

ذخیره‌سازی کربن در پارک جنگلی آیدر سنندج

مرضیه رئیسی^{۱*}، حامد قادرزاده^۲، مهین ساعدپناه^۳ و ایوب مرادی^۴

*- نویسنده مسئول، استادیار، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران. پست الکترونیک: m.reisi@uok.ac.ir

۲- استادیار، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

۴- دانش‌آموخته دکتری جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۵/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۸/۲۶

چکیده

جنگل‌های شهری نقش مهمی در کاهش گاز دی‌اکسید کربن و در نتیجه کنترل تغییر اقلیم دارند، بنابراین کمی‌سازی مقدار کربن ذخیره‌شده برای ارزیابی نقش این جنگل در کنترل آلودگی‌های اتمسفری ضروری است. پژوهش پیش‌رو به کمی‌سازی مقدار کربن ذخیره‌شده در جنگل شهری آیدر سنندج پرداخت. برای این منظور، از زی‌توده گیاهی، لاش‌برگی و علفی موجود در پارک جنگلی و خاک منطقه مورد مطالعه نمونه‌برداری شد و مورد آزمایش قرار گرفت. براساس نتایج، ذخیره کربن در پارک جنگلی آیدر در مجموع ۱۴۷/۷۲ تن در هکتار بود. از این مقدار، ۴۰/۲۹ و ۸/۶۶ تن در هکتار به ترتیب مربوط به زی‌توده سطحی و زیرزمینی درختان بود، درحالی‌که پوشش علفی و لاش‌برگ ۱/۰۵۵ تن در هکتار و خاک ۹۷/۷۲ تن در هکتار کربن در خود ذخیره کرده بودند. همچنین، مقدار ذخیره کربن در گونه‌های درختی مختلف متفاوت بود، به‌طوری‌که اقاچیا نسبت به زبان‌گنجشک، سرو نقره‌ای و شبه‌سرو، کربن بیشتری را در زی‌توده سطحی و زیرزمینی خود ذخیره کرده بود. یافته‌های این پژوهش می‌تواند در بخش اجرا برای جنگل‌داری شهری، مدیریت فضای سبز و برنامه‌ریزی شهری به‌منظور کاهش گازهای گلخانه‌ای مفید واقع شود.

واژه‌های کلیدی: اقاچیا، جنگل‌داری شهری، دی‌اکسید کربن، زی‌توده.

مقدمه

افزایش است (Escobedo *et al.*, 2010)، بنابراین یافتن راه‌هایی برای کاهش گاز دی‌اکسید کربن از اولویت‌های مدیریت شهری محسوب می‌شود. گسترش جنگل‌های شهری، یکی از روش‌های معمول کاهش این گاز است. درختان پس از جذب دی‌اکسید کربن، آن را در برگ‌ها، شاخه‌ها و ریشه‌های خود ذخیره می‌کنند. به‌علاوه، لاش‌برگ‌های موجود در بستر جنگل‌های شهری و خاک جنگل نیز در ذخیره‌سازی دی‌اکسید کربن مؤثر هستند (Pataki *et al.*, 2006). باتوجه به پرهزینه

امروزه تجمع گازهای گلخانه‌ای به یکی از مهم‌ترین معضلات محیط‌زیستی تبدیل شده است. دی‌اکسید کربن از مهم‌ترین گازهای گلخانه‌ای است و عامل اصلی تغییر اقلیم محسوب می‌شود (Nusbaumer & Matsumoto, 2008). شهرها به‌دلیل مصرف بسیار زیاد انرژی یکی از عوامل اساسی در پراکنش این گاز هستند. با افزایش جمعیت جهانی و شهرنشینی، خطر گازهای گلخانه‌ای و تغییر اقلیم در حال

بودن حذف کربن با استفاده از روش‌هایی نظیر فیلتراسیون می‌توان با جنگل‌کاری علاوه بر ایجاد فضای سبز و تولید چوب به هدف ذخیره‌سازی کربن (Carbon storage) نیز دست یافت (Khademi & Kord, 2012). ذخیره‌سازی کربن به تجمع کربن در زی‌توده در جریان رشد گیاه اشاره دارد (McPherson, 1998).

پژوهش‌های زیادی پیرامون نقش جنگل‌ها در ذخیره‌سازی کربن و کاهش دی‌اکسید کربن اتمسفری انجام شده است (Escobedo et al., 2010; Neto et al., 2012). اما تعداد کمی از این پژوهش‌ها بر قابلیت ذخیره‌سازی کربن در جنگل‌های شهری تمرکز کرده‌اند. به‌عنوان مثال، Nowak و همکاران (۲۰۱۳) مقدار کربن ذخیره‌شده در محیط شهری ۲۸ شهر و شش ایالت آمریکا را ۷/۶۹ کیلوگرم/مترمربع تخمین زدند. به‌علاوه، بسیاری از پژوهش‌ها فقط ذخیره کربن را در گیاهان و یا خاک جنگلی به‌صورت مجزا بررسی کرده‌اند و نقش کل اجزای مؤثر (زی‌توده سطح و زیرزمین، لاش‌برگ و خاک) را در ذخیره‌سازی کربن در نظر نگرفته‌اند. Iranmanesh و همکاران (۲۰۱۴) اندوخته کربن در اندام‌های روزمینی بلوط ایرانی (*Quercus brantii*) را در جنگل‌های لردگان ۹۰۹۹ کیلوگرم در هکتار برآورد کردند. Diaz-Pinésa و همکاران (۲۰۱۱) با بررسی کاج جنگلی (*Pinus sylvestris*) و یک گونه بلوط (*Q. pyrenaica*) در جنگل‌های کوهستانی مدیترانه در مرکز اسپانیا دریافته‌اند که کربن ذخیره‌شده در خاک موجود در زیر کاج جنگلی (۹۵ تا ۱۴۰ مگاگرم/هکتار) در حدود دو برابر کربن خاک گونه دیگر است.

