دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
بوم‌شناسی جنگل‌های ایران

"مقاله پژوهشی"

برآورد ذخیره کربن زی‌توده 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 ومرتع، ارومیه
۶- استادیار گروه جنگلداری، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه
تاریخ دریافت: ۱۲/۱/ ۱۴۰۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۷/۴
صفحه: ۲۰۴ تا ۲۱۴

چکیدهٔ مبسوط

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

مواد و روش‌ها: شش تیپ جنگل‌کاری ۴۰ ساله شامل کاج تهران–سرو سیمین (*Pinus eldarica-Cupressus arizonica*) (خالص سوزنی برگ)، اقاقیا–ون (*Robinia pseudoacacia*-Fraxinus sp.) (خالص پهن‌برگ) و اقاقیا–ون و سروسیمین–اقاقیا (آمیخته) بابیش‌ترین مساحت در پارک جنگلی لویزان تهران انتخاب و در هرتیپ 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 زی‌توده و ذخیره کربن هر تیپ جنگل‌کاری، 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 اقاقیا (۱۴/۱ کیلوگرم در درخت) به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین ذخیره کربن زی‌توده 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 جنگل‌کاری مختلف توانایی متفاوتی در ذخیره کربن در زی‌توده و لاشبرگ دارند. به‌طور کلی، پتانسیل ذخیره کربن در سوزنی‌برگان (سرو سیمین و کاج تهران) بیشتر از پهن برگان (اقاقیا و ون) در منطقه مورد مطالعه بود.

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

مقدمه

بیش‌ترین نگرانی‌ها از تغییرات آب و هوا و گرمایش زمین، تولید گازهای گلخانه‌ای است. دی‌اکسیدکربن یک گاز گلخانه‌ای مهم است که تأثیر 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 CO_2 جوی از 380 ppm کنونی به بیش از ۱۰۰۰ppm 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 زی‌توده‌ی خود دارند. در بوم‌سازگان خشکی بیشترین ذخیره کربن روی زمینی در زی‌توده در تنه‌ها، شاخه‌ها، برگ‌ها و ریشه‌های درختان انجام می‌شود (۳۴). بوم‌سازگان جنگلی با 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

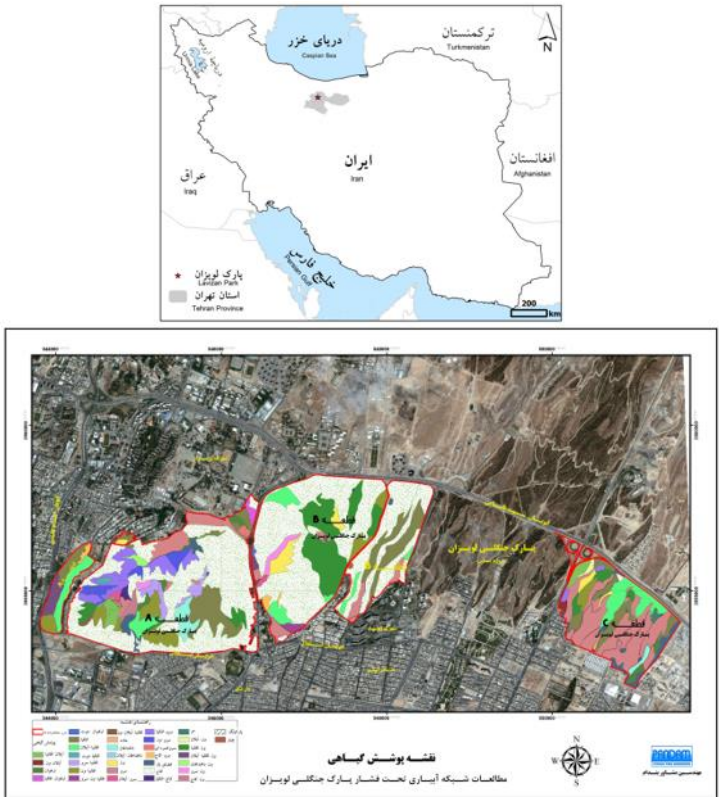
نقش جنگل‌کاری در ذخیره کربن تاکید کرده‌اند. در پژوهشی که با هدف مقایسه میزان ذخیره کربن و نیتروژن در خاک کاربری‌های جنگل دست‌کاشت، جنگل طبیعی و اراضی کشاورزی آبخیز دشت ارژن در استان فارس انجام شد نتایج این پژوهش نشان داد که که تبدیل اراضی جنگل طبیعی به اراضی کشاورزی باعث کاهش ۷۹/۶۳ درصدی میزان ذخیره کربن در خاک می‌شود (۴۲). روستا و همکاران (۲۶) به بررسی تاثیر 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 شیمایی 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 ذخیره‌کربن بیشتری در خاک بود. نتایج پژوهشی که در پارک جنگلی چیتگر تهران، با هدف برآورد ارزش پولی ترسیب کربن اندام هوایی گونه‌های کاشته شده (اقاقیا، 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 اقتصای 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 زی توده 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). محمودی و همکاران (۱۸) به بررسی ذخیره کربن خاک شش تیپ جنگلکاری شامل کاج تهران (*Pinus eldarica*)، سرو سیمین (*Cupressus arizonica*)، اقاقیا (*Robinia pseudoacacia*)، ون (Fraxinus sp.) و ون–اقاقیا (*R. pseudoacacia*- Fraxinus sp.) و اقاقیا–سروسیمین (*R. pseudoacacia- C. arizonica*) 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 اقاقیا، ون، کاج تهران، سرو سیمین، ون–اقاقیا و سرو سیمین–اقاقیا است.

