

علوم و تکنولوژی محیط زیست ، دوره شانزدهم، شماره ویژه ۹۳

ارزیابی مقدار ترسیب کربن در بیومس، لاشبرگ و خاک توده های اقاچیا و سرو نقره ای اطراف تهران

سعید ورامش^{۱*}

Varameshs@yahoo.com

سید محسن حسینی^۲

کیومرث سفیدی^۳

تاریخ پذیرش: ۸۹/۳/۲۳

تاریخ دریافت: ۸۸/۱۰/۱

چکیده

جنگل کاری یکی از مناسب ترین روش ها برای افزایش پتانسیل ترسیب کربن می باشد که در سال های اخیر مورد توجه بسیاری از کشورها قرار گرفته است. این تحقیق در پارک جنگلی چیتگر تهران و با هدف ارزیابی مقدار ترسیب کربن در بیومس (اندام های هوایی و زیرزمینی)، لاشبرگ و خاک (در اعماق ۰-۱۵ و ۱۵-۳۰ سانتی متری) توده های ۴۰ ساله سرو نقره ای، اقاچیا و زمین بایر اطراف (شاهد) انجام گرفت. نمونه برداری به صورت تصادفی-سیستماتیک و در قالب ۱۰ پلات تودرتو در هر توده انجام گرفت. نتایج نشان داد مقدار ترسیب کربن در توده اقاچیا ۴۹۳/۳۵ تن در هکتار بود که به طور معنی داری ($p < 0.01$) بیشتر از توده سرو نقره ای (۳۲۸/۸۲ تن در هکتار) و زمین بایر (۱۰/۸ تن در هکتار) برآورد شد. تنه درختان بیشترین سهم (۶۱ درصد در توده اقاچیا و ۵۶ درصد در توده سرو نقره ای) را در ترسیب کربن کل داشت. درصد شن، نیتروژن و اسیدیته خاک نیز مهم ترین عوامل مؤثر بر کربن آلی خاک بودند. ارزش اقتصادی حاصل از ترسیب کربن توسط توده های مذکور به ترتیب ۲۰ و ۳/۵ میلیون دلار محاسبه گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که جنگل کاری نقش مهمی در افزایش پتانسیل ترسیب کربن اکوسیستم ایفا می کند و با توجه به این که پتانسیل ترسیب کربن در بین گونه های مورد بررسی متفاوت بود، بنابراین تعیین و به کارگیری مدیریت مناسب در انتخاب گونه ها برای بهبود حاصل خیزی و در نتیجه افزایش ترسیب کربن و کاهش اثرات منفی تغییر اقلیم اهمیت فوق العاده ای در جنگل کاری دارد.

واژه های کلیدی: ترسیب کربن، جنگل کاری، بیومس، خاک، سرو نقره ای، اقاچیا

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس* (مسوول مکاتبات).

۲- استاد، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس

۳- استادیار، دانشکده فناوری های نوین کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

مقدمه

در مورد زمین های بایر نواحی نیمه خشک مورد نیاز می باشد (۲ و ۱) و (۶).

با توجه به این که پتانسیل ترسیب کربن گونه های پهن برگ و سوزنی برگ متفاوت می باشد (۱۶)، بنابراین انتخاب گونه ها برای جنگل کاری یکی از عوامل مهم تأثیرگذار بر ترسیب کربن اکوسیستم می باشد (۹). همچنین برای افزایش آگاهی در مورد جنگل کاری، به عنوان روشی برای ترسیب کربن اتمسفری و پی بردن به اثرات سیستم های مختلف جنگل کاری و نیز استراتژی های مدیریتی بر ترسیب کربن اکوسیستم، بررسی پتانسیل ترسیب کربن به منظور تعیین مناسب ترین گونه ها ضروری می باشد (۱۶).

متأسفانه تاکنون در این خصوص مطالعه ای در داخل کشور انجام نگرفته است. به همین دلیل هدف از این مطالعه، ارزیابی مقدار ترسیب کربن در بیومس (هوایی و زیرزمینی)، لاشبرگ و خاک توده های جنگل کاری شده سرو نقره ای (*Cupressus arizonica*) و اقاچیا (*L. Robinia pseudoacacia*) در پارک جنگلی چیتگر تهران و مقایسه آن با زمین بایر اطراف (قطعه شاهد) می باشد تا از نتایج این مطالعه در مدیریت بهینه جنگل کاری های انجام گرفته در مناطق مشابه استفاده گردد.