پژوهش‌های اندکی قابلیت گونه‌های مختلف را در ذخیره‌سازی کربن مقایسه کرده‌اند (Siraj & Teshome, 2017; Ghasemi Aghbash, 2018). در پارک شاهد ملایر، مقدار کربن ذخیره‌شده در سرو نقره‌ای (۳۲/۳۲ تن/هکتار) و خاک زیر آن (۱۱/۱۵ تن/هکتار) را بیشتر از کربن ذخیره‌شده در آیلان (۱۷/۹۹ تن/هکتار) و خاک زیر آن (۷/۶ تن/هکتار) تخمین زدند. Siraj و Teshome (۲۰۱۷) در بررسی گونه‌های *Grevillea robusta*، *Pinus* و *P. patulla*، *Cupressus lusitanica*، *radiata* و

Eucalyptus grandis در ایتوپیی، میانگین سالانه کربن ذخیره‌شده در این درختان را به ترتیب ۴۴/۶۱، ۳۷/۷۵، ۲۹/۲۸، ۲۸/۶۸ و ۱۱/۱۹ تن/پایه درختی تخمین زدند. تغییرات زیادی در قابلیت ذخیره‌سازی کربن در میان گونه‌های مختلف و مدیریت‌های متفاوت وجود دارد. تغییر در شرایط محیط‌زیستی می‌تواند توان ذخیره‌سازی کربن را حتی در یک سطح جغرافیایی کوچک تحت تأثیر قرار دهد (Zeng et al., 2014). سنندج به‌عنوان مرکز استان کردستان در ردیف یکی از شهرهای آلوده ایران قرار گرفته است (Maleki et al., 2016). این شهر با توجه به شرایط خاص منطقه‌ای استان شامل قرار داشتن در مجاورت شهرهای مرزی، مسیر اصلی دالان شمال‌غرب به جنوب‌غرب، تردد زیاد عبور جاده‌ای، گرم‌تر بودن در مقایسه با شهرهای دیگر استان، عدم وجود پوشش طبیعی جنگلی، سرانه کم فضای سبز شهری عمومی و اختصاصی، تراکم زیاد ساختمانی، راه‌اندازی پتروشیمی و افزایش بی‌رویه تعداد خودرو به‌ویژه خودروهایی با عمر و آلایندگی زیاد، آستن مشکلات فراوان محیط‌زیستی شده است. پژوهش پیش‌رو به تخمین تجمع کربن در زی‌توده گیاهی، لاش‌برگی، علفی و خاک موجود در پارک جنگلی آیدر شهر سنندج پرداخت. همچنین، قابلیت گونه‌های درختی موجود در منطقه برای ذخیره‌سازی کربن مقایسه شد. با محاسبه مقدار ذخیره‌سازی کربن و شناسایی گونه‌هایی با بیشترین قابلیت ذخیره‌سازی در شرایط محلی سنندج، پژوهش پیش‌رو گامی برای شناسایی بهتر کارکردهای جنگل‌های شهری برمی‌دارد که نتایج آن می‌تواند به‌عنوان راهنمایی در مدیریت شهری استفاده شود.

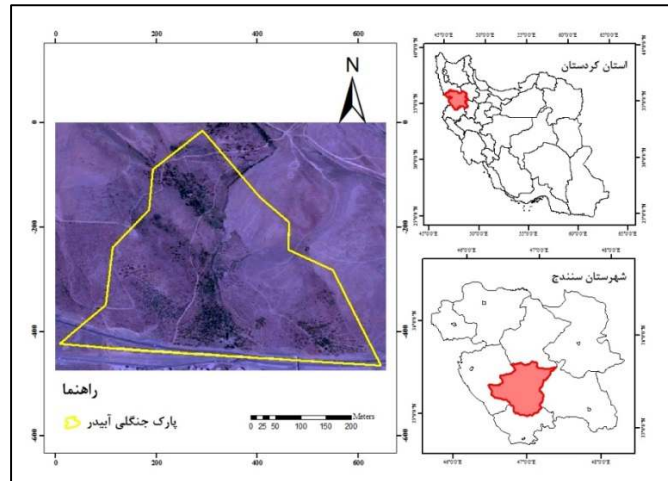
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شهر سنندج با مساحت ۶۳۶۸۸ هکتار در غرب ایران و در بخش جنوبی استان کردستان قرار دارد. ارتفاع از سطح دریای این شهر که از همه جهات توسط کوه‌های زاگرس احاطه شده است، بین ۱۴۵۰ تا ۱۵۳۸ متر متغیر است. پارک جنگلی آیدر با وسعت تقریبی ۱۵۵۵ هکتار در جنوب‌غربی شهر سنندج بین ۳۵° ۵۵' تا ۴۶° ۵۹' طول شرقی و ۳۵° ۱۹' تا ۳۵° ۵۵'

۲۰۱۰). سرو نقره‌ای (*Cupressus arizonica*)، شبه‌سرو (*Fraxinus* sp.)، زبان‌گنجشک (*Chamaecyparis* sp.)، و اقاقیا (*Robinia pseudoacacia*) گونه‌های درختی این پارک را تشکیل می‌دهند.

عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). ارتفاع متوسط منطقه ۲۰۷۳ متر از سطح دریا است. ۶۰ درصد از بافت خاک این پارک، لومی، ۲۰ درصد رسی-لومی، ۱۷ درصد لومی-رسی و سه درصد شنی-رسی-لومی است (Takiyehkhan et al., ۲۰۱۰).



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه

رابطه (۱)

$$\text{Total carbon} = C(\text{AGB}) + C(\text{BGB}) + C(\text{LHG}) + \text{SOC}$$

که در آن:

Total carbon = کل کربن ذخیره‌شده در جنگل

C (AGB) = کربن ذخیره‌شده در زی‌توده درختی سطح

زمین (Above-ground tree biomass)

C (BGB) = کربن ذخیره‌شده در زی‌توده درختی زیر

سطح زمین (Below-ground tree biomass)

C (LHG) = کربن ذخیره‌شده در لاش‌برگ و پوشش

علفی (Leaf litter, herb and grass biomass)

SOC = کربن آلی خاک (Soil organic carbon)

در واقع مقدار کربن ذخیره‌شده در هر بخش گیاه از حاصل‌ضرب وزن زی‌توده خشک در ۰/۴۷ به‌دست می‌آید (Subedi et al., 2010)، بنابراین محاسبه زی‌توده هر بخش گیاه پیش‌نیاز محاسبه کربن ذخیره‌شده در آن بخش است.