پارک جنگلی لویزان یکی از پارک های 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)، اقاقیا و ون (خالص پهن‌برگ) و ون–اقاقیا و سرو سیمین–اقاقیا (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؛ "۴۴'۲۰°۳۵ - "۴۵'۴۶°۳۵ عرض شمالی؛ "۲۹°۵۱–"۱۵'۳۴°۵۱ طول شرقی) در سال ۱۳۴۱ احداث شد. این پارک با مساحتی درحدود 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 سوزنی برگ سرو سیمین و کاج تهران و پهن‌برگ اقاقیا 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).



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

روش نمونه‌برداری از درختان

پس از بازدید مقدماتی از منطقه مورد مطالعه و با توجه به مساحت تیپ‌های جنگل‌کاری‌شده، شش تیپ با بیش‌ترین مساحت انتخاب شد. در جدول ۱ نام تیپ‌های، مساحت هر تیپ، ابعاد شبکه و تعداد قطعات نمونه مشخص شده است. در هر یک از این تیپ‌ها، 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 قطعه‌نمونه اندازه‌گیری و ثبت شد (۲۰،۱۸).

جدول ۱- تیپ‌های جنگلکاری، مساحت، ابعاد شبکه و تعداد قطعات نمونه
Table 1. Plantations' types, area, grid dimensions and number of sample plots

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

نمونه‌برداری از چوب

در این پژوهش برای اندازه‌گیری دانسیته چوب (WD)، سه درخت از هر گونه به‌صورت تصادفی انتخاب و سپس بریده شد و دیسکی به ضخامت پنج سانتی‌متر از ارتفاع برابر سینه درختان تهیه شد. نمونه‌ها کدگذاری و دیسک‌های بریده‌شده به آزمایشگاه منتقل شد.

نمونه‌برداری از لاشبرگ

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

روش آزمایشگاهی

تعیین دانسیته چوب

دانسیته خشک نمونه‌های چوب طبق استاندارد شماره D۹۱-۴۹۳۳ آئین‌نامه ASTM در آزمایشگاه دانشکده منابع طبیعی دانشگاه ارومیه اندازه‌گیری شد. دیسک‌های کدگذاری شده به چهار قطعه مکعبی شکل به ابعاد ۲×۲×۲ سانتی‌متر و در چهار جهت جغرافیایی بریده شد. وزن‌تر نمونه‌ها به وسیله ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ گرم و ابعاد آن‌ها با کمک کولیس (دقت ۰/۱میلی‌متر) اندازه‌گیری شد. همه قطعات اندازه‌گیری‌شده در داخل آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت قرار گرفت. هر روز وزن نمونه‌های کدگذاری شده تا زمان ثابت‌شدن 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 به‌دست آمد.

