعرق، حدود ۲۵۰ هزار مترمکعب در سال است که برای جمع‌آوری و استفاده از آنها در کاربری‌های مختلف پارک باید اقدام-های اساسی صورت گیرد.

روش نمونه‌برداری

پس از بازدید مقدماتی از منطقه مورد مطالعه (پارک جنگلی پردیسان تهران) و با توجه به اهمیت انتخاب گونه‌های مناسب در توده‌های جنگل‌کاری شده ۱۴ ساله (سوزنی برگ، پهن برگ، خالص و آمیخته)، سه توده اقاقیا – زبان گنجشک (آمیخته)، اقاقیا (خالص پهن برگ) و سرو نقره‌ای (خالص سوزنی برگ) مورد ارزیابی قرار گرفتند. همچنین به‌منظور مقایسه و کنترل نتایج به‌دست آمده یک قطعه جنگل‌کاری نشده (اراضی بایر) به‌عنوان (قطعه شاهد) در نظر گرفته شد. نمونه‌برداری از دو عمق ۱۵-۰ (a) و ۳۰-۱۵ (b) سانتی‌متری خاک انجام شد. در هر یک از توده‌های انتخاب شده ۱۰ پلات مربعی مستقر شد (پلات‌ها از ۱ تا ۱۰ نام‌گذاری شدند).

ابتدا ۴ پروفیل ۳۰ سانتی‌متری در ۴ گوشه پلات ۲۵ مترمربعی (۵×۵ متر) حفر گردید. سپس از هر گوشه و عمق از هر پلات یک نمونه برداشت شد. ۱۵-۰ (۴a،۳a،۲a،۱a) و ۳۰-۱۵ (۴b،۳b،۲b،۱b) در نهایت در داخل هر پلات پس از ترکیب (۴a،۳a،۲a،۱a) یک نمونه به نام A_1 و (۴b،۳b،۲b،۱b) یک نمونه به نام B_1 برداشت گردید. این روش برای هر ۱۰ پلات انجام و در نتیجه نمونه‌های (۲A،۱A،... و۱۰A) برای عمق اول و (B۲،B۱،... و B۱۰) برای عمق دوم به آزمایشگاه انتقال یافت. در آزمایشگاه درصد سنگ و سنگریزه محاسبه و سپس خصوصیات خاک بر طبق جدول ۱ مورد اندازه‌گیری قرار گرفت (ورامش، ۱۳۸۸).

جدول ۱. روش‌های اندازه‌گیری خصوصیات خاک در آزمایشگاه

خصوصیات خاک	روش اندازه‌گیری
بافت خاک	دانسیمتری بایکاس
وزن مخصوص ظاهری	کلوخه بر حسب g/cm^3
اسیدیته خاک	پتانسیومتری با pH متر الکترونیکی
هدایت الکتریکی	عصاره گل اشباع و با EC متر الکترونیکی
ازت	کجلدال
ماده آلی و کربن آلی	اکسیداسیون کربن آلی به کمک بیکربنات پتاسیم ($K_2Cr_2O_7$) در محیط کاملاً اسیدی (H_2SO_4)

مقدار ترسیب کربن بر حسب کیلوگرم بر هکتار بر اساس فرمول زیر محاسبه شد که در روش زیر از دستورالعمل Hernandez *et al*. (2004) استفاده شد.

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

Cs = مقدار کربن آلی (kg/ha)، OC٪ = درصد کربن آلی، Bd = وزن مخصوص ظاهری خاک (gr/cm^3) و e = عمق نمونه‌برداری (cm) است.

روش آماری

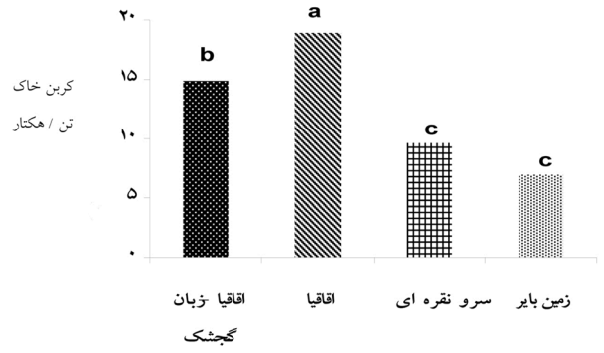
در این پژوهش، از روش‌های آماری زیر بر اساس جدول ۲ انجام شد که در آن طرح آزمایشی فاکتوریل دو فاکتوره در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با ۱۰ تکرار مورد استفاده قرار گرفت. فاکتور اول شامل توده‌ها در چهار سطح (اقاقیا – زبان گنجشک، اقاقیا، سرو نقره‌ای و شاهد) و فاکتور دوم نمونه‌برداری در عمق‌های ۱۵-۰ و ۳۰-۱۵ سانتی‌متری خاک بود.