نمونه‌برداری

بر اساس وسعت و نیز تراکم متوسط درختان در منطقه، ۴۲ قطعه‌نمونه ۵۰×۲۰ متر مربعی به‌صورت تصادفی در منطقه مستقر شد. در هر قطعه‌نمونه، نوع گونه‌ها، ارتفاع و قطر برابر سینه همه درختان موجود برای تعیین کربن اندام‌های سطحی و زیرسطحی ثبت شد (Subedi et al., 2010). همچنین، در داخل این قطعه‌های نمونه، زیرقطعه‌نمونه‌های یک متر مربعی برای نمونه‌برداری از خاک و پوشش علفی مستقر شد.

محاسبه مقدار کربن ذخیره‌شده

کربن ذخیره‌شده در منطقه جنگلی از مجموع کربن‌های تجمع‌یافته در حوضچه‌های کربن (شامل زی‌توده سطح زمین، زی‌توده زیر سطح زمین، پوشش‌های علفی، لاش‌برگ‌ها و خاک) به‌دست می‌آید، بنابراین می‌توان کربن ذخیره‌شده در یک منطقه جنگلی را بر اساس رابطه ۱ محاسبه کرد (Subedi et al., 2010):

زی توده درختی سطح زمین

زی توده درختی سطح زمین به چگالی ویژه چوب، قطر درخت در ارتفاع برابر سینه و ارتفاع درخت وابسته است و با استفاده از رابطه ۲ محاسبه می شود (Subedi *et al.*, 2010):

$$\text{AGB} = 0.112 \times (\rho D^2 H)^{0.916} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن: AGB زی توده درختی سطح زمین (kg)؛ ρ چگالی ویژه چوب (g/cm^3)؛ D قطر درخت در ارتفاع برابر سینه (cm)؛ H ارتفاع درخت (m) است.

قطر برابر سینه و ارتفاع درختان در قطعه نمونه های ۲۰×۵۰ متر مربعی اندازه گیری شد. برای اندازه گیری چگالی ویژه چوب، پنج نمونه از تنه هر گونه درختی به طور تصادفی انتخاب شد و نمونه چوب آن ها با استفاده از مته مخصوص (Increment Borer) استخراج شد. در آزمایشگاه، نمونه ها در دمای ۱۰۱ تا ۱۰۵ درجه سانتیگراد به مدت ۴۸ تا ۷۲ ساعت خشک شدند و وزن و حجم نمونه های خشک شده تعیین شد. سپس با استفاده از رابطه ۳، چگالی ویژه چوب محاسبه شد (Chave, 2006):

رابطه (۳)

$$\text{Specific gravity} = \frac{\text{Oven dry mass} / \text{Oven dry volume}}{\rho_{\text{water}}}$$

Specific gravity = چگالی ویژه چوب

Oven dry mass = وزن نمونه چوب پس از خشک

شدن در آون

Oven dry volume = حجم نمونه چوب پس از خشک

شدن در آون

 ρ_{water} = وزن مخصوص آب (یک گرم بر سانتی متر

مکعب در دمای ۴/۴ درجه سانتیگراد)

زی توده درختی زیر سطح زمین

برخلاف زی توده سطح زمین، اندازه گیری زی توده زیر سطح زمین، سخت و زمان بر است و عدم قطعیت زیادی دارد. برای حل این مشکل می توان با استفاده از زی توده سطح زمین، زی توده زیرزمین را تخمین زد (رابطه ۴). این رابطه براساس بررسی رابطه بین زی توده سطح و زیر سطح زمین در ۳۰ کشور با جنگل های حاره ای، معتدل و قطبی به دست آمده و می تواند برای انواع گونه ها با شرایط آب و هوایی مختلف استفاده شود (Cairns *et al.*, 1997).

رابطه (۴)

$$\text{BGB} = \exp[-1.085 + 0.9256 \times \ln(\text{AGB})]$$

که در آن: BGB زی توده زیر سطح زمین و AGB زی توده سطح زمین است.

زی توده لاش برگ ها و پوشش علفی

وزن پوشش علفی در ریزقطعه نمونه های یک متر مربعی اندازه گیری شد. بخشی از نمونه های برداشت شده در هر ریزقطعه نمونه برای اندازه گیری های بیشتر به آزمایشگاه منتقل شدند. زی توده نمونه های خشک شده با استفاده از رابطه ۵ محاسبه شد (Subedi *et al.*, 2010):

رابطه (۵)

$$\text{LHG} = \frac{W_{\text{field}}}{A} \times \frac{W_{\text{subsample, dry}}}{W_{\text{subsample, wet}}}$$

که در آن: LHG زی توده لاش برگ و پوشش علفی؛

 W_{field} وزن لاش برگ و پوشش علفی تازه در منطقه؛ A

مساحت قطعه نمونه هایی که پوشش علفی در آن ها برداشت

شده است؛ $W_{\text{subsample, dry}}$ وزن خشک پوشش علفی و $W_{\text{subsample, wet}}$ وزن مرطوب پوشش علفی است.

کربن آلی خاک

نمونه‌های خاک در ریزقطعه‌نمونه‌های یک متر مربعی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر و با استفاده از استوانه‌های فلزی با حجم مشخص برداشت شدند. برای محاسبه کربن آلی خاک از رابطه ۶ استفاده شد (Pearson *et al.*, 2007):

رابطه (۶)

$$SOC = 10000 \times \%C \times \rho \times d$$

که در آن: SOC کربن آلی خاک (تن/هکتار)؛ C تجمع کربن در خاک؛ ρ وزن مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب خاک) و d عمق نمونه‌برداری (سانتی‌متر) است.

به‌منظور اندازه‌گیری وزن مخصوص ظاهری خاک، استوانه‌های حاوی نمونه‌های خاک پس از انتقال به آزمایشگاه به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد در آون قرار داده شدند. پس از خروج و سرد شدن استوانه، وزن خاک موجود در استوانه تعیین شد. براساس حجم استوانه، چگالی مخصوص ظاهری خاک محاسبه شد (Al-Shammery *et al.*, 2018). به‌منظور اندازه‌گیری کربن آلی موجود در خاک از روش والکلی-بلاک استفاده شد.

