

## تأثیر جنگل کاری با گونه‌های پهن برگ بر ترسیب کربن در خاک پارک جنگلی چیتگر

سعید ورامش<sup>۱\*</sup>، 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 منجر به 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 جنگل کاری شده در زمینهای بایر و مخروبه تأثیر چشمگیری بر ترسیب کربن دارند. این تحقیق در دو توده افاقیا و زبان گنجشک به همراه مرتع اطراف به عنوان شاهد در پارک جنگلی چیتگر انجام گرفت و مقادیر کربن ترسیب شده در خاک اندازه گیری 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 افاقیا 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 تأثیرگذار 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 ۱۱۱۸۰۰۰۰۰۰ و ۲۶۸۷۵۰۰۰۰۰ ریال در کل سطح پارک جنگلی چیتگر تهران محاسبه گردید.

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

### مقدمه

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

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

\* نویسنده مسئول، آدرس: مازندران، نور. دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس

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 ااقیا 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 - کرج، ۱۶ کیلومتر) و در محدوده پارک چیتگر واقع شده و بین ۱۰° و ۵۱° تا ۱۵° و ۵۱° طول جغرافیایی شرقی و ۴۲° و ۳۵° تا ۴۵° 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 ااقیا و ۱۰ درصد آن را درختان زبان گنجشک تشکیل می‌دهند. (بی‌نام، ۱۳۸۱).

#### روش نمونه‌برداری میدانی

دو توده شامل ااقیا به وسعت ۴ هکتار و زبان گنجشک به وسعت ۳ هکتار به همراه یک قطعه شاهد (مرتفع 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

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 سوخته‌های فسیلی، بخش مهمی از کاهش CO<sub>2</sub> اتمسفری به ترسیب کربن در اکوسیستم‌های طبیعی مربوط می‌شود. کربن در بخش‌های مختلف اکوسیستم‌های جنگلی می‌تواند ترسیب شود که مهم‌ترین آنها خاک می‌باشد (شلزینگر ۱۹۹۹). به طوری که افزایش ذخیره جهانی کربن در خاک یکی از مهمترین عوامل کاهش CO<sub>2</sub> اتمسفری بوده و حدود ۷۵ درصد ذخیره کربن خشکی را در بر می‌گیرد. بسیاری از پروژه‌های اصلاحی مانند جنگل کاری، 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 جنگل کاری می‌توان علاوه بر تولید فضای سبز و چوب و سایر مزایای جنگل به هدف ذخیره‌سازی کربن نیز نائل آمد (بارنز و همکاران ۱۹۹۸).

زرزا (۲۰۰۴) با هدف بررسی اثرات جنگل کاری بر بیشه‌زارهای طبیعی به این نتیجه رسید که جنگل کاری 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 جنگل کاری با گونه‌های Mongolian Pine و Poplar در علفزارها به این نتیجه رسیدند که جنگل کاری در علفزارهای این منطقه باعث افزایش ترسیب کربن خاک می‌شود. دنگ و همکاران (۲۰۰۹) با مقایسه ترسیب کربن توده‌های جنگل کاری شده *Cunninghamia lanceolata* و *Michelia macclurei* به این نتیجه رسیدند که ترسیب

به طوری که بیشترین مقدار کربن آلی در عمق ۱۵ سانتی‌متری توده اقاویا 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 (جدول ۱).

نتایج مقایسه میانگین صفات خاک در توده‌های اقاویا، زبان گنجشک و مرتع شاهد (جدول ۲) نشان داد که در مقایسه توده اقاویا 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 اقاویا 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 (جدول ۳). نتایج مقایسات میانگین صفات خاک در اثرات متقابل توده و عمق (جدول ۵) 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 و مرتع شاهد و مقایسه عمق ۳۰-۱۵ سانتیمتری اقاویا 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،

آزاد خشک گردید و بعد از خرد نمودن کلوخه‌ها، جدا کردن ریشه‌ها، سنگ و سایر ناخالصی‌ها، از الک ۲ میلیمتری (مش ۲۰) عبور داده شده و به آزمایشگاه منتقل شدند (مک دیکن ۱۹۹۷، 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 اذت 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 کاملاً اسیدی ( $H_2SO_4$ ) اندازه‌گیری گردید (آلیسون ۱۹۷۵).