جدول ۲. روش‌های آماری

نام آزمون	روش آماری
نرمال بودن داده‌ها	Kolmogorov-Smirnov
همگنی واریانس داده‌ها	Levene
مقایسه سه تیپ از نظر ویژگی‌های خاک	ANOVA
مقایسه چندگانه میانگین‌ها	LSD در سطح احتمال ۵ درصد
رسم نمودارها	Excel

نتایج

نتایج این پژوهش نشان داد که درختکاری در پارک پردیسان تهران منجر به افزایش ترسیب کربن خاک در مدت ۱۴ سال شده است. کل کربن ترسیب شده در واحد سطح توده‌های اقاقیا- زبان گنجشک، اقاقیا و سرو نقره‌ای به‌ترتیب ۱۴/۸۶، ۱۸/۹۶ و ۹/۶۹ تن در هکتار و در قطعه شاهد معادل ۶/۹۷ تن در هکتار بود (شکل ۲).



شکل ۲. مقدار ترسیب کربن خاک در توده‌های اقاقیا - زبان گنجشک، اقاقیا و سرو نقره‌ای در پارک جنگلی پردیسان

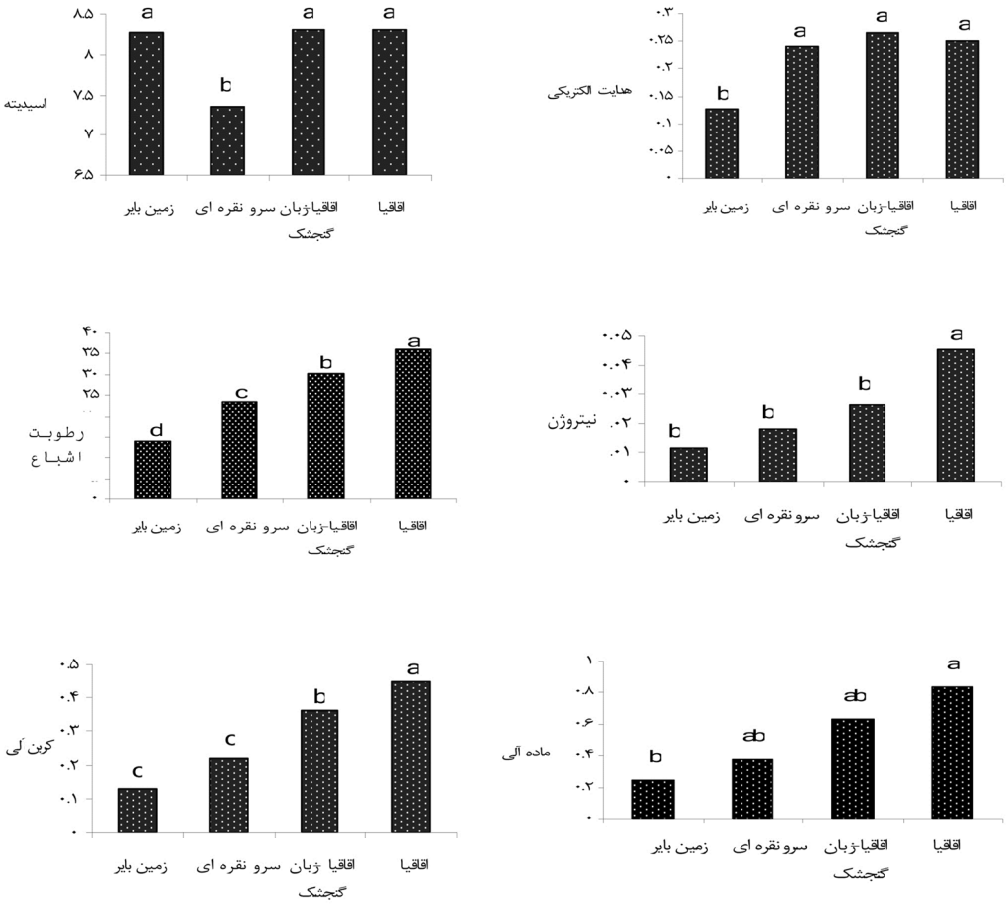
آنالیز واریانس یک‌طرفه صفات مورد بررسی نشان داد که مقدار اسیدیته، کربن آلی، ماده آلی، نیتروژن ($p<۰/۰۱$) و رطوبت اشباع خاک ($p<۰/۰۵$) در بین توده‌های مورد بررسی معنی‌دار بودند. در بین دو عمق مورد بررسی اسیدیته، کربن آلی، ماده آلی، نیتروژن ($p<۰/۰۱$) و وزن مخصوص ظاهری خاک ($p<۰/۰۵$) نیز معنی‌دار بودند. بررسی اثرهای متقابل توده و عمق نیز نشان داد که کربن آلی، ماده آلی و نیتروژن معنی‌دارند ($p<۰/۰۱$) (جدول ۳).

