



"مقاله پژوهشی"

برآورد ذخیره کربن زی توده و لاشبرگ در جنگل‌های دست کاشت در پارک جنگلی لویزان تهران

مریم محمودی^۱، الیاس رمضانی کاکرودی^۲، عباس بانج شفیعی^۳، علی صالحی^۴، مجید پاتو^۵ و امید حسین‌زاده^۶

۱- دکتری جنگلداری، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه

۲- دانشیار گروه جنگلداری، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، (نویسنده مسوول: e.ramezani@urmia.ac.ir)

۳- استاد گروه جنگلداری، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه

۴- دانشیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان

۵- استادیار، بخش تحقیقات جنگل و مرتع، ارومیه

۶- استادیار گروه جنگلداری، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۷/۴

صفحه: ۲۰۴ تا ۲۱۴

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: در این پژوهش که باهدف تعیین مناسب‌ترین درختان شهری برای ترسیب کربن انجام شد، مقدار ذخیره کربن در زی توده و لاشبرگ تیپ‌های جنگلی دست‌کاشت در پارک جنگلی لویزان تهران مقایسه شد.

مواد و روش‌ها: شش تیپ جنگل کاری ۴۰ ساله شامل کاج تهران-سرو سیمین (*Pinus eldarica-Cupressus arizonica*) (خالص سوزنی برگ)، اقاچیا-ون (*Robinia pseudoacacia-Fraxinus sp.*) (خالص پهن‌برگ) و اقاچیا-ون و سروسیمین-اقاچیا (آمیخته) بیش‌ترین مساحت در پارک جنگلی لویزان تهران انتخاب و در هر تیپ ۲۵ قطعه نمونه ۱۰۰ مترمربعی پیاده شد. در هر قطعه نمونه، ویژگی‌های کمی درختان شامل قطر برابر سینه (DBH)، ارتفاع درخت (H)، ارتفاع تنه و دو قطر عمود بر هم تاج برای تعیین زی توده و ذخیره کربن هر تیپ جنگل کاری، اندازه‌گیری شد. در هر قطعه نمونه اصلی، یک ریزقطعه نمونه یک مترمربعی برای جمع‌آوری لاشبرگ پیاده شد. چون داده‌ها براساس آزمون شاپیرو-ویلک نرمال بودند، میانگینهای متغیرهای کمی درختان و ترسیب کربن با آزمون دانکن مقایسه شد. برای درک تاثیر مهمترین متغیرهای کمی درختان در پراکنش قطعات نمونه تجزیه PCA در نرم‌افزار PC-ORD نسخه ۵ اجرا شد.

یافته‌ها: نتایج این پژوهش نشان داد که تیپ‌های سرو سیمین (۱۳۱/۳ کیلوگرم در درخت) و اقاچیا (۱۴/۱ کیلوگرم در درخت) به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین ذخیره کربن زی توده را دارند. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار کربن ذخیره‌شده در لاشبرگ به‌ترتیب مربوط به تیپ‌های کاج تهران (۱/۲ تن در هکتار) و ون (۰/۱ تن در هکتار) بود.

نتیجه‌گیری: براساس نتایج، می‌توان بیان کرد که تیپ‌های جنگل کاری مختلف توانایی متفاوتی در ذخیره کربن در زی توده و لاشبرگ دارند. به‌طور کلی، پتانسیل ذخیره کربن در سوزنی‌برگان (سرو سیمین و کاج تهران) بیشتر از پهن برگان (اقاچیا و ون) در منطقه مورد مطالعه بود.

واژه‌های کلیدی: ترسیب کربن، تغییرات آب و هوایی، جنگل شهری، گاز گلخانه‌ای

مقدمه

ترسیب مقدار زیادی کربن جو نقش مهمی را در چرخه کربن زمین دارند (۳۶).

مناطق شهری حدود دو درصد از مساحت جهان را تشکیل می‌دهند و بیش از نصف جمعیت دنیا در شهرها زندگی می‌کنند (۳۵). مناطق شهری در سرتاسر جهان در حال گسترش است (۸) و تا سال ۲۰۳۰ انتظار می‌رود ۶۰ درصد جمعیت جهان در شهرها زندگی کنند (۲۸). بنابراین، مناطق شهری منبع مهم انتشار کربن در جو هستند (۲۷). از طرف دیگر، درختان شهری خدمات بوم‌سازگانی زیادی از جمله کاهش مصرف انرژی، ترسیب و ذخیره کربن، بهبود کیفیت هوا و کاهش رواناب را فراهم می‌کنند (۲۱،۴). چندین مطالعه در شمال آمریکا، چین و استرالیا (۴۴،۲۵،۲۳،۱۹،۵،۳) و بیشتر مطالعات اخیر در آلمان و انگلستان (۳۳،۳۲،۴) نشان داده‌اند که درختان در محیط‌های شهری دی‌اکسیدکربن را در جریان فتوسنتز از جو می‌گیرند و در اندام‌های رو و زیرزمینی ذخیره می‌کنند. همچنین درختان در مناطق شهری به‌طور غیر مستقیم در مقدار کربن ورودی به جو تاثیر گذار هستند. درختان با سایه‌اندازی و پالایش آب و هوا باعث کاهش مصرف انرژی می‌شوند (۱). برآورد ترسیب کربن در درختان بستگی به نوع گونه، ویژگی‌های رشد و مرگ و میر آن‌ها دارد (۶،۱۶). تاکنون پژوهش‌های زیادی در داخل و خارج از کشور در این زمینه انجام شده است و پژوهشگران زیادی بر

بیش‌ترین نگرانی‌ها از تغییرات آب و هوا و گرمایش زمین، تولید گازهای گلخانه‌ای است. دی‌اکسیدکربن یک گاز گلخانه‌ای مهم است که تاثیر به‌سزایی در گرمایش زمین دارد. کربن با به‌دام انداختن طول موج‌های تابشی در جو باعث افزایش دمای سطح زمین می‌شود (۴۱) طبق گزارش IPCC (۲۰۰۷)، میانگین دمای سطح زمین در طول ۱۰۰ سال گذشته حدود ۰/۷۴ درجه سانتیگراد افزایش یافته است (۱۲). همچنین، براساس مدل‌های پیش‌بینی تغییرات آب و هوایی، دمای جهانی در ۷۰-۵۰ سال آینده تا چهار درجه سانتی‌گراد و CO₂ جوی از 380 ppm کنونی به بیش از ۱۰۰۰ ppm افزایش می‌یابد (۳۹). مخازن طبیعی گوناگونی مانند اقیانوس‌ها و تهنه‌شته‌های سوخت‌های فسیلی، توانایی ذخیره کربن را دارند. در بوم‌سازگان‌های خشکی، کربن در سنگ‌ها، توربزارها، جنگل‌ها و خاک زمین‌های جنگلی، علفزار و کشاورزی ترسیب می‌شود. تثبیت دی‌اکسیدکربن جو و ذخیره آن در بوم‌سازگان‌های خشکی در یک بازه زمانی طولانی مدت را ترسیب کربن گویند. گیاهان تا زمانی که زنده هستند توانایی ذخیره کربن را در زی توده‌ی خود دارند. در بوم‌سازگان خشکی بیشترین ذخیره کربن روی زمینی در زی توده در تنه‌ها، شاخه‌ها، برگ‌ها و ریشه‌های درختان انجام می‌شود (۳۴). بوم‌سازگان جنگلی با

محمودی و همکاران (۱۸) به بررسی ذخیره کربن خاک شش تیپ جنگلکاری شامل کاج تهران (*Pinus eldarica*)، سرو سیمین (*Cupressus arizonica*)، افاقیا (*Robinia pseudoacacia*)، ون (*Fraxinus sp.*) و ون-افاقیا (*R. pseudoacacia- Fraxinus sp.*) در پارک جنگلی لویزان تهران پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که ذخیره کربن خاک در تیپ کاج تهران بیش‌تر از تیپ‌های دیگر مورد مطالعه افاقیا، ون، کاج تهران، سرو سیمین، ون-افاقیا و سرو سیمین-افاقیا است.