رابطه (۱) $$WD = \frac{m}{v}$$

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 جمع‌آوری‌شده از قطعه نمونه) در داخل بوته‌های چینی که از قبل وزن شده بود، درون کوره الکتریکی در دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت چهار ساعت قرار داده شد. بوته‌های چینی پس از خشک شدن و خاکستر شدن نمونه‌های درون آنها، بار دیگر وزن شده و سپس با در دست داشتن وزن اولیه و وزن خاکسترهای ایجاد شده از تبدیل ماده آلی به کربن آلی، درنهایت درصد کربن یا همان ضریب کربن برای هر نمونه براساس روابط زیر محاسبه شد (۹).

رابطه (۲) $Ash\% = (W_3 - W_1) / (W_2 - W_1) \times 100$

رابطه (۳) $C(\%) = (100 - ash\%) \times 0.58$

W_1: وزن بوته‌های چینی، W_2: وزن نمونه‌های خشک‌شده در آون به همراه بوته‌های چینی، W_3: وزن خاکستر و بوته‌های چینی، Ash(%): درصد خاکستر نمونه و C(%): درصد ذخیره کربن زی‌توده است.

محاسبه زی‌توده

محاسبه زی‌توده روی زمین

برای محاسبه زی‌توده تنه در هر قطعه نمونه ۱۰×۱۰ متری آماربرداری مشخصه‌های کمی از جمله ارتفاع درخت (متر)، قطر در ارتفاع برابر سینه (سانتی‌متر)، دو قطر بزرگ و کوچک تاج (متر)، ارتفاع شروع تاج (متر) و درصد پوشش تاجی هر درخت اندازه‌گیری شد.

ابتدا سطح مقطع و حجم تنه درخت به متر مکعب محاسبه شد. سپس با استفاده از حجم محاسبه شده، زی‌توده تنه بر حسب کیلوگرم تعیین شد (رابطه ۴).

رابطه (۴) زی‌توده تنه = $V \times WD \times 1000$

اندازه‌گیری زی‌توده تاج پوشش

با کمک روابط نشان داده شده در جدول ۲ حجم تاج پوشش با توجه به شکل تاج تخمین زده شد (۱۰).

جدول ۲- معادلات مورد استفاده برای تخمین حجم تاج درختان

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

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

π= ۳/۱۴ $Db=\frac{L+W}{2}$ L و W: قطر بزرگ و کوچک تاج (متر)، Hc: ارتفاع تنه (متر)

برآورد زی‌توده زیرزمینی (Belowground Biomass)

برای برآورد زی‌توده زیرزمینی (ریشه‌ها)، بسته به سوزنی‌برگ یا پهن‌برگ بودن، از یکی از روابط زیر (روابط ۵ و ۶) استفاده شد (۱۰).

برای سوزنی‌برگان رابطه (۵) $BGB = AGB \times 0.25$

برای پهن‌برگان رابطه (۶) $BGB = AGB \times 0.3$

BGB: زی‌توده زیرزمین و AGB: زی‌توده بالای زمین است.

برآورد زی‌توده کل درختان

زی‌توده کل گیاه از مجموع زی‌توده رو و زیرزمینی محاسبه شد.

تعیین موجودی کربن آلی در زی‌توده

موجودی کربن آلی در زی‌توده از حاصل‌ضرب کل زی‌توده با ضریبی که نشان‌دهنده محتوای متوسط کربن در زی‌توده است (رابطه ۷) به دست آمد. این ضریب تبدیل معمولاً ۰/۵۵ درنظر گرفته می‌شود (۱۰).