جدول ۳. تجزیه واریانس صفات خاک در دو عمق ۱۵-۰ و ۳۰-۱۵ سانتی‌متری توده‌های مورد بررسی در پارک پردیسان تهران همراه با اثرات متقابل توده و عمق

	درجه آزادی	رس	شن	سیلت	رطوبت اشباع	وزن مخصوص ظاهری	اسیدیته	هدایت الکتریکی	نیتروژن	کربن	ماده آلی
توده	۳	۰/۸۲	۰/۳۲	۰/۳۹	۳۷/۳**	۰/۵	۱۰۲/۸**	۲۸/۲	۵/۸**	۲/۲*	۲/۶*
عمق	۱	۳/۱	۰/۳۸	۰/۱۳	۸/۲*	۰/۸	۱/۳۱	۰/۳۳	۵/۶*	۳/۸	۳/۸
توده عمق	۳	۰/۵۳	۰/۳۱	۰/۱۱	۵/۱*	۰/۶۵	۱/۴	۷/۵	۱/۵**	۱/۵	۱/۵

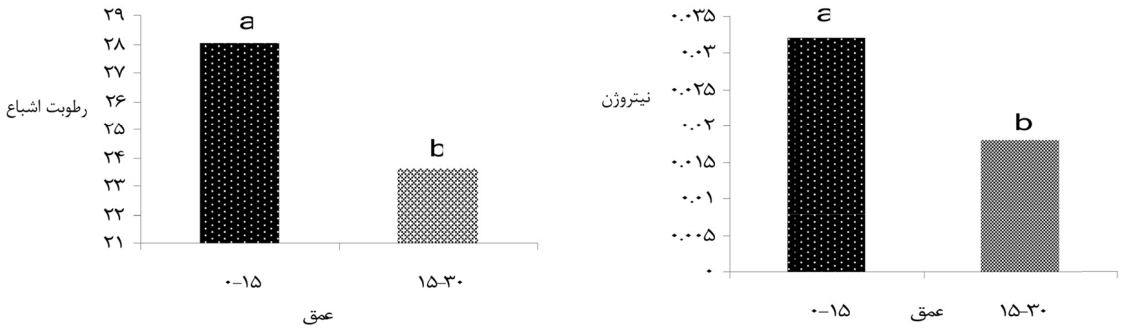
** و* به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۱ و ۵ درصد می‌باشد.

مقایسه میانگین خصوصیات خاک در توده‌های اقاقیا، سرو نقره‌ای، اقاقیا- زبان گنجشک و اراضی بایر نشان داد که درصد رطوبت اشباع خاک، نیتروژن، ماده آلی و کربن آلی در توده اقاقیا بیشتر از توده‌های دیگر و اراضی بایر اطراف بوده است، درحالی‌که اسیدیته خاک عکس این قضیه را نشان داد. به طوری که بیشترین مقدار اسیدیته خاک به‌ترتیب در اراضی بایر، توده اقاقیا و توده کاج تهران مشاهده شد (شکل ۳).