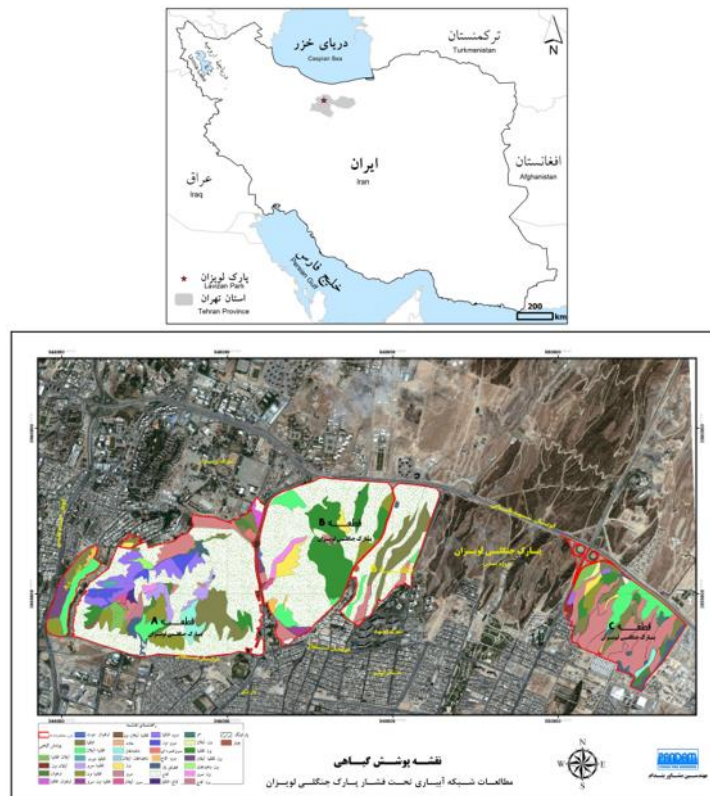
پارک جنگلی لویزان یکی از پارک‌های مهم در شرق تهران است و نقش مهمی در کاهش دی‌اکسید کربن جو ایفا می‌کند. تاکنون مطالعه‌ای در زمینه ذخیره کربن زی‌توده و لاشبرگ در جنگلکاری‌های این پارک صورت نگرفته است. بنابراین هدف از این پژوهش باهدف تعیین مناسب‌ترین درختان شهری برای ترسیب کربن انجام شد. مقدار ذخیره کربن زی‌توده و لاشبرگ در تیپ‌های کاج تهران و سرو سیمین (خالص سوزنی‌برگ)، افاقیا و ون (خالص پهن‌برگ) و ون-افاقیا و سرو سیمین-افاقیا (آمیخته) در پارک جنگلی لویزان مقایسه شد و تعیین مهم‌ترین متغیرهای کمی درختان در پراکنش قطعات نمونه در تیپ‌های کاشته شده بود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

پارک جنگلی لویزان (۱۵۹۰-۱۳۹۰ متر ارتفاع از سطح دریا؛ ۳۵°۲۰'۴۴"-۳۵°۴۶'۴۵" عرض شمالی؛ ۵۱°۲۹'-۵۱°۳۴'۱۵" طول شرقی) در سال ۱۳۴۱ احداث شد. این پارک با مساحتی در حدود ۷۶۳ هکتار در شمال شرق تهران قرار دارد (شکل ۱). براساس داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک مهرآباد، میانگین بارش سالیانه تهران ۲۳۲ میلی‌متر است. منطقه مورد مطالعه در زون ایران مرکزی قرار دارد که مهم‌ترین تشکیلات زمین‌شناسی آن شامل سازند نئوژن بوده و عموماً شامل آبرفت‌های قدیمی هستند. در پارک لویزان درختان سوزنی‌برگ سرو سیمین و کاج تهران و پهن‌برگ افاقیا و ون از بیشترین فراوانی برخوردار بوده و گونه‌های داغداغان، چنار، توت‌سفید، بید، سنجد، جوالدوز، بادام و نارون به‌صورت انفرادی یا لکه‌ای کاشته شده‌اند (۱۸).

نقش جنگل‌کاری در ذخیره کربن تأکید کرده‌اند. در پژوهشی که با هدف مقایسه میزان ذخیره کربن و نیتروژن در خاک کاربری‌های جنگل دست‌کاشت، جنگل طبیعی و اراضی کشاورزی آبخیز دشت ارژن در استان فارس انجام شد نتایج این پژوهش نشان داد که که تبدیل اراضی جنگل طبیعی به اراضی کشاورزی باعث کاهش ۷۹/۶۳ درصدی میزان ذخیره کربن در خاک می‌شود (۴۲). روستا و همکاران (۲۶) به بررسی تأثیر نوع پوشش گیاهی (جنگل دست کاشت اکاسیا (*Acacia salicina* Lindl.)، جنگل دست کاشت اکالیپتوس (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.)، مرتع دست کاشت آتریپلکس (*Atriplex lentiformis* (Torr.) (Wats.)) و مرتع طبیعی) و ویژگی‌های شیمیایی خاک بر مقدار کربن آلی در خاک عرصه‌های پخش سیلاب ایستگاه کوثر پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که در مقایسه با سایر پوشش‌های گیاهی جنگل‌کاری با اکالیپتوس به علت تاج پوشش بزرگتر، دارای ذخیره کربن بیشتری در خاک بود. نتایج پژوهشی که در پارک جنگلی چیتگر تهران، با هدف برآورد ارزش پولی ترسیب کربن اندام هوایی گونه‌های کاشته شده (افاقیا، توت، کاج تهران، زبان گنجشک و سرو سیمین) در پارک جنگلی چیتگر، نشان داد که بیشترین کربن ترسیب شده به گونه‌های کاج تهران و سرو سیمین اختصاص داشت و ارزش اقتصادی کربن ترسیب شده در پارک برابر ۱۷۱۴/۴۴ یورو در هکتار برآورد شد (۳۱). لیوا و لی (۱۷) به بررسی ذخیره و ترسیب کربن جنگل‌های شهری در شهر صنعتی Shenyang در شمال شرق چین پرداختند. ذخیره و ترسیب کربن به وسیله معادلات زی‌توده با استفاده از داده‌های میدانی و تصاویر ماهواره‌ای با وضوح بالا تخمین زده شد. این پژوهش نشان داد که ذخیره‌سازی و ترسیب کربن در انواع جنگل شهری با ترکیب گونه‌ای و ساختار سنی مختلف، متفاوت است. سوریاوانشی و همکاران (۳۴) در بررسی پتانسیل ترسیب کربن گونه‌های مختلف در پردیس دانشگاه ماهاراشترا در شهر جالگان در هند با استفاده از معادلات آلومتریک به این نتیجه رسیدند که گونه *Moringa oleifera* بیش‌ترین و گونه *Eucalyptus citriodora* کم‌ترین ترسیب کربن را داشتند. نریمانی و همکاران (۲۲) در ارزیابی توان ترسیب کربن سرو سیمین (سرو نقره‌ای) و کاج تهران در جنگل‌کاری‌های ذوب آهن اصفهان به این نتیجه رسیدند که ترسیب کربن در سرو نقره‌ای به‌طور معنی‌داری بیشتر از کاج تهران است (۲۳).



شکل ۱- موقعیت پارک جنگلی لویزان
Figure 1. Location of Lavizan Forest Park

روش نمونه برداری از درختان
پس از بازدید مقدماتی از منطقه مورد مطالعه و با توجه به مساحت تیپ های جنگل کاری شده، شش تیپ با بیشترین مساحت انتخاب شد. در جدول ۱ نام تیپ های، مساحت هر تیپ، ابعاد شبکه و تعداد قطعات نمونه مشخص شده است. در هر یک از این تیپ ها، قطعات نمونه ۱۰۰ مترمربعی (۱۰×۱۰ متر) پیاده شد. ملاک انتخاب این مساحت، فاصله کاشت درختان

۳×۳ (متر) و قرار گرفتن حداقل ۱۰ تا ۱۲ اصله درخت در هر قطعه نمونه بود (۴۵). در هر قطعه نمونه، مشخصات کمی تمام درختان شامل قطر برابر سینه (DBH) (با استفاده از کالیپر)، ارتفاع کل درخت (H) و ارتفاع تنه (با استفاده از شیب سنج سونتو)، دو قطر عمود بر هم تاج (با استفاده از متر نواری) در هر قطعه نمونه اندازه گیری و ثبت شد (۲۰، ۱۸).

