تأثیر جنگل‌کاری با گونه‌های پهن برگ بر ترسیب کربن در خاک پارک جنگلی چیتگر

سعید ورامش[۱*]، سید محسن حسینی و نوراله عبدی

دانشجوی دکتری جنگلداری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس؛ **varameshs@yahoo.com**

دانشیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس؛ **hosseini@modares.ac.ir**

استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک؛ **n-abdi@iau-arak.ac.ir**

چکیده

افزایش دی‌اکسیدکربن اتمسفری در سالهای اخیر منجربه افزایش گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی شده است. دی‌اکسیدکربن یکی از مهمترین گازهای گلخانه‌ای می‌باشد که اثرات سوء بسیار زیادی بر محیط زیست و حیات انسان بر روی کره زمین گذاشته است. این در حالی است که جنگلها و مناطق جنگل‌کاری شده در زمینهای بایر و مخروبه تأثیر چشمگیری بر ترسیب کربن دارند. این تحقیق در دو توده اقاقیا و زبان گنجشک به همراه مرتع اطراف به عنوان شاهد در پارک جنگلی چیتگر انجام گرفت و مقادیر کربن ترسیب شده در خاک اندازه‌گیری شد. رابطه بین برخی از فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی خاک با کربن آلی خاک نیز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد کل کربن ترسیب شده در واحد سطح توده‌های اقاقیا و زبان گنجشک به ترتیب ۷۸/۱۹ و ۴۸ تن در هکتار و در مرتع شاهد ۱۰/۸ تن در هکتار بود. مقدار کربن آلی در دو توده مذکور در لایه اول (۱۵-۰ سانتی‌متری) خاک بیشتر از لایه دوم (۳۰-۱۵ سانتی‌متری) بود، ولی در قطعه شاهد عکس این نتیجه مشاهده شد. همچنین نتیجه رگرسیون گام به گام نشان داد که pH، شن و نیتروژن به ترتیب مهم‌ترین اجزاء تاثیرگذار بر مقدار کربن آلی خاک بودند. نتایج تجزیه همبستگی نیز نشان داد که بین کربن آلی خاک با درصد سنگ و سنگریزه و شن رابطه مثبت معنی‌دار و با pH، درصد سیلت و رس رابطه منفی معنی‌دار وجود داشت. ارزش اقتصادی حاصل از ترسیب کربن خاک توسط توده‌های مذکور به ترتیب ۱۱۱۸۰۰۰۰۰۰۰ و ۲۶۸۷۵۰۰۰۰۰۰ ریال در کل سطح پارک جنگلی چیتگر تهران محاسبه گردید.

واژه‌های کلیدی: گازهای گلخانه‌ای، ترسیب کربن، اقاقیا، زبان گنجشک، پارک جنگلی چیتگر.

مقدمه

دی‌اکسیدکربن مهم‌ترین گاز گلخانه‌ای است که افزایش احتراق سوختهای فسیلی و جنگل‌زدائی در سراسر جهان از عوامل بسیار موثر در افزایش سطح آن می‌باشد (هامبورگ و همکاران ۱۹۹۷). کربن اتمسفری از طریق جذب طول موجهای بازتابی باعث افزایش گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی می‌گردد (هامبورگ و همکاران ۱۹۹۷) که یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در توسعه پایدار می‌باشد و تأثیر منفی بر اکوسیستم‌های خشکی و

---

[۱] نویسنده مسئول، آدرس: مازندران. نور. دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس

* دریافت: دی ۱۳۸۷ و پذیرش: خرداد ۱۳۹۰

دریایی دارد. ماده آلی که عمدتاً به عنوان یکی از شاخص‌های اولیه کیفیت خاک، در بحث کشاورزی، منابع طبیعی و محیط زیست، در نظر گرفته می‌شود، به دلیل افزایش گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی کاهش می‌یابد (شکیبا ۲۰۰۰).

بعد از کاهش انتشار سوختهای فسیلی، بخش مهمی از کاهش CO_2 اتمسفری به ترسیب کربن در اکوسیستم‌های طبیعی مربوط می‌شود. کربن در بخشهای مختلف اکوسیستم‌های جنگلی می‌تواند ترسیب شود که مهم‌ترین آنها خاک می‌باشد (شلزینگر۱۹۹۹). به طوری که افزایش ذخیره جهانی کربن در خاک یکی از مهمترین عوامل کاهش CO_2 اتمسفری بوده و حدود ۷۵ درصد ذخیره کربن خشکی را در بر می‌گیرد. بسیاری از پروژه‌های اصلاحی مانند جنگل‌کاری، از طریق افزایش ترسیب کربن نقش عمده‌ای در حفظ توازن چرخه جهانی کربن ایفا می‌کنند. هر ساله مقدار زیادی کربن (بیش از ۱۰۰ بیلیون تن) در مقیاس جهانی ترسیب می‌شود که ذخیره کربن آلی خاک یکی از بزرگترین ذخایر کربن در سطح زمین می‌باشد، به طوری که این مقدار حدود ۱۵۰۰ گیگا تن برآورد شده است (آموندسون ۲۰۰۱).

وسعت زمین‌های بایر و رها شده در جهان حدود یک میلیارد هکتار است و اگر تولید در این عرصه‌ها سالانه ۱۲ تن ماده خشک در هکتار فرض شود (معادل ۶ تن کربن در هکتار در سال) حدوداً ۵ گیگاتن کربن در سال جذب خواهد شد (بیردسی ۱۹۹۲). بنابراین برای حفظ غلظت فعلی گاز کربنیک در هوا لازم است ۶۰ درصد مقدار آن کاهش یابد که مخارج لازم برای این کار در طول یک دوره ۹۰ ساله حدود ۵۲۰ میلیارد دلار خواهد بود و 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 نائل آمد (بارنز و همکاران ۱۹۹۸).