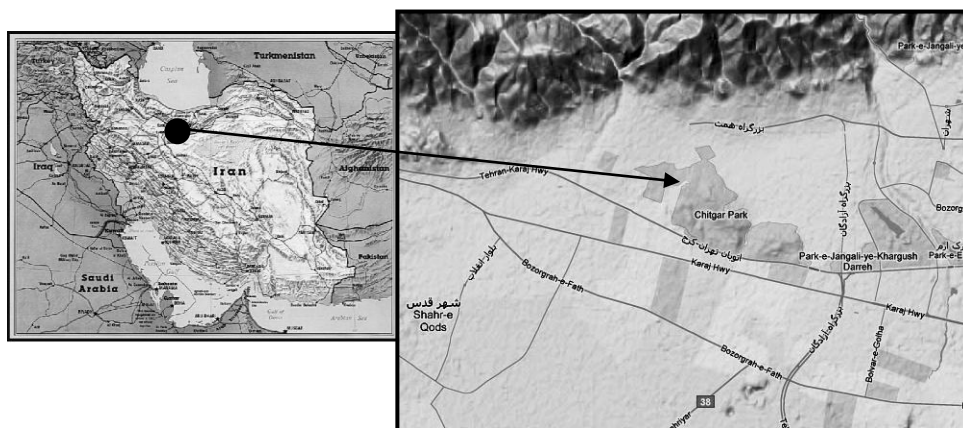
مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه: منطقه مورد مطالعه به وسعت حدود ۹۰۰ هکتار در غرب شهر تهران (در مسیر اتوبان تهران - کرج، کیلومتر ۱۶) 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° و ۳۵° عرض جغرافیایی شمالی قرار دارد (شکل ۱) که در سال ۱۳۴۷ احداث شده است. ۲۳ درصد از کل مساحت پارک را درختان اقاچیا و ۶ درصد آن را درختان سرو نقره ای تشکیل می دهند. از لحاظ اقلیمی جزء محدوده اقلیمی مدیترانه ای خشک می باشد. ارتفاع آن از سطح دریا ۱۳۰۰ متر و متوسط بارندگی آن ۲۳۲ میلی متر می باشد.

جنگل کاری در اراضی بایر یکی از مناسب ترین روش های می باشد که برای افزایش پتانسیل ترسیب کربن (۱) و در نتیجه بهبود سیستم های استفاده پایدار از اراضی (۲) در سال های اخیر مورد توجه بسیاری از کشورها قرار گرفته است. درختان با رشد خود کربن را در بافت های شان ترسیب کرده و با افزایش مقدار بیومس درخت، CO₂ اتمسفری کاهش می یابد (۳). محققین زیادی (۵ و ۴) بر اساس مطالعات خود به تأثیر جنگل کاری بر افزایش ترسیب کربن اشاره کرده و بیان نمودند که این افزایش، موجب بهبود هیدرولوژی، کیفیت و حفاظت خاک و در نتیجه احیای منابع طبیعی می گردد.

Jackson و همکاران (۲۰۰۲) تأثیر جنگل کاری بر ترسیب کربن را در منطقه ای از امریکا با بارندگی حدود ۶۶۰-۲۳۰ میلی متر بررسی کرده و مشاهده نمودند که ذخیره کل کربن اکوسیستم با جنگل کاری از ۲/۹ تن در هکتار به ۱۰/۱ تن در هکتار افزایش یافته است (۶). Hua Zheng و همکاران (۲۰۰۷) در چین به نتایج مشابهی دست یافتند و جنگل کاری را برای افزایش ترسیب کربن اکوسیستم پیشنهاد کردند (۷). Laclau (۲۰۰۳) نیز معتقد است کاشت گونه های درختی سازگار در اراضی مخروبه، توان ترسیب کربن را افزایش می دهد (۸). اکوسیستم ها زمانی که جذب بیشتر و تجزیه کمتری داشته باشند، کربن ترسیب می کنند (۱). به هر حال تأثیر نوع گونه های درختی، مرحله رویشی، نوع خاک، فعالیت های مدیریتی (۹ و ۱۰) و عوامل دیگری از قبیل انتشار سوخت فسیلی، بهره برداری و مصرف بیومس (۱۱) بر ترسیب کربن نباید نادیده گرفته شود. Binkley و همکاران (۲۰۰۳) معتقدند کشت گونه های مخلوط، پتانسیل تولید بالاتری نسبت به کشت خالص دارد، ولی نوع خاک، نوع گونه و شیوه جنگل شناسی از عوامل مؤثر بر این امر می باشند (۱۲).

علاوه بر بیومس، خاک نیز مخزن مهمی برای ترسیب کربن اتمسفری می باشد (۱۳). افزایش ترسیب کربن، کیفیت خاک را از طریق بهبود ظرفیت نگهداری آب، حاصل خیزی و تنوع زیستی افزایش می دهد (۱۴) و با افزایش پایداری ساختمان خاک از فرسایش نیز جلوگیری می کند (۱۵). با این وجود، شناخت تغییرات کربن آلی خاک در اثر جنگل کاری نامعلوم است و اطلاعات بیشتری مخصوصاً



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

نمونه های خاک در هوای آزاد خشک گردید و بعد از خرد نمودن کلوخه ها و جدا کردن ریشه ها، سنگ و سایر ناخالصی ها، آسیاب و از الک ۲ میلی متری (مش ۲۰) عبور داده شد. بافت خاک با استفاده از روش دانسیومتری بایکاس (۲۱)، وزن مخصوص ظاهری به روش کلوخه بر حسب گرم بر سانتی متر مکعب (۲۲)، اسیدیته خاک به روش پتانسیومتری از طریق دستگاه pH متر الکترونیکی و تعیین ازت کل خاک با دستگاه کجلدال انجام شد (۲۳). ماده آلی و کربن 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) اندازه گیری گردید (۲۴). در آخر درصد رطوبت اشباع خاک نیز محاسبه شد.

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

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

$$Cs = \text{کربن آلی (kg/ha)}$$

$$\% OC = \text{درصد کربن آلی}$$

$$Bd = \text{وزن مخصوص ظاهری خاک (gr/cm}^3\text{)}$$

$$e = \text{عمق نمونه داری (cm)}$$

روش محاسبه بیومس

برای محاسبه حجم تنه و تاج پوشش و همچنین محاسبات مربوط به بیومس هوایی و زیرزمینی درخت مراحل زیر براساس دستورالعمل (۱۸) انجام گرفت:

ابتدا سطح مقطع درخت با استفاده از فرمول ۱ محاسبه گردید.