PH گل اشباع به روش پتانسیومتری، هدایت-الکتریکی در عصاره گل اشباع و درصد رطوبت اشباع خاک اندازه‌گیری شدند (مک دیکن ۱۹۹۷).

### 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 اقاویا و زبان گنجشک به ترتیب ۷۸ و ۴۸ تن در هکتار و در قطعه شاهد ۱۰/۸ تن در هکتار بود. به طوری که ترسیب کربن در توده اقاویا 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 توده‌های مورد بررسی وجود دارد.

درصد سیلت و درصد رس رابطه منفی معنی دار وجود داشت (جدول ۷).

### بحث

نتایج (جدول ۱ و شکل ۳) نشان داد که جنگل کاری در مرتع شاهد که حالت مخروبه داشته و به صورت زمین بایر بوده، باعث افزایش قابل ملاحظه در کربن آلی خاک شده است. به این صورت که توده های اقاچیا و زبان گنجشک به ترتیب باعث افزایش ترسیب کربن خاک به میزان  $67/3$  و  $37/2$  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 گونه های گیاهی، مقدار لاشبرگ و بقایای گیاهی، نوع کاربری اراضی و مدیریت می باشد. بنابراین اگر در یک منطقه پوشش گیاهی به خوبی استقرار یابد، در بلندمدت مقدار کربن آلی خاک افزایش می یابد، 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 اقاچیا و ۹۰ هکتار (۱۰٪) آن به زبان گنجشک اختصاص دارد، با احتساب اینکه هر هکتار جنگل کاری با دو گونه فوق به ترتیب  $67/3$  و  $37/2$  تن کربن آلی خاک را افزایش داده اند، بنابراین دو توده اقاچیا و زبان گنجشک کاشته شده در پارک جنگلی چیتگر، در مقایسه با مرتع شاهد اطراف به ترتیب باعث افزایش ترسیب کربن آلی خاک به مقدار  $13946$  و  $3348$  تن شده اند. نتایج نشان داد که میزان ترسیب کربن آلی خاک در توده اقاچیا حدود ۳۰ تن در هکتار بیشتر از توده زبان گنجشک بود (جدول ۱ و شکل ۳). دلیل این امر را می توان 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) توده های اقاچیا و زبان گنجشک، در مقایسه با لایه دوم (عمق ۳۰-۱۵ سانتیمتری) بیشتر بود. این نتیجه را می توان به روند تدریجی تجزیه لاشبرگ و تبدیل آن به هوموس که از لایه های سطحی خاک آغاز می گردد، تفسیر نمود که با یافته های 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 توده های دست کاشت اقاچیا و زبان گنجشک، این مسأله را می توان به هدررفت کربن آلی خاک در اثر فرسایش سطحی مرتبط دانست. ورامش (۱۳۸۸) معتقد است به دلیل

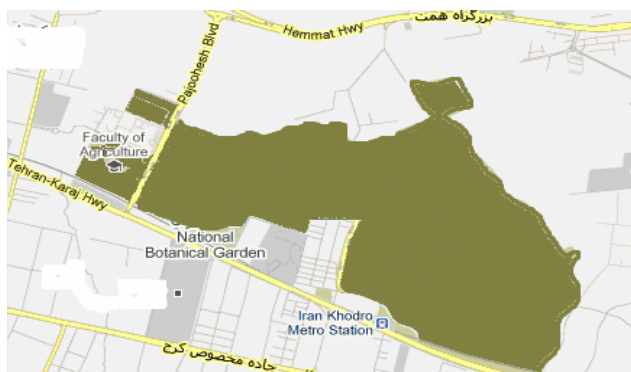
این که قسمت اعظم کربن ترسیب شده در خاک *Abies* فرایند فرسایش خاک موجب هدررفت کربن می گردد و هرگونه عملیات بیولوژیکی و مکانیکی که مانع سیر قهقراپی خاک و پوشش گیاهی شود، قطعاً گام مثبتی در جهت مدیریت ترسیب کربن خواهد بود.

