



سنجش پتانسیل ذخیره سازی کربن توسط درختان شهری (مطالعه موردی: شهر همدان)

کامران شایسته^۱، شیوا غریبی^{۱*}، فرهاد فیضی^۲

*^۱ - گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ملایر، همدان، ایران

^۲ - گروه برنامه ریزی شهری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر تهران، تهران، ایران

چکیده

نوع مقاله:

پژوهشی

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۳۰

پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۲

کلمات کلیدی:

تاج پوشش

دی اکسید کربن

زی توده

معادلات آلومتریک

شهر دارای پوشش ناهمگنی از زیرساخت های سبز و خاکستری است. زیرساخت های سبز از جمله پوشش درختی به عنوان ذخایر کربن عمل می کنند. روش های مختلفی جهت برآورد مقدار ترسیب کربن توسط درختان وجود دارد که هرکدام از روش ها وابسته به زمان، هزینه و نوع منطقه مورد مطالعه است. جهت تهیه نقشه پوشش درختان در مقیاس شهر همدان با مساحت ۷۴ کیلومتر مربع از تصاویر گوگل ارث استفاده شد. حریم ۵۰ متری اطراف خیابان های اصلی شهر اعمال و بر اساس درصد سبزینگی به ۳ گروه تراکمی بالا، متوسط و پائین طبقه بندی شدند. در هر طبقه به صورت تصادفی و با عملیات میدانی اطلاعات ۲۶۵ درخت (در مجموع ۸۰۰ درخت) از جمله قطر تاج پوشش و اطلاعات آلومتریک ثبت شد. یک رویکرد شی گرا برای استخراج مساحت و درصد تاج پوشش درختان به کار گرفته شد. با تقسیم مجموع تاج پوشش درختان به میانگین مساحت تاج پوشش درختان منفرد، تعداد کل و سپس موقعیت درختان تخمین زده شد. جهت برآورد زی توده خشک گونه های درختی از معادلات آلومتریک استفاده شد. بر اساس نتایج، عمده ترین گونه های درختی شامل افرا، افاقیا، چنار، زبان گنجشک، سرو، صنوبر، کاج و نارون است. میانگین کربن آلی ذخیره شده در درختان منفرد و حاشیه خیابان که سطح زیر آنها به صورت سنگفرش و آسفالت است حدود ۸۸/۲۹ کیلوگرم برآورد شد که در مقایسه با میانگین کربن آلی درختان که سطح زیر درخت پوشیده از خاک و پوشش علفی (میانگین: ۱۴۸/۷۹ کیلوگرم) و دارای تفاوت چشمگیری است. در مجموع، مقدار کربن ذخیره شده توسط درختان شهری در شهر همدان ۱/۶ تن در هر هکتار برآورد شد.

مقدمه

پارک ها، باغ های خانگی، درختان خیابان، درختستان ها و جنگل های شهری تولید می شوند (Bolund & Elmqvist et al., 2015; Hunhammar, 1999). درختان به عنوان مخزن دی اکسید کربن از طریق تثبیت کربن در طول فرآیند فتوسنتز عمل و کربن اضافی را به صورت زی توده ذخیره می کنند (Nowak &

خدمات اکوسیستمی در مجموعه ای از مهم ترین زیرساخت های سبز مناطق شهری شامل زمین های کشاورزی، باغ ها، مزارع شهری، فضاهای سبز عمومی، گورستان، چمنزار، زمین های مردابی، زمین های دشتی، بیشه زارها، زمین های رها شده، بام های سبز، زمین های سازمانی، باغستان، تجهیزات ورزشی در فضای باز،

خاک، رطوبت، نور و رقابت است (Bühler et al., 2007). در نهایت، برآورد پتانسیل ترسیب کربن نیازمند برآورد مقدار زی توده درختان است. زی توده درختان به دو طبقه روی زمینی و زیرزمینی یا ریشه تقسیم بندی می شود (Mitra et al., 2011). در برآورد زی توده از دو روش تخریبی (قطع درخت) و غیرتخریبی (معادلات آلومتریکی) استفاده می شود (Ismail et al., 2019). که بر اساس شرایط محیط، معادلات آلومتریکی درون گونه ها و بین گونه های مختلف متفاوت است (Strohbach & Hasse, 2012). بیشترین پتانسیل برای زی توده روی زمینی و ذخیره کربن در اکوسیستم جنگلی نیز در داخل اجزای زی توده درخت یافت می شوند (Peichl & Arain, 2006). علاوه بر آن، زی توده زیرزمینی (ریشه)، لاشبرگ و خاک های معدنی نیز مخازن بزرگی از کربن را تشکیل می دهند (Oliver et al., 2004). حدود ۴۸ درصد از کربن در ماده آلی خاک و تنها ۱۶ درصد در زی توده زنده فعال است (Malhi et al., 1999). بنابراین، کربن آلی خاک و زی توده ایستاده به عنوان یکی از مراحل تعیین کننده در ارزیابی ذخایر کربن جهت کاهش گازهای گلخانه ای شناخته شده است (Pilli et al., 2006). به طور کلی، استفاده از روش های آماربرداری در شرایط مختلف بستگی به هدف آماربرداری دارد و باید روش به کار برده شده از نظر صحت و هزینه مصرفی بررسی شود. در آماربرداری از درختان خیابانی می توان از روش های پیچیده مانند آماربرداری صددرصدی، استفاده از عکس هوایی، تصاویر ماهواره ای و روش های کامپیوتری و یا از روش های ساده تر مانند ارزیابی میدانی و نمونه برداری های مختلف دیگر استفاده نمود. اولین ارزیابی ملی مقدار کربن ذخیره شده در درختان محیط شهری اوکلند کالیفرنیا توسط Nowak (۱۹۹۳) حدود ۷۵۰ تا ۳۵۰ میلیون تن برآورد شده است. علیرغم افزایش روزافزون گازهای گلخانه ای، در زمینه بررسی میزان ترسیب کربن به وسیله درختان شهری مطالعات اندکی صورت گرفته است. سهرابی و شیروانی (۱۳۹۰) به بررسی معادلات آلومتریکی برای برآورد زی توده روی زمینی بنه در پارک ملی خجیر؛ واحدی و متاجی (۱۳۹۴) به برآورد مقادیر ترسیب کربن تنه درختان راش شرقی جنگل های هیرکانی پرداخته و حیدریان و قاسمی (۱۳۹۴) میزان ترسیب کربن درختی