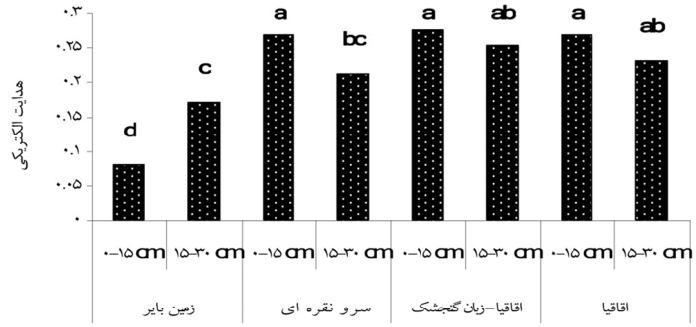
شکل ۳. مقایسه میانگین صفات خاک در توده‌های مورد بررسی در پارک پردیسان تهران

بررسی دو عمق ۱۵-۰ (لایه اول) و ۳۰-۱۵ (لایه دوم) سانتی‌متری نیز نشان داد که وزن مخصوص ظاهری و اسیدیته در لایه دوم بیشتر از لایه اول بوده و این در حالی است که مقدار نیتروژن، ماده آلی و کربن آلی در لایه اول بیشتر از لایه دوم می‌باشد (شکل ۴).

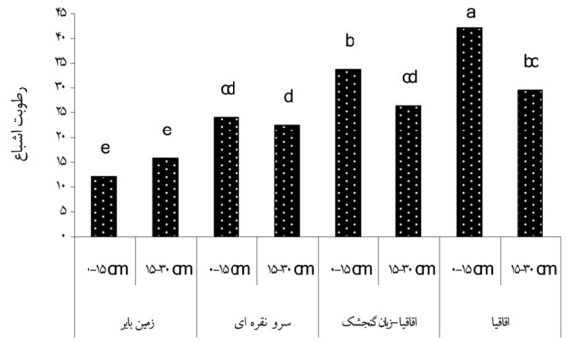


شکل ۴. مقایسه میانگین صفات خاک در دو عمق ۱۵-۰ و۳۰-۱۵ سانتی‌متری در پارک پردیسان تهران

بررسی تاثیر متقابل توده و عمق نشان داد که مقدار هدایت الکتریکی، رطوبت اشباع در عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری توده اقاقیا بیشتر از بقیه است. همچنین مقدار هدایت الکتریکی، رطوبت اشباع در لایه اول توده‌های جنگل‌کاری شده بیشتر از لایه دوم بوده، ولی در اراضی بایر عکس این نتیجه مشاهده شد (شکل ۵).



شکل ۵. مقایسه میانگین هدایت الکتریکی در اثرات متقابل توده و عمق



شکل ۶. مقایسه میانگین درصد رطوبت اشباع خاک در اثرات متقابل توده و عمق

بحث و نتیجه‌گیری

افزایش نگرانی‌ها در زمینه گرمایش جهانی و تغییر اقلیم موجب شده است که به خاک و توانایی آن در ترسیب کربن به صورت پایدار توجه ویژه‌ای شود. جنگل‌کاری در اراضی بایر و مدیریت بهینه آن اثر زیادی بر افزایش ترسیب کربن خاک دارد. بسیاری از پژوهش‌های اخیر (بردبار و مرتضوی‌جهرمی، ۱۳۸۵؛ ورامش، ۱۳۸۸؛ Rossi *et al*., 2009؛ Hopmans & Elms, 2009؛ Qing–Biao *et al*., 2009؛ Wauthers *et al*., 2007) نشان داده‌اند که جنگل‌کاری قابلیت زیادی در ترسیب کربن خاک دارد. نتایج این پژوهش نیز نشان داد که توده‌های جنگل‌کاری شده اقاقیا- زبان گنجشک، اقاقیا و سرو نقره‌ای به‌ترتیب باعث افزایش ترسیب کربن خاک به میزان ۷/۸۹، ۱۱/۹۹ و ۲/۷۲ تن در هکتار نسبت به زمین بایر اطراف شده است (شکل ۲).