زروا (۲۰۰۴) با هدف بررسی اثرات جنگل‌کاری بر بیشه‌زارهای طبیعی به این نتیجه رسید که جنگل‌کاری در بیشه‌زارها به منظور تولید چوب در ابتدا باعث کاهش ترسیب کربن خاک می‌شود، اما با رشد درختان کاشته شده کمبود کربن خاک جبران می‌گردد. هو و همکاران (۲۰۰۸) با مطالعه تأثیر جنگل‌کاری با گونه‌ایMongolian Pine و Poplarدرعلفزارها به این نتیجه رسیدند که جنگل‌کاری در علفزارهای این منطقه باعث افزایش ترسیب کربن خاک می‌شود. دنگ و همکاران (۲۰۰۹) با مقایسه ترسیب کربن توده‌های جنگلکاری شده *Cunninghamia lanceolata* و *Michelia macclurei* به این نتیجه رسیدند که ترسیب کربن خاک در *M. macclurei* به صورت معنی‌داری بیشتر از *C.lanceolata* بوده و پتانسیل ترسیب کربن گونه‌های پهن‌برگ بیشتر از گونه‌های سوزنی‌برگ می‌باشد. متأسفانه در کشور ما تحقیقات کمی در این رابطه انجام گرفته است. مطالعات محمودی طالقانی و همکاران (۱۳۸۶) در حوزه آبخیز ۴۵ جنگل‌های شمال کشور نشان داد که حجم در هکتار جنگل و تنوع در ترکیب و آمیختگی گونه‌ها از عوامل مهم تأثیرگذار بر مقدار ترسیب کربن خاک بودند. با توجه به مطالب مذکور، هدف از این تحقیق مشخص نمودن قابلیت ترسیب کربن خاک در توده‌های اقاقیا و زبان گنجشک در پارک جنگلی چیتگر تهران و مقایسه این توده‌ها با یکدیگر و همچنین بررسی ارتباط کربن آلی با برخی از فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی خاک می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه به وسعت حدود ۹۰۰ هکتار در غرب شهر تهران (در مسیر اتوبان تهران ـ کرج، کیلومتر ۱۶) و در محدوده پارک چیتگر واقع شده و بین ، ۱۰ و °۵۱ تا ۱۵َ و °۵۱ طول جغرافیایی شرقی و ۴۲ و ۳۵° تا ۴۵َ و °۳۵ عرض جغرافیایی شمالی قرار دارد (شکل ۱). از لحاظ اقلیمی جزء محدوده اقلیمی مدیترانه‌ای خشک است. شیب کلی منطقه رو به جنوب غرب بوده و متوسط ارتفاع منطقه از سطح دریا ۱۲۶۹ متر می‌باشد. دمای هوا از حداقل منهای ۱۰ درجه سانتیگراد در بهمن ماه تا حداکثر ۴۱/۶ درجه سانتیگراد در تیرماه در نوسان می‌باشد. تاریخ احداث این پارک سال ۱۳۴۷ بوده و ۲۳ درصد از کل مساحت پارک را درختان اقاقیا و ۱۰ درصد آن را درختان زبان گنجشک تشکیل می‌دهند. (بی‌نام، ۱۳۸۱).

روش نمونه‌برداری میدانی

دو توده شامل اقاقیا به وسعت ۴ هکتار و زبان گنجشک به وسعت ۳ هکتار به همراه یک قطعه شاهد (مرتع شاهد اطراف توده‌ها) در پارک جنگلی چیتگر تهران انتخاب شد. برای کاهش اثرات مرزی، چند ردیف اطراف هر توده برای نمونه‌برداری در نظر گرفته نشد. در هر توده تعداد ۱۰ پلات ۵×۵ متری به صورت تصادفی- سیستماتیک مستقر گردید و در داخل هر پلات پس از کنار زدن لایه لاشبرگی، از دو عمق ۱۵-۰ و ۳۰-۱۵ سانتیمتری خاک نمونه‌برداری شد. برای به حداقل رساندن خطا، نمونه‌برداری به صورت ترکیبی انجام گرفت، به این صورت که ۴ نمونه خاک از ۴ گوشه پلات برداشت شد و سپس نمونه‌ها با هم مخلوط گردید. به این ترتیب در هر توده از هر عمق، ۱۰ نمونه برداشت شد. نمونه‌ها در هوای

آزاد خشک گردید و بعد از خرد نمودن کلوخه‌ها، جدا کردن ریشه ها، سنگ و سایر ناخالصی‌ها، از الک ۲ میلیمتری (مش۲۰) عبور داده شده و به آزمایشگاه منتقل شدند (مک دیکن۱۹۹۷، مارانونا و همکاران ۱۹۹۹، پائول و همکاران ۲۰۰۲، لوسی و همکاران ۲۰۰۳، هرناندز و همکاران ۲۰۰۴).

روش تحقیق آزمایشگاهی

ابتدا در آزمایشگاه درصد سنگ و سنگریزه محاسبه شد. سپس خصوصیات خاک به شرح زیر مطالعه گردید:

بافت خاک با استفاده از روش دانسیمتری بایکاس (زرین کفش، ۱۳۷۱) و وزن مخصوص ظاهری به روش کلوخه بر حسب گرم بر سانتیمتر مکعب مطالعه شد (بلیک و هارتج ۱۹۸۶). تعیین ازت کل خاک با دستگاه کجلدال انجام شد (زرین کفش، ۱۳۷۶). ماده آلی و کربن آلی با استفاده از روش سرد بر مبنای اکسیداسیون کربن آلی به کمک بیکرمات پتاسیم ($K_2Cr_2O_7$) در محیط کاملا اسیدی (H_2SO_4) اندازگیری گردید (آلیسون ۱۹۷۵).