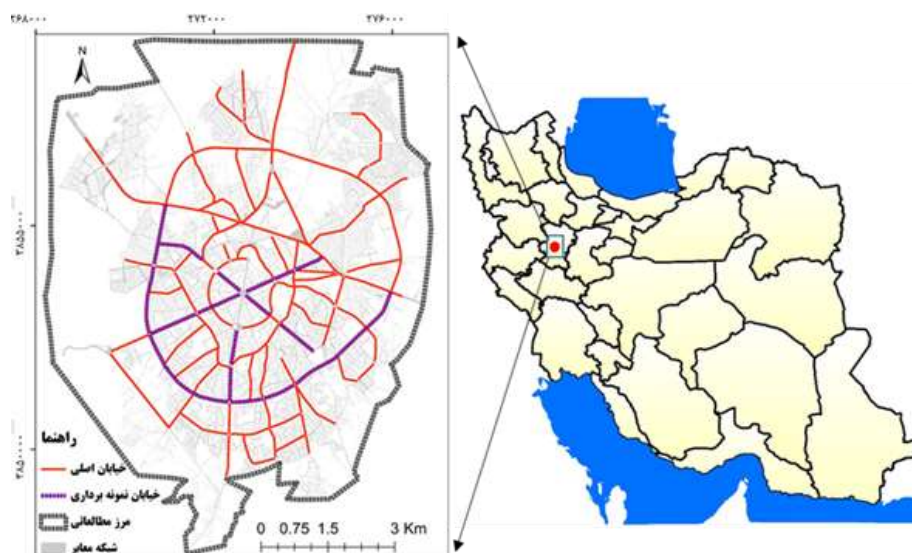
(Crane, 2002). بنابراین، افزایش تعداد درختان کربن اتمسفری را به طور بالقوه کاهش می دهد (Moulton & Richards, 1990). از این رو، پوشش های جنگلی به عنوان مقرون به صرفه ترین و سریع ترین مکانیسم کاهش غلظت دی اکسید کربن اتمسفری از طریق جذب فعال CO₂ در فرآیند فتوسنتز و متعاقباً ذخیره آن در زی توده درختان در حال رشد در نظر گرفته می شوند (Baes et al., 1977). از آن جهت که مقادیر عظیمی از کربن ذخیره شده در خاک های جنگلی به کربن درختی اضافه می شوند، بدیهی است که جنگل ها به عنوان مخازن اصلی ذخیره کربن انگاشته گردند. شهرها نیز دارای پوشش زمین منحصر به فردی هستند که می تواند مقادیر عظیمی از کربن را ذخیره کند (Raciti et al., 2014). به طوری که، خاک مناطق شهری، پوشش گیاهی و درختان شهری نیز مقداری از انتشارات CO₂ را ترسیب می کنند (Briber et al., 2013). بنابراین عناصر زیرساخت های سبز شهری به عنوان ذخایر اصلی کربن در محیط های شهری در نظر گرفته می شوند. سایر عناصر فضای سبز شهری مانند درختان خیابان، درختان کوچه و محله، باغ های گیاه شناسی نیز نقش مهمی ایفا می کنند (Nedkov et al., 2016). از طرفی، پوشش درختی بخش قابل توجهی از پوشش زمین درون منطقه شهری را تشکیل می دهد (Nowak & Greenfield, 2012). مطالعات نیز نشان داده اند که درختان در محیط شهری منجر به حذف دی اکسید کربن اتمسفری از طریق فرآیند رشد و فتوسنتز می شوند و کربن اضافی را به صورت زی توده در ریشه ها، ساقه، شاخ و برگ ها ذخیره می کنند (Strohbach & Haase 2012; Strohbach et al., 2012). چندین روش جهت برآورد مقدار ترسیب کربن توسط درختان وجود دارد که هرکدام از آن ها وابسته به زمان، هزینه و منطقه مورد مطالعه متفاوت است (Ismail et al., 2019). برآورد ترسیب کربن نیز وابسته به نرخ مرگومیر، خصوصیات رشد و شرایط عمومی درخت است (Lawrence et al., 2012). نرخ مرگومیر درختان تحت تأثیر مکان و خصوصیات درختان از جمله کاربری زمین، اختلالات طبیعی (آفات، آتش سوزی و خشک سالی)، فعالیت های انسانی و اثرات شهرنشینی است (Lawrence et al., 2012). و رشد درختان نیز تحت تأثیر ژنتیک، اقلیم،

مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه

شهر همدان با مساحت حدود ۷۴۲۲ هکتار معادل ۳۶ درصد از مساحت شهرستان است و دارای طول جغرافیایی ۴۸ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه شمالی است. شرقی‌ترین نقطه این شهرستان ۴۹ درجه و ۲۷ دقیقه و غربی‌ترین آن ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقه از نصف النهار گرینویچ فاصله دارد و در حد فاصل ۳۴ درجه و ۳۵ دقیقه، تا ۳۵ درجه عرض شمالی واقع شده است. شهر همدان پانزدهمین شهر پر جمعیت ایران به شمار می‌آید که موقعیت آن در شکل ۱ نشان داده شده است. در مجموع حدود ۹۸۲/۷ کیلومتر معبر شامل خیابان‌های اصلی و بلوارها، خیابان فرعی، جاده خاکی و جاده مسکونی در منطقه مطالعاتی وجود دارد که هدف این پژوهش تمرکز بر خیابان‌های اصلی و بلوارهای شهر است. از طرفی دیگر، شهر همدان به دلیل افزایش جمعیت و مصرف سوخت‌های فسیلی در بخش حمل و نقل نیازمند ارزیابی تعداد درختان و میزان ذخیره‌سازی و ترسیب کربن آن‌ها است.