رابطه (۷) $C = 0.55 \times biomass\ (total)$

تجزیه مؤلفه اصلی

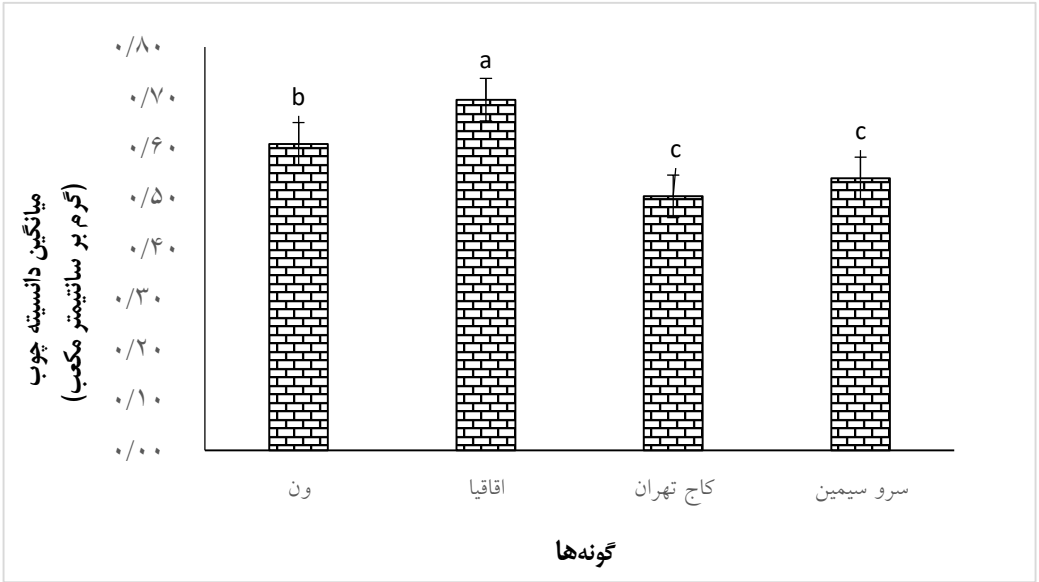
عوامل و متغیرهای متعددی در پراکنش قطعات نمونه تیپ‌های مختلف تاثیر دارند. اما روشن است که نقش این عوامل و تاثیر آن‌ها یکسان نخواهد بود. یکی از روش‌های مناسب برای تعیین این عوامل اصلی استفاده از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) است. تجزیه مؤلفه‌های اصلی یکی از معمول‌ترین تجزیه‌های چند متغیره است که اولین 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، زی‌توده تنه، زی‌توده تاج، کربن ترسیب‌شده) در شش تیپ جنگل‌کاری شده به‌عنوان متغیرهای توصیف‌کننده قطعات نمونه وارد تجزیه PCA شدند. این تحلیل در نرم افزار PC-Ord نسخه ۵ انجام

شد. برای تجزیه و تحلیل و محاسبات آماری، ابتدا نرمال‌بودن داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیرو ویلک (Shapiro-Wilk) و همگنی آنها با آزمون لون (LEVENE) بررسی شد. برای مقایسه کلی مشخصات کمی درختان (قطر برابرسینه، ارتفاع، سطح مقطع برابر سینه، حجم تنه، قطر تاج، حجم تاج، زی‌توده تنه، زی‌توده تاج، زی‌توده روی زمین، زی‌توده زیرزمین، زی‌توده کل و کربن ترسیب‌شده) و مقایسه‌های چند گانه میانگین‌های مشخصات کمی درختان و کربن ترسیب شده در لاشبرگ در تیپ‌های مختلف جنگل‌کاری‌شده به‌ترتیب از آزمون تجزیه واریانس (ANOVA) و دانکن (Duncan) استفاده شد. تجزیه‌های آماری در نرم افزار SPSS نسخه ۲۱ اجرا شد.

جدول۳- مقایسه میانگین‌های مشخصه‌های اندازه‌گیری شده در تیپ‌های مختلف در پارک جنگلی لویزان
Table 3. Comparison of means of characteristics measured in different types in Lavizan Forest Park