بالدوک و اوادس (۱۹۹۲) معتقدند تجمع کربن آلی در عمق های مختلف خاک به مقدار هوموس، سطح تاج پوشش و نوع گونه های 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 بوده اند. نتایج تجزیه همبستگی (جدول ۶) نیز ارتباط بین کربن آلی خاک با درصد سنگ و سنگریزه، شن، رس، سیلت و مقدار اسیدپتِه را نشان داد. در خصوص وجود ارتباط بین ترسیب کربن خاک و مقدار اسیدپتِه خاک تحقیقات اندکی صورت گرفته و نتایج متفاوتی نیز به دست آمده است. چنانکه اسکالبرگ (۱۹۹۱) در مطالعه ای که با عنوان تغییرات PH در لایه های مختلف خاک دو توده *Picea* و *Abies* در جنگل های سوئد انجام داد، به این نتیجه رسید که PH می تواند ارتباط معنی داری با کربن آلی خاک داشته باشد، در حالی که زاهدی (۱۹۹۸) در مطالعه ای 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 معنی داری بین کربن و PH مشاهده نشد. پوشین و همکاران (۲۰۰۲) در مطالعات خود بر روی توده های کاج جنوب فنلاند نتیجه گرفتند که با افزایش مقدار ازت خاک، میزان تولید افزایش یافته و در نتیجه ذخیره کربن نیز در درازمدت زیاد می شود. 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 می باشد (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 رس های 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 خاک های سبک و واریزه ای نسبت داد. علاوه بر این فاکتورهای گوناگون خاک و توپوگرافی نیز بر ترسیب کربن خاک جنگل ها مؤثرند (ویلکوکس و همکاران ۲۰۰۲).

می‌باشد (شلزینگر ۱۹۹۹). پتانسیل ترسیب کربن در خاک به 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 و احیاء 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.

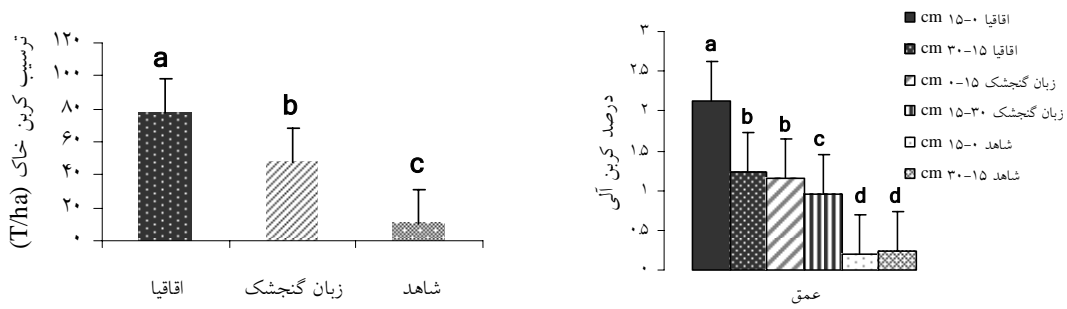
با توجه به اینکه ۲۷ درصد از وزن دی‌اکسید کربن اتمسفری را کربن تشکیل می‌دهد (جرم اتمی کربن ۱۲ و جرم اتمی اکسیژن ۱۶ می‌باشد)، بنابراین هر تن دی-اکسید کربن اتمسفری معادل ۲۷۰ کیلوگرم کربن می‌باشد. در نتیجه هر تن کربن ترسیب شده معادل ۳/۷ تن دی-اکسید کربن اتمسفری می‌باشد. با توجه به اینکه هر یک از توده‌های اقلایا 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 اقلایا 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



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در غرب تهران

Archive of SID



شکل ۲- مقایسه میانگین ترسیب کربن خاک در توده های افاقیا، زبان گنجشک و مرتع شاهد در پارک جنگلی چیتگر

شکل ۳- مقایسه میانگین درصد کربن آلی خاک در دو عمق ۱۵-۳۰ سانتیمتری توده های افاقیا، زبان گنجشک و مرتع شاهد

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات خاک در دو عمق ۱۵-۳۰+ سانتیمتری توده های افاقیا، زبان گنجشک و مرتع شاهد در پارک جنگلی چیتگر همراه با اثرات متقابل توده و عمق