در دو پارک شهری کوهدشت را مقایسه کردند. حیدری و همکاران (۱۳۹۵) به محاسبه اندوخته کربن روی زمینی در ساختار زیتوده صنوبر کبوده به روش تخریبی؛ و رئیسی و همکاران (۱۳۹۸) به مقایسه ذخیره‌سازی کربن در پارک جنگلی آبیدر پرداختند. Nowak و Crane (۲۰۰۲) و Nowak و همکاران (۲۰۱۳) میزان ذخیره‌سازی و ترسیب کربن توسط درختان شهری را در ۱۰ شهر ایالت متحده ارزیابی کردند. Sander و Zhao (۲۰۱۵) پتانسیل ترسیب کربن درختان شهری در منطقه مینه سوتا آمریکا بر اساس تصاویر لیدار و مدل‌های آلومتریک را ارزیابی نمودند. Yan و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی ترسیب CO₂ اتمسفری در مخازن کربن جنگل‌های شمال شرقی چین پرداختند. مطالعه حاضر در جهت کمی‌سازی پتانسیل ترسیب کربن صورت گرفته است. به طور کلی، هدف از انجام این پژوهش، ارزیابی پتانسیل ترسیب کربن درختان در محدوده شهری همدان است. روش مورد استفاده در این بخش شامل (الف) اندازه‌گیری میدانی و استفاده از معادلات آلومتریک برای برآورد پتانسیل ترسیب و ذخیره کربن کل در منطقه، (ب) تفسیر چشمی و رقومی‌سازی تاج پوشش درختان به منظور تعیین چگالی کربن در واحد تاج پوشش درخت و (ج) تفسیر تاج پوشش و برآورد مقادیر کربن در محدوده شهری همدان است.



شکل ۱- موقعیت شهر همدان به عنوان منطقه مطالعاتی در کشور؛ شبکه معابر و جاده‌های نمونه‌برداری شده

کم تراکم) تقسیم‌بندی شدند. در هر طبقه از خیابان‌ها به صورت تصادفی و با عملیات میدانی اطلاعات ۲۶۵ درخت (در مجموع ۸۰۰ درخت در هر سه طبقه) ثبت شد. به طور متوسط در هر خیابان اطلاعات ۵۰ درخت (Tang et al., 2016) از جمله قطر تاج پوشش و اطلاعات آلومتریکی برداشت شد. تمام اندازه‌گیری‌ها در شرایط آب و هوایی یکسان و در بازه زمانی ساعت ۱۲ ظهر تا چهار بعد از ظهر انجام گرفت. گونه‌های درختی موجود با استفاده از فلور ایران، فلور ایرانیکا شناسایی شدند. مسیرهای بررسی شده در محدوده شهری نیز عبارت‌اند از خیابان غبار همدانی از میدان فلسطین (بلوار جانبازان)، خیابان صدف، خیابان بوعلی سینا، بلوار بعثت، بلوار فاطمیه، بلوار احمدی روشن، خیابان تختی، خیابان باباطاهر، خیابان خضریان، بلوار مطهری، بلوار رجایی، خیابان شهدا، خیابان مهدیه، بلوار ولایت، خیابان شریعت و خیابان جهاد.

تعیین تاج پوشش درختان

یک رویکرد شیء‌گرا برای استخراج مساحت و درصد تاج پوشش (Strohbach & Haase, 2012) و در سه مرحله بکار گرفته شد. (۱) محاسبه سطح تاج پوشش درخت با شکل بیضوی (رابطه ۱) و شکل دایره‌ای (رابطه ۲)، (۲) محاسبه سطح متوسط تاج پوشش یک درخت با تقسیم سطح تاج پوشش همه درختان اندازه‌گیری شده بر تعداد کل درختان ثبت شده در عملیات میدانی (رابطه ۳) و (۳) محاسبه درصد تاج پوشش با ضرب متوسط سطح تاج در تعداد درختان در هکتار (رابطه ۴). درصد تاج پوشش بدون در نظر گرفتن هم‌پوشانی محاسبه شد (صادقی کاجی و همکاران، ۱۳۹۵). در این روابط، CC سطح تاج درخت، D_1 قطر کوچک تاج درخت و D_2 قطر بزرگ تاج درخت، R شعاع درخت (متر)، \bar{CC} متوسط سطح تاج یک درخت (مترمربع)، \bar{D} قطر متوسط تاج (متر) و N_{ha} تعداد در هکتار است.

$$CC = \pi/4(D_1 \times D_2) \quad (1)$$

$$CC = \pi/4 D^2 \quad (2)$$

$$CC = \pi R^2 \quad (2)$$

$$(\bar{CC}) = \frac{\sum_i^n CC_i}{n} \quad (3)$$

$$CC\% = (N_{ha} \times (\bar{CC}))/100 \quad (4)$$

تهیه نقشه فضای سبز درختان شهری و روش نمونه‌برداری

"سنجه‌های سبز" جهت کمی‌سازی میزان پوشش سبز مناطق مسکونی از جمله شاخص NDVI (Schaffer et al., 2020) به همراه نقشه کاربری اراضی، امکان طبقه‌بندی فضاهای سبز (Vienneau et al., 2017) را ارائه می‌دهد؛ اما شاخص NDVI بر روی تصاویر لندست (Landsat) و سنتینل (Sentinel) جهت تفکیک و تشخیص طبقات فضای سبز با اندازه‌های کوچک مناسب نیست. از این رو، جهت تهیه نقشه فضای سبز در مقیاس شهر از رویکرد Lopez و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از تصاویر گوگل ارث استفاده شد. استفاده از تصاویر گوگل ارث در Terra Incognita و تحلیل آن در نرم‌افزار ArcGIS، درصد و نوع فضای سبز هر منطقه را ارائه می‌دهد. شبکه جاده‌های شهر همدان بر اساس طرح تفصیلی شهر از شهرداری شهر همدان استخراج شد. الگوریتم طبقه‌بندی و استخراج فضاهای سبز بر اساس مراحل زیر انجام شد (Lopez et al., 2018).