جدول ۱- تیپ های جنگلکاری، مساحت، ابعاد شبکه و تعداد قطعات نمونه

تعداد قطعات نمونه	ابعاد شبکه (meter)	مساحت (ha)	تیپ های کاشته شده
۲۵	۲۰۰×۲۰۰	۳۱۴/۶	کاج تهران (<i>Pinus eldarica</i> Medw.)
۲۵	۲۰۰×۱۰۰	۱۰۲	سرو سیمین (<i>Cupressus arizonica</i> Green.)
۲۵	۲۰۰×۱۰۰	۷۰/۷	اقاقیا (<i>Robinia pseudoacacia</i> L.)
۲۵	۵۰×۱۰۰	۲۲/۱	ون (<i>Fraxinus</i> sp.)
۲۵	۱۰۰×۱۰۰	۲۸/۸	ون - اقا قیا (<i>R. pseudoacacia</i> - <i>Fraxinus</i> sp.)
۲۵	۱۰۰×۱۰۰	۳۵/۹	سرو سیمین - اقا قیا (<i>R. pseudoacacia</i> - <i>C. arizonica</i>)

نمونه برداری از لاشبرگ

در هر یک از قطعه نمونه های اصلی (۱۰۰ مترمربعی) یک قطعه نمونه کوچک (میکرو قطعه نمونه) به ابعاد ۱×۱ متر جهت نمونه برداری لاشبرگ استفاده شد. تمام لاشبرگ های سطح خاک در داخل هر ریزقطعه نمونه در فصل پاییز برداشت شده و در داخل کیسه های پلاستیکی به آزمایشگاه منتقل و توزین شد (۱۹).

نمونه برداری از چوب

در این پژوهش برای اندازه گیری دانسیته چوب (WD)، سه درخت از هر گونه به صورت تصادفی انتخاب و سپس بریده شد و دیسکی به ضخامت پنج سانتی متر از ارتفاع برابر سینه درختان تهیه شد. نمونه ها کدگذاری و دیسک های بریده شده به آزمایشگاه منتقل شد.

روش آزمایشگاهی

تعیین دانسیته چوب

دانسیته خشک نمونه‌های چوب طبق استاندارد شماره ۴۹۳۳-۹۱ ASTM در آزمایشگاه دانشکده منابع طبیعی دانشگاه ارومیه اندازه‌گیری شد. دیسک‌های کدگذاری شده به چهار قطعه مکعبی شکل به ابعاد $2 \times 2 \times 2$ سانتی‌متر و در چهار جهت جغرافیایی بریده شد. وزن‌تر نمونه‌ها به وسیله ترازوی دیجیتالی با دقت 0.1 گرم و ابعاد آن‌ها با کمک کولیس (دقت 0.1 میلی‌متر) اندازه‌گیری شد. همه قطعات اندازه‌گیری شده در داخل آون در دمای 105 درجه سانتی‌گراد به مدت 24 ساعت قرار گرفت. هر روز وزن نمونه‌های کدگذاری شده تا زمان ثابت شدن وزن آن‌ها، اندازه‌گیری و پس از ثابت شدن وزن نمونه‌های چوب، ابعاد قطعات چوب دوباره با کولیس اندازه‌گیری شد. سپس با استفاده از رابطه ۱، دانسیته قطعات چوب محاسبه شد و میانگین دانسیته خشک چوب در هر گونه به دست آمد.

$$\text{رابطه (۱)} \quad WD = \frac{m}{V}$$

که در آن WD: دانسیته خشک چوب، m: وزن خشک نمونه‌های چوب و V: حجم خشک نمونه‌های چوب است.

تعیین کربن آلی لاشبرگ

در این پژوهش، برای تعیین موجودی کربن لاشبرگ، ضریب کربن به‌طور مستقیم و با روش احتراق در کوره محاسبه شد. نمونه‌ها (لاشبرگ‌های جمع‌آوری شده از قطعه نمونه) در داخل بوتله‌های چینی که از قبل وزن شده بود، درون کوره الکتریکی در دمای 400 درجه سانتی‌گراد به مدت چهار ساعت

جدول ۲- معادلات مورد استفاده برای تخمین حجم تاج درختان

Table 2. Equations used for the estimation of tree crown.

گونه‌ها (Species)	معادله (Equation)
کاج تهران و سروسیمین	$V (m^3) = \frac{\pi \times Hc \times Db^2}{12}$
زبان گنجشک و افاقیا	$V (m^3) = \frac{\pi \times Db^2}{12}$

$\pi = 3.14$ $Db = \frac{L+W}{2}$ W و L: قطر بزرگ و کوچک تاج (متر)، Hc: ارتفاع تنه (متر)

تجزیه مؤلفه اصلی

عوامل و متغیرهای متعددی در پراکنش قطعات نمونه تیپ‌های مختلف تاثیر دارند. اما روشن است که نقش این عوامل و تاثیر آن‌ها یکسان نخواهد بود. یکی از روش‌های مناسب برای تعیین این عوامل اصلی استفاده از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) است. تجزیه مؤلفه‌های اصلی یکی از معمول‌ترین تجزیه‌های چند متغیره است که اولین بار توسط پیرسون در سال ۱۹۰۱ ارائه شد (۳۵). در این روش، ماتریس تشابهات به مجموعه‌ای از محورها یا مؤلفه‌های عمود بر هم تبدیل می‌شود. در حقیقت هدف اصلی این روش کاهش تعداد زیاد متغیرهای همبسته، به یک یا چند متغیر غیرهمبسته است که همان محورها یا مؤلفه‌های عمود بر هم هستند (۳۵). بدین منظور برای دستیابی به تاثیر مهمترین متغیرهای، شش متغیر کمی درختان (قطر برابر سینه، ارتفاع درخت، قطر تاج، زی توده تنه، زی توده تاج، کربن ترسیب شده) در شش تیپ جنگل کاری شده به‌عنوان متغیرهای توصیف کننده قطعات نمونه وارد تجزیه PCA شدند. این تحلیل در نرم افزار PC-Ord نسخه ۵ انجام

برآورد زی توده زیرزمینی (Belowground Biomass)

برای برآورد زی توده زیرزمینی (ریشه‌ها)، بسته به سوزنی برگ یا پهن برگ بودن، از یکی از روابط زیر (روابط ۵ و ۶) استفاده شد (۱۰).

$$\text{BGB} = \text{AGB} \times 0.25 \quad \text{برای سوزنی‌برگان رابطه (۵)}$$

$$\text{BGB} = \text{AGB} \times 0.3 \quad \text{برای پهن‌برگان رابطه (۶)}$$

BGB: زی توده زیرزمین و AGB: زی توده بالای زمین است.

برآورد زی توده کل درختان

زی توده کل گیاه از مجموع زی توده رو و زیرزمینی محاسبه شد.

تعیین موجودی کربن آلی در زی توده

موجودی کربن آلی در زی توده از حاصل ضرب کل زی توده با ضریبی که نشان دهنده محتوای متوسط کربن در زی توده است (رابطه ۷) به دست آمد. این ضریب تبدیل معمولاً 0.55 در نظر گرفته می‌شود (۱۰).

$$\text{رابطه (۷)} \quad C = 0.55 \times \text{biomass (total)}$$

زیرزمین، زی توده کل و کربن ترسیب شده) و مقایسه های چند گانه میانگین های مشخصات کمی درختان و کربن ترسیب شده در لاشبرگ در تیپ های مختلف جنگل کاری شده به ترتیب از آزمون تجزیه واریانس (ANOVA) و دانکن (Duncan) استفاده شد. تجزیه های آماری در نرم افزار SPSS نسخه ۲۱ اجرا شد.