ترسیب کربن در خاک توده اقاقیا بیشتر از توده‌های اقاقیا- زبان گنجشک و سرو نقره‌ای بود که این موضوع را می‌توان به قابلیت زیاد گیاهان خانواده بقولات در تثبیت نیتروژن و رابطه مستقیم ترسیب کربن و تثبیت نیتروژن نسبت داد. Lal (2004) معتقد است که نوع پوشش تاثیر معنی‌داری بر ترسیب کربن خاک می‌گذارد، به طوری که تغییر در مقدار ترسیب کربن خاک، به مقدار ورودی کربن به خاک از راه بقایای گیاهی و هدر رفت کربن از راه تجزیه بستگی دارد. نتایج پژوهش‌های محمودی‌طالقانی و همکاران (۱۳۸۶) نیز نشان داد که حجم در هکتار جنگل و تنوع در ترکیب و آمیختگی گونه‌ها از عوامل مهم تاثیرگذار بر ترسیب کربن است. بنابراین برای افزایش کربن در خاک باید فعالیت‌های مدیریتی مانند افزایش میزان کربن وارد شده به خاک مثل لاشبرگ، بقایای گیاهی و کاهش مقدار تجزیه کربن خاک اعمال شوند. سرعت تجزیه مواد آلی خاک تحت تاثیر وضعیت خاک (رطوبت، دما و دسترسی به اکسیژن)، ترسیب مواد آلی، قرار گرفتن مواد آلی در پروفیل خاک و شدت حفاظت فیزیکی خاکدانه‌ها قرار می‌گیرد. عوامل مؤثر بر ترسیب یا تجزیه کربن در برخی از موارد، مقدار ترسیب کربن از مقدار تجزیه آن بیشتر است و در برخی موارد نیز این نسبت عکس می‌شود. در پژوهش (1999) Bruce *et al*.، در مورد اراضی بایر نیز مشاهده شد که تجزیه کربن از ترسیب آن بیشتر بود.

Singh *et al*. (2003) نیز معتقد بودند مقدار مواد آلی خاک و به تبع آن مقدار مواد ترسیب شده 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 تاثیر عمق خاک بر مقدار ترسیب کربن به این نتیجه رسید که بین مقدار ترسیب کربن خاک در نواحی خشک و نیمه‌خشک و عمق خاک رابطه غیرمستقیم وجود دارد. این نتیجه با یافته‌های Schuman *et al.* (2002) نیز مطابقت دارد و دلیل آن را می‌توان روند تدریجی تجزیه لاشبرگ و تبدیل آن به هوموس که از لایه‌های سطحی خاک آغاز می‌شود، دانست. درصد رس و نیتروژن خاک مهمترین عامل‌های تاثیرگذار بر ترسیب کربن خاک در این ترکیب بودند. Allard *et al.* (2007) نیز در پژوهش خود مشاهده کردند که افزودن کود نیتروژن، مقدار ترسیب کربن را حدود ۳۰ درصد افزایش می‌دهد. برخی از محققان نیز به تاثیر اجزای مختلف خاک بر ترسیب کربن اشاره کرده‌اند. Bauer *et al.* (1987) معتقدند کربن آلی خاک با محتوی رس خاک ارتباط دارد.

Powers & Schiesinger (2002) نیز با پژوهش‌هایی که در کاستاریکا انجام دادند مشاهده کردند که غلظت کربن آلی خاک با مقدار رس‌های خاک ارتباط دارد. نتایج پژوهش Garten & Charles (2002) نشان داد که ترسیب کربن خاک با ماده آلی و با درصد سیلت-رس همبستگی دارد. کربن آلی خاک همچنین از خواص تبادل کاتیونی، بافت و تراکم خاک تاثیر می‌پذیرد (Chandler, 1939). با توجه به برآوردهای انجام شده در آمریکا برای پالایش هر تن کربن به روش‌های مصنوعی بین ۲۰۰ تا ۳۰۰ دلار هزینه لازم است (Cannell, 2003). Luciuk و همکاران (۲۰۰۰) نیز بیان کردند که ارزش هر تن کربن ترسیب شده با احتساب قیمت اجاره زمین در سطح جهانی ۷۹۰-۳۴۸ دلار می‌باشد. Varamesh و همکاران (۲۰۱۰) نیز در پژوهش‌های خود ارزش هر تن ترسیب کربن را معادل ۲۰۰ دلار در نظر گرفتند. چنانچه در این پژوهش نیز ارزش هر تن کربن ترسیب شده ۲۰۰ دلار در نظر گرفته شود، در این صورت ارزش اقتصادی حاصل از ترسیب کربن انجام گرفته توسط توده‌های اقاقیا، سرو نقره‌ای و اقاقیا - زبان‌گنجشک در پارک پردیسان تهران به ازای هر هکتار و در مدت ۱۴ سال به‌ترتیب ۳۷۹۲، ۲۹۷۲ و ۱۹۳۸ دلار خواهد بود. نتایج این پژوهش ثابت کرد که جنگل‌کاری در اراضی بایر تاثیر بسیار زیادی در ترسیب کربن خاک دارد. به دلیل اینکه قسمت اعظم کربن ترسیب شده در خاک قرار دارد، فرآیند فرسایش خاک موجب هدر رفت کربن می‌شود و هر گونه 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 فرآیند در افزایش حاصلخیزی و بهبود سیستم هیدرولوژی خاک و نیز جلوگیری از فرسایش بسیار مؤثر است. بهبود کیفیت آب و خاک، افزایش حفاظت آب و تولید محصول بیشتر نیز از مزایای ترسیب کربن در خاک‌هاست. به طور 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، م. و مداح‌عارفی، ح. (۱۳۸۲) بررسی قابلیت ترسیب کربن در تاغزارهای دست کاشت کشور و استراتژی آینده. مجموعه مقالات اولین همایش تاغ و تاغکاری، تابستان ۸۲: ۲۷۲-۲۶۴.