۱- دریافت تصاویر ماهواره‌ای منطقه با استفاده از تصاویر گوگل ارث.

۲- فیلتر جداسازی پوشش سبز از سایر پوشش‌ها (فیلتر کردن سبز به‌عنوان شاخص فضای سبز).

۳- تبدیل تصویر رنگی به مقیاس خاکستری بر اساس مقدار آستانه تحت عنوان فیلتر دوم.

۴- خارج کردن پوشش علفی با استفاده از تفاوت شدت رنگ خاکستری (پوشش‌های علفی دارای رنگ خاکستری روشن نسبت به سایر پوشش‌ها نظیر درختان هستند).

۵- تغییر رنگ از مقیاس خاکستری به سیاه و سفید (اختصاص رنگ سیاه به پوشش سبز و رنگ سفید به سایر).

۶- اعمال حریم ۵۰ متری در دو طرف خیابان‌های اصلی شهر.

۷- شمارش سلول‌های سیاه در محدوده حریم

(ارزش پیکسل‌های سیاه برابر با ارزش فضاهای

سبز است) و رقمی‌سازی سلول‌های مربوطه.

سپس، حریم جاده‌های اصلی، بلوارها و جاده‌های فرعی بر اساس تعداد سلول‌های سبز به سه گروه از سبزینگی به عنوان تراکم درختان خیابانی (تراکم بالا، تراکم متوسط و

فاصله هر درخت تا درخت مجاور اندازه‌گیری شد (Tang *et al.*, 2016). قطر برابر سینه بیش از ۵ سانتی‌متر مدنظر قرار گرفت (Strobbach & Haase, 2012). در مواردی که ساقه درخت در ارتفاع برابر سینه یا پایین‌تر منشعب بود، قطر انشعابات جداگانه اندازه‌گیری و به عنوان قطر درخت در نظر گرفته شد (Snowdon *et al.*, 2002). در صورت وجود ضربه و خراش دیدگی در DBH اندازه‌گیری در ۵ سانتی‌متر بالاتر انجام شد (Atsbha *et al.*, 2019). برآورد مقدار زی‌توده بر اساس پارامترهای درخت از جمله قطر و ارتفاع انجام می‌شود (Breu *et al.*, 2012). کربن موجود در درختان سرپا بر اساس روابط (۷) و کربن موجود در زی‌توده زیرزمینی نیز بر اساس روابط (۷) محاسبه شد که D : قطر برابر سینه درخت (cm)، C : محیط درخت (cm)، AGB : زی‌توده روی زمینی (kg)؛ p : دانسیته ویژه چوب (g/cm^3)؛ D : قطر درخت در ارتفاع برابر سینه (cm) و H : ارتفاع درخت (m) است. این روابط بر اساس روابط فیزیولوژی بین قطر برابر سینه، حجم و چگالی چوب و در گونه‌های مختلف متفاوت است (Strobbach & Haase, 2012; Bunce, 1968). مقدار دانسیته هر نوع درخت نیز بر اساس مرور مطالعات پیشین و سایت‌های معتبر تعیین شد. در تحقیقات مختلف، ۵۰ درصد از زی‌توده روی زمینی درخت را کربن تشکیل می‌دهد (Tang *et al.*, 2016; Ismail *et al.*, 2019) و در این پژوهش نیز مقدار کربن ذخیره‌شده با ضرب وزن زی‌توده خشک در فاکتور ۰/۵ به دست می‌آید که $AGTB$: زی‌توده روی زمینی برحسب کیلوگرم و $CAGTB$ کیلوگرم کربن موجود در اندام‌های هوایی درختان (kg) است (Dahlhausen *et al.*, 2016).

$$D = C/\pi$$

$$AGB = 0/112 \times (\rho D^2 H) 0/916$$

$$CAGTB = AGTB \times 0/50 \quad (6)$$

$$BGB = AGB \times 0/3$$

$$C_{BGB} = BGB \times 0/5 \quad (7)$$

مجموع کربن زیرزمینی و روی زمینی میزان ذخیره کربن را برای یک درخت منفرد برحسب کیلوگرم برآورد می‌کند و با ضرب در مساحت تاج پوشش (مترمربع)، میزان کربن ذخیره شده برحسب $kg C/m^2$ به دست می‌آید

جهت محاسبه قطر متوسط نیز از دو روش میانگین‌گیری حسابی و هندسی (رابطه ۵) استفاده می‌شود (عرفانی‌فرد و موصول، ۱۳۹۲). در این روابط، D_1 و D_2 به ترتیب قطر کوچک و قطر بزرگ (متر) است. قطر بزرگ و کوچک درختان با متر نوری تا دقت سانتی‌متر برداشت شد. ارزیابی صحت طبقه‌بندی تاج پوشش با استفاده از نمونه‌های ثبت شده میدانی و مقایسه آن بر روی تصاویر و در محیط نرم‌افزار Arcmap بررسی شد (Strobbach & Hasse, 2012). با استفاده از آزمون t جفتی، مساحت تاج پوشش درختان اندازه‌گیری شده در محل با تاج پوشش درختان بر اساس مشاهدات در نرم‌افزار گوگل ارث مقایسه شد.

$$\bar{D} = \frac{\sum D_1 + D_2}{2};$$

$$\bar{D} = \sqrt[2]{D_1 \times D_2} \quad (5)$$

برآورد تعداد درختان خیابانی موجود

جهت تخمین تعداد کل درختان نواری و منفرد هر خیابان، مشابه روش به کار رفته در پژوهش McGovern و Pasher (۲۰۱۶) با تقسیم مجموع تاج پوشش درختان (۸۰۰ درخت آماربرداری شده) به میانگین مساحت تاج پوشش درخت منفرد، تعداد کل درختان موجود به دست آمد. سپس به ازای میانگین مساحت تاج پوشش یک نقطه در محل تخصیص (Feature to point) و تعداد کل درختان منطقه شهری و موقعیت جغرافیایی درختان تعیین و نقشه پراکنش آن‌ها تهیه شد (صادقی کاجی و همکاران، ۱۳۹۵). با اعمال حریم ۵۰ متری تعداد درختان خیابانی استخراج شد.