| کربن/نیترژن | نیترژن % | هدایت الکتریکی (ds/m) | ماده آلی % | کربن %  | رس %      | شن %      | سیلیت % | رطوبت اشباع % | pH      | وزن مخصوص ظاهری (gr/cm <sup>3</sup> ) | سنگ و سنگریزه % | درجه آزادی | توده         |
|-------------|----------|-----------------------|------------|---------|-----------|-----------|---------|---------------|---------|---------------------------------------|-----------------|------------|--------------|
| ۷۶۷/۳۴۵**   | ۰/۱۶۲**  | ۰/۰۰۸                 | ۱۹/۱۸**    | ۶/۴**   | ۱۵۰۹/۰۸** | ۲۴۷۵/۵۸** | ۱۴۸/۷۷* | ۰/۰۲۱**       | ۱/۱۱۶** | ۰/۰۴۳                                 | ۰/۰۶۶**         | ۲          | توده         |
| ۵۹۱/۴۵۱**   | ۰/۴۸۷**  | ۰/۲۹*                 | ۳/۲۵**     | ۱/۰۹**  | ۱۲/۲۵     | ۰/۴۴      | ۵/۴۴    | ۰/۰۰۴         | ۰/۴۵**  | ۰/۲۳*                                 | ۰/۰۱۶           | ۱          | عمق          |
| ۱۰۷/۷۵۵     | ۰/۰۷۷**  | ۰/۰۵۲                 | ۲/۱۴**     | ۰/۷۳۳** | ۷/۵۸      | ۲۸/۶۹     | ۱۶/۴۴   | ۰/۰۰۴         | ۰/۱۶*   | ۰/۰۱                                  | ۰/۰۳۳           | ۲          | توده* عمق    |
| ۵۰/۷        | ۰/۰۰۸    | ۰/۰۴۶                 | ۰/۰۵۲      | ۰/۰۱۸   | ۱۴/۹      | ۵۳/۱      | ۲۷/۶    | ۰/۰۰۲         | ۰/۰۳۲   | ۰/۰۳۷                                 | ۰/۲۲۵           | ۳۰         | خطای آزمایش  |
| ۲۰/۹۸       | ۱۱/۴۷    | ۲۵/۹                  | ۱۳/۵۱      | ۱۳/۴۹   | ۱۷/۱      | ۱۳/۲۵     | ۲۲/۹    | ۱۳/۵۱         | ۲/۲۹    | ۱۲/۱۱                                 | ۱۸/۶۸           |            | ضریب تغییرات |

\*، \*\*، \*\*\* به ترتیب نشان دهنده معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد می باشد

جدول ۲- مقایسه میانگین صفات خاک در توده های افاقیا، زبان گنجشک و مرتع شاهد در پارک جنگلی چیتگر

| کربن/نیترژن | نیترژن % | ماده آلی % | کربن % | رس %  | شن %  | سیلیت % | رطوبت اشباع % | pH    | سنگ و سنگریزه % | توده       |
|-------------|----------|------------|--------|-------|-------|---------|---------------|-------|-----------------|------------|
| ۲۱/۳۹       | ۰/۱۰۶    | ۲/۸۹       | ۱/۶۸   | ۱۵/۴  | ۶۲/۵  | ۲۱/۱    | ۰/۴۳          | ۷/۵   | ۰/۳۳۵           | افاقیا     |
| ۳۰/۰۱       | ۰/۰۴۱    | ۱/۸۱       | ۱/۰۵۵  | ۱۶/۹  | ۶۳/۰۸ | ۲۰/۰۲   | ۰/۳۰۴         | ۷/۸   | ۰/۳۵            | زبان گنجشک |
| ۷/۲۲        | ۰/۰۳۲    | ۰/۳۷       | ۰/۲۱۷  | ۳۵    | ۳۸    | ۲۷      | ۰/۳۸۷         | ۸/۱۱۴ | ۰/۲۱۸           | مرتع شاهد  |
| ۸/۸۷        | ۰/۰۱۰۹   | ۰/۱۹       | ۰/۱۱   | ۳/۱۹۵ | ۶/۰۴۶ | ۴/۳۱    | ۰/۳۸۸         | ۰/۱۴۹ | ۰/۰۷۱           | LSD5%      |