تجزیه و تحلیل آماری

به‌منظور بررسی اثر نوع گونه بر تجمع کربن لازم است میانگین کربن تجمعی در گونه‌های مختلف از نظر آماری مقایسه شود. داده‌های مربوط به کربن ذخیره‌شده در اندام‌های سطحی و زیرسطحی توزیع غیرنرمال داشتند، بنابراین برای بررسی اثر نوع گونه بر تجمع کربن در اندام‌های سطحی و زیرسطحی از آزمون ناپارامتری کروسکال-والیس در محیط نرم‌افزار SPSS استفاده شد. در صورت اثبات وجود تفاوت

بین گروه‌ها، به‌منظور تشخیص گروه‌های دارای اختلاف، انجام آزمون‌های مقایسه‌های چندگانه تعقیبی Post hoc برای بررسی تفاوت دویه‌دوی میانگین‌ها ضروری است. به‌منظور مقایسه دوگانه گونه‌ها، آزمون من-ویتنی استفاده شد.

نتایج

در این پژوهش، ۸۷۲ اصله درخت از گونه‌های سرو نقره‌ای، شبه‌سرو، زبان‌گنجشک و اقاچیا با تراکم ۳۷۹ درخت در هکتار اندازه‌گیری شد. برای تحلیل دقیق‌تر کربن ذخیره‌شده در گونه‌ها، درختان نمونه‌برداری‌شده برحسب قطر به سه طبقه ۵ تا ۲۵، ۲۵ تا ۵۰ و ۵۰ تا ۷۵ سانتی‌متری تفکیک شدند. اطلاعات توصیفی درختان اندازه‌گیری‌شده در جدول ۱ خلاصه شده است. از مجموع ۸۷۲ درخت، ۲۹/۹ درصد درختان قطر کمتر از ۲۵ سانتی‌متر، ۶۲/۷ درصد درختان در طبقه قطری ۲۵ تا ۵۰ و ۷/۳ درصد باقیمانده در طبقه قطری ۵۰ تا ۷۵ سانتی‌متری قرار گرفتند.

بررسی تراکم کل کربن ذخیره‌شده نشان داد که بیشترین کربن در خاک (۶۶/۱۵ درصد) و کمترین مقدار کربن در پوشش علفی و لاش‌برگ‌های پارک آبیدر (۰/۷۱ درصد) ذخیره شده بود (جدول ۲). تراکم کل کربن ذخیره‌شده در اندام‌های سطحی و زیرسطحی گونه‌های مختلف به‌تفکیک طبقه قطری در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. براساس نتایج، دامنه تراکم کل کربن ذخیره‌شده در گونه‌های مختلف در اندام‌های سطحی بین ۴/۴۴ و ۱۲۴/۶۱ و در اندام‌های زیرسطحی بین ۱/۱۴ و ۲۵/۴۹ تن در هکتار متغیر بود.

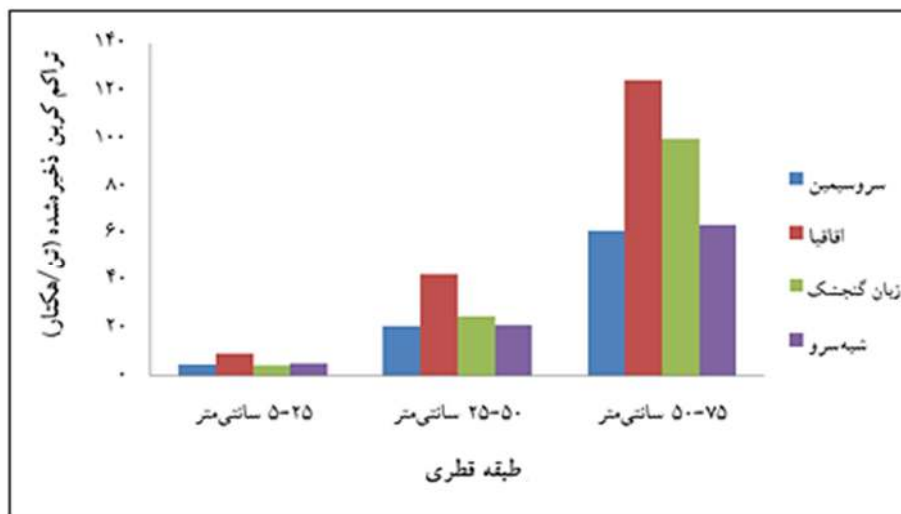
نتایج مقایسه کربن با استفاده از آزمون کروسکال-والیس نشان داد که تجمع کربن در اندام‌های سطحی و زیرسطحی در طبقه قطری پنج تا ۲۵ سانتی‌متری در گونه‌های مختلف، تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۳).

جدول ۱- اطلاعات توصیفی گونه‌های نمونه‌برداری شده در طبقه‌های قطری

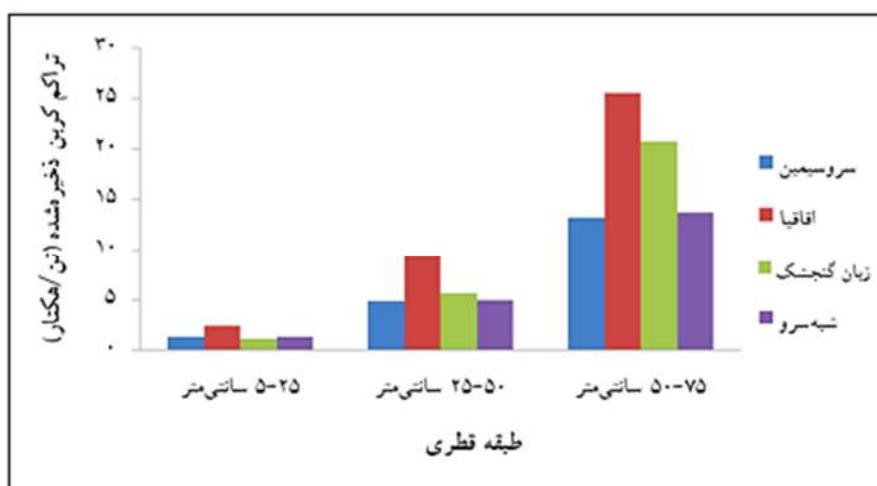
گونه												
شبه‌سرو			زبان گنجشک			اقاقیا			سرو نقره‌ای			
میانگین ارتفاع	میانگین قطر	تعداد	میانگین ارتفاع	میانگین قطر	تعداد	میانگین ارتفاع	میانگین قطر	تعداد	میانگین ارتفاع	میانگین قطر	تعداد	طبقه قطری
(m)	(cm)		(m)	(cm)		(m)	(cm)		(m)	(cm)		(cm)
۳/۰۸	۱۹/۲	۵۶	۲/۵۳	۱۵/۰۳	۹۴	۳/۵۸	۱۹/۳۱	۴۶	۲/۹۲	۱۸/۱۳	۶۵	۵-۲۵
۴/۱۱	۳۵/۰۹	۱۰۶	۴/۲	۳۶/۲۸	۵۸	۵/۳	۳۷/۳	۱۴۳	۴/۰۴	۳۴/۰۸	۲۴۰	۲۵-۵۰
۵/۹۵	۵۵/۰۷	۶	۶/۲	۵۹/۴۵	۱۶	۶/۳۳	۶۰/۸۸	۱۸	۵/۹۵	۵۲	۲۴	۵۰-۷۵