برآورد پتانسیل اندوخته کربن درختان خیابان با معادلات آلومتریک جهت برآورد زی‌توده خشک گونه‌های درختی از معادلات آلومتریک استفاده شد (Tang *et al.*, 2016). اطلاعات نوع و جنس گونه، ارتفاع درخت (با استفاده از متر نوری و تخمین آن بر اساس ارتفاع ساختمان‌های مجاور)، قطر برابر سینه (DBH) در ارتفاع تقریباً ۱/۳۰ متری از سطح زمین (Atsbha *et al.*, 2019) و همچنین

¹ Diameter at breast height

متفاوت است. مشخصات کمی درختان در محدوده مطالعاتی در جدول ۱ نشان داده شده است. بیشترین مساحت تاج پوشش به ترتیب مربوط به نارون (۲۸/۶۵ مترمربع)، چنار (۱۲/۲۶ مترمربع)، افاقیا (۱۰/۳۱ متر مربع)، افرای زینتی (۸/۸ متر مربع)، زبان گنجشک (۸/۱۲ متر مربع) و صنوبر (۷ متر مربع) است. نتایج ارزیابی تاج پوشش بر روی تصاویر گوگل ارث نیز نشان داد که اختلاف مساحت تاج درختان اندازه‌گیری شده بر روی تصویر با عملیات میدانی در سطح ۵ درصد اختلاف آماری معنی داری ندارند؛ اگرچه کمینه تاج پوشش در محل دارای اختلاف قابل توجهی با تصاویر ماهواره‌ای است. در مجموع، ۱۰۸۰۰ چندضلعی با مساحت ۶/۷۸ تا ۱۹۹ متر مربع از تاج پوشش درختان در سطح شهر رومی گردید که در مجموع دارای مساحت ۱۶۸/۳۱ هکتار است و ۲/۲۷ درصد منطقه مطالعاتی را تشکیل می‌دهد. میانگین مساحت تاج پوشش ۸۰۰ درخت ثبت شده بر روی تصاویر گوگل ارث نیز از ۷/۱۲ تا ۱۳۲/۶۶ متر مربع متغیر است. از این‌رو، میانگین تاج پوشش بر روی تصاویر گوگل ارث نیز ۱۴/۰۲ متر مربع به ازای هر درخت برآورد گردید که دارای اخلاف معنی داری نیستند. با تقسیم مساحت کل تاج پوشش (۱۶۸/۳۱ هکتار) بر میانگین تاج پوشش درختان منفرد (۱۲/۵۴ متر مربع)، تعداد کل درختان در شهر همدان برآورد گردید که در این راستا ۱۳۴۲۱۹ درخت منفرد به صورت درختان موجود در محلات، حاشیه جاده‌ها و میدین شهر و بلوارها و ۴۷۷۰۰ درخت آن (۳۵/۵ درصد) در حریم ۵۰ متری معابر اصلی قرار دارد.

(Strohbach & Hasse, 2012). کل کربن ذخیره‌شده نیز از ضرب کربن درخت (kg) در مساحت تاج پوشش درختی (m^2) به دست می‌آید (Nowak & Crane, 2002). برای برآورد مقادیر کربن درختان شهری، مقدار ذخیره و ترسیب محدود شهری بر پوشش درختی (مترمربع) هر شهر جهت تعیین میانگین مقدار چگالی کربن برای هر واحد پوشش درختی (کیلوگرم کربن در مترمربع تاج پوشش) تقسیم شد.

نتایج

تاج پوشش و مشخصات درختان

بر اساس پیمایش در شهر همدان، بیشتر خیابان‌های شهری دارای پوشش درختی دوردیفه در حاشیه خیابان‌ها و یا سه ردیفه (حاشیه‌ها و وسط خیابان و بلوارها) است. عمده‌ترین گونه‌های درختی شامل افرا، افاقیا، چنار، زبان گنجشک، سرو، صنوبر، کاج و نارون است. تاج پوشش برخی از درختان به علت نزدیک بودن و درهم رفتگی از حالت معمول خود خارج و در برخی از درختان شاخه‌زاد به شکل بیضوی بود؛ بنابراین، تعمیم مساحت دایره‌ای به تمام درختان جهت تعیین قطر تاج پوشش غیر ممکن بود. از این‌رو بسته به نوع درخت، مساحت تاج پوشش (دایره و بیضوی شکل) بدست آمد. طبق نتایج، میانگین مساحت واقعی تاج پوشش ۸۰۰ گونه درختی با اشکال دایره‌ای و بیضوی در منطقه مورد مطالعه $۱۲/۵۴ \pm ۵/۷۸$ مترمربع تخمین زده شد؛ به طوری که کمینه تاج پوشش (۶/۷۶ متر مربع)، بیشینه (۱۸/۳۲ متر مربع) و میانگین (۱۲/۸ متر مربع) است که برای گونه‌های درختی نیز

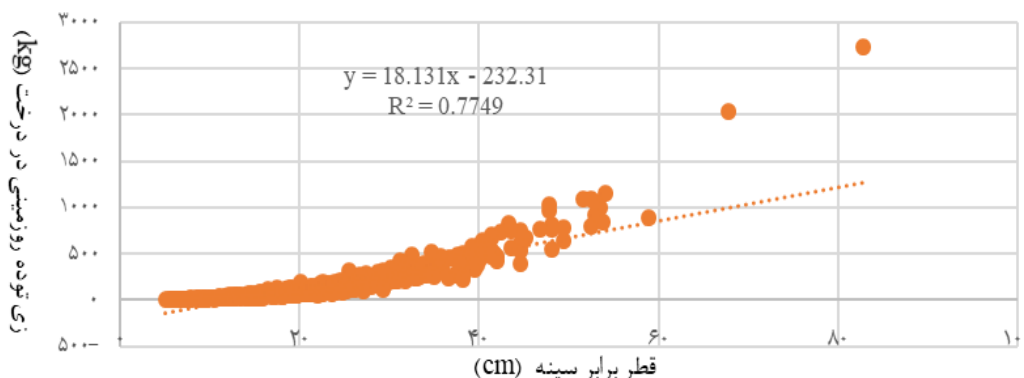
جدول ۱- مشخصات کمی درختان در محدوده مطالعاتی (حداقل و حداکثر مقدار اندازه‌گیری شده)