سپس با استفاده از فرمول ۲ حجم درخت حساب شد.

روش نمونه برداری: توده های سرو نقره ای و اقایا به وسعت ۱۰ هکتار همراه با زمین بایر مجاور (شاهد) در پارک جنگلی چیتگر تهران برای انجام این تحقیق انتخاب شدند و نمونه برداری به صورت تصادفی-سیستماتیک و در قالب ۱۰ پلات تودرتو در هر توده انجام گرفت. ابتدا در پلات ۱۰*۱۰ متری اطلاعاتی از درخت شامل قطر برابر سینه (DBH)، ارتفاع درخت (H)، ارتفاع تنه (Hc) و قطرهای کوچک (L) و بزرگ (W) تاج مورد اندازه گیری قرار گرفت و بر اساس داده های به دست آمده، پارامترهای سطح مقطع (m^2/ha)، حجم تنه (m^3/ha)، حجم تاج پوشش (m^3/ha)، بیومس تنه (t/ha)، بیومس شاخه (t/ha) و بیومس ریشه (t/ha) نیز محاسبه گردید.

در هر پلات یک درخت به صورت تصادفی قطع گردید و یک دیسک ۵ سانتی متری از قسمت انتهایی هر قطعه ۲ متری برداشته شد. شاخه ها قطع شده و وزن آنها با ترازوی دقیق اندازه گیری گردید. سپس به قطعات ۵ سانتی متری بریده شده و ۱۰ نمونه به صورت تصادفی از آنها برداشته شد. نمونه های ریشه نیز تا عمق ۰/۵ متری (برای محاسبه درصد کربن) برداشت گردید. در داخل پلات ۵*۵ متری نمونه های خاک از دو عمق ۰-۱۵ و ۱۵-۳۰ سانتی متری و پس از کنار زدن لایه لاشبرگی به صورت ترکیبی برداشته شد. به این صورت که ۴ نمونه از ۴ گوشه پلات برداشت شد و سپس نمونه ها با هم مخلوط گردید. کل لاشبرگ موجود در پلات ۱*۱ متری نیز جمع آوری شده و توزین گردید. نمونه ها در داخل کیسه های پلاستیکی قرار داده شده و به آزمایشگاه منتقل گردید (۱۷ و ۱۸).

روش آزمایشگاهی: نمونه های شاخه، تنه، ریشه و لاشبرگ به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد خشک گردید و سپس درصد کربن آلی به روش احتراق در کوره الکتریکی تعیین شد (۱۷ و ۱۹). چگالی نمونه های شاخه و تنه نیز با استفاده از روش دانسیته وزن خشک محاسبه گردید (۲۰).

حجم تاج سرو نقره‌ای با استفاده از فرمول شماره ۵ و حجم تاج افاقیا با استفاده از فرمول شماره ۶ محاسبه گردید:

$$V(m^3) = (\pi \times Db^2 \times Hc) / 12 \quad (۵)$$

$$V(m^3) = (\pi \times Db^2) / 12$$

$$\pi = ۳/۱۴ \quad Db = (L+W)/2 \quad Hc = \text{ارتفاع تنه}$$

روش های آماری: ابتدا نرمال بودن داده ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و همگنی واریانس داده ها با آزمون لون مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به حصول اطمینان از نرمال بودن پراکنش داده ها و همگنی واریانس جوامع مورد بررسی، برای مقایسه کلی مشخصه های مورد بررسی توده ها از آنالیز واریانس یک طرفه (ANOVA) و برای مقایسات چندگانه میانگین ها از آزمون توکی استفاده شد. تعیین مهم ترین عامل خاکی تأثیر گذار بر میزان کربن آلی خاک با استفاده از رگرسیون گام به گام انجام گرفت. نمودارها نیز با نرم افزار Excel رسم گردید.

نتایج

ترسیب کربن خاک: نتایج نشان داد که جنگل کاری در پارک جنگلی چیتگر تهران موجب افزایش قابل ملاحظه ترسیب کربن خاک شده بود. مقدار ترسیب کربن خاک در توده افاقیا (۷۸/۱۹ تن در هکتار) به طور معنی داری ($p < 0.01$) بیشتر از توده سرو نقره ای (۶۰ تن در هکتار) و زمین بایر (۱۰/۸۲ تن در هکتار) بود. (شکل ۲).

در نهایت بیومس تنه درخت بر حسب کیلوگرم بر اساس فرمول ۳ محاسبه گردید.

$$(۱) \quad A_b = \pi \times r^2$$

$$(۲) \quad V = A_b \times H \times K_c$$

$$(۳) \quad \text{Biomass} = V \times WD \times 1000$$

$$\pi = ۳/۱۴$$

r = شعاع درخت (m)

A_b = سطح مقطع درخت (m^2)

WD = چگالی (gr/cm^3)

$$K_c = ۰/۵۴$$

H = ارتفاع درخت (m)

V = حجم درخت (m^3)

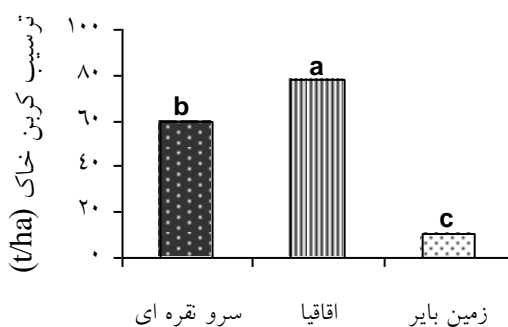
با توجه به این که نمونه برداری کامل از ریشه درخت جهت