PH گل اشباع به روش پتانسیومتری، هدایت-الکتریکی در عصاره گل اشباع و درصد رطوبت اشباع خاک اندازه‌گیری شدند (مک دیکن۱۹۹۷).

روش‌های آماری مورد استفاده

نتایج حاصل وارد نرم افزار SPSS گردید و نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون Kolmogorov-Smirnov و همگنی واریانس داده‌ها با آزمون Levene مورد بررسی قرار گرفت. برای مقایسه کلی سه تیپ از نظر ویژگی‌های خاک از آنالیز واریانس دو طرفه (ANOVA) استفاده شد. برای مقایسه چندگانه میانگین‌ها با توجه به داشتن منطقه شاهد همجوار شامل یک مرتع شاهد که فاقد جنگل‌کاری بود، از آزمون حداقل تفاوتهای معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد استفاده گردید. رسم نمودارها در نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج

نتایج نشان داد که کل کربن ترسیب شده در توده‌های اقاقیا و زبان‌گنجشک به‌ترتیب ۷۸ و ۴۸ تن در هکتار و در قطعه شاهد ۱۰/۸ تن در هکتار بود. به طوری که ترسیب کربن در توده اقاقیا به‌طور معنی‌داری ($P< 0.01$) بیشتر از توده زبان گنجشک و مرتع شاهد بود (شکل ۲).

مقایسه کربن آلی خاک در دو عمق ۱۵- ۰ و ۳۰- ۱۵ سانتیمتری توده‌های مذکور نشان داد که اختلاف معنی‌داری ($P< 0.01$) بین کربن آلی موجود در لایه اول و دوم توده‌های مورد بررسی وجود دارد. به طوری که بیشترین مقدار کربن آلی در عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری توده اقاقیا و کمترین مقدار آن در قطعه شاهد مشاهده گردید (شکل ۳).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که درصد سنگ و سنگریزه، رطوبت اشباع، شن، رس، کربن آلی، ماده آلی، نیتروژن، pH و نسبت کربن به نیتروژن ($p< 0.01$) و درصد سیلت ($p< 0.05$) در بین توده‌های مورد بررسی معنی‌دار بودند. در حالی که pH، کربن آلی، ماده آلی، نیتروژن و نسبت کربن به نیتروژن ($p< 0.01$)، وزن مخصوص ظاهری و هدایت الکتریکی ($p< 0.05$) در بین دو عمق مورد بررسی خاک معنی‌دار بودند. در بررسی اثرات متقابل توده و عمق نیز کربن، ماده آلی، نیتروژن ($p< 0.01$) و pH ($p< 0.05$) معنی‌دار بودند(جدول۱).

نتایج مقایسه میانگین صفات خاک در توده‌های اقاقیا، زبان گنجشک ومرتع شاهد (جدول۲) نشان داد که در مقایسه توده اقاقیا با مرتع شاهد همه صفات مذکور دارای اختلاف معنی‌داری ($p< 0.05$) بودند. در مقایسه توده زبان گنجشک با مرتع شاهد به استثنای نیتروژن بقیه صفات مذکور دارای اختلاف معنی‌داری ($p< 0.05$) بودند. در مقایسه دو توده اقاقیا و زبان گنجشک نیز به استثنای شن، رس، سیلت و نسبت کربن به نیتروژن بقیه صفات دارای اختلاف معنی‌داری ($p< 0.05$) بودند.

نتایج مقایسات میانگین صفات خاک در دو عمق ۱۵- ۰ و ۳۰- ۱۵ سانتیمتری نشان داد که به استثنای pH، ماده آلی و نیتروژن بقیه صفات مذکور دارای اختلاف معنی‌داری ($p< 0.05$) بودند (جدول۳). نتایج مقایسات میانگین صفات خاک در اثرات متقابل توده و عمق (جدول۵) نیز نشان داد که کربن و ماده آلی در همه حالات مذکور دارای اختلاف معنی‌داری ($p< 0.05$) بودند. PH به استثنای مقایسه عمق ۳۰- ۱۵ سانتیمتری توده زبان گنجشک با مرتع شاهد در بقیه حالات دارای اختلاف معنی‌داری ($p< 0.05$) بود. نیتروژن نیز به استثنای مقایسه عمق ۱۵-۰ سانتیمتری توده زبان گنجشک و مرتع شاهد و عمق ۳۰- ۱۵ سانتیمتری اقاقیا و مرتع شاهد در بقیه حالات دارای اختلاف معنی‌داری ($p< 0.05$) بود. نتایج تجزیه رگرسیون گام به گام کربن آلی با عوامل دیگر بررسی شده خاک (جدول ۶) نشان داد که تجمع کربن در خاک علت تغییر PH خاک بوده است. شن و نیتروژن نیز در درجه بعدی اهمیت قرار گرفته و به ترتیب ۱۳/۴ و ۵/۶ درصد از تغییرات مقدار کربن را توجیه می‌کنند. بررسی تجزیه همبستگی کربن آلی با سایر صفات اندازه‌گیری شده خاک نشان داد که بین کربن آلی خاک با درصد سنگ و سنگریزه و درصد شن رابطه مثبت معنی‌دار و با PH،

درصد سیلت و درصد رس رابطه منفی معنی‌دار وجود داشت (جدول۷).