	اقاقیا	سرو سیمین-اقاقیا	ون-اقاقیا	کاج تهران	سروسیمین	ون	F	sig
	میانگین	میانگین	میانگین	میانگین	میانگین	میانگین		
قطر برابر سینه (cm)	۶/۳±۰/۱^{d}	۱۱/۲۱±۰/۳۴^{c}	۱۰/۶۷±۰/۲۶^{c}	۱۸/۰۷±۰/۳۵^{a}	۱۴/۷۹±۰/۳۲ ^{b}	۱۱/۱۶±۰/۲۵^{c}	۱۸۵/۷۵	۰/۰۰۰
ارتفاع (متر)	۲/۴۹±۰/۰۴^{e}	۵/۳۰±۰/۱۷^{c}	۳/۵۹ ±۰/۰۷^{d}	۸/۳۴ ±۰/۱۶^{a}	۶/۷±۰/۱۳^{b}	۳/۴۹±۰/۰۶^{d}	۳۴۳/۵۸	۰/۰۰۰
سطح مقطع (m^2)	۰/۰۰۳±۰/۰۰۰۱^{d}	۰/۰۱۲±۰/۰۰۰۷^{c}	۰/۰۱۰±۰/۰۰۰۵^{c}	۰/۰۲۸±۰/۰۰۱۱^{a}	۰/۰۱۹ ±۰/۰۰۰۸^{b}	۰/۰۱۱±۰/۰۰۰۴^{c}	۱۴۳/۴۹	۰/۰۰۰
حجم تنه (m^3)	۰/۰۰۴±۰/۰۰۰۳ ^{e}	۰/۰۴۹±۰/۰۰۴^{c}	۰/۰۲۴±۰/۰۰۱^{d}	۰/۱۴۸±۰/۰۰۸^{a}	۰/۰۸۴±۰/۰۰۵^{b}	۰/۰۲۳±۰/۰۰۱^{d}	۱۲۵/۹۹	۰/۰۰۰
قطر تاج (meter)	۱/۵۸±۰/۰۲۷^{e}	۲/۴۴±۰/۰۷۱^{c}	۲/۰۸±۰/۰۳۳^{d}	۲/۷۱±۰/۰۵۱^{b}	۳/۳۲±۰/۰۶۳^{a}	۲/۰۴±۰/۰۳۲^{d}	۱۴۹/۹۵	۰/۰۰۰
حجم تاج (m^3)	۰/۰۴۷±۰/۰۰۲۹^{c}	۰/۱۵۸±۰/۰۲۰^{b}	۰/۰۷۴±۰/۰۰۳^{c}	۰/۲۰۵±۰/۰۱۵^{b}	۰/۵۳۹±۰/۰۶۹^{a}	۰/۰۶۸±۰/۰۴^{c}	۳۸/۰۱	۰/۰۰۰
زی‌توده تنه (kg)	۳/۳۹±۰/۲۱^{e}	۲۷/۸۵±۲/۵۱^{c}	۱۵/۵۳±۱/۰۸^{d}	۷۴/۷۳±۴/۴۵^{a}	۴۵/۵۱±۲/۹۳^{b}	۱۴/۱۳±۰/۷۵^{d}	۱۱۲/۱۸	۰/۰۰۰
زی‌توده تاج (kg)	۱۶/۴۱±۱/۰۱^{d}	۴۴/۳۳±۵/۳۹^{bc}	۲۳/۹۲±۱/۲۲^{cd}	۵۱/۷۸±۴/۰۰۳^{b}	۱۴۵/۵۴±۱۸/۶۹^{a}	۲۰/۸۸±۱/۳۰^{cd}	۳۶/۱۴	۰/۰۰۰
زی‌توده بالای زمین (kg)	۱۹/۸۱±۱/۱۴^{d}	۷۲/۱۸±۷/۲۶^{d}	۳۹/۴۶±۲/۰۰۶^{d}	۱۲۶/۵۱±۷/۰۲^{b}	۱۹۱/۰۵±۲۰/۴۳^{a}	۳۵/۰۱±۱/۷۸^{d}	۵۰/۴۲	۰/۰۰۰
زی‌توده زیر زمین (kg)	۵/۹۴±۰/۳۴^{d}	۱۸/۵۶±۱/۸۰^{c}	۱۱/۸۴±۰/۰۶^{d}	۳۱/۶۲±۱/۷۵^{b}	۴۷/۷۶±۵/۱۰^{a}	۱۰/۵۰±۰/۵۳^{d}	۴۵/۹۷	۰/۰۰۰
زی‌توده کل (kg)	۲۵/۷۵±۱/۴۹^{d}	۹۰/۷۵±۹/۰۷^{c}	۵۱/۳۰±۲/۶۰^{d}	۱۵۸/۱۴±۸/۷۸^{b}	۲۳۸/۸۲±۲۵/۵^{a}	۴۵/۵۲±۲/۳۲^{d}	۴۹/۵۱	۰/۰۰۰
کربن ذخیره‌شده (kg)	۱۴/۱۶±۰/۸۲^{d}	۴۹/۹۱±۴/۹۸^{c}	۲۸/۲۱±۱/۴۳^{d}	۸۶/۹۸±۴/۸۳^{b}	۱۳۱/۳۵±۱۴/۰۴^{a}	۲۵/۰۳±۱/۲۷^{d}	۴۹/۵۱	۰/۰۰۰

حروف متفاوت نشان دهنده‌ی اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح ۰/۰۵ است.