محاسبه بیومس، نیازمند صرف وقت و هزینه زیادی می باشد، برای جلوگیری از روش های نمونه برداری مخرب، بیومس ریشه درختان با روش غیر مخرب (۱۸) و با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید:

$$\text{BGB} = \text{Volume AGB} \times 0.2 \quad (۴)$$

AGB = بیومس هوایی

BGB = بیومس زیر زمینی

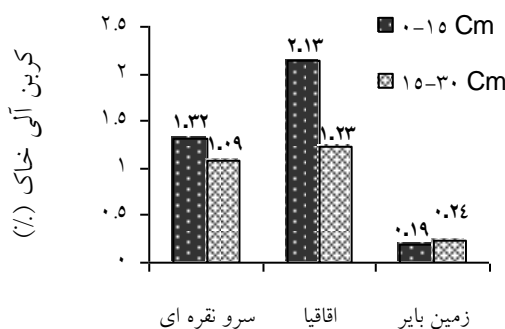


شکل ۲- ترسیب کربن خاک در توده های سرو نقره ای، افاقیا و زمین بایر در پارک جنگلی چیتگر تهران

سانتی متری زمین بایر مشاهده گردید (شکل ۳).

بیشترین مقدار کربن آلی خاک در عمق ۰-۱۵ سانتی متری

توده افاقیا و کمترین مقدار آن در عمق ۰-۱۵



شکل ۳- درصد کربن آلی خاک در دو لایه مختلف خاک توده‌های سرو نقره‌ای، ااقیا و زمین بایر

تأثیرگذار (۹/۲ درصد) بر تراکم کربن آلی در خاک توده‌های مورد مطالعه بود. سایر عوامل بررسی شده تأثیر معنی‌داری بر تراکم کربن آلی خاک نداشتند (جدول ۱).

نتایج تجزیه رگرسیون گام به گام کربن آلی با عوامل فیزیکی و شیمیایی خاک نیز نشان داد که درصد شن یکی از اجزای مهم تأثیرگذار (۶۶/۲ درصد) بر کربن آلی خاک بود. نیتروژن در درجه بعدی اهمیت قرار داشت (۱۰/۴ درصد). اسیدیتته نیز جزء بعدی

جدول ۱- تجزیه رگرسیون گام به گام کربن آلی خاک (متغیر تابع) با عوامل خاک

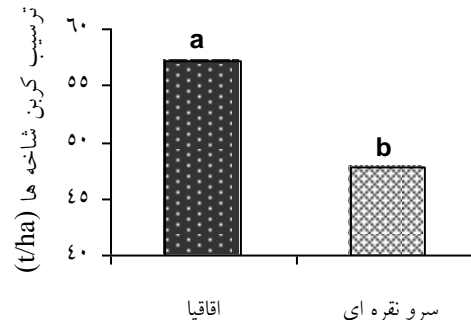
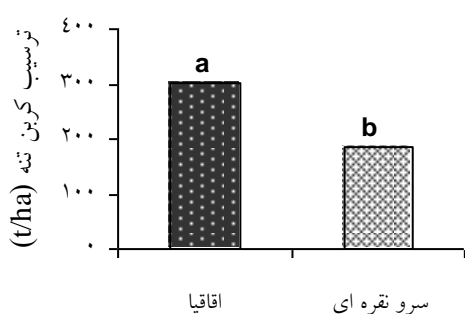
(Y = کربن، X_1 = شن، X_2 = نیتروژن، X_3 = اسیدیتته)

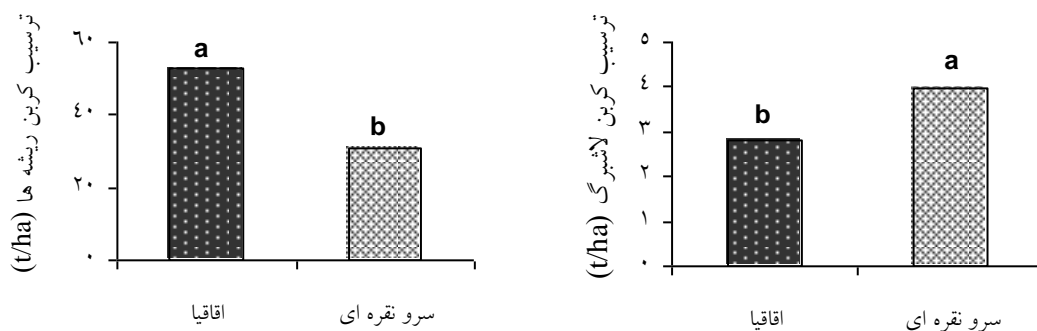
معادلات	ضریب تبیین (R^2)
$Y = 2.3 - 5.35 \times 10^{-2} X_1$	66.2
$Y = 5.08 - 4.39 \times 10^{-2} X_1 + 0.399 X_2$	76.6
$Y = 5.2 - 2.7 \times 10^{-2} X_1 - 0.57 X_2 - 0.97 X_3$	85.8

ترسیب کربن بیومس

و زیرزمینی نشان داد که این مقدار در شاخه، تنه و ریشه‌های توده ااقیا به طور معنی‌داری ($p < 0.01$) بیشتر از توده سرو نقره‌ای بود، ولی ترسیب کربن در لاشبرگ‌های توده سرو نقره‌ای بیشتر از ااقیا برآورد شد (شکل ۴).