بحث

نتایج (جدول ۱ و شکل ۳) نشان داد که جنگل-کاری در مرتع شاهد که حالت مخروبه داشته و به‌صورت زمین بایر بوده، باعث افزایش قابل ملاحظه در کربن آلی خاک شده است. به این صورت که توده‌های اقاقیا و زبان گنجشک به ترتیب باعث افزایش ترسیب کربن خاک به میزان ۶۷/۳ و ۳۷/۲ تن در هکتار نسبت به منطقه شاهد شدند. نتایج تحقیقات ورامش (۱۳۸۸) و سینگ و همکاران (۲۰۰۳) بیانگر رابطه ترسیب کربن آلی خاک با درصد پوشش گیاهی، نوع گونه‌های گیاهی، مقدار لاشبرگ و بقایای گیاهی، نوع کاربری اراضی و مدیریت می‌باشد. بنابراین اگر در یک منطقه پوشش گیاهی به‌خوبی استقرار یابد، در بلندمدت مقدار کربن آلی خاک افزایش می‌یابد، زیرا تغییرات کربن آلی خاک تدریجی است (ورامش، ۱۳۸۸).

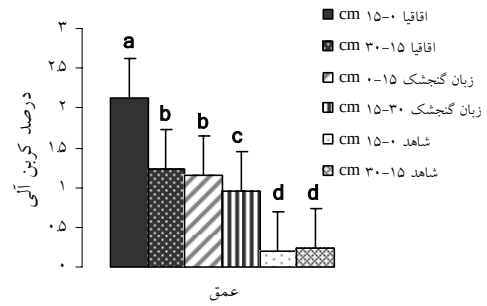
با در نظر گرفتن اینکه حدود ۲۰۷ هکتار (۲۳ ٪) از مساحت کل پارک جنگلی چیتگر به اقاقیا و ۹۰ هکتار (۱۰٪) آن به زبان گنجشک اختصاص دارد، با احتساب اینکه هر هکتار جنگل‌کاری با دو گونه فوق به ترتیب ۶۷/۳ و ۳۷/۲ تن کربن آلی خاک را افزایش داده‌اند، بنابراین دو توده اقاقیا و زبان گنجشک کاشته شده در پارک جنگلی چیتگر، در مقایسه با مرتع شاهد اطراف به‌ترتیب باعث افزایش ترسیب کربن آلی خاک به مقدار ۱۳۹۴۶ و ۳۳۴۸ تن شده‌اند. نتایج نشان داد که میزان ترسیب کربن آلی خاک در توده اقاقیا حدود ۳۰ تن در هکتار بیشتر از توده زبان گنجشک بود (جدول ۱ و شکل ۳). دلیل این امر را می‌توان به قابلیت بالای گیاهان خانواده *Leguminous* در تثبیت ازت و رابطه مستقیم ترسیب کربن و تثبیت ازت نسبت داد (علی عرب و همکاران،۱۳۸۴؛). نتایج شکل ۲ نشان داد مقدار کربن ترسیب شده در لایه اول خاک (عمق ۱۵-۰ سانتیمتری) توده‌های اقاقیا و زبان گنجشک، در مقایسه با لایه دوم (عمق ۳۰-۱۵ سانتیمتری) بیشتر بود. این نتیجه را می‌توان به روند تدریجی تجزیه لاشبرگ و تبدیل آن به هوموس که از لایه‌های سطحی خاک آغاز می‌گردد، تفسیر نمود که با یافته‌های تحقیق سینگ (۱۹۹۳) مطابقت دارد. در مورد مرتع شاهد، مقدار ترسیب کربن در لایه دوم خاک بیشتر از لایه اول بود. با توجه به مشاهده آثار فرسایش سطحی شدید در مرتع شاهد در مقایسه با توده‌های دست کاشت اقاقیا و زبان گنجشک، این مسأله را می‌توان به هدررفت کربن آلی خاک در اثر فرسایش سطحی مرتبط دانست. ورامش (۱۳۸۸) معتقد است به‌دلیل این‌که قسمت اعظم کربن ترسیب شده در خاک قرار دارد، فرایند فرسایش خاک موجب هدررفت کربن می‌گردد و هرگونه عملیات بیولوژیکی و مکانیکی که مانع سیر قهقرایی خاک و پوشش گیاهی شود، قطعاً گام مثبتی در جهت مدیریت ترسیب کربن خواهد بود.