نام گونه	کمینه و بیشینه قطر تاج پوشش (m)	میانگین مساحت تاج پوشش (m)	نوع تاج پوشش	کمینه و بیشینه قطر برابر سینه (cm)	میانگین قطر برابر سینه (cm)	کمینه و بیشینه ارتفاع درخت (m)
نارون	۳ - ۸	۲۸/۶۵	کروی	۴۶/۸ - ۵	۲۴/۱۸	۱۱ - ۲/۵
چنار	۴ - ۲/۵	۱۲/۲۶	نامنظم و پهن	۸۳ - ۵/۷	۳۱/۲۵	۱۳ - ۲/۵
زبان گنجشک	۴/۲ - ۱/۷۵	۸/۱۲	کروی	۵۸/۹ - ۵	۲۳/۲۹	۱۳ - ۹/۵
افاقیا	۴/۸ - ۱/۸	۱۰/۳۱	چتری	۳۵ - ۶/۴	۱۴/۳۰	۵ - ۱
صنوبر	۳ - ۴	۷	باریک و بیضوی	۴۸ - ۳۴	۴۲/۴۶	۱۱ - ۷
افرای برگ پنجه‌ای	۲/۷ - ۳/۹	۸/۸	نامنظم	۴۱ - ۶	۲۳/۰۴	۱۰ - ۲/۵

پتانسیل ترسیب کربن درختان نواری حاشیه جاده و درختان منفرد

از مجموع درختان اندازه‌گیری شده، ۶۳ درخت به دلیل قطر برابر سینه کمتر از ۵ سانتی‌متر از تحلیل خارج شدند. محیط سایر درختان از ۲۶۰ تا ۱۶ سانتی‌متر و ارتفاع آن‌ها نیز از ۱۳ تا ۱ متر متغیر است. زی‌توده روی زمینی و زیرزمینی نیز به ترتیب بین ۲۷۳۶ تا ۲/۳۶ و ۵۴۷ تا ۰/۴۷ کیلوگرم متغیر است که بیشترین مقدار برای درخت چنار و کمترین مقدار برای درخت افاقیا ثبت

شده است. ارتباط بین قطر برابر سینه (سانتی‌متر) و کربن آلی ذخیره شده در درختان (کیلوگرم) در شکل ۲ نشان داده شده است. پتانسیل ترسیب کربن نیز بین ۱/۴ کیلوگرم برای گونه درختی افاقیا با ارتفاع یک متر و قطر برابر سینه ۶/۴ سانتی‌متر تا ۱/۶ تن برای گونه درختی چنار با ارتفاع ۱۲ متر و قطر برابر سینه ۸۳ سانتی‌متر متغیر است. مشخصات میزان کربن روی زمینی و زیرزمینی گونه‌های ثبت شده در جدول ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲- رابطه قطر برابر سینه و زی‌توده روی زمینی درختان منفرد و درختان ردیفی حاشیه جاده در منطقه شهری

جدول ۲- مقایسه طیف حداقل-حداکثری تراکم اندوخته کربن (کیلوگرم) در گونه‌های درختی

نام گونه	کربن زیرزمینی (kg)	کربن روی زمینی (kg)	کربن کل درخت (kg)	میانگین کربن (kg)
نارون	۰/۴۶ - ۷۲	۲/۴ - ۳۸۲	۲/۹ - ۴۵۴	۱۰۲/۱
چنار	۰/۳۷ - ۲۵۷	۱/۹۸ - ۱۳۶۸	۲/۳ - ۱۶۲۵	۲۶۶/۵
زبان گنجشک	۰/۶ - ۱۰۲	۲/۹ - ۵۴۳	۳/۵ - ۶۴۵	۱۰۲/۳
اقاقیا	۰/۲ - ۲۸	۱/۴ - ۱۴۹	۱/۴ - ۱۷۷	۲۲/۲
صنوبر	۲۵ - ۷۲	۱۳۴ - ۳۸۰	۱۵۹ - ۴۵۲	۳۳۸
افرای برگ پنجه‌ای	۰/۶ - ۵۵	۳/۲ - ۲۹۴	۳/۸ - ۳۴۹	۱۱۴/۶

درخت پوشیده از خاک و پوشش علفی است (میانگین: ۱۴۸/۷۹ کیلوگرم) دارای تفاوت چشمگیری است. با ضرب میانگین کربن آلی درخت (۸۸/۲۹ کیلوگرم) در مساحت تاج پوشش، میزان ذخیره کربن بر حسب

میانگین کربن آلی ذخیره شده در درختان منفرد و حاشیه خیابان که سطح زیر آن‌ها به صورت سنگفرش و آسفالت است حدود ۸۸/۲۹ کیلوگرم برآورد شد که در مقایسه با میانگین کربن آلی درختان که سطح زیر