بیومس توده‌های ااقیا و سرو نقره‌ای نیز نقش مهمی در ترسیب کربن ایفا کرده بود. به این ترتیب که هر یک از توده‌های مذکور مقدار ۴۱۲/۳۵ و ۲۶۴/۲ تن در هکتار کربن در بیومس خود ترسیب کرده بودند. بررسی مقدار کربن ترسیب شده در بیومس هوایی





شکل ۴- مقدار ترسیب کربن در بیومس هوایی، زیرزمینی و لاشبرگ توده‌های اقاکیا و سرو نقره‌ای در پارک جنگلی چیتگر تهران

که حجم تاج پوشش در توده سرو نقره ای بیشتر از اقاکیا برآورد شد. مقادیر قطر برابر سینه، سطح مقطع، ارتفاع و حجم تنه نیز تفاوت معنی داری بین توده های مذکور نداشت (جدول ۲).

بررسی برخی از مشخصه های کمی توده های اقاکیا و سرو نقره ای نیز نشان داد که مقادیر تراکم، بیومس تنه، بیومس شاخه و بیومس ریشه در توده اقاکیا بیشتر از توده سرو نقره ای بود. در حالی

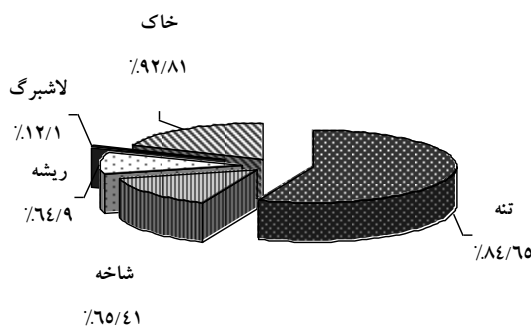
جدول ۲- مقایسه میانگین برخی مشخصه‌های کمی توده‌های اقاکیا و سرو نقره‌ای در پارک جنگلی چیتگر تهران

توده	تراکم (n/ha)	قطر برابر سینه (Cm)	سطح مقطع (m ² /ha)	ارتفاع (m)	حجم تنه (m ³ /ha)	حجم تاج پوشش (m ³ /ha)	بیومس تنه (t/ha)	بیومس شاخه (t/ha)	بیومس ریشه (t/ha)
اقاکیا	۱۰۰۰ ^a	۱۹/۲۶ ^a	۰/۳۰۲ ^a	۵/۲۱ ^a	۸۵/۱۹ ^a	۲۵۵/۳۳ ^b	۶۱۳/۴۳ ^a	۱۱۶/۵۵ ^a	۱۰۷/۳۵ ^a
سرو نقره‌ای	۹۰۰ ^b	۲۰/۷۶ ^a	۰/۳۲۵ ^a	۵/۵۲ ^a	۹۷/۳۱ ^a	۶۱۳/۸۴ ^a	۳۸۵/۳۷ ^b	۱۰۰/۱۹ ^b	۶۴/۸۱ ^b

ترسیب کربن کل

درصد)، ۴۷/۸ تن در شاخه‌ها (۱۴/۵۶ درصد)، ۳۱ تن در ریشه‌ها (۹/۴۶ درصد)، ۶۰ تن در خاک (۱۸/۲۹ درصد) و ۴ تن در لاشبرگ-های (۱/۲۱ درصد) این توده بود (شکل ۵).

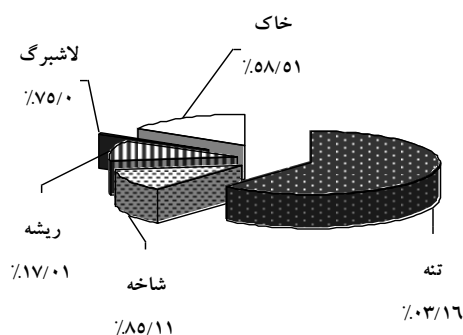
نتایج نشان داد که جنگل کاری در پارک جنگلی چیتگر تهران به طور قابل ملاحظه‌ای منجر به افزایش ترسیب کربن کل شده است. توده سرو نقره‌ای در مدت ۴۰ سال ۳۲۸/۲ تن در هکتار ترسیب کربن داشت که از این مقدار ۱۸۵/۴ تن در تنه درختان (۵۶/۴۸)



شکل ۵- توزیع ترسیب شده در اجزای مختلف توده سرو نقره‌ای

(۱۱/۵۸ درصد)، ۵۲/۸۱ تن در ریشه‌ها (۱۰/۷۱ درصد)، ۷۸/۱۹ تن در خاک (۱۵/۸۵ درصد) و ۲/۸۰ تن در لاشبرگ‌های (۰/۵۷ درصد) این توده موجود بود (شکل ۶).

جنگل کاری با گونه اقاکیا نیز منجر به ترسیب کربن در حدود ۴۹۳/۳۵ تن در هکتار و در مدت ۴۰ سال شده بود که از این مقدار ۳۰۲/۴۲ تن در تنه درختان (۶۱/۳۰ درصد)، ۵۷/۱۱ تن در شاخه‌ها



شکل ۶- توزیع کربن ترسیب شده در اجزای مختلف توده افاقیا

در این تحقیق نیز ترسیب کربن خاک در اثر جنگل کاری افزایش یافته و در توده افاقیا بیشتر از سرو نقره ای بود.

احتمالاً بیومس بیشتری در ریشه های درختان پهن برگ تجمع می یابد. مخصوصاً ریشه های ظریف که در افق بالایی خاک تجمع یافته و می تواند مقدار بیشتری کربن ترسیب کند (۳۳). بر همین اساس (۳۴) تاکید کرده اند که نوع گونه تأثیر معنی داری بر مقدار ترسیب کربن خاک دارد.