بالدوک و اوادس (۱۹۹۲) معتقدند تجمع کربن آلی در عمق‌های مختلف خاک به مقدار هوموس، سطح تاج پوشش و نوع گونه‌های موجود بستگی دارد. نتایج تجزیه رگرسیون گام به گام (جدول ۷) نشان داد که PH، شن و نیتروژن به ترتیب از مهمترین اجزاء تأثیرگذار بر مقدار کربن خاک بوده‌اند. نتایج تجزیه همبستگی (جدول ۶) نیز ارتباط بین کربن آلی خاک با درصد سنگ و سنگریزه، شن، رس، سیلت و مقدار اسیدیته را نشان داد. در خصوص وجود ارتباط بین ترسیب کربن خاک و مقدار اسیدیته خاک تحقیقات اندکی صورت گرفته و نتایج متفاوتی نیز به دست آمده است. چنانکه اسکالبرگ (۱۹۹۱) در مطالعه‌ای که با عنوان تغییرات PH در لایه‌های مختلف خاک دو توده *Picea* و *Abies* در جنگل‌های سوئد انجام داد، به این نتیجه رسید که PH می‌تواند ارتباط معنی‌داری با کربن آلی خاک داشته باشد، در حالی که زاهدی (۱۹۹۸) در مطالعه‌ای که به منظور مقایسه میزان ترسیب کربن در دو توده پهن برگ راش- بلوط و افرا- زبان گنجشک انجام داد، نتیجه گرفت که اگرچه PH با برخی از عناصر خاک مانند N ارتباط خوبی داشت، اما ارتباط معنی‌داری بین کربن و PH مشاهده نشد. پوشینن و همکاران (۲۰۰۲) در مطالعات خود بر روی توده‌های کاج جنوب فنلاند نتیجه گرفتند که با افزایش مقدار ازت خاک، میزان تولید افزایش یافته و در نتیجه ذخیره کربن نیز در درازمدت زیاد می‌شود. بانفیلد و همکاران (۲۰۰۲) یک رابطه نمایی بین بافت خاک و کربن بیوماس میکروبی خاک و سپس ذخیره کربن آلی خاک مشاهده کردند. کربن آلی خاک همچنین متأثر از خواص تبادل کاتیونی، بافت و تراکم خاک می‌باشد (چاندلر ۱۹۳۹). برخی محققین معتقدند که کربن آلی خاک با محتوای رس خاک ارتباط دارد (بائور و همکاران ۱۹۸۷). نتایج تحقیقات پاورز و شلزینگر (۲۰۰۲) نشان داد که تراکم کربن آلی با مقدار رس‌های خاک ارتباط دارد. نتایج تحقیقات عبدی (۱۳۸۴) نیز نشان داد که در مراتع گون‌زار، با افزایش درصد سنگ و سنگریزه و شن در بافت خاک، ترسیب کربن افزایش یافت و این موضوع را به سازگاری بالای گون‌ها در خاک‌های سبک و واریزه‌ای نسبت داد. علاوه براین فاکتورهای گوناگون خاک و توپوگرافی نیز بر ترسیب کربن خاک جنگل‌ها مؤثرند (ویلکوکس و همکاران ۲۰۰۲).

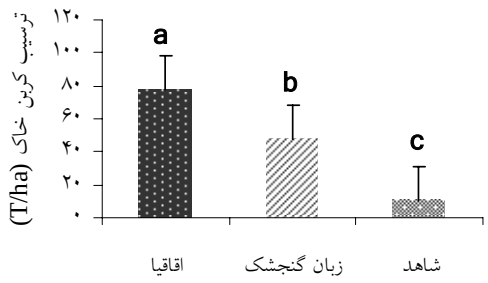
با توجه به اینکه ۲۷ درصد از وزن دی‌اکسید-کربن اتمسفری را کربن تشکیل می‌دهد (جرم اتمی کربن ۱۲ و جرم اتمی اکسیژن ۱۶ می‌باشد)، بنابراین هر تن دی-اکسیدکربن اتمسفری معادل ۲۷۰ کیلوگرم کربن می‌باشد. در نتیجه هر تن کربن ترسیب شده معادل ۳/۷ تن دی-اکسیدکربن اتمسفری می‌باشد. با توجه به اینکه هر یک از توده‌های اقاقیا و زبان گنجشک به ترتیب باعث افزایش ترسیب کربن خاک به میزان ۶۷/۳۷ و ۳۷/۲ تن در هکتار و در کل سطح پارک چیتگر به ترتیب ۱۳۹۴۶ و ۳۳۴۸ تن نسبت به مرتع مخروبه اطراف شده‌اند، لذا هر کدام از توده‌های فوق به ترتیب باعث افزایش جذب و ترسیب - کربن اتمسفری به میزان ۵۱۶۰۰ و ۱۲۳۸۸ تن در مدت ۴۰ سال شده‌اند. پالایش کربن اتمسفری با استفاده از روش‌های مصنوعی هزینه‌های سنگینی را در بر دارد، به طوری که این هزینه را در آمریکا حدود ۳۰۰-۱۰۰ دلار برای هر تن کربن ترسیب شده در هکتار تخمین زده‌اند (فینر ۱۹۹۶). در صورتی که این هزینه به طور میانگین ۲۰۰ دلار برای هر تن ترسیب کربن در هکتار در نظر گرفته شود (ورامش و همکاران ۱۳۸۸)، بنابراین ارزش اقتصادی حاصل از ترسیب کربن خاک در توده‌های اقاقیا و زبان گنجشک در پارک چیتگر تهران به ترتیب معادل ۱۰/۴ و ۲/۵ میلیون دلار می‌باشد. چنانچه مقدار کربن ترسیب شده در بیوماس هوایی و زیرزمینی درختان به عدد یاد شده اضافه گردد، اهمیت اقتصادی پروژه‌های جنگل‌کاری از حیث ترسیب کربن چشمگیرتر می‌شود. همچنین با توجه به این‌که قسمت عمده کربن خاک در عمق ۱۵- ۰ سانتیمتری ذخیره گردیده است، این فرایند به افزایش حاصلخیزی و بهبود سیستم هیدرولوژی خاک و نیز جلوگیری از فرسایش کمک شایانی نموده 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 می‌باشد (شلزینگر ۱۹۹۹). پتانسیل ترسیب کربن بر حسب گونه گیاهی، مکان و شیوه مدیریت متفاوت است (کن ۱۹۹۹). بنابراین با شناخت گونه‌هایی که دارای قابلیت بیشتری جهت ترسیب کربن بوده و همچنین بررسی عوامل مدیریتی که بر فرایند ترسیب کربن تأثیرگذار هستند، می‌توان اصلاح واحیاء اراضی از منظر شاخص ترسیب کربن را دنبال نمود. این امر می‌تواند یک نگرش سیستمی به اصلاح و احیاء محیط زیست باشد، چرا که در ضمن تأمین حفاظت کمی و کیفی شرایط خاک، می‌تواند راهکاری موثر در جهت مقابله با آلودگی هوا و بحران تغییر اقلیم و در نهایت دستیابی به توسعه پایدار تلقی گردد.

شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در غرب تهران



شکل ۳- مقایسه میانگین درصدکربن آلی خاک در دو عمق۱۵-۰ و ۳۰- ۱۵ سانتیمتری توده‌های اقاقیا، زبان گنجشک و مرتع شاهد



شکل ۲- مقایسه میانگین ترسیب کربن خاک در توده‌های اقاقیا، زبان گنجشک و مرتع شاهد در پارک جنگلی چیتگر

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات خاک در دو عمق۱۵-۰ و۳۰-۱۵ سانتیمتری توده‌های اقاقیا، زبان گنجشک و مرتع شاهد در پارک جنگلی چیتگر همراه با اثرات متقابل توده و عمق

	درجه آزادی	سنگ و سنگریزه %	وزن مخصوص ظاهری (gr/cm^3)	pH	رطوبت اشباع %	سیلت %	شن %	رس %	کربن %	ماده آلی %	هدایت الکتریکی (ds/m)	نیتروژن %	کربن/نیتروژن
توده	۲	۰/۰۶۶**	۰/۰۴۳	۱/۱۱۶**	۰/۰۲۱**	۱۴۸/۷۷*	۲۴۷۵/۵۸**	۱۵۰۹/۰۸**	۶/۴**	۱۹/۱۸**	۰/۰۰۸	۰/۱۶۲**	۷۶۷/۳۴۵**
عمق	۱	۰/۰۱۶	۰/۲۳*	۰/۴۵**	۰/۰۰۴	۵/۴۴	۰/۴۴	۱۲/۲۵	۱/۰۹**	۳/۲۵**	۰/۲۹*	۰/۴۸۷**	۵۹۱/۴۵۱**
توده* عمق	۲	۰/۰۳۳	۰/۰۱	۰/۱۶*	۰/۰۰۴	۱۶/۴۴	۲۸/۶۹	۷/۵۸	۰/۷۲۳**	۲/۱۴**	۰/۰۵۲	۰/۰۷۷**	۱۰۷/۷۵۵
خطای آزمایش	۳۰	۰/۲۲۵	۰/۰۳۷	۰/۰۳۲	۰/۰۰۲	۲۷/۶	۵۳/۱	۱۴/۹	۰/۰۱۸	۰/۰۵۲	۰/۰۴۶	۰/۰۰۸	۵۰/۷
ضریب تغییرات		۱۸/۶۸	۱۲/۱۱	۲/۲۹	۱۳/۵۱	۲۲/۹	۱۳/۲۵	۱۷/۱	۱۳/۴۹	۱۳/۵۱	۲۵/۹	۱۱/۴۷	۲۰/۹۸

*، ** به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد می‌باشد

جدول ۲- مقایسه میانگین صفات خاک در توده‌های اقاقیا، زبان گنجشک و مرتع شاهد در پارک جنگلی چیتگر

توده	سنگ و سنگریزه %	pH	رطوبت اشباع %	سیلت %	شن %	رس %	کربن %	ماده آلی %	نیتروژن %	کربن/نیتروژن
اقاقیا	۰/۳۳۵	۷/۵	۰/۴۳	۲۱/۱	۶۳/۵	۱۵/۴	۱/۶۸	۲/۸۹	۰/۱۰۶	۲۱/۳۹
زبان گنجشک	۰/۳۵	۷/۸	۰/۳۰۴	۲۰/۰۲	۶۳/۰۸	۱۶/۹	۱/۰۵۵	۱/۸۱	۰/۰۴۱	۳۰/۰۱
مرتع شاهد	۰/۲۱۸	۸/۱۱۴	۰/۳۸۷	۲۷	۳۸	۳۵	۰/۲۱۷	۰/۳۷	۰/۰۳۲	۷/۲۲
LSD5%	۰/۰۷۱	۰/۱۴۹	۰/۳۸۸	۴/۳۱	۶/۰۴۶	۳/۱۹۵	۰/۱۱	۰/۱۹	۰/۰۱۰۹	۸/۸۷

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات خاک در دو عمق ۱۵- ۰ و۳۰- ۱۵ سانتیمتری در پارک جنگلی چیتگر

عمق (سانتیمتر)	وزن مخصوص ظاهری (gr/cm^3)	pH	کربن %	ماده آلی %	هدایت الکتریکی (ds/m)	نیتروژن %	کربن/نیتروژن
۰-۱۵	۱/۵۱	۷/۷۱	۱/۱۵	۱/۹۹	۰/۱۳	۰/۰۸	۱۳/۸۳
۱۵-۳۰	۱/۶۶	۷/۹۳	۰/۸۱	۱/۳۹	۰/۳۲	۰/۰۳	۲۴/۲۵
LSD%5	۰/۱۳	۱/۲۱	۰/۰۹	۱/۱۷	۰/۱۴	۰/۰۶	۷/۰۳

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات خاک در اثرات متقابل توده و عمق در پارک جنگلی چیتگر