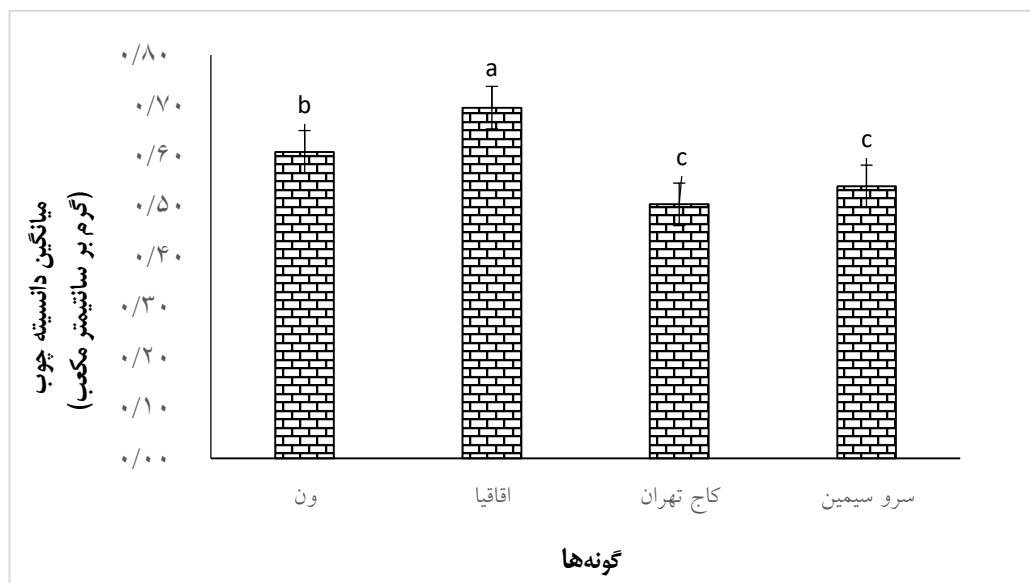
شد. برای تجزیه و تحلیل و محاسبات آماری، ابتدا نرمال بودن داده ها با استفاده از آزمون شاپیرو ویلک (Shapiro-Wilk) و همگنی آنها با آزمون لون (LEVENE) بررسی شد. برای مقایسه کلی مشخصات کمی درختان (قطر برابر سینه، ارتفاع، سطح مقطع برابر سینه، حجم تنه، قطر تاج، حجم تاج، زی توده تنه، زی توده تاج، زی توده روی زمین، زی توده

جدول ۳- مقایسه میانگین های مشخصه های اندازه گیری شده در تیپ های مختلف در پارک جنگلی لویزان

Table 3. Comparison of means of characteristics measured in different types in Lavizan Forest Park

sig	F	ون میانگین	سرو سیمین میانگین	کاج تهران میانگین	ون-آقاقیا میانگین	سرو سیمین-آقاقیا میانگین	آقاقیا میانگین	
/.000	۱۸۵/۷۵	۱۱/۱۶±۰/۲۵ ^c	۱۴/۷۹±۰/۳۲ ^b	۱۸/۰۷±۰/۳۵ ^a	۱۰/۶۷±۰/۲۶ ^c	۱۱/۲۱±۰/۳۴ ^c	۶/۳±۰/۱ ^d	قطر برابر سینه (cm)
/.000	۳۴۳/۵۸	۳/۴۹±۰/۰۶ ^d	۶/۷±۰/۱۳ ^b	۸/۳۴±۰/۱۶ ^a	۳/۵۹±۰/۰۷ ^d	۵/۳۰±۰/۱۷ ^c	۲/۴۹±۰/۰۴ ^e	ارتفاع (متر)
/.000	۱۴۳/۴۹	۰/۰۱±۰/۰۰۰۴ ^c	۰/۰۱۹±۰/۰۰۰۸ ^b	۰/۰۲۸±۰/۰۰۱۱ ^a	۰/۰۱۰±۰/۰۰۰۵ ^c	۰/۰۱۲±۰/۰۰۰۷ ^c	۰/۰۰۳±۰/۰۰۰۱ ^d	سطح مقطع (m ²)
/.000	۱۲۵/۹۹	۰/۰۲۳±۰/۰۰۰۱ ^d	۰/۰۸۴±۰/۰۰۰۵ ^b	۰/۱۴۸±۰/۰۰۰۸ ^a	۰/۰۲۴±۰/۰۰۰۱ ^d	۰/۰۴۹±۰/۰۰۰۴ ^c	۰/۰۰۴±۰/۰۰۰۳ ^e	حجم تنه (m ³)
/.000	۱۴۹/۹۵	۲/۰۴±۰/۰۳۳ ^d	۳/۳۲±۰/۰۶۳ ^a	۲/۷۱±۰/۰۵۱ ^b	۲/۰۸±۰/۰۰۳۳ ^d	۲/۴۴±۰/۰۷۱ ^c	۱/۵۵±۰/۰۲۷ ^e	قطر تاج (meter)
/.000	۳۸/۰۱	۰/۰۶۸±۰/۰۰۴ ^c	۰/۵۳۹±۰/۰۰۶۹ ^a	۰/۲۰۵±۰/۰۰۱۵ ^b	۰/۰۷۴±۰/۰۰۰۳ ^c	۰/۱۵۸±۰/۰۰۰۲ ^b	۰/۰۴۷±۰/۰۰۰۲ ^e	حجم تاج (m ³)
/.000	۱۱۲/۱۸	۱۴/۱۳±۰/۷۵ ^d	۴۵/۵۱±۲/۹۳ ^b	۷۴/۷۳±۴/۴۵ ^a	۱۵/۵۳±۱/۰۸ ^d	۳۷/۸۵±۲/۵۱ ^c	۳/۳۹±۰/۲۱ ^e	زی توده تنه (kg)
/.000	۳۶/۱۴	۲۰/۸۸±۱/۳۰ ^{cd}	۱۴۵/۵۴±۱۸/۶۹ ^a	۵۱/۷۸±۴/۰۰۴ ^b	۲۳/۹۳±۱/۲۳ ^{cd}	۴۴/۳۳±۵/۳۹ ^{bc}	۱۶/۴۱±۱/۰۰۱ ^d	زی توده تاج (kg)
/.000	۵۰/۴۲	۳۵/۰۱±۱/۷۸ ^d	۱۹۱/۰۵±۲۰/۴۳ ^a	۱۲۶/۵۱±۷/۰۰۲ ^b	۳۹/۴۶±۷/۰۰۶ ^d	۷۲/۱۸±۷/۲۶ ^d	۱۹/۸۱±۱/۱۴ ^d	زی توده بالای زمین (kg)
/.000	۴۵/۹۷	۱۰/۵۰±۰/۵۳ ^d	۴۷/۷۶±۵/۱۰ ^a	۳۱/۶۲±۱/۷۵ ^b	۱۱/۸۴±۰/۰۰۶ ^d	۱۸/۵۶±۱/۸۰ ^c	۵/۹۴±۰/۳۴ ^d	زی توده زیر زمین (kg)
/.000	۴۹/۵۱	۴۵/۵۲±۲/۳۳ ^d	۲۳۸/۸۲±۲۵/۵ ^a	۱۵۸/۱۴±۸/۷۸ ^b	۵۱/۳۰±۲/۶۰ ^d	۹۰/۷۵±۹/۰۰۷ ^c	۲۵/۷۵±۱/۴۹ ^d	زی توده کل (kg)
/.000	۴۹/۵۱	۲۵/۰۳±۱/۲۷ ^d	۱۳۱/۳۵±۱۴/۰۴ ^a	۸۶/۹۸±۴/۸۳ ^b	۲۸/۲۱±۱/۴۳ ^d	۴۹/۹۱±۴/۹۸ ^c	۱۴/۱۶±۰/۸۲ ^d	کربن ذخیره شده (kg)

حروف متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی دار بین میانگین ها در سطح ۰/۰۵ است.



شکل ۲- دانسیته چوب در گونه های کاشته شده در پارک جنگلی لویزان تهران
Figure 2. Wood density in species planted in Lavizan Forest Park, Tehran

ذخیره کربن زی توده

میانگین و اشتباه معیار مشخصه های کمی درختان در تیپ های مورد مطالعه (جدول ۳) نشان داد که شش تیپ مورد بررسی در بسیاری از ویژگی های کمی اندازه گیری شده تفاوت معنی داری دارند. براساس نتایج مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون دانکن (جدول ۳) مشخص شد که قطر برابر سینه، ارتفاع،

نتایج و بحث

دانسیته خشک چوب

در شکل ۲ دانسیته چوب هریک از گونه ها نشان داده شده است. آقاقیا و کاج تهران به ترتیب دارای بیشترین و کمترین دانسیته چوب بودند.

ذخیره کربن لاشبرگ

براساس جدول ۴، بیش‌ترین ذخیره کربن مربوط به تیپ کاج تهران (۱/۲ تن در هکتار) بود و اختلاف معنی‌داری با دیگر تیپ‌ها داشت. میانگین ذخیره کربن در تیپ‌های آمیخته در تیپ سرو سیمین-ااقاقیا (۰/۸ تن در هکتار) به‌طور معنی‌دار بیش‌تر از تیپ ون-ااقاقیا (۰/۳ تن در هکتار) بود. بیش‌ترین ذخیره کربن در بین تیپ‌های پهن‌برگ، در تیپ ااقاقیا (۰/۳ تن در هکتار) دیده شد اما با تیپ ون (۰/۱ تن در هکتار) تفاوت معنی‌داری را نشان نداد.