مقدار کربن آلی خاک در لایه اول بیشتر از لایه دوم بود. معمولاً بیشترین مقدار ماده آلی در لایه سطحی خاک تجمع یافته و با عمق کاهش می یابد (۳۵). ورامش و همکاران (۱۳۸۸) معتقدند که سرعت تجزیه مواد آلی خاک تحت تأثیر رطوبت و دمای خاک قرار می گیرد (۲۹). بنابراین تجمع بالای لاشبرگ در سطح خاک موجب کاهش حرارت خاک شده و از تجزیه کربن آلی و آبشویی آن به لایه های پایین تر جلوگیری می کند. در صورتی که نبود لاشبرگ در سطح خاک زمین بایر موجب بالا رفتن تراکم کربن در لایه دوم نسبت به لایه اول شده بود.

درصد شن، نیتروژن و اسیدیته خاک مهم ترین اجزای تأثیرگذار بر کربن آلی خاک بودند. Garten (۲۰۰۲) بر اساس تحقیقات خود بیان نمود خاک های دارای مقدار شن بیشتر و ذخیره کربن اولیه کمتر، کربن آلی بیشتری را جذب می کنند (۳۶). Skullberg (۱۹۹۱) با مطالعه تغییرات pH در لایه های مختلف خاک دو توده Picea و Abies به این نتیجه رسید که pH می تواند ارتباط معنی داری با کربن آلی خاک داشته باشد (۳۷). Allard و همکاران (۲۰۰۷) نیز در تحقیقات خود مشاهده کردند که افزودن کود از ته، میزان ترسیب کربن را حدود ۳۰ درصد افزایش می دهد (۳۸).

ترسیب کربن در لاشبرگ های توده سرو نقره ای بیشتر از افاقیا بود که دلیل این امر را تجمع بالای لیگنین و نسبت کم تجزیه در لاشبرگ های سرو نقره ای می توان دانست. مقدار لاشبرگی در هر توده با سطح مقطع برابر سینه (۳۹) و خصوصیات تاج ارتباط دارد

بحث

کل کربن ترسیب شده در توده های سرو نقره ای و افاقیا به ترتیب ۳۲۸/۲ و ۴۹۳/۳۵ تن در هکتار بود که نشان دهنده پتانسیل بسیار بالای جنگل کاری در جذب کربن اتمسفری و ترسیب آن در بیومس (هوایی و زیرزمینی)، خاک و لاشبرگ می باشد. محققین زیادی از جمله Redondo- Brenes (۲۰۰۷) نیز در مطالعات خود به اهمیت جنگل کاری و احیای اراضی بایر در ترسیب کربن اشاره نموده اند. ترسیب کربن در توده افاقیا بیشتر از توده سرو نقره ای بود. مقادیر تراکم، بیومس تنه، بیومس شاخه و بیومس ریشه نیز در توده افاقیا بیشتر از توده سرو نقره ای برآورد شد. این امر بیانگر رابطه ترسیب کربن با درصد پوشش، نوع گونه، مقدار تولید، مدیریت و نیز فعل و انفعالات بین اقلیم، خاک و گونه های درختی می باشد (۹). Zhou و همکاران (۲۰۰۰) نیز معتقدند که پتانسیل ترسیب کربن توده های پهن برگ بیشتر از سوزنی برگ می باشد (۲۷).

INDFUR (۲۰۰۲) معتقد است که بیش از ۵۰ درصد سهم تولید زیست توده به چوب تنه ای اختصاص دارد (۲۸). در این تحقیق نیز بیومس تنه بیشترین سهم (۶۱ درصد در توده افاقیا و ۵۶ درصد در توده سرو نقره ای) از ترسیب کربن کل را به خود اختصاص داد.

اگرچه نقش جنگل کاری بر ترسیب کربن بیومس مشخص و معلوم است، ولی تأثیر جنگل کاری بر ترسیب کربن خاک نامعلوم است و تحت تأثیر نهاده ها و ستاده های مؤثر بر این امر قرار می گیرد (۲۹). تحقیقات Zou و Bashkin (۱۹۹۷) نشان داد که جنگل کاری با اکالیپتوس در زمین های مخروطه منجر به ترسیب کربن در حدود ۲/۸ تن در هکتار و در سال در لایه ۲۵ سانتی متری خاک گردید (۳۰). Post و Kwon (۲۰۰۰) نیز تغییرات قابل توجه ای در تراکم کربن آلی خاک تحت جنگل کاری مشاهده نمودند (۳۱)، در حالی که تحقیقات Mendham و همکاران (۲۰۰۳) نشان داد جنگل کاری تأثیر قابل ملاحظه ای بر ترسیب کربن خاک ندارد (۳۲).