توده*عمق	کربن %	ماده آلی %	pH	نیتروژن %
اقاقیا در عمق۱۵-۰	۲/۱	۳/۶۶	۷/۲۶	۰/۱۶۳
اقاقیا در عمق ۳۰-۱۵	۱/۲۳	۲/۱۲	۷/۷۵	۰/۰۴۸
زبان گنجشک در عمق ۱۵-۰	۱/۱۵	۱/۹۹	۷/۸	۰/۰۵۷
زبان گنجشک در عمق ۳۰-۱۵	۰/۹۵۳	۱/۶	۷/۹۱	۰/۰۲۶
شاهد در عمق ۱۵-۰	۰/۱۹	۰/۳۲۸	۸/۰۸	۰/۰۳۵
شاهد در عمق ۳۰-۱۵	۰/۲۴۳	۰/۴۱۸	۸/۱۴۸	۰/۰۲۸
LSD5%	۰/۱۵۶	۰/۲۶۸	۰/۲۱	۰/۰۱۵۴

جدول ۵- تجزیه رگرسیون گام به گام کربن آلی خاک(متغیر تابع) با عوامل خاک

ضریب تبیین(R^2)	معادلات
۶۸/۲	$Y= 15.3-1.8X_1$
۸۱/۶	$Y= 10.35 - 1.15X_1 -3.05\times10^{-2} X_2$
۸۷/۲	$Y=4.3-0.41X_1-3.6\times10^{-2}X_2 +0.97X_3$

Y = وزن کربن، X_1 = pH، X_2 =شن ، X_3 = نیتروژن

جدول ۶- تجزیه همبستگی بین صفات اندازه‌گیری شده خاک در توده‌های اقاقیا، زبان گنجشک و مرتع شاهد در پارک جنگلی چیتگر

	سنگ و سنگریزه	وزن مخصوص ظاهری	pH	رطوبت اشباع	سیلت	شن	رس	کربن	ماده آلی	هدایت الکریکی	نیتروژن	کربن/نیتروژن
سنگ و سنگریزه	۱/۰۰											
وزن مخصوص ظاهری	-۰/۱۶	۱/۰۰										
pH	-۰/۲۴	۰/۱۴	۱/۰۰									
رطوبت اشباع	-۰/۳۳	۰/۰۹	۰/۰۹	۱/۰۰								
سیلت	-۰/۳۴*	-۰/۰۳	۰/۲۵	۰/۲۸	۱/۰۰							
شن	۰/۵۷**	-۰/۱۸	-۰/۵۲**	-۰/۴۹**	-۰/۸۲**	۱/۰۰						
رس	-۰/۵۳**	۰/۲۷	۰/۶۲**	۰/۶۰**	۰/۵۹**	-۰/۹۳**	۱/۰۰					
کربن	۰/۳۶*	-۰/۲۵	-۰/۸۶**	-۰/۲۰	-۰/۴۲*	۰/۷۲**	-۰/۷۹**	۱/۰۰				
ماده آلی	۰/۳۶*	-۰/۲۵	-۰/۸۶**	-۰/۲۰	-۰/۴۲*	۰/۷۲**	-۰/۷۹**	۱/۰۰**	۱/۰۰			
هدایت الکریکی	۰/۰۳	-۰/۰۶	۰/۲۵	-۰/۰۶	-۰/۰۲	-۰/۰۵	۰/۱۱	-۰/۰۵	-۰/۰۵	۱/۰۰		
نیتروژن	-۰/۰۲	-۰/۳۰	-۰/۶۴**	۰/۴۰	-۰/۲۱	۰/۲۷	-۰/۲۸	۰/۶۶**	۰/۶۶**	-۰/۱۳	۱/۰۰	
کربن/نیتروژن	۰/۴۵	۰/۲۴	-۰/۲۷	۰/۷۴**	-۰/۴۰	۰/۶۰**	-۰/۶۴**	۰/۳۵	۰/۳۵	-۰/۰۹	-۰/۴۳	۱/۰۰

فهرست منابع:

۱. زرین کفش، م. ۱۳۷۱. خاکشناسی کاربردی. ارزیابی و مورفولوژی و تجزیه های کمی خاک-آب- گیاه، انتشارات دانشگاه تهران، شماره ۱۹۵۵. ۲۴۵ ص.

۲. زرین کفش، م. ۱۳۷۶. مبانی علوم خاک در ارتباط با گیاه و محیط، جلد اول: ترکیب و تشکیلات صفات و خصوصیات تکنولوژی یا فن آوری. مرکز انتشارات علمی دانشگاه آزاد اسلامی، ۸۰۹ ص.

۳. علی عرب ع، حسینی س.م، جلالی س.غ. ۱۳۸۴. اثر گونه‌های افراپلت، اقاقیا، صنوبر امریکایی و زربین بر برخی ویژگی-های فیزیکو شیمیایی خاک در جنگلکاری شرق هراز. مجله علوم خاک و آب. جلد ۱۹. شماره ۱. ۱۱ص.

۴. محمودی طالقانی، ع.، زاهدی امیری، ق.، عادلی، ا.، ثاقب طالبی، خ.، ۱۳۸۶. برآورد میزان ترسیب کربن خاک در جنگل-های تحت مدیریت (مطالعه موردی جنگل گلنبد در شمال کشور). فصلنامه تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۱۵(۳): ۲۴۱-۲۵۲.

۵. ورامش س، حسینی س.م، عبدی ن. ۱۳۸۸. مقایسه میزان ترسیب کربن گونه‌های پهن‌برگ و سوزنی‌برگ در جنگل شهری (مطالعه موردی پارک چیتگر تهران). پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس. ۱۳۲ ص.