جدول ۲- تراکم کربن ذخیره‌شده در بخش‌های مختلف

تراکم کربن ذخیره‌شده (درصد)	تراکم کربن ذخیره‌شده ± انحراف معیار (تن در هکتار)	
۲۷/۲۷	۴۰/۲۹ ± ۳۹/۷۷	اندام‌های سطحی درختان
۵/۸۶	۸/۶۶ ± ۸/۰۸	اندام‌های زیرسطحی درختان
۰/۷۱	۱/۰۵۵ ± ۰/۵۱	پوشش علفی و لاش‌برگ
۶۶/۱۵	۹۷/۷۲ ± ۳۴/۱۳	خاک
۱۰۰	۱۴۷/۷۲	کل



شکل ۲- تراکم کل کربن ذخیره‌شده در اندام‌های سطحی گونه‌های درختی



شکل ۳- تراکم کل کربن ذخیره‌شده در اندام‌های زیرسطحی گونه‌های درختی

جدول ۳- مقایسه تراکم کربن ذخیره‌شده (کیلوگرم/مترمربع) در گونه‌های درختی (طبقه قطری ۵ تا ۲۵ سانتی‌متر)

کربن زیر سطح زمین		کربن سطح زمین	
میانگین رتبه	گونه	میانگین رتبه	گونه
۱۲۶/۲۹	سرو نقره‌ای	۱۲۵/۹۶	سرو نقره‌ای
۱۴۰/۵	ااقیا	۱۴۰/۵۵	ااقیا
۱۲۳/۸۹	زبان گنجشک	۱۲۳/۹۱	زبان گنجشک
۱۳۹/۱۱	شبه سرو	۱۳۹/۷	شبه سرو
۲/۳۶	مربع کای	۲/۲۵۰۱	مربع کای
۳	درجه آزادی	۳	درجه آزادی
۰/۵۰۱	معنی‌داری	۰/۴۷۵	معنی‌داری

مختلف در جدول ۴ ارائه شده است.

در طبقه قطری ۵۰ تا ۷۵ سانتی‌متری نیز مقدار کربن ذخیره‌شده در زی‌توده سطحی و زیرسطحی در گونه‌های مختلف، تفاوت معنی‌داری نشان داد. میانگین رتبه کربن ذخیره‌شده سطح و زیر زمین برای گونه‌های مختلف در جدول ۵ آمده است.

در طبقه‌های قطری ۲۵ تا ۵۰ و ۵۰ تا ۷۵ سانتی‌متری، تجمع کربن در گونه‌های مختلف در سطح اطمینان ۹۹ درصد متفاوت بود (جدول‌های ۴ و ۵). در گونه‌های مختلف با طبقه قطری ۲۵ تا ۵۰ سانتی‌متری، مقدار کربن ذخیره‌شده در گونه‌های مختلف، تفاوت معنی‌داری داشت. میانگین رتبه کربن ذخیره‌شده سطح زمین برای گونه‌های

جدول ۴- مقایسه تراکم کربن ذخیره شده (کیلوگرم/مترمربع) در گونه‌های درختی (طبقه قطری ۲۵ تا ۵۰ سانتی‌متر)

کربن زیر سطح زمین		کربن سطح زمین	
میانگین رتبه	گونه	میانگین رتبه	گونه
۲۳۳/۷۲	سرو نقره‌ای	۲۳۳/۶۵	سرو نقره‌ای
۳۶۲/۳۴	اقاقیا	۳۶۲/۶۴	اقاقیا
۲۸۰/۸۸	زبان‌گنجشک	۲۸۰/۸۸	زبان‌گنجشک
۲۳۷/۴۹	شبه‌سرو	۲۳۷/۳۷	شبه‌سرو
۶۴/۴۷۹	مربع کای	۶۴/۹۱۲	مربع کای
۳	درجه آزادی	۳	درجه آزادی
۰/۰۰۰	معنی‌داری	۰/۰۰۰	معنی‌داری

جدول ۵- مقایسه تراکم کربن ذخیره شده (کیلوگرم/مترمربع) در گونه‌های درختی (طبقه قطری ۵۰ تا ۷۵ سانتی‌متر)

کربن زیر سطح زمین		کربن سطح زمین	
میانگین رتبه	گونه	میانگین رتبه	گونه
۱۸/۴۲	سرو نقره‌ای	۱۸/۴۲	سرو نقره‌ای
۴۹/۴۴	اقاقیا	۴۹/۴۴	اقاقیا
۳۶/۷۵	زبان‌گنجشک	۳۶/۷۵	زبان‌گنجشک
۲۶/۶۷	شبه‌سرو	۲۶/۶۷	شبه‌سرو
۳۰/۰۶۳	مربع کای	۳۰/۰۶۳	مربع کای
۳	درجه آزادی	۳	درجه آزادی
۰/۰۰۰	معنی‌داری	۰/۰۰۰	معنی‌داری

در طبقه قطری ۵۰ تا ۷۵ سانتی‌متر نیز اقااقیا نسبت به سرو نقره‌ای، زبان‌گنجشک نسبت به سرو نقره‌ای، اقااقیا نسبت به زبان‌گنجشک و اقااقیا نسبت به شبه‌سرو، کربن بیشتری را در اندام‌های سطحی و زیرسطحی خود ذخیره کرده بودند. گونه‌های دیگر از این نظر با یکدیگر تفاوت معنی‌داری نداشتند (جدول ۷).