- Rangelands: Comparison of Pinus Ponderosa Plantations and Grazing Exclusion in NW Patagonia. *Journal of Arid Environment*. 67: 142-156.
- Gruetzow, J.M., Lin, T., Rotenberg, E., Schwartz, A., Yakir, D. 2003. Carbon sequestration in arid-land forest. *Global Change Biology* 9, 791-799.
 - Fearnside, P.M. 1999. Global warming and tropical land-use change: greenhouse gas emissions from biomass burning, decomposition and soils in forest conversion, shifting cultivation and secondary vegetation. *Climatic Change* 46, 115-158.
۴. ورامش س، حسینی س.م، عبدی ن. ۱۳۸۷. پتانسیل جنگل شهری در کاهش گازهای گلخانه‌ای و حفظ انرژی. تازه های انرژی. شماره اول. ۷۱-۷۲.
- Maestre, F.T., Cortina, J., 2004. Are Pinus halepensis plantations useful as a restoration tool in semiarid Mediterranean areas? *Forest Ecology and Management* 198, 303-317.
 - Jackson, R.B., Banner, J.L., Jobbagy, E.G., Pockman, W.T., Wall, D.H. 2002. Ecosystem carbon loss with woody plant invasion of grasslands. *Nature* 418.
 - Hua Zheng, Zhiyun Ouyang, Weihua Xu, Xiaoke Wang, Hong Miao, Xiquan Li and Yuxin Tian. 2007. Variation of carbon storage by different reforestation types in the hilly red soil region of southern China. *Management*. Volume, 20 March 2008, Pages 1113-1121.
 - 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., 2005. Forest soils and carbon sequestration. *Forest Ecology and Management* 220 242-258.
 - Nabuurs, G.J., Maser, O., Andrasko, K., Benitez-Ponce, P., Boer, R., Dutschke, M., Elsiddig, E., Ford-Robertson, J., Frumhoff, P., Karjalainen, T., Krankina, O., Kurz, W.A., Matsumoto, M., Oyantcabal, W., Ravindranath, N.H., Sanz Sanchez, M.J., Zhang, X., 2007. In: Metz, B., Davidson, O.R., Bosch, P.R., Dave, R., Meyer, L.A. (Eds.), *Forestry In Climate Change 2007. Mitigation. Contribution of Working Group*
- (۴۰). در این تحقیق نیز حجم تاج پوشش سرو نقره‌ای بیشتر از اقلایا بود.
- ریشه نیز سهم قابل توجهی از ترسیب کربن را شامل شد (۱۰/۷۱ درصد در اقلایا و ۹/۴۶ درصد در سرو نقره‌ای). با این وجود اندازه گیری بیومس ریشه‌ها کاری مخرب، وقت گیر و پرهزینه است، زیرا ریشه‌ها پراکنش بسیار متغیری در خاک دارند. به همین دلیل در بسیاری از پروژه‌ها بهترین گزینه جهت برآورد بیومس ریشه‌ها، استفاده از برازش محافظه کارانه و محتاطانه نسبت تنه به ریشه می‌باشد (۱۷).
- حدود ۲۰۷ هکتار (۲۳٪) از مساحت کل پارک جنگلی چیتگر به اقلایا و ۵۴ هکتار (۶٪) از آن به سرو نقره‌ای اختصاص دارد، با احتساب این که هر هکتار جنگل کاری با گونه‌های فوق به ترتیب ۴۸۲/۵۵، ۳۱۷/۴ تن در هکتار ترسیب کربن را نسبت به زمین بایر افزایش داده‌اند. بنابراین توده های مذکور به ترتیب باعث افزایش ترسیب کربن به مقدار ۹۹۸۷۷/۵ و ۱۷۱۳۹/۶ تن در کل مساحت پارک جنگلی چیتگر تهران شده‌اند. اگر هزینه هر تن ترسیب کربن را به طور متوسط ۲۰۰ دلار (۴۱) در نظر بگیریم، در این صورت ارزش اقتصادی حاصل از ترسیب کربن توسط توده‌های کاج تهران و زبان گنجشک به ترتیب ۲۰ و ۳/۵ میلیون دلار خواهد بود.
- #### نتیجه گیری
- در این مطالعه مشخص شد که جنگل کاری نقش مهمی در افزایش پتانسیل ترسیب کربن اکوسیستم اراضی بایر ایفا می‌کند. پتانسیل ترسیب کربن نیز در بین گونه‌های مورد بررسی متفاوت است. بنابراین با شناخت گونه‌هایی که قابلیت بیشتری برای ترسیب کربن دارند و نیز بررسی عوامل مدیریتی که بر فرآیند ترسیب کربن تأثیر گذار هستند، می‌توان اصلاح و احیاء اراضی را از منظر شاخص ترسیب کربن دنبال نمود. این امر می‌تواند یک نگرش سیستمی به اصلاح و احیاء این گونه اراضی باشد، چرا که ضمن تأمین حفاظت کمتی و کیفی شرایط خاک و افزایش تولید، می‌تواند راهکاری جهت مقابله با افزایش کربن اتمسفری و بحران تغییر اقلیم و در نهایت دستیابی به توسعه پایدار تلقی گردد.
- تعیین و به کار بردن مدیریت مناسب (انتخاب گونه درختی، فاصله کاشت کافی، عملیات پرورشی، تیمارهای مناسب جنگل کاری و مکان توده جنگل کاری شده) برای بهبود حاصل خیزی و در نتیجه ترسیب کربن و کاهش اثرات منفی تغییر اقلیم، چالش ضروری در جنگل کاری اراضی بایر می‌باشد.
- #### منابع
- Nosetto MD, Jobbagy EG, paruelo JM., 2006. Carbon Sequestration in Semi-Arid