سطح مقطع برابر سینه، حجم تنه و زی‌توده تنه در تیپ کاج تهران و قطر، حجم و زی‌توده تاج، زی‌توده روی زمین، زی‌توده زیرزمین، زی‌توده کل و کربن ذخیره‌شده در تیپ سرو سیمین به‌طور معنی‌دار بیشتر از تیپ‌های دیگر بود. در بین تیپ‌های سوزنی‌برگ و آمیخته، مقدار ذخیره کربن به‌ترتیب در تیپ سروسیمین و تیپ آمیخته سرو سیمین-ااقاقیا به‌طور معنی‌دار بیشتر از تیپ کاج تهران و تیپ ون-ااقاقیا بود و مقایسه ذخیره کربن در تیپ‌های پهن‌برگ نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین تیپ‌های ون و ااقاقیا وجود ندارد.

جدول ۴- میانگین و اشتباه معیار ترسیب کربن در لاشبرگ تیپ‌های مختلف در پارک جنگلی لویزان
Table 4. Mean and standard error of carbon sequestration in litter of different types in Lavizan Forest Park

معنی‌داری	F	ون	سرو سیمین	کاج تهران	ون-ااقاقیا	سرو سیمین-ااقاقیا	ااقاقیا	ترسیب کربن لاشبرگ (ton/ha)
۰/۰۰	۲۱/۷۱	۰/۱۵±۰/۰۲ ^c	۱/۲۴±۰/۱۴ ^a	۱/۲۶±۰/۱۸ ^a	۰/۳۷±۰/۰۳ ^c	۰/۸۵±۰/۰۹ ^b	۰/۳۴±۰/۰۴ ^c	

حروف کوچک متفاوت نشان دهنده‌ی اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ بین میانگین‌ها در تیپ‌های جنگلی مورد بررسی است.

درختان با استفاده از تحلیل PCA نشان داده شده است. قطعات نمونه تیپ سرو سیمین در سمت منفی محور اول قرار گرفته و با ترسیب کربن و زی‌توده تاج در ارتباط است و قطعات نمونه تیپ کاج در سمت پایین محور دوم و در ارتباط با قطر برابر سینه قرار گرفتند. قطعات نمونه تیپ‌ها دیگر در مرکز و سمت مثبت محور اول واقع شدند.

تجزیه مؤلفه اصلی برای متغیرهای کمی درختان

مطابق با تجزیه مؤلفه اصلی (جدول ۵)، محورهای اول و دوم حدود ۹۰ درصد از تغییرات را تبیین نمودند. با توجه به نتایج این تجزیه (جدول ۵)، کربن ترسیب‌شده و قطر برابر سینه در محور اول و زی‌توده تاج در محور دوم دارای ارزش ویژه بیشتری بودند. در شکل ۳ موقعیت مکانی قطعات نمونه تیپ‌های جنگل‌کاری‌شده و ارتباط آن با متغیرهای کمی

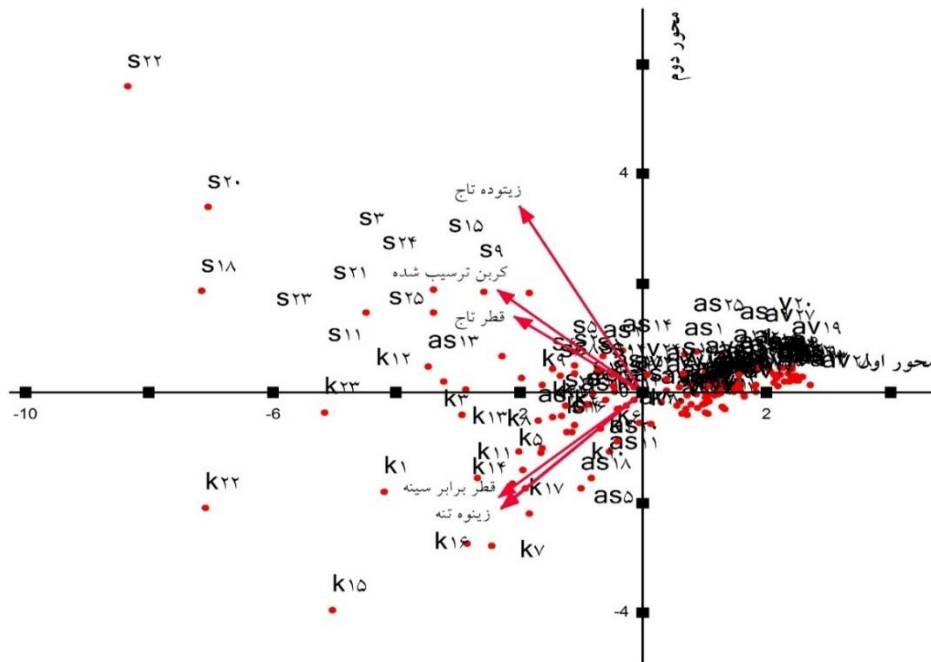
جدول ۵- تغییرات (واریانس) استخراج‌شده برای شش محور اول

Table 5. Extracted changes (variance) for the first six axes

محورها	مقدار ویژه	درصد واریانس	واریانس تجمعی
۱	۴/۵۱	۷۵/۳۲	۷۵/۳۲
۲	۰/۹۲	۱۵/۴۲	۹۰/۷۵
۳	۰/۳۸	۶/۴۳	۹۷/۱۸
۴	۰/۱۰	۱/۶۵	۹۸/۸۴
۵	۰/۰۹	۱/۱۵	۱۰۰
۶	۰/۰۰	۰۰	۱۰۰

جدول ۶- همبستگی بین متغیرهای کمی درختان با محورهای PCA
Table 6. Correlation between quantitative variables of trees with PCA axes

متغیرها	محور اول	محور دوم
قطر برابر سینه	-۰/۹۰۸۲	-۰/۳۳۸۴
ارتفاع	-۰/۸۹۲۴	-۰/۳۷۰۷
قطر تاج	-۰/۸۱۰۱	۰/۲۴۶۵
زی‌توده تنه	-۰/۸۸۹۳	-۰/۳۷۵۴
زی‌توده تاج	-۰/۷۷۶۴	۰/۶۰۲۰
کربن ترسیب‌شده	-۰/۹۲۱۱	۰/۳۳۱۰



شکل ۳- توزیع مکانی قطعات نمونه تیپ های جنگل کاری شده (k: قطعات نمونه تیپ کاج تهران، s: قطعات نمونه تیپ سرو سیمین، a: قطعات نمونه افاقیا، v: قطعات نمونه ون، as: قطعات نمونه افاقیا- سرو سیمین، av: قطعات نمونه افاقیا-ون) در ارتباط با متغیرها کمی درختان
Figure 3. Spatial distribution of sample plots of afforested types (k: Sample plots of *Pinus eldarica*, s: Sample plots of *Cupressus arizonica*, a: sample plots of *Robinia pseudoacacia*, v: sample plots of *Fraxinus* sp., as: sample plots of *R. pseudoacacia*- *C. arizonica*, av: sample plots of *R. pseudoacacia*- *C. arizonica*) in relation to quantitative variables of trees

ذخیره کربن در زی توده

به طور میانگین تیپ های سرو سیمین (۱۳۱/۳) کیلوگرم در درخت، کاج تهران (۸۶/۹) کیلوگرم در درخت، سرو سیمین-اقاقیا (۴۹/۹) کیلوگرم در درخت، ون-اقاقیا (۲۸/۲) کیلوگرم در درخت، ون (۲۵) کیلوگرم در درخت و افاقیا (۱۴/۱) کیلوگرم در درخت) کربن در زیتوده خود ذخیره می کنند و این نشان دهنده توان بالای جنگل های شهری در جذب و ترسیب کربن است (۲۴،۷). نوک و همکاران (۲۴) نیز در بررسی خود به این نتیجه رسیدند که کربن ذخیره و ترسیب شده در شهرها عموماً با افزایش پوشش درختی شهری افزایش می یابد.