شکل ۲- دانسیته چوب در گونه‌های کاشته‌شده در پارک جنگلی لویزان تهران
Figure 2. Wood density in species planted in Lavizan Forest Park, Tehran

نتایج و بحث

دانسیته خشک چوب

در شکل ۲ دانسیته چوب هریک از گونه‌ها نشان داده شده است. اقاقیا و کاج تهران به‌ترتیب دارای بیش‌ترین و کم‌ترین دانسیته چوب بودند.

ذخیره کربن زی‌توده

میانگین و اشتباه معیار مشخصه‌های کمی درختان در تیپ‌های مورد مطالعه (جدول ۳) نشان داد که شش تیپ مورد بررسی در بسیاری از ویژگی‌های کمی اندازه‌گیری شده تفاوت معنی‌داری دارند. براساس نتایج مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن (جدول ۳) مشخص شد که قطر برابر سینه، ارتفاع،

سطح مقطع برابر سینه، حجم تنه و زی‌توده تنه در تیپ کاج تهران و قطر، حجم و زی‌توده تاج، زی‌توده روی زمین، زی‌توده زیرزمین، زی‌تودهٔ 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- اقاقیا به‌طور معنی‌دار بیشتر از تیپ کاج تهران و تیپ ون- اقاقیا بود و مقایسه ذخیره کربن در تیپ‌های پهن‌برگ نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین تیپ‌های ون و اقاقیا وجود ندارد.

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-اقاقیا (۰/۸ تن در هکتار) به‌طور معنی‌دار بیش‌تر از تیپ ون-اقاقیا (۰/۳ تن در هکتار) بود. بیش‌ترین ذخیره کربن در بین تیپ‌های پهن‌برگ، در تیپ اقاقیا (۰/۳ تن در هکتار) دیده شد اما با تیپ ون (۰/۱ تن در هکتار) تفاوت معنی‌داری را نشان نداد.

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

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

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

تجزیه مؤلفه اصلی برای متغیرهای کمی درختان

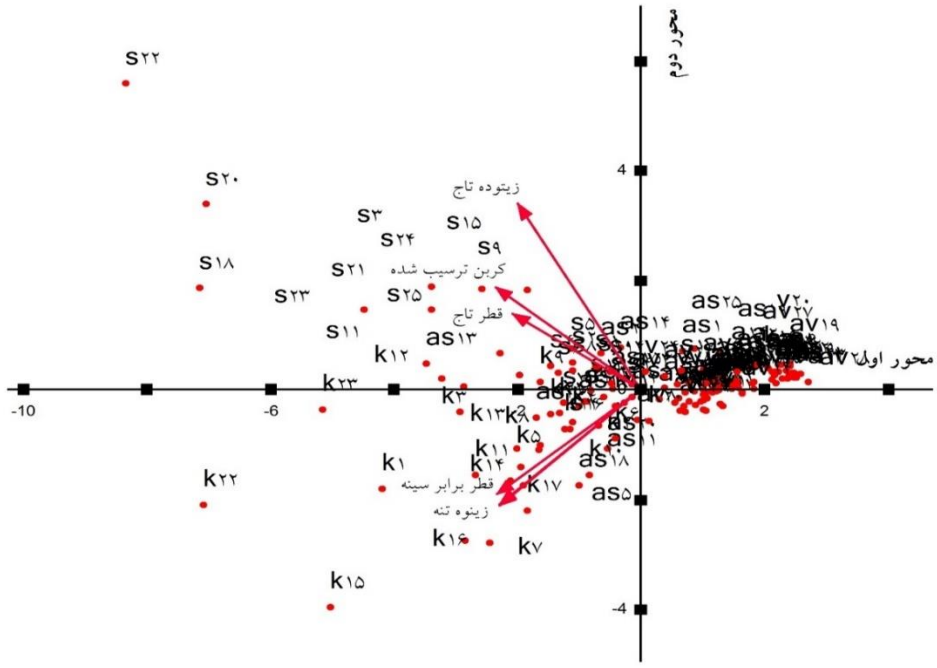
مطابق با تجزیه مؤلفه اصلی (جدول ۵)، محورهای اول و دوم حدود ۹۰ درصد از تغییرات را تبیین نمودند. با توجه به نتایج این تجزیه (جدول ۵)، کربن ترسیب‌شده و قطر برابر سینه در محور اول و زی‌توده تاج در محور دوم دارای ارزش ویژه بیشتری بودند. در شکل ۳ موقعیت مکانی قطعات نمونه تیپ‌های جنگل‌کاری‌شده و ارتباط آن با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