در مقایسه دوه‌دوی گونه‌ها با استفاده از آزمون من-ویننی، میانگین رتبه نشان داد که کربن ذخیره شده در کدام گونه بیشتر و در کدام یک کمتر است. براساس نتایج، در طبقه قطری ۲۵ تا ۵۰ سانتی‌متر، اقااقیا نسبت به سایر گونه‌ها کربن بیشتری را در اندام‌های سطحی و زیرسطحی خود ذخیره کرده بود. گونه‌های دیگر از این نظر با یکدیگر تفاوت معنی‌داری نداشتند (جدول ۶).

جدول ۶- مقایسه دو گانه تراکم کربن ذخیره‌شده (کیلوگرم/مترمربع) در گونه‌های درختی (طبقه قطری ۲۵ تا ۵۰ سانتی‌متر)

کربن زیر سطح زمین			کربن سطح زمین			
معنی‌داری	آماره U	میانگین رتبه	معنی‌داری	آماره U	میانگین رتبه	گروه
۰/۰۰۰	۸۹۹۳	۱۵۷/۹۷	۰/۰۰۰	۸۹۶۰	۱۵۷/۸۳	سرو نقره‌ای
		۲۴۹/۱۱			۲۴۹/۳۴	اقاقیا
۰/۰۹۳	۵۹۷۰	۱۴۵/۳۸	۰/۰۹۲	۵۹۶۷	۱۴۵/۳۶	سرو نقره‌ای
		۱۶۶/۵۷			۱۶۶/۶۲	زبان‌گنجشک
۰/۶۴۵	۱۲۳۲۵	۱۶۹/۷۷	۰/۶۴۵	۱۲۳۲۵	۱۶۹/۷۷	سرو نقره‌ای
		۱۷۵/۱۵			۱۷۵/۱۵	شبه‌سرو
۰/۰۰۶	۳۱۱۷	۱۰۸/۲۰	۰/۰۰۶	۳۱۱۴	۱۰۸/۲۲	اقاقیا
		۸۳/۲۴			۸۳/۱۹	زبان‌گنجشک
۰/۰۰۰	۴۱۴۳	۱۴۹/۰۳	۰/۰۰۰	۴۱۳۶	۱۴۹/۱۰۸	اقاقیا
		۹۲/۵۸			۹۲/۵۲	شبه‌سرو
۰/۱۳۱	۲۶۳۵	۹۰/۰۷	۰/۱۳۱	۲۶۳۵	۹۰/۰۷	زبان‌گنجشک
		۷۸/۳۶			۷۸/۳۶	شبه‌سرو

جدول ۷- مقایسه دو گانه تراکم کربن ذخیره‌شده (کیلوگرم/مترمربع) در گونه‌های درختی (طبقه قطری ۵۰ تا ۷۵ سانتی‌متر)

کربن زیر سطح زمین			کربن سطح زمین			
معنی‌داری	آماره U	میانگین رتبه	معنی‌داری	آماره U	میانگین رتبه	گروه
۰/۰۰۰	۱۱	۱۲/۹۶	۰/۰۰۰	۱۱	۱۲/۹۶	سرو نقره‌ای
		۳۲/۸۹			۳۲/۸۹	اقاقیا
۰/۰۰۱	۶۷	۱۵/۲۹	۰/۰۰۱	۶۷	۱۵/۲۹	سرو نقره‌ای
		۲۸/۳۱			۲۸/۳۱	زبان‌گنجشک
۰/۶۷۸	۶۴	۱۵/۱۷	۰/۶۷۸	۶۴	۱۵/۱۷	سرو نقره‌ای
		۱۶/۸۳			۱۶/۸۳	شبه‌سرو
۰/۰۱۹	۷۶	۲۱/۲۸	۰/۰۱۹	۷۶	۲۱/۲۸	اقاقیا
		۱۳/۲۵			۱۳/۲۵	زبان‌گنجشک
۰/۰۳۳	۲۲	۱۴/۲۸	۰/۰۳۳	۲۲	۱۴/۲۸	اقاقیا
		۷/۱۷			۷/۱۷	شبه‌سرو
۰/۴۱۷	۳۷	۱۲/۱۹	۰/۴۱۷	۳۷	۱۲/۱۹	زبان‌گنجشک
		۹/۶۷			۹/۶۷	شبه‌سرو

بحث

جنگل‌های شهری با کاهش دی‌اکسید کربن اتمسفری، نقش مهمی در کاهش شدت تغییر اقلیم دارند. با کمی‌سازی کربن ذخیره‌شده در جنگل‌های شهری می‌توان نقش آن‌ها را در کنترل آلودگی هوا به‌دقت ارزیابی کرد. براساس نتایج پژوهش پیش‌رو، مقدار کربن ذخیره‌شده در کل فضای جنگلی آبی‌در (شامل درختان، لاش‌برگ، پوشش علفی و خاک) $229/704$ تن بود. بیشترین کربن در خاک و کمترین آن در پوشش علفی و لاش‌برگی ذخیره شده بود. پژوهش‌های پیشین نیز بیانگر قابلیت بیشتر خاک و پوشش درختی در ذخیره‌سازی کربن در مقایسه با پوشش علفی بوده‌اند (McHale et al., 2009). در پژوهش Neto و همکاران (۲۰۱۲) مشخص شد که خاک جنگل قابلیت بیشتری نسبت به اندام‌هایی گیاهان برای ذخیره کربن دارد. همچنین، Liu و Nan (۲۰۱۸) نشان دادند که خاک جنگل‌های سوزنی‌برگ چین با ۵۴ درصد کربن ذخیره‌شده، قابلیت بیشتری نسبت به گونه‌های گیاهی از نظر ذخیره کربن داشت.