یافته های این پژوهش نشان داد که میانگین ذخیره کربن در جنگل کاری های خالص سرو سیمین و کاج تهران بیش تر از تیپ های خالص افاقیا و ون است (جدول ۳). با توجه به اینکه اغلب گونه های سوزنی برگ نسبت به گونه های پهن برگ تندرست ترند (۲۴) و همچنین به دلیل تاب آوری بیشتر در شرایط سخت رویشگاهی به ویژه خشکی (۱۵)، به نظر می رسد که گونه های سوزنی برگ پارک در برابر آب و هوای خشک منطقه و آبیاری نامنظم، مقاومت بیشتری داشته و کمتر دچار کاهش رشد شده اند. در نتیجه میانگین متغیرهای کمی درختان، مانند قطر و ارتفاع، در سوزنی برگان بیش تر از پهن برگان بود و این باعث افزایش میانگین زی توده کل و کربن ذخیره شده در سوزنی برگان شد. حسینی و همکاران (۱۱) در بررسی مقدار ترسیب کربن در گونه های پهن برگ و سوزنی برگ در نهالستان مبارکه

اصفهان به این نتیجه رسیدند که گونه های سوزنی برگ کاج تهران (*Pinus eldarica*) و سرو سیمین (*Cupressus arizonica*) از توان انباشت زی توده و ترسیب کربن بیش تری نسبت به گونه های پهن برگ توت (*Morus alba*) و افاقیا (*Robinia pseudoacacia*) برخوردارند. نتایج پژوهشی دیگر، که با هدف بررسی ویژگی های کمی و کیفی درختان در پارک پردیسان انجام شد (۱۵)، نشان داد که گونه های سوزنی برگ (کاج تهران و سرو سیمین) دارای بیش ترین رویش قطری و ارتفاعی بوده و گونه افاقیا کم ترین رویش را داشته است. ذبیح الهی (۴۳) نیز در بررسی وضعیت پایداری جنگل کاری های پارک جنگلی چیتگر به این نتیجه رسید که تمامی مشخصات اندازه گیری شده از جمله قطر برابر سینه، ارتفاع درخت، ارتفاع تاج و دو قطر بزرگ و کوچک تاج در توده های سوزنی برگ به طور معنی داری بیشتر از توده های پهن برگ است.

نتایج پژوهش پیش رو نشان داد که ذخیره کربن در بین تیپ های خالص سوزنی برگ در تیپ سرو سیمین به طور معنی دار بیش تر از کاج تهران است. در این پژوهش (جدول ۳) مشخصه های کمی قطر برابر سینه، ارتفاع، سطح مقطع، حجم تنه و زی توده تنه در تیپ کاج تهران بیش تر از تیپ های دیگر بود، ولی متغیرهای کمی قطر تاج، حجم تاج، زی توده تاج، زی توده بالای زمین و زی توده زیرزمین و زی توده کل در تیپ سرو سیمین بیش تر بود. به دلیل زی توده کل بیشتر در تیپ سرو سیمین، ذخیره کربن در این تیپ بیش تر از تیپ های دیگر بوده

مقدار ترسیب کربن در لاشبرگ توده سرو سیمین بیش‌تر از توده اقااقیا است، همخوانی دارد.

در بین تیپ‌های خالص پهن‌برگ اقااقیا و ون، مقدار ذخیره کربن در تیپ اقااقیا بیشتر از تیپ ون بود، ولی تفاوت در مقدار ذخیره کربن معنی‌داری نبود. در پژوهشی دیگر با هدف مقایسه مقدار ترسیب کربن در لاشبرگ توده‌های اقااقیا و ون در پارک چیتگر، به این نتیجه دست یافتند که مقدار ذخیره کربن در توده اقااقیا بیشتر از توده ون بود (۳۷).

نتایج پژوهش پیش‌رو همچنین نشان داد که میانگین ذخیره کربن لاشبرگ در تیپ آمیخته سرو سیمین-ااقاقیا به طور معنی‌داری بیش‌تر از تیپ ون-ااقاقیا است (جدول ۴). در تیپ آمیخته سرو سیمین-ااقاقیا، وجود گونه سرو سیمین باعث افزایش مقدار زی‌توده در این تیپ شده که افزایش مقدار لاشبرگ را در پی داشته است. زمانی که لاشبرگ‌های آمیخته از چندین گونه درختی در هم می‌آمیزند، الگوهای پیچیده‌ای از دست دادن وزن، پویایی عناصر غذایی و جوامع تجزیه‌کننده شکل می‌گیرد؛ به‌طوری که فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی به‌صورت جداگانه و یا در ارتباط با هم می‌توانند برهم کنش‌های موجود در لاشبرگ گونه‌های متفاوت را در طول فرایند تجزیه هدایت کرده و فعالیت تجزیه‌کنندگان و ترکیب عناصر غذایی درونی درختان را تحت تأثیر قرار دهند (۱۱).

تجزیه مؤلفه اصلی

قطعات نمونه تیپ کاج دارای بیشترین قطر برابر سینه و قطعات نمونه تیپ سرو سیمین دارای بیشترین زی‌توده تاج و ترسیب کربن هستند. عدم سازگاری گونه‌های پهن برگ با شرایط آب و هوایی، خاک و پرپود آبیاری باعث شده نسبت به گونه‌های سوزنی‌برگ از زی‌توده تاجی و قطر برابر سینه کمتری در پارک برخوردار باشند. با افزایش رشد قطری و تاجی درختان و در پی آن افزایش لاشبرگ، که منبع اصلی مواد آلی است، سبب افزایش توانایی درختان در نگهداشت و در نهایت بازگشت عناصر به خاک می‌شود. با افزایش حاصلخیزی خاک، مقدار زی‌توده درختان و در نتیجه ذخیره کربن زی‌توده افزایش پیدا می‌کند.

نتیجه‌گیری کلی

امروزه تغییرات آب و هوایی، یکی از مهم‌ترین مسائل اقتصادی، محیط زیستی و امنیتی جهان است. مناطق شهری با گسترش روزافزون، یکی از منابع اصلی تولیدکننده دی‌اکسید کربن در جو هستند. یکی از مهم‌ترین منابع جهت ترسیب کربن جو در شهرها، درختان شهری هستند. جنگل‌های شهری با حذف دی‌اکسید کربن جو، نقش مهمی در بهبود آب و هوا دارند. این پژوهش موردی، کمی‌سازی ترسیب و ذخیره کربن را به‌وسیله جنگل شهری در تهران فراهم کرد. نتایج این پژوهش نشان داد که جنگل‌کاری تأثیری شگرف بر ذخیره کربن دارد. از طرف دیگر، آمیختگی گونه‌ها و تیپ جنگل‌کاری بر مقدار ذخیره کربن بسیار موثر است. هر چه نیروی تولید زی‌توده‌های و زیرزمینی در گونه‌ها بیش‌تر باشد، ذخیره کربن در پیکره درختان و لاشبرگ نیز بیش‌تر می‌شود. نتایج این پژوهش نشان داد که در بین گونه‌های مورد بررسی، سوزنی

است. نریمانی و همکاران (۲۲) نیز در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که ترسیب کربن در توده سرو سیمین بیش‌تر از کاج تهران است و علت آن را بیشتر بودن وزن‌تر اندام‌های سرو سیمین نسبت به کاج تهران دانستند. در بررسی صفات کمی و کیفی درختان پارک جنگلی شوراب خرم‌آباد، خسروی و همکاران (۱۴) به این نتیجه دست یافتند که قطر برابر سینه، ارتفاع کل و سطح مقطع برابر سینه در کاج بروسیا (*Pinus brutia*) بیش‌تر از گونه‌های سرو سیمین، اقااقیا و ون (*Fraxinus rotundifolia*) بود، ولی حجم تاج پوشش در گونه سرو سیمین بیش‌تر از گونه‌های دیگر بود. علت این یافته را نیاز آبی کم کاج بروسیا و سازگاری این گونه با شرایط آب‌وهوایی مدیترانه‌ای دانستند. حسینی و همکاران (۱۱) در بررسی مقدار ذخیره کربن در زی‌توده روی و زیر زمینی در چهار گونه درختی توت (*Morus alba*)، اقااقیا (*Robinia pseudoacacia*)، کاج تهران (*Pinus eldarica*) و سروسیمین (*Cupressus arizonica*) در نهستان مبارکه اصفهان به این نتیجه دست یافتند که قطر برابر سینه و قطر تاج در کاج تهران بیش‌تر از گونه‌های دیگر مورد مطالعه بود در نتیجه زی‌توده کل و مقدار ترسیب کربن در کاج تهران بیش‌تر از گونه‌های توت، اقااقیا و سروسیمین بود.