انتشار کربن اتمسفری به شمار می‌رود که در این پژوهش میانگین کربن ذخیره شده درختی حدود ۸۸/۲۹ کیلوگرم برآورد شد. بر اساس مطالعه Quigley (۲۰۰۴)، رشد درختان شهری نسبت به درختان جنگلی کمتر است زیرا بخش قابل توجهی از ریشه‌ها در زیر سنگفرش قرار دارد و در دریافت بارش باران جهت رشد ناتوان است. نتایج این پژوهش نیز نشان داد که میانگین کربن آلی ذخیره شده در یک درخت منفرد و نواری حاشیه خیابان که سطح زیر آن سنگفرش است ۸۸/۲۹ کیلوگرم برآورد شده است که نسبت به میانگین کربن آلی درختان در پارک‌ها، باغ‌ها و زمین‌های رها شده که سطح زیر درخت پوشیده از خاک و پوشش علفی است (میانگین: ۱۴۸/۷۹ کیلوگرم) دارای تفاوت چشمگیری است. به طور کلی، افزایش سطح جنگل‌کاری به ویژه در اراضی بایر منجر به افزایش میزان جذب کربن خواهد شد (بویری منجی، ۱۳۹۹) به طوری که یافته‌های تحقیق نیز مؤید این مسأله است. همچنین، بر اساس مطالعه Dahlhausen و همکاران (۲۰۱۶) زی‌توده درختان جنگلی ۲۰ درصد بیشتر از درختان شهری است و از این رو مقدار کربن آلی نیز در درختان جنگلی به دلیل پوشش کف جنگلی بیشتر است. بیشترین میانگین کربن ذخیره شده کربن آلی در اطراف معابر اصلی منطقه شهری همدان به ترتیب مربوط به گونه‌های درختی صنوبر، چنار، افرا، زبان گنجشک، نارون و افاقیا است که به ترتیب ۰/۳۹، ۷/۶۴، ۴/۶۴، ۴۷/۸۷، ۸/۲۷ و ۲۹/۶۹ درصد از پوشش درختی حاشیه خیابان را تشکیل می‌دهند. درخت صنوبر به دلیل بیشترین میانگین قطر برابر سینه (۴۲/۴۶ سانتی‌متری) نسبت به سایر درختان و دارای بالاترین میانگین میزان کربن ذخیره شده است. نتایج پژوهش Dahlhausen و همکاران (۲۰۱۶) نیز تأیید کننده این موضوع است که بین زی‌توده برآورد شده و تغییرات قطر برابر سینه نیز ارتباط مستقیمی وجود دارد. دلیل بالا بودن میانگین کربن ذخیره شده در گونه چنار (۲۶۶/۵ کیلوگرم) نیز می‌تواند بالا بودن چگالی چوب آن نسبت به سایر درختان باشد که در پژوهش حیدریان و قاسمی (۱۳۹۴) نیز به

کیلوگرم در مترمربع بدست می‌آید که به تن در هکتار تبدیل شد. پتانسیل ترسیب کربن توسط درختان منفرد خیابان از ۰/۰۵ تا ۱۴/۰۴ تن در هکتار (تاج پوشش) متغیر و در مجموع، مقدار کربن ذخیره شده توسط تمام درختان شهری در محدوده شهر همدان ۱۱۸۵۰ تن و در حریم ۵۰ متری معابر ۴۰۹۸ تن (۳۵ درصد کل) برآورد شد.

بحث

پوشش درختی بخش قابل توجهی از پوشش زمین در داخل منطقه شهری را تشکیل می‌دهد (Nowak & Greenfield, 2012) در حالی که پوشش درختی حدود ۲/۲۷ درصد از مساحت فضای سبز شهر همدان را تشکیل می‌دهد که به نسبت سایر زیر ساخت‌های سبز دارای مساحت کمتری است. بر اساس نتایج Nowak و Crane (۲۰۰۲) میزان ذخیره‌سازی کربن در شهر نیویورک ۱/۲ میلیون تن کربن (۱۵/۳ تن در هر هکتار) است که در پژوهش حاضر این میزان برای شهر همدان ۱۱۸۵۰ تن کربن (۱/۶ تن در هر هکتار) برآورد شد که دارای تفاوت بسیار زیادی است که دلیل این تفاوت می‌تواند تفاوت در درصد پوشش درختی منطقه مورد مطالعه باشد (پوشش درختی در شهر نیویورک ۲۶/۳ درصد و در شهر همدان ۲/۲۷ درصد است). بیشترین درختان موجود در حاشیه معابر اصلی از نوع افرا، افاقیا، چنار، زبان گنجشک، سرو، صنوبر، کاج و نارون با شکل تاج پوشش دایره‌ای و بیضوی هستند. بیشترین مساحت تاج پوشش نیز به ترتیب مربوط به نارون (۲۸/۶۵ مترمربع) و کمترین آن مربوط به صنوبر (۷ مترمربع) است. مطالعات نشان داده‌اند که درختان شهری منجر به حذف کربن اتمسفری از طریق رشد و فتوسنتز می‌شوند و کربن اضافی به صورت زی‌توده در ریشه‌ها، ساقه، شاخ و برگ‌ها ذخیره می‌شوند (Strohbach & Haase 2012)؛ *et al* (Strohbach 2012). نتایج پژوهش‌های واحدی و متاجی (۱۳۹۴)؛ حیدری و همکاران (۱۳۹۵) نیز نشان داد که تنه درختان به عنوان مخازن بزرگ کربن در زمینه کاهش