نتایج دیگر این پژوهش نشان داد که در طبقه قطری کمتر از ۲۵ سانتی‌متر، گونه‌ها تفاوتی از نظر کربن ذخیره‌شده نداشتند که می‌تواند به اختلاف‌های قطری و ارتفاعی کمتر گونه‌ها در این طبقه قطری نسبت به طبقه‌های دیگر نسبت داده شود. در طبقه‌های قطری دیگر، افاقیا بیشتر از گونه‌های دیگر کربن را در اندام‌های سطحی و زیرسطحی خود ذخیره کرده بود. همچنین، زبان‌گنجشک در طبقه قطری ۵۰ تا ۷۵ سانتی‌متر بیشتر از سرو نقره‌ای کربن ذخیره داشت. Varamesh و همکاران (۲۰۱۱) در پارک جنگلی چیتگر تهران گزارش کردند که سهم افاقیا در ترسیب کربن بیشتر از زبان‌گنجشک بود. پژوهش‌های دیگری نیز بیانگر ذخیره‌سازی بیشتر کربن در گیاهان پهن‌برگ نسبت به گیاهان سوزنی‌برگ بوده‌اند (McHale et al., 2009). Hutyra و Reinmann (۲۰۱۷) سهم جنگل‌های معتدل پهن‌برگ در ذخیره کربن جهانی را ۶۰ درصد گزارش کردند که با نتایج پژوهش پیش‌رو در توانایی بیشتر درختان

پهن‌برگ نسبت به درختان سوزنی‌برگ همخوانی دارد. نتایج پژوهش پیش‌رو نشان داد که مقدار کربن ذخیره‌شده در اندام‌های سطحی و زیرزمینی گونه‌های درختی ($48/95$ تن در هکتار) بیشتر از بسیاری از مناطق ایران و جهان است. ممکن است تفاوت در مقدار کربن ذخیره‌شده در نقاط مختلف ناشی از ساختار متفاوت جنگل‌ها در مناطق مختلف باشد. قطر و ارتفاع درختان از تفاوت‌های ساختاری تأثیرگذار در ذخیره‌سازی کربن هستند (McHale et al., 2009). در پژوهشی در شهر شن‌یانگ چین با تراکم درختی ۵۶۹ اصله در هکتار (Liu & Liu, 2012)، ذخیره کربن $33/22$ تن در هکتار برآورد شد. درحالی‌که بیشتر درختان پژوهش پیش‌رو در طبقه قطری ۲۵ تا ۵۰ سانتی‌متری قرار داشتند، قطر بیشتر درختان در پژوهش مذکور در چین کمتر از ۲۵ سانتی‌متر بود که سبب ذخیره کمتر کربن در آن‌ها شد. در جنگل‌کاری‌های ذوب‌آهن اصفهان، مقدار ذخیره کربن برای سرو نقره‌ای با تراکم ۱۴۰۰ اصله در هکتار و کاج تهران با تراکم ۱۳۵۰ اصله در هکتار به ترتیب $30/99$ و $11/13$ تن در هکتار برآورد شد (Narimani et al., 2015). کمبود کربن ذخیره‌شده در جنگل‌کاری‌های ذوب‌آهن اصفهان نسبت به پژوهش پیش‌رو را می‌توان به قطر کمتر (کمتر از ۱۵ سانتی‌متر) درختان در پژوهش مذکور نسبت داد. یکی دیگر از دلایل بیشتر بودن ذخیره کربن در پارک جنگلی آبی‌در می‌تواند غنای گونه‌ای این پارک باشد. برخی پژوهش‌ها نشان داده‌اند که با افزایش غنای گونه‌ای، قابلیت گیاهان و خاک برای ذخیره کربن افزایش می‌یابد (Shanin et al., 2014; Cai et al., 2016). Vayreda و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که جنگل‌هایی با تنوع گونه‌ای بیشتر، منابع موجود را با کارایی بیشتری استفاده می‌کنند که موجب افزایش قابلیت آن‌ها برای ذخیره‌سازی کربن می‌شود.

در مجموع، نتایج این پژوهش نشان داد که درخت افاقیا، قابلیت بیشتری نسبت به گونه‌های زبان‌گنجشک، سرو نقره‌ای و شبه‌سرو در ذخیره‌سازی کربن در اندام‌های خود دارد، بنابراین گسترش کاشت این گونه در جنگل‌های شهری

- in two vegetation forms in Lordegan, Chaharmahal and Bakhtiari forests. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 22(4): 749-762 (In Persian).
- Khademi, A. and Kord, B., 2012. The estimation of carbon storage in biomass of ash tree (*Fraxinus rotundifolia* mill.) (case study: Khalkhal forest park). *Journal of Sciences and Techniques in Natural Resources*, 6(4): 13-23 (In Persian).
 - Liu, C. and Li, X., 2012. Carbon storage and sequestration by urban forests in Shenyang, China. *Urban Forestry and Urban Greening*, 11(2): 121-128.
 - Liu, N. and Nan, H., 2018. Carbon stocks of three secondary coniferous forests along an altitudinal gradient on Loess Plateau in inland China. *PLoS One*, 13(5): e01196927.
 - Maleki, H., Sorooshian, A., Goudarzi, Gh., Nikfal, A. and Baneshi, M.M., 2016. Temporal profile of PM₁₀ and associated health effects in one of the most polluted cities of the world (Ahvaz, Iran) between 2009 and 2014. *Aeolian Research*, 22: 135-140.
 - McHale, M.R., Burke, I.C., Lefsky, M.A., Peper, P.J. and McPherson, E.G., 2009. Urban forest biomass estimates: is it important to use allometric relationships developed specifically for urban trees? *Urban Ecosystems*, 12(1): 95-113.
 - McPherson, E.G., 1998. Atmospheric carbon dioxide reduction by Sacramento's urban forest. *Journal of Arboriculture*, 24(4): 215-223.
 - Narimani, H., Iran Nezhad Parizi, M.H., Kiani, B. and Ghorbali, R., 2015. Effects of plantation with conifers on carbon sequestration (Case study: Zob-e-Ahan company, Isfahan). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 23(1): 53-63 (In Persian).
 - Neto, V., Ahmad Ainuddin, N., Wong, M. and Ting, H., 2012. Contributions of forest biomass and organic matter to above-and belowground carbon contents at Ayer Hitam Forest Reserve, Malaysia. *Journal of Tropical Forest Science*, 24(2): 217-230.
 - Nowak, D.J., Greenfield, E.J., Hoehn, R.E. and Lapoint, E., 2013. Carbon storage and sequestration by trees in urban and community areas of the United States. *Environmental Pollution*, 178: 229-236.
 - Nusbaumer, J. and Matsumoto, K., 2008. Climate and carbon cycle changes under the overshoot scenario. *Global and Planetary Change*, 62(1-2): 164-172.
 - Pataki, D.E., Alig, R.J., Fung, A.S., Golubiewski, N.E., Kennedy, C.A., McPherson, E.G., ... and Romero Lankao, P., 2006. Urban ecosystems and the North American carbon cycle. *Global Change Biology*, 12(11): 2092-2102.
 - Pearson, T.R.H., Brown, S.L. and Birdsey, R.A., 2007. Measurement guidelines for the sequestration of

سندج و شهرهای دیگر با شرایط مشابه می‌تواند گام مثبتی به‌منظور کاهش دی‌اکسید کربن اتمسفری و تعدیل روند تغییر اقلیم باشد.