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 تیپ‌های جنگل‌کاری‌شده (k: قطعات نمونه تیپ کاج تهران، s: قطعات نمونه تیپ سرو سیمین، a: قطعات نمونه اقاقیا، v: قطعات نمونه ون، as: قطعات نمونه اقاقیا- سرو سیمین، av: قطعات نمونه اقاقیا-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 زی‌توده

به‌طور میانگین تیپ‌های 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 اقاقیا (۱۴/۱ کیلوگرم در درخت) کربن در زیتودهٔ خود ذخیره می‌کنند و این نشان‌دهندهٔ توان بالای جنگل‌های شهری در جذب و ترسیب کربن است (۲۴،۷). نواک 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 می‌یابد.

یافته‌های این پژوهش نشان داد که میانگین ذخیره کربن در جنگل‌کاری‌های خالص سرو سیمین و کاج تهران بیش‌تر از تیپ‌های خالص اقاقیا و ون است (جدول ۳). با توجه به اینکه اغلب گونه‌های سوزنی‌برگ نسبت به گونه‌های پهن‌برگ تندرشدترند (۲۴) و همچنین به‌دلیل تاب‌آوری بیشتر در شرایط سخت رویشگاهی به‌ویژه خشکی (۱۵)، به‌نظر می‌رسد که گونه‌های سوزنی‌برگ پارک در برابر آب‌وهوای خشک منطقه و آبیاری نامنظم، مقاومت بیشتری داشته و کمتر دچار کاهش رشد شده‌اند. در نتیجه میانگین متغیرهای کمی درختان، مانند قطر و ارتفاع، در سوزنی‌برگان بیش‌تر از پهن‌برگان بود و این باعث افزایش میانگین زی‌تودهٔ کل و کربن ذخیره‌شده در سوزنی برگان شد. حسینی و همکاران (۱۱) در بررسی مقدار ترسیب کربن در گونه‌های پهن‌برگ و سوزنی‌برگ در نهالستان مبارکه اصفهان به این نتیجه رسیدند که گونه‌های سوزنی برگ کاج تهران (*Pinus eldarica*) و سرو سیمین (*Cupressus arizonica*) از توان انباشت زی‌توده و ترسیب کربن بیش‌تری نسبت به گونه‌های پهن‌برگ توت (*Morus alba*) و اقاقیا (*Robinia pseudoacacia*) برخوردارند. نتایج پژوهشی دیگر، که با هدف بررسی ویژگی‌های کمی و کیفی درختان در پارک پردیسان انجام شد (۱۵)، نشان داد که گونه‌های سوزنی‌برگ (کاج تهران و سرو سیمن) دارای بیش‌ترین رویش قطری و ارتفاعی بوده و گونه اقاقیا کم‌ترین رویش را داشته است. ذبیح الهی (۴۳) نیز در بررسی وضعیت پایداری جنگل‌کاری‌های پارک جنگلی چیتگر به این نتیجه رسید که تمامی مشخصات اندازه‌گیری‌شده از جمله قطر برابر سینه، ارتفاع درخت، ارتفاع تاج و دو قطر بزرگ و کوچک تاج در توده‌های سوزنی‌برگ به‌طور معنی‌داری بیشتر از توده‌های پهن‌برگ است.