نتایج پژوهش حاضر همچنین نشان داد که مقدار ذخیره کربن در تیپ آمیخته سرو سیمین-ااقاقیا بیش‌تر از تیپ ون-ااقاقیا بود (جدول ۳). در توده سرو سیمین-ااقاقیا، هوموس تولیدشده توسط درختان پهن‌برگ، باعث تقویت خاک می‌شود و از این طریق به رشد بیش‌تر و بهتر درختان سوزنی‌برگ کمک می‌کند (۱۳). از طرف دیگر، در این توده مقاوم بودن سرو سیمین به شرایط خشکی و کم آبی، تولید زی‌توده و در نتیجه ترسیب کربن را نسبت به توده ون-ااقاقیا افزایش می‌دهد.

مقدار ذخیره کربن در بین تیپ‌های خالص پهن‌برگ (ون و اقااقیا)، اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۳). خسروی و همکاران (۱۴) نیز در مطالعه خود در پارک جنگلی شوراب خرم‌آباد به این نتیجه رسیدند که گونه ون از نظر شاخص‌های کمی و کیفی با گونه اقااقیا اختلاف معنی‌داری ندارند.

ذخیره کربن در لاشبرگ

لاشبرگ گونه‌های گیاهی، مواد شیمیایی منحصر به فردی دارد و خواص فیزیکی و شیمیایی و زیستی خاک به‌شدت تحت تأثیر خواص لاشبرگ قرار می‌گیرد. نقش پوشش گیاهی در پایداری ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و حاصل‌خیزی خاک چشمگیر است (۲۹). تأثیر پوشش گیاهی و لاشبرگ بر ذخیره کربن در این پژوهش نشان داده شد؛ چنانکه، میانگین ذخیره کربن لاشبرگ در تیپ‌های خالص کاج تهران و سرو سیمین به‌طور معنی‌دار بیش‌تر از تیپ‌های دیگر بود (جدول ۴). بیشتر بودن پوشش درختی (زی‌توده رو و زیرزمین) در این تیپ‌ها باعث افزایش لاشبرگ در مقایسه با تیپ‌های دیگر (ااقاقیا، ون، سرو سیمین-ااقاقیا و ون-ااقاقیا) شده است. ضخامت لاشبرگ نیز در تیپ‌های کاج تهران و سرو سیمین بیش‌تر از تیپ‌های دیگر بود. این نتایج با یافته‌های ورامش و همکاران (۳۷)، که در ارزیابی مقدار ترسیب کربن در لاشبرگ توده‌های اقااقیا و سروسیمین در پارک جنگلی چیتگر به این نتیجه رسیدند که

برگان در مقایسه با پهن برگان، اهمیت بیشتری در ترسیب کربن و ذخیره آن در زی توده دارند. براین اساس، پیشنهاد می شود در مناطقی با شرایط اکولوژیک مشابه با پارک جنگلی لویزان، که هدف از جنگل کاری کاهش دی اکسید کربن جو و ترسیب کربن است، از گونه های سوزنی برگ به همراه گونه پهن برگ مقاوم به شرایط کم آبی و سازگار با شرایط خاکی منطقه استفاده شود.

منابع

1. Akbari, H., M. Pomerantz and H. Taha. 2001. Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. *Soil Energy*, 70: 295-310 (In Persian).
2. Bolund, P and S. Hunhammar. 1999. Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics*, 29: 293-301.
3. Brack, C.L. 2002. Pollution mitigation and carbon sequestration by an urban forest. *Environmental Pollution*, 116: 195-200.
4. Davies, Z.G., J.L. Edmondson, A. Heinemeyer, J.R. Leake and K.J. Gaston. 2011. Mapping an urban ecosystem service: quantifying above-ground carbon storage at a city-wide scale. *Ecology*, 48: 1125-1134.
5. Dobbs, C., F.J. Escobedo and W.C. Zipperer. 2011. A framework for developing urban forest ecosystem services and goods indicators. *Landscape and Urban Planning*, 99: 196-206.
6. Escobedo, F., S. Varela, M. Zhao, J.E. Wagner and W. Zipperer. 2010. Analyzing the efficacy of subtropical urban forests in offsetting carbon emissions from cities. *Environmental Science and Policy*, 13: 362-372.
7. Gratani, L., L. Varone and A. Bonito. 2016. Carbon sequestration of four urban parks in Rome. *Urban Forestry and Urban Greening*, 19: 184-193.
8. Grimm, N.B., S.H. Faeth, N.E. Golubiewski, C.L. Redman, J. Wu, X. Bai and J.M. Briggs. 2008. Global change and the ecology of cities. *Science*, 319: 756-760.
9. Guo, L.B. and R.E.H. Sims. 1999. Litter decomposition and nutrient release via litter decomposition in New Zealand eucalypt short rotation forests. *Agriculture, Ecosystems and Environments*, 75: 133-140.
10. Hernandez, R., P. Koohafkan and J. Antoine. 2004. Assessing Carbon Stocks and modeling win-win Scenarios of carbon sequestration through land-use change. *Assessing Carbon Stocks and Modelling Win-Win Scenarios of Carbon Sequestration through Land-Use Changes* (Vol. 1). Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, Italy, 166 pp.
11. Hosseini, Z., H. Naghavi, H. Latifi and S. Bakhtiar Bakhtiarvand. 2019. Estimating biomass and carbon sequestration of plantations around industrial areas using very high resolution stereo satellite imagery. *Biogeosciences and Forestry*, 12(6): 533-541 (In Persian).
12. IPCC. 2007. Summary for policymakers. In: Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds) *Climate change. 2007: the physical science basis*, Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge.
13. Khalife Soltanian, F., B. Kiani, M. Hakimi Meybodi and A. Tabande Saravi. 2016. Comparing growth and success of Eldarican pine (*Pinus eldarica* Medw.) in pure and mixed stands with river red gum (*Eucalyptus camadulensis* Dehnh.) in Shahid-Paidar Park, Ardakan. *Journal of Forest and Poplar Research*, 24(3): 558-549 (In Persian).
14. Khosravi M, Derikvandi A. and M. Taseh. 2015. Study of Quality and Quantity Trees in Shourab ECO-Park of Khorramabad. *Journal of Zagros Forests Researches*, 2(1): 57-73 (In Persian).
15. Kord, B., E. Adelli and A.K. Lashaki. 2007. Study of Quality and Quantity Afforested Species in Pardisan ECO-Park (Tehran City). *Journal of Agricultural Sciences*, 13(1): 74-85.
16. Lawrence, A.B., F.J. Escobedo, C.L. Staudhammer and W. Zipperer. 2012. Analyzing growth and mortality in a subtropical urban forest ecosystem. *Landscape and Urban Planning*, 104: 85-94.
17. Liua, X. and X. Li. 2012. Carbon storage and sequestration by urban forests in Shenyang, China. *Urban Forestry and Urban Greening*, 11: 121-128.
18. Mahmoudi, M., E. Ramezani Kakroudi, A. Banj Shafiei, A. Salehi, M. Pato and O. Hoseinzadeh. 2021. The study of soil carbon storage in Lavizan Forest Park, Tehran. *Journal of Forest Research and Development*, 7(2): 327-342 (In Persian).
19. Martin, N.A., A.H. Chappelka, E.F. Loewenstein and G.J. Keever. 2012. Comparison of carbon storage, carbon sequestration, and air pollution removal by protected and maintained urban forests in Alabama, USA. *Ecosystems Services and Management*, 8: 265-272.
20. McDicken, K.G. 1997. A Guide to Monitoring carbon storage in forestry and Agro forestry Projects, Winrock International Institute for Agricultural Development. *Forest Carbon Monitoring Program*, 91 pp.
21. Michopoulos, P. 2011. Biogeochemistry of urban forests. In: Levia, D.F., Carlyle- Moses, D., Tanaka, T. (Eds.), *Forest Hydrology and Biogeochemistry, Ecological Studies*, vol. 216. Springer, New York, 341-353.
22. Narimani, H., M.H. Nezhad Parizi, B. Kiani and R. Ghorbani. 2015. Effects of plantation with conifers on Carbon sequestration (Case study: Zob-e-Ahan company, Isfahan). *Journal of Forest and Poplar Research*, 23(1): 53-63 (In Persian).
23. Nowak, D., E. Greenfield, R. Hoehn and E. Lapoint. 2013. Carbon storage and sequestration by trees in urban and community areas of the United States. *Environmental Pollution*, 178: 229-236.
24. Pilehvar, B., H. Jafari sarabi and Z. Mirazadi. 2017. Soil carbon sequestration compression in plantations with different species in Makhmalkooh forest park. Khoramabad-Lorestan. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 29(4): 717-727 (In Persian).