سپاسگزاری

مقاله پیش‌رو از طرح پژوهشی داخلی دانشگاه کردستان (به‌شماره ۹۷/۱۱/۵۰۶۸) استخراج شده است. نویسندگان لازم می‌دانند از معاونت پژوهشی دانشگاه کردستان بابت حمایت مالی از این پژوهش تشکر نمایند.

منابع مورد استفاده

- Al-Shammary, A.A.G., Kouzani, A.Z., Kaynak, A., Khoo, S.Y., Norton, M. and Gates, W., 2018. Soil bulk density estimation methods: A review. *Pedosphere*, 28(4): 581-596.
- Cai, H., Di, X., Chang, S.X. and Jin, G., 2016. Stand density and species richness affect carbon storage and net primary productivity in early and late successional temperate forests differently. *Ecological Research*, 31(4): 525-533.
- Cairns, M.A., Brown, S., Helmer, E.H. and Baumgardner, G.A., 1997. Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia*, 111(1): 1-11.
- Chave, J. 2006. Measuring wood density for tropical forest trees: a field manual. Sixth Framework Programme, Paul Sabatier University, Toulouse, 6p.
- Díaz-Pinés, E., Rubio, A., Van Miegroet, H., Montes, F. and Benito, M., 2011. Does tree species composition control soil organic carbon pools in Mediterranean mountain forests? *Forest Ecology and Management*, 262(10): 1895-1904.
- Escobedo, F., Varela, S., Zhao, M., Wagner, J.E. and Zipperer, W., 2010. Analyzing the efficacy of subtropical urban forests in offsetting carbon emissions from cities. *Environmental Science and Policy*, 13(5): 362-372.
- Ghasemi Aghbash, F., 2018. Soil carbon sequestration and understory plant diversity under needle and broad-leaved plantations (Case study: Shahed forest park of Malayer city). *Ecopersia*, 6(1): 1-10 (In Persian).
- Iranmanesh, Y., Sagheb Talebi, Kh., Sohrabi, H., Jalali, S.Gh. and Hosseini, S.M., 2014. Biomass and carbon stocks of Brant's oak (*Quercus brantii* Lindl.)

- Subedi, B.P., Pandey, S.S., Pandey, A., Rana, E.B., Bhattarai, S., Banskota, T.R., ... and Tamrakar, R., 2010. Forest Carbon Stock Measurement: Guidelines For Measuring Carbon Stocks in Community-Managed Forests. ANSAB, FECOFUN and ICIMOD, Kathmandu, Nepal, 69p.
- Varamesh, S., Hosseini, S.M. and Abdi, N., 2011. Estimating potential of urban forests for atmospheric carbon sequestration. *Journal of Environmental Studies*, 37(57): 113-120 (In Persian).
- Vayreda, J., Gracia, M., Canadell, J.G. and Retana, J., 2012. Spatial patterns and predictors of forest carbon stocks in western Mediterranean. *Ecosystems*, 15: 1258-1270.
- Zeng, X., Zhang, W., Cao, J., Liu, X., Shen, H. and Zhao, X., 2014. Changes in soil organic carbon, nitrogen, phosphorus, and bulk density after afforestation of the "Beijing-Tianjin Sandstorm Source Control" program in China. *Catena*, 118: 186-194.
- forest carbon. General Technical Report NRS-18, US Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station, Newtown Square, Pennsylvania, 42p.
- Reinmann, A.B. and Hutrya, L.R., 2017. Edge effects enhance carbon uptake and its vulnerability to climate change in temperate broadleaf forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(1): 107-112.
- Shanin, V., Komarov, A. and Mäkipää, R., 2014. Tree species composition affects productivity and carbon dynamics of different site types in boreal forests. *European Journal of Forest Research*, 133(2): 273-286.
- Siraj, K.T. and Teshome, B.B., 2017. Potential difference of tree species on carbon sequestration performance and role of forest based industry to the environment (Case of Arsi forest enterprise Gambo district). *Environment Pollution and Climate Change*, 1(3): 132.

Carbon storage in the Abidar urban forest, Sanandaj, Iran

M. Reisi ^{1*}, H. Ghaderzadeh ², M. Saedpanah ³ and A. Moradi ⁴

1* - Corresponding author, Assistant Prof., Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran. E-mail: m.reisi@uok.ac.ir

2- Assistant Prof., Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

3- M.Sc. Graduate of Environmental Engineering, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

4- Ph.D. Graduate of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

Received: 13.08.2019

Accepted: 17.11.2019

Abstract

Urban forests play a key role in CO₂ reduction and consequently in controlling climate change. Therefore, quantifying carbon storage is essential to understand the role of urban forests in reducing atmospheric pollution. This study quantified carbon storage in the Abidar urban forest of the Sanandaj in the Kurdistan Province. To achieve the aim, trees, leaf litter, grass biomass, and soil were sampled and analyzed. Results showed the carbon storage of 147.72 t/ha in the Abidar forest; with trees above-ground biomass, trees below-ground biomass, leaf litter and grass, and soil storing 40.29, 8.66, 1.055, and 97.72 t/ha of carbon, respectively. The results also confirmed different carbon storage levels in various species, with *Robinia pseudoacacia* storing more carbon in above and below biomass than *Cupressus arizonica*, *Chamaecyparis* sp., and *Fraxinus rotundifolia*. The results of the study could be beneficial for urban forestry, green areas management, and urban planning to foster clean air and manage greenhouse gas emissions in urban landscapes.

Keywords: Biomass, carbon dioxide, *Robinia pseudoacacia*, urban forestry.