باده‌هیان، ض. (۱۳۸۵) بررسی ارتباط بین ذخیره کربن و pH در لایه‌های آلی و معدنی خاک در یک جنگل آمیخته راش. پایان-نامه کارشناسی‌ارشد رشته جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران. صفحه ۶۹.

بردبار، ک. و مرتضوی‌جهرمی، م. (۱۳۸۵) بررسی پتانسیل ذخیره کربن در جنگل‌کاری‌های اکالیپتوس (*Eucalyptus Camadulensis*) و آکاسیا (*AcasiaSalicina*) در مناطق غربی استان فارس. فصلنامه پژوهش و سازندگی، ۱۹(۱): ۱۰۳-۹۵.

محمودی‌طالقانی، ع.، ظاهری‌امیری، ق.، عادلی، الف. و ثاقب‌طالبی، خ. (۱۳۸۶) برآورد ترسیب کربن خاک در جنگل‌های تحت مدیریت، مطالعه موردی جنگل گلبند در شمال کشور. فصلنامه جنگل و صنوبر، ۱۵(۳): ۲۴۱-۲۵۲.

مظاهری، د. و قنبری، ع. (۱۳۸۳). دی‌اکسید کربن و واکنش گیاهان. انتشارات سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی: ۹۸ صفحه.

ورامش، س. (۱۳۸۸). مقایسه میزان ترسیب کربن گونه‌های پهن برگ و سوزنی برگ در جنگل شهری، مطالعه موردی پارک چیتگر تهران. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد رشته جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس. ۱۳۲ صفحه.

Allard, V., Soussana, J.F., Falcimagne, R., Berbigierm, P., Bonnefond, J.M., Ceschia, E., Hou, P.D., Henault, C., Laville, P., Martin, C. and Pinare`s–Patino, C. (2007) The role of grazing management for the net biome productivity and greenhouse gas Budget (CO_2, N_2O and CH_4) of semi-natural grassland. Agriculture, Ecosystems and Environment, 121(1-2): 47-58.

Bauer, A., Cole, C.V. and Black, A.L. (1987) Soil property comparisons in virgin grasslands between grazed and nongrazed management systems. Soil Science Society of America Journal, 51(1): 176–182.

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

Busse, M.D., Sanchez, F.G., Ratcliff, A.W., Butnor, J. R., Carter, E. A. and Powers, R. F. (2009) Soil carbon sequestration and changes in fungal and bacterial biomass following incorporation of forest residues. Soil Biology and Biochemistry, 41(2): 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(2): 97-116.

Chandler, R.F. (1939) Cation exchange properties of certain forest soils in the Adirondack section. Journal of Agricultural Research, 59(7): 491-505.

Cheddadi, R., Guiot, J. and Jolly, D. (2001) The Mediterranean vegetation: What if the atmospheric CO_2 increased. Land Scape Ecology, 16(7): 667-675.

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

Harrison, K.G., Broecker, W.S. and Bonani, G. (1993) The effect of changing land use on soil radio carbon. Science, 262(5134): 725–726.

Hernandez, R., Koohafkan, P. and Antoine, J. (2004) Assessing carbon stocks and modeling win-win scenarios of carbon sequestration through land –use change. 166p.

Hopmans, P.R. and Elms, S. (2009) Changes in total carbon and nutrients in soil profiles and accumulation in biomass after a 30-year rotation of pinus radiate on podzolizedsends: 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.