25. Roy, S., J. Byrne and C. Pickering. 2012. A systematic quantitative review of urban tree benefits, costs, and assessment methods across cities in different climatic zones. *Urban Forestry and Urban Greening*, 11: 351-363.
26. Roustaei, M.J., M. Soleimanpour, M. Enayati and M. Pakparvar. 2022. Effect of Vegetation Type and Soil Chemical Properties on the Organic Carbon Content in the Soil of Flood Spreading Fields of Kowsar Station. *Ecology of Iranian Forests*, 19: 171-182 (In Persian).
27. Russo, A., F.J. Escobedo, N. Timilsina, A.O. Armin Otto Schmitt, S. Varela and S. Stefan Zerbe. 2014. Assessing urban tree carbon storage and sequestration in Bolzano, Italy. *Ecosystem Services and Management*, 10(1): 54-70.
28. Rydin, Y., A. Bleahu, M. Davies, J.D. Dávila, S. Friel, G. De Grandis, N. Groce, P.C. Hallal, I. Hamilton and P. Howden-Chapman. 2012. Shaping cities for health: complexity and the planning of urban environments in the 21st century. *Lancet*, 379: 2079-2108.
29. Samadzade, B., Y. Koch and M.H. Hoseini. 2016. The effect of tree covers on topsoil biological indices in a plain forest ecosystem. *Journal of Water and Soil Conservation*, 23(5): 105-121 (In Persian).
30. Sedjo, A. and Brent L. Sohngen. 2012. Carbon Sequestration in Forests and Soils. *Annual Review of Resource Economics*, 4(1): 127-144.
31. Shafiee, H., S. Mohammadi Limaei and A. Bonyad. 2022. Estimation of monetary value of aboveground carbon sequestration of tree species in Chitgar forest park. *Journal of Renewable Natural Resources Research*, 2: 13-21 (In Persian).
32. Strohbach, M.W., E. Arnold and D. Haase. 2012. The carbon footprint of urban green space a life cycle approach. *Landscape and Urban Planning*, 104: 220-229.
33. Strohbach, M.W. and D. Haase. 2012. Above-ground carbon storage by urban trees in Leipzig, Germany: analysis of patterns in a European city. *Landscape and Urban Planning*, 104: 95-104.
34. Suryawanshi, M.N., A.R. Patel, T.S. Kale and P.R. Patil. 2014. Carbon sequestration potential of tree species in the environment of North Maharashtra University campus, Jalgaon India. *Bioscience Discovery*, 5(2): 175-179.
35. Tahmasbi, P. 2012. Ordination. Shahrekord University Press, 386 p (In Persian).
36. United Nations. 2012. World Urbanization Prospects: The 2011 Revision. ESA/P/WP/224, Population Division. Department of Economic and Social Affairs, United Nations, New York.
37. Varamesh, S., S.M. Hosseini and N. Abdi. 2010. Comparison of broad-leaved and needle-leaf species of carbon sequestration in urban forests (case study Cheetgar park Tehran). MSc Thesis, Department of natural resources and marine sciences. University of Moddareh, Tehran, Iran. 86pp. (In Persian)
38. Vashum, K.T. and S. Jayakumar. 2012. Methods to Estimate Above-Ground Biomass and Carbon Stock in Natural Forests - A Review. *Ecosystem and Ecography*, 2(4): 1-7.
39. Willis, K.J., R.M. Bailey, S.A. Bhagwat and H.J.B. Birks. 2010. Biodiversity baselines, thresholds and resilience: testing predictions and assumptions using palaeoecological data. *Trends in ecology & evolution*, 25(10): 583-591.
40. Yoon, T., K. Seo, G. Park, Y. Son and Y. Son. 2016. Surface Soil Carbon Storage in Urban Green Spaces in Three Major South Korean Cities. *Forests*, 7: 1-11.
41. Wang, S.J. and X.P. Liu. 2017. China's city-level energy-related CO2 emissions: spatiotemporal patterns and driving forces. *Applied Energy*, 200: 2-204.
42. Zarafshar, M., M.J. Roustaei, M. Matiniazadeh, K. Bordbar, K. Enayati, Y. Kooch, M. Nahghahdar Saber and A. Abbasi. 2021. Comparison of Carbon and Nitrogen Sequestration in Soil s Under Plantation s, Natural Forest and Agricultural Farm Land Uses in Arjan Plain in the Fars Province. *Ecology of Iranian Forests*, 8: 165-172. (In Persian)
43. Zabihollahi, S. 2015. Investigation of the stability of coniferous and deciduous stands in forest parks. The 2nd National Conference on Environmental Hazards of Zagros held in Tehran (In Persian).
44. Zhao, M., Z. Kong, F.J. Escobedo and J. Gao. 2010. Impacts of urban forests on offsetting carbon emissions from industrial energy use in Hangzhou. China. *Journal of Environmental Management*, 91: 807-813.
45. Zobeiry, M. 2009. Forest inventory measurement of tree and forest. Tehran University Press, 401 pp (In Persian).

Estimation of Carbon Storage in Biomass and Litter in Plantations of Lavizan Forest Park in Tehran

Maryam Mahmoudi¹, Elias Ramezani Kakroudi², Abbas Banj Shafiei³, Ali Salehi⁴,
Majid Pato⁵ and Omid Hoseinzadeh⁶

-
- 1- Ph.D. of Forestry, Department of Forestry, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Urmia University
 2- Associate Professor, Department of Forestry, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Urmia University,
 (Corresponding author: elias.ramezani@gmail.com)
 3- Professor, Department of Forestry, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Urmia University
 4- Associate Professor of Forestry, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Gilan University
 5- Assistant Professor, Forest and Rangeland Research Department, Urmia
 6- Assistant Professor, Department of Forestry, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Urmia
 Received: 20 February, 2022 Accepted: 26 September, 2022
-

Extended Abstract

Introduction and Objective: Urban forests play an important role in mitigating the impacts of climate change by reducing atmospheric carbon dioxide (CO₂). Quantification of carbon storage and sequestration by urban forests is critical for the assessment of the actual and potential role of urban forests in reducing atmospheric CO₂. With the aim of determining the most suitable urban trees for carbon sequestration, this study compared the amount of carbon stock in biomass and litter of afforested areas in Lavizan Forest Park in Tehran.

Material and Methods: Six 40-year forest types including *Pinus eldarica*-*Cupressus arizonica* (pure coniferous), *Robinia pseudoacacia*-*Fraxinus* sp. (pure hardwood), *Robinia p.*-*Fraxinus* and *Cupressus arizonica*-*Robinia p.* (mixed) with the largest area were selected. In each afforestation type, 25 sample plots of 100 square meters were established. In each sample plot, quantitative characteristics of trees including diameter at breast height (DBH), tree height (H), height at the beginning of the crown and two perpendicular diameters of the crown were measured. Inside each main plot, litter was collected in one square meter micro-plots. As the data were normal according to the Shapiro-Wilk Test, the means of tree quantitative variables and carbon sequestration were compared using Duncan Test. To understand the influence of most important quantitative variables on sample plot distribution, Principal Component Analysis (PCA) was run in PC-ORD (ver.5).

Results: According to the results, the maximum and minimum carbon were stored as biomass in stands of *Cupressus arizonica* (131.3 kg per tree) and *Robinia pseudoacacia*, (14.1 kg per tree), respectively. The highest and lowest carbon storage in litter belonged respectively to *Pinus eldarica* (1.2 tons per hectare) and *Fraxinus* (0.1 ton per hectare) types.

Conclusion: According to the result, it can be said that different plantation types have different ability to store carbon in the biomass and litter. Overall, carbon storage potential in conifers (*Cupressus arizonica* and *Pinus eldarica*) was higher than in broadleaved species (*Robinia pseudoacacia* and *Fraxinus* sp.) in the study area.

Keywords: Carbon sequestration, Climate change, Greenhouse gas, Urban forest