Archive of SID

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات خاک در دو عمق ۱۵-۳۰ و ۳۰-۱۵ سانتیمتری در پارک جنگلی چیتگر

| عمق (سانتیمتر) | ظاهری (gr/cm <sup>3</sup> ) | وزن مخصوص | pH   | کربن % | ماده آلی % | هدایت الکتریکی (ds/m) | نیترژن % | کربن/نیترژن |
|----------------|-----------------------------|-----------|------|--------|------------|-----------------------|----------|-------------|
| ۰-۱۵           | ۱/۵۱                        | ۷/۷۱      | ۱/۱۵ | ۱/۹۹   | ۱/۱۳       | 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    | نیترژن % |
|-------------------------|--------|------------|-------|----------|
| اقاقیا در عمق ۰-۱۵      | ۲/۱    | ۳/۶۶       | ۷/۲۶  | ۰/۱۶۳    |
| اقاقیا در عمق ۱۵-۳۰     | ۱/۲۳   | ۲/۱۲       | ۷/۷۵  | ۰/۰۴۸    |
| زبان گنجشک در عمق ۰-۱۵  | ۱/۱۵   | ۱/۹۹       | ۷/۸   | ۰/۰۵۷    |
| زبان گنجشک در عمق ۱۵-۳۰ | ۰/۹۵۳  | ۱/۶        | ۷/۹۱  | ۰/۰۲۶    |
| شاهد در عمق ۰-۱۵        | ۰/۱۹   | ۰/۳۲۸      | ۸/۰۸  | ۰/۰۳۵    |
| شاهد در عمق ۱۵-۳۰       | 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

| معادلات   | ضریب تبیین (R <sup>2</sup> ) |
|---|------------------------------|
| Y = 15.3 - 1.8X <sub>1</sub>  | ۶۸/۲                         |
| Y = 10.35 - 1.15X <sub>1</sub> - 3.05 × 10 <sup>-2</sup> X <sub>2</sub>                   | ۸۱/۶                         |
| Y = 4.3 - 0.41X <sub>1</sub> - 3.6 × 10 <sup>-2</sup> X <sub>2</sub> + 0.97X <sub>3</sub> | ۸۷/۲                         |

Y = وزن کربن، X<sub>1</sub> = pH، X<sub>2</sub> = شن، X<sub>3</sub> = نیترژن

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

| کربن/نیترژن | نیترژن | هدایت الکتریکی | ماده آلی | کربن | رس | شن | سیلت | رطوبت اشباع | pH     | وزن مخصوص ظاهری | سنگ و سنگریزه   |
|-------------|--------|----------------|----------|------|----|----|------|-------------|--------|-----------------|-----------------|
|             |        |                |          |      |    |    |      |             |        |                 | سنگ و سنگریزه   |
|             |        |                |          |      |    |    |      |             |        | ۱/۰۰            | وزن مخصوص ظاهری |
|             |        |                |          |      |    |    |      |             |        | ۰/۱۶            | pH              |
|             |        |                |          |      |    |    |      |             | ۱/۰۰   | ۰/۱۴            | رطوبت اشباع     |
|             |        |                |          |      |    |    |      |             | ۰/۰۹   | ۰/۰۹            | سیلت            |
|             |        |                |          |      |    |    |      |             | ۱/۰۰   | ۰/۲۵            | شن              |
|             |        |                |          |      |    |    |      |             | ۰/۴۹** | ۰/۵۲**          | رس              |
|             |        |                |          |      |    |    |      |             | ۱/۰۰   | ۰/۶۳**          | کربن            |
|             |        |                |          |      |    |    |      |             | ۱/۰۰   | ۰/۲۷            | ماده آلی        |
|             |        |                |          |      |    |    |      |             | ۱/۰۰   | ۰/۲۵            | هدایت الکتریکی  |
|             |        |                |          |      |    |    |      |             | ۱/۰۰   | ۰/۲۵            | نیترژن          |
|             |        |                |          |      |    |    |      |             | ۱/۰۰   | ۰/۰۶            | کربن/نیترژن     |
|             |        |                |          |      |    |    |      |             | ۱/۰۰   | ۰/۳۰            |                 |
|             |        |                |          |      |    |    |      |             | ۱/۰۰   | ۰/۲۴            |                 |
|             |        |                |          |      |    |    |      |             | ۱/۰۰   | ۰/۴۵            |                 |

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 افرایلت، افاقیا، صنوبر امریکایی و زرین بر برخی ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی خاک در جنگلکاری شرق هراز. مجله علوم خاک و آب. جلد ۱۹. شماره ۱. ۱۱ ص.
۴. محمودی طالقانی، ع، زاهدی امیری، ق، عادل، 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 litterfall 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., 2002: 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<sub>2</sub>. Department of Botany. North Carolina, USA. 111-125.
30. Scullberg. U, 1991. Seasonal Variation of PH H<sub>2</sub>O and PH CaCl<sub>2</sub> 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, N.T. 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.