Kimble, J.M., Heath, L.S., Birdsey, R.A. and Lal, R. (2003) The potential of U.S. forest soils to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect. CRC Press, New York: 457p.

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: R. Lal (Ed.). Soil carbon and the greenhouse effect. Soil Science Society of America Special publication, Madison, WI. p. 57.

Lal, R. (2004) Soil carbon sequestration to mitigate climate change. Geoderma, 123(1-2): 1–22.

Luciuk, G.M., Bonneau, M.A., Boyle, D.M. and Vibery, E. (2000) Prairie farm rehabitation administration paper. Carbon Sequestration-Additional Environmental Benefits of Forests: 12p.

Powers, J.S. and Schiesinger, W.H. (2002) Relationship among soil carbon distributions and biophysical factors at nested spatial scales in rainforests of northeastern Costa Rica. Geoderma, 109(3-4): 165-190.

Qing–Biao, W.U., Xiao–Ke, W. and Zhi-Yun, O. (2009) Soil organic carbon and its fractions across vegetation types: Effects of soil mineral surface area and micro aggregates. Soil science society of china.

rangelands. Environmental Pollution, 116(3): 391-396.

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

Varamesh, S., Hosseini, S.M., Abdi, N. and Akbarinia, M. (2010) Effects of afforestation on soil carbon sequestration in an urban forest of arid zone in chitgar forest park of Tehran. Forest Science, 3(2009): 75-90.

Wauters, J.B., Coudert, S., Grallien, E., Jonard, M. and Ponette, Q. (2007) Carbon stock in rubber tree plantations in western Gana and MatoGrosso (Brazil). Forest Ecology and Management, 225(2008): 2347-2361.

Elsevier Limited and Science Press, 19(2): 258-264.

Rice, C.W. (2000) Soil organic C and N in rangeland soils under elevation CO_2 and land management. Advances in Terresterial Ecosystem Carbon Inventory, Measurements and Monitoring conference in Raleigh, North Carolina, October 3-5(2000): 15-24.

Rossi, J., Govaerts, A., Bruno, D.V., Verbist, B., Vervourt, A., Poesen, J., Muys, B. and Deckers, J. (2009) Spatial structures of soil organic carbon in tropical forests, a case study of southeastern Tanzania. Catena, 77(1): 19-27.

Schuman, G.E., Janzen H. and Herrick, J.E. (2002) Soil carbon information and potential carbon sequestration by

Effects of Afforestation on Soil Carbon Sequestration Rates in Pardisan Park of Tehran

Mahmoud Fathi[1*], Sasan Babaei Kafaki[2] and Hadi Kiadaliri[3]

1) Post graduated M.Sc. Student of Forestry, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran. Iran. *Corresponding Author Email Address: mahmodfathi61@gmail.com
2) Assistant Professor of Forestry, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran. Iran.

Date of Submission: 2013/05/15 Date of Acceptance: 2015/05/04

Abstract

Increase in greenhouse gases causes climate change and global warming and has been adverse effects on the earth. The aim of this study is to survey the effects of afforestation on soil carbon sequestration. This Project was done as completely randomized design in a factorial experiment in *Robinia-Fraxinus*, *Robinia* and *Cupressus* stands with the surrounding arid lands (control). The study was done at Forest Pardisan Park in Tehran and it measured the amount of carbon sequestration in soil. It also investigated relationship between physical and chemical soil factors and with soil organic carbon. The results show carbon sequestration is the highest significant value ($p< 0.01$) in *Robinia-Fraxinus* stand soil (18.96 ton per ha). Also, carbon sequestration in *Robinia* and *Cupressus* is (14.86 and 9.69 ton per ha) and barren land (6/97 ton per ha) respectively. The economic value of carbon sequestration was calculated for these species, 3792, 2972 and 1938 dollars respectively. Organic carbon in 0-15 cm soil depth of afforest stand more than 15-30 cm depth but was observed reverse in the arid lands. Also stepwise regression showed that clay and nitrogen are the most important components affecting soil organic carbon. Generally the process of carbon sequestration leads to improvement of soil and water quality; it improves soil hydrology, prevents erosion and reduces the loss of nutrients. Thus, the optimal management of ecosystems should increase the potential of soil carbon sequestration.

Keywords: Afforestation, Soil, Carbon sequestration, Pardisan forest park.