6. Allison, L.E. 1975. 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, 1367 p.
7. Amundson, R. 2001. The carbon budget in soils. Annual Review of Earth and Planetary Sciences 29, 535–562.
8. Baldock, J.A., and Oades. 1992. Aspects of the chemical structure of soil organic materials as revealed by solid- state. Soil Biology and Biochemistry, 16: 1-42.
9. Banfield, G.E., Bhatti, J.S., Jiang, H., Apps, M.J., Karjalainen, T. 2002. Variability in regional scale estimates of carbon stocks in boreal forest ecosystems: results from west-central Alberta. Forest Ecol. Manag. 169: 15–27.
10. Barnes, B.V., D.R. Zak, S.R. Denton, S.H. Spurr. 1998. Forest ecology, 4th edition. John Wiley and Sons, Inc., New York. 56 p.
11. Bauer, A., Cole, C.V., Black, A.L., 1987. Soil property comparisons in virgin grasslands between grazed and nongrazed management systems. Soil Science Society of America Journal, 51: 176–182.
12. Birdsey R. A. 1992. Carbon Storage and Accumulation in United States Forest Ecosystems, (Washington, DC: USDA Forest Service, 1992), 12 p.
13. Blake, G.R. Hartge, K.H. 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. 363-376.
14. Chandler Jr., R.F., 1939. Cation exchange properties of certain forest soils in the Adirondack section. J. Agric. Res. 59: 491–505.
15. Coomes, D.A, Allen, B.B, Scott, N.A Goulding, C, Beets, P. 2000. Designing System to Monitor the Carbon Stock. Forest Ecology and Management.245-259.
16. Davidson, E. A., Ackerman, I. L. 1993. Changes in Soil Carbon Inventories Following Cultivation of Previously untilled Soils. Biogeochemistry. 20: 161-193.
17. Dong, N., Silong, W., Zhiyun, O., 2009. Comparisons of carbon storages in Cunninghamia lanceolata and Michelia macclurei plantations during a 22-year period in southern China. Journal of Environmental Sciences. 21: 801-805.

18. Finer, L, 1996. Variations in the amount and quality of litterfal in a Pinus sylvestris L. stand growing on a bog. Forest Ecology and management. 80: 1-11.
19. Hamburg, S.P., Harris, N., Jaeger, J., Karl, T.R., McFarland, M., Mitchell, J.F.B., Oppenheimer, M., Santer, S., Schneider, S., Trenberth, K.E., Wigley, T.M.L. 1997. Common questions about climate change. United Nation Environment Program, World Meteorology Organization.85p.
20. Hernandez.R, koohafkan.p, Antoine .J, 2004.Assessing Carbon Stocks and modeling win-win Scenarios of carbon sequestration through land-use change.166p.
21. Hu Y.L., Zeng' D.H, Fan Z.P, Chen G.S, Zhao Q, 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.
22. Losi., C J. Siccama, T G, Juan R C, Morales, E., 2003. Analysis of alternative Methods for Estimating carbon stock in young tropical plantations. Forest Ecology and Management. 184: 355–368.
23. Maranona T., Ajbiloua R., Ojedab F., Arroyob J. 1999. Biodiversity of woody species in oak woodlands of southern Spain and northern Morocco. Forest Ecology and Management. (115) 147-159.
24. McDicken K. G. 1997. A Guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry Projects. Winrock International Institute for Agricultural Development, Forest Carbon Monitoring Program. 91 p.
25. New comb, k .1999. Farming System Carbon Sequestration , Sustainable Intensive and Management, and Trade in Certified Emission Reductions , Proceeding of the June 15 and 16, world Bank round table.24p.
26. Paul K. I, Polglase P. J, Nyakuengama J. G, Khanna P. K. 2002. Change in soil carbon following afforestation. Forest Ecology and Management. Volume 168, Issues 1-3, 1 September 2002, 241-257.
27. Powers, J.S., Schlesinger, W.H., 2.002: Relationships among soil carbon distributions and biophysical factors at nested spatial scales in rainforests of northeastern Costa Rica. Geoderma 109, 165–190.
28. Pussinen. A, Karjalainen .T, Mäkipää. R, Valsta. L, Kellomäki. S.2002. Forest carbon sequestration and harvest, in scots pine stand under different climate and nitrogen deposition scenarios. Forest Ecology and management. 158 (1-3): 103-115.
29. Schlesinger. 1999. Soil Organic matter a Source of atmospheric CO_2. Department of Botany. North Carolina, USA. 111-125.
30. Scullberg. U, 1991. Seasonal Variation of PH H_2O and PH $Cacl_2$ in centimeter- layers of Moor Humus in a *Picea Abies* (L.) Karst stand. Sweden University of Agricultural Sciences, Department of Forest Site Research.12p.
31. Shakiba, A. 2000. Potential effect of global climate change on carbon sequestration in soils. PhD thesis, The University of Leeds. School of Geography. 130p.
32. Singh G., Singh,NT. 1993. Mesquite for revegetation of salt lands. Central Soil Salinity Research Institute. Bulletin No. 18: 20-26.

33. Singh, G., Bala, N., Chaudhuri, K.K., Meena, R.L.2003. Carbon sequestration potential of common access resources in arid and semi-arid regions of northwestern India. Indian Forester 129: 7, 859-864.
34. Wilcox, C.S., Dominguez, J., Parmelee, R.W., McCartney, D.A., 2002. Soil carbon and nitrogen dynamics in Lumbricus territories L. middens in four arable, a pasture, and a forest ecosystem.Biol. Fertile. Soils 36, 26–34.
35. Zahedi, Gh. 1998. Relation between vegetation and soil characteristics in a mixed hard wood stand. Academic press, Ghent University (Belgium). 319p.
36. Zerva A, Mencuccini M, Smith K.2004. Effect of Afforestation and Forest management on Soil Carbon Dynamic and Trace gas emission in a Stika Spruce (Picea sitchensis (Bong) Carr.) Forest. Institute of Atmospheric and Environmental Science. Edinburgh. 271p.