نتایج پژوهش پیش رو نشان داد که ذخیره کربن در بین تیپ‌های خالص سوزنی‌برگ در تیپ سرو سیمین به‌طور معنی‌دار بیش‌تر از کاج تهران است. در این پژوهش (جدول ۳) مشخصه‌های کمی قطربرابرسینه، ارتفاع، سطح مقطع، حجم تنه و زی‌توده تنه در تیپ کاج تهران بیش‌تر از تیپ‌های دیگر بود، ولی متغیرهای کمی قطر تاج، حجم تاج، زی‌توده تاج، زی‌توده بالای زمین و زی‌تودهٔ زیرزمین و زی‌تودهٔ کل در تیپ سرو سیمین بیش‌تر بود. به‌دلیل زی‌تودهٔ کل بیشتر در تیپ سرو سیمین، ذخیره کربن در این تیپ بیش‌تر از تیپ‌های دیگر بوده

است. نریمانی و همکاران (۲۲) نیز در مطالعهٔ خود به این نتیجه رسیدند که ترسیب کربن در تودهٔ 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، اقاقیا 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 ذخیرهٔ کربن در زیتوده روی و زیر زمینی در چهار گونهٔ درختی توت (*Morus alba*)، اقاقیا (*Robinia pseudoacacia*)، کاج تهران (*Pinus eldarica*) و سروسیمین (*Cupressus arizonica*) در نهاستان 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 زیتودهٔ کل و مقدار ترسیب کربن در کاج تهران بیشتر از گونه های توت، اقاقیا و سروسیمین بود.

نتایج پژوهش حاضر همچنین نشان داد که مقدار ذخیره کربن در تیپ آمیختهٔ سرو سیمین–اقاقیا بیش‌تر از تیپ ون–اقاقیا بود (جدول ۳). در تودهٔ سرو سیمین–اقاقیا، 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 تودهٔ ون–اقاقیا افزایش می دهد.

مقدار ذخیره کربن در بین تیپ‌های خالص پهن‌برگ (ون و اقاقیا)، 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 اقاقیا 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 تاثیر خواص لاشبرگ قرار می‌گیرد. نقش پوشش گیاهی در پایداری ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و حاصل‌خیزی خاک چشمگیر است (۲۹). تاثیر 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 (اقاقیا، ون، سرو سیمین–اقاقیا و ون–اقاقیا) 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 اقاقیا و سروسیمین در پارک جنگلی چیتگر به این نتیجه رسیدند که مقدار ترسیب کربن در لاشبرگ توده سرو سیمین بیش‌تر از توده اقاقیا است، همخوانی دارد.

در بین تیپ‌های خالص پهن‌برگ اقاقیا و ون، مقدار ذخیره کربن در تیپ اقاقیا 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 اقاقیا و ون در پارک چیتگر، به این نتیجه دست یافتند که مقدار ذخیره کربن در توده اقاقیا بیشتر از تودهٔ ون بود (۳۷).

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

تجزیه مؤلفه اصلی

قطعات نمونه تیپ کاج دارای بیشترین قطر برابرسینه و قطعات نمونه تیپ سرو سیمین دارای بیشترین زیتوده تاج و ترسیب کربن هستند. عدم سازگاری گونه های پهن برگ با شرایط آب و هوایی ،خاک و پریود آبیاری باعث شده نسبت به گونه‌های سوزنی‌برگ از زیتوده تاجی و قطر برابرسینه 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 افزیش 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 مهترین 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 تاثیری شگرف بر ذخیره کربن دارد. از طرف دیگر، آمیختگی گونه‌ها و تیپ جنگل‌کاری بر مقدار ذخیره کربن بسیار موثر است. هر چه نیروی تولید زی‌تودهٔ هوایی و زیرزمینی در گونه‌ها بیش‌تر باشد، ذخیرهٔ کربن در پیکرهٔ درختان و لاشبرگ نیز بیش‌تر می‌شود. نتایج این پژوهش نشان داد که در بین گونه‌های مورد بررسی، سوزنی

برگان در مقایسه با پهن‌برگان، اهمیت بیشتری در ترسیب کربن و ذخیره آن در زی‌توده دارند. براین اساس، پیشنهاد می‌شود در مناطقی با شرایط اکولوژیک مشابه با پارک جنگلی لویزان، که هدف از جنگل‌کاری کاهش دی‌اکسید 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. Hernandes, 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 Afforestated 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. Rousta, 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. Journa 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 Moddaress, 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.
۴0. 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. Rousta, M. Matinizadeh, K. Bordbar, K. Enayati, Y. Kooch, M. Nahgahdar 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 Mahmoudi[1], Elias Ramezani Kakroudi[2], Abbas Banj Shafiei[3], Ali Salehi[4], Majid Pato[5] and Omid Hoseinzadeh[6]

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