20. Fisher, D, Agarwala, R.P, 2006. Wood Structure and Properties. Tampere, Finland. Pentti O. Kettunen Institute of Materials Science Tamtere University of Technology. 397pp .
21. Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agronomy Journal* 56, 464–465.
22. Blake, G.R. and 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. pp.363-376.
23. Bremner, J.M., Mulvaney, C.S. 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 .
24. 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, p. 1367 .
25. Redondo-Brenes, A., 2007. Growth, Carbon Sequestration and Management of Native Tree Plantation in Humid Regions of Costa Rica, Springer science + Business media B. V.
26. Fensham R.J, Guymer G.P. 2009. Carbon accumulation through ecosystem recovery. Short communication. *Environmental science & policy*. Article in press .
27. Zhou, Y.R., Yu, Z.L., Zhao, S.D., 2000. Carbon storage and budget of major Chinese forest types. *Acta Phytoecol. Sinica* 24 (5), 518–522 .
28. INDUFOR. 2002. Assessing Forest Based carbon sinks in the Kyoto protocol Forest Management and Carbon sequestration. Discussion paper 2.115p.
۲۹. ورامش س، حسینی س.م، عیدی ن. ۱۳۸۸. مقایسه میزان ترسیب کربن گونه های پهن برگ و سوزنی برگ در جنگل شهری (مطالعه موردی پارک چیتگر تهران). پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس. ۱۳۲ صفحه. PRES
30. Zou, X.M., Bashkin, M.A., 1997. Soil carbon accretion and earthworm recovery following revegetation in abandoned sugarcane fields. *Soil Biol. Biochem.* 30, 825–830.
11. Moulton, R.J., Richards, K.R., 1990. Costs of Sequestering Carbon through Tree Planting and Forest Management in the United States. USDA Forest Service, General Technical Report, Washington, DC.58 .
12. Binkley, D., Senock, R., Bird, S., Cole, T.G., 2003. Twenty years of stand development in pure and mixed stands of *Eucalyptus saligna* and nitrogen fixing *Facaltaria moluccana*. *For. Ecol. Manage.* 182, 93–102.
13. Qing-Biao WU, Xiao-Ke W, Zhi-Yun O. 2009. Soil Organic Carbon and Its Fractions across Vegetation Types: Effects of Soil Mineral Surface Area and Micro aggregates. *Pedosphere.* 19(2): 258–264.
14. Evrendilek, F., Celik, I., Kilic, S. 2004. Changes in soil organic carbon and other physical soil properties along adjacent Mediterranean forest, grassland, and cropland ecosystems in Turkey. *Journal of Arid Environments* 59 (4), 743–752.
15. Boix-Fayos, C., Calvo-Cases, A., Imeson, A.C., Soriano-Soto, M.D., 2001. Influence of soil properties on the aggregation of some Mediterranean soils and the use of aggregate size and stability as land degradation indicators. *CATENA* 44 (1), 47–67.
16. Zheng H, Ouyang Zh, Xu W, Wang X, Miao H, Li X, Tian Y. 2008. Variation of carbon storage by different reforestation types in the hilly red soil region of southern China. *Forest Ecology and Management* 255. 1113–1121.
17. 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. pp: 91.
18. Hernandez.R, koohafkan.p, Antoine .J. 2004. Assessing Carbon Stocks and modeling win-win Scenarios of carbon sequestration through land-use change. 166 pp.
19. 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.

- Sweden University of Agricultural Sciences, Department of Forest Site Research.
38. Allard V., Soussana J.F., Falcimagne R., Berbigier P., Bonnefond J.M., Ceschia E., D'hou P., Henault C., Laville P., Martin C., Pinare`s-Patino C., 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*, Vol 121: 47-58.
 39. Xu, X.N., Hirata, E., 2002. Forest floor mass and litterfall in *Pinus luchuensis* plantations with and without broad-leaved trees. *Forest Ecol. Manage.* 157, 165–173.
 40. Peichl M, Arain M.A, 2006. Above- and belowground ecosystem biomass and carbon pools in an age-sequence of temperate pine plantation forests. *Agricultural and Forest Meteorology* 140 (2006) 51–63 .
 41. Cannell, R., Dewar R. C., and Thornley, J. H. M. 1992. Carbon flux and storage in European forests. In: Teller, A, Mathy, P, Jeffers, J. N. R (Eds), *Responses of Forest ecosystems to Environmental Changes*. Elsevier. New York, pp. 256-271.
 31. Post, W.M., Kwon, K.C., 2000. Soil carbon sequestration and land use change: processes and potential. *Glob. Chang. Biol.* 6, 317–328.
 32. Mendham, D.S., O'Connel, A.M., Grove, T.S., 2003: Change in soil carbon after land clearing or afforestation in highly weathered lateritic and sandy soil of South-Western Australia. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 95, 143–156.
 33. Yang, Y.S., Chen, G.S., Guo, J.F., Lin, P., 2004. Decomposition dynamic of fine roots in a mixed forest of *Cunninghamia lanceolata* and *Tsoongiodendron odorum* in mid-subtropicals. *Ann. Forest Sci.* 61, 65–72.
 34. Dinakaran, J. Krishnayya, N. S. R., 2008: Variations in type of vegetal cover and heterogeneity of soil organic carbon in affecting sink capacity of tropical soils. 94:1144-1150.
 35. Paul EA, Clark FE., 1996. *Soil Microbiology and Biochemistry*, 2nd Edition. Academic Press, San Diego CA.243pp.
 36. Garten, Jr., Charles T. 2002. Soil carbon storage beneath recently established tree plantations in Tennessee and South Carolina, USA. *Biomass and Bioenergy*.Volume 23, Issue 2, August 2002, Pages 93-102 .
 37. Skullberg. U, 1991. Seasonal Variation of pH h₂o and pH cacl₂ in centimeter- layers of Mor Humus in a *Picea Abies* (L.) Karst stand.