- این موضوع اشاره شده است. زبان گنجشک با بالاترین تعداد (۴۷/۸۷ درصد) دارای میانگین کربن ذخیره شده ۱۰۲/۳ کیلوگرم است. افاقیا نیز علی‌رغم بالا بودن چگالی چوب و قابلیت بالای آن در رابطه با ترسیب کربن و همچنین بالا بودن تراکم و حجم در هکتار بالا (۲۹/۶۹ درصد) دارای کمترین میانگین کربن ذخیره شده (۲۲/۲ کیلوگرم) نسبت به سایر درختان است؛ در صورتی که پژوهش ورامش و همکاران (۱۳۹۰) نیز نشان داده است که سهم افاقیا در ترسیب کربن بیشتر از زبان گنجشک است که در پژوهش حاضر سهم زبان گنجشک در ترسیب کربن بیشتر از افاقیا است. دلیل این امر می‌تواند این موضوع باشد که در منطقه مطالعاتی گونه‌های افاقیا بیشتر به صورت درختان جوان و دارای میانگین قطر برابر سینه پایین‌تر (میانگین ۱۴/۳۰ سانتی‌متری) و دارای کمترین ارتفاع نسبت به سایر درختان هستند. به طوری کلی مشابه پژوهش حیدریان و قاسمی (۱۳۹۴)، پتانسیل جذب و ذخیره‌سازی کربن در گونه‌های گیاهی مختلف بر اساس نوع گونه متفاوت است.
- به عنوان نتیجه‌گیری کلی، پوشش درختی در حاشیه خیابان‌ها نقش مهمی در کاهش کربن اتمسفری ایفا می‌کند و درختانی با بالاترین قطر برابر سینه و ارتفاع و همچنین مقدار چگالی بالا دارای اهمیت بیشتری هستند. در مجموع، با توجه به رشد روزافزون مصرف سوخت‌های فسیلی در کلان شهرهای کشور و همچنین لزوم کاهش کربن اتمسفری، کاشت درختان چنار و صنوبر در حاشیه معابر شهری می‌تواند گام مثبتی در جهت کاهش کربن اتمسفری و کاهش روند تغییر اقلیم در نظر گرفته شود.
- منابع**
- حیدری، ا.، ایران منش، ی. و رستمی شاهراجی، ت. ۱۳۹۵. اندوخته کربن روی زمینی و خاک کبوده (*Populus alba L*) در فاصله کاشت‌های مختلف در استان چهارمحال و بختیاری. تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، دوره ۲۴، شماره ۲، صفحات: ۲۱۳-۲۰۰.
 - حیدریان، ش. و قاسمی آقباش، ف. ۱۳۹۹. بررسی ترسیب کربن پوشش درختی و خاک در دو پارک شهری کوه‌دشت. علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره ۲۲، شماره ۱، صفحات: ۲۱۶-۲۲۵.
 - رئیزی، م.، قادرزاده، ح.، ساعدپناه، م. و مرادی، ا. ۱۳۹۸. ذخیره‌سازی کربن در پارک جنگلی آبیدر سنندج. نشریه علمی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، دوره ۲۷، شماره ۳، صفحات: ۳۷۶-۳۶۴.
 - سهرابی، ه. و شیروانی، ا. ۱۳۹۱. معادلات آلومتریکی برای برآورد زیتوده روی زمین بنه (*Pistacia atlantica var. mutica*) در پارک ملی خجیر. مجله جنگل ایران، انجمن جنگل‌بانی ایران، دوره ۴، شماره ۱، صفحات: ۶۴-۵۵.
 - صادقی کاجی، ح.، گراوند، س. و ظفریان، ا. ۱۳۹۵. تحلیل اریبی برآوردکننده تغییر یافته روش چنددرختی در محاسبه تعداد در هکتار و درصد تاج پوشش در جنگل‌های زاگرس. مجله جنگل ایران، انجمن جنگل‌بانی ایران، دوره ۸، شماره ۵، صفحات: ۲۹۳-۲۸۰.
 - عرفانی فرد، س.ی. و موصولو، م. ۱۳۹۲. ارزیابی روش‌های اندازه‌گیری تاج درختان شاخه‌زاد در جنگل‌های زاگرس با استفاده از تصاویر هوایی UltraCam-D. نشریه جنگل و فرآورده‌های چوب، مجله منابع طبیعی ایران. ۶۶(۴): ۴۲۶-۴۱۴.
 - واحدی، ع. و متاجی، ا. ۱۳۹۴. بررسی امکان برآورد ترسیب کربن تنه درختان راش شرقی (*Fagus orientalis L*) در جنگل‌های هیرکانی با استفاده از روش‌های غیرتخریبی. مجله جنگل ایران، انجمن جنگل‌بانی ایران، دوره شماره ۷، ۴، صفحات: ۴۵۸-۴۴۷.

19. **Elmqvist, T., Setälä, H., Handel, S.N., Ploeg, S., Aronson, J., Blignaut, J.N., Baggethun, E.G., Nowak, D.J., Kronenberg, J. and Groot, R., 2015.** Benefits of restoring ecosystem services in urban areas, *Current Opinion in Environmental Sustainability*. vol 14, pp: 101–108.
20. **Ismail, W., Zuriea, W., Mat Naim, A., Adi Irfan, C., 2019.** A review of factors affecting carbon sequestration at green roofs. *Journal of Facilities Management*, vol 17(1), pp: 76–89(14)
21. **Lawrence A.B., Escobedo F.J., Staudhammer C.L., Zipperer, W., 2012.** Analyzing growth and mortality in a subtropical urban forest ecosystem. *Landsc. Urban Plan*, vol 104, pp: 85–94.
22. **LOPEZ, G. A. P.; SOUZA, L. C. L. de. 2018.** Urban green spaces and the influence on vehicular traffic noise control. *Ambiente Construído, Porto Alegre*, vol 18(4), pp: 161–175.
23. **Malhi, Y. Baldocchi D.D. Jarvis P.G., 1999.** The carbon balance of tropical, temperate and boreal forests, *Plant Cell Environ*, vol 22, pp: 715–740.
24. **McGovern, M., Pasher, J., 2016.** Canadian urban tree canopy cover and carbon sequestration status and change 1990–2012. *Urban Forestry & Urban Greening*, vol 20, pp: 227–232.
25. **Mitra, A., Sengupta, K., Banerjee, K., 2011.** Standing biomass and carbon storage of above-ground structures in dominant mangrove trees in the Sundarbans. *Forest Ecology and Management*, vol 261(7), pp: 1325–1335.
26. **Moulton, R.J., Richards, K.R., 1990.** Costs of Sequestering Carbon through Tree Planting and Forest Management in the United States. *USDA Forest Service, General Technical Report WO-58, Washington, DC.*
27. **Nedkov, S., Zhiyanski, M., Nikolova, M., Gikov, A., Nikolov, P., Todorov, L., 2016.** Mapping of carbon storage in urban ecosystems: A Case study of Pleven District, Bulgaria.
28. **Nowak D.J., 1993.** Atmospheric carbon reduction by urban trees. *Journal of Environmental Management*. 37: 207–217.
29. **Nowak, D.J., Crane, D.E., 2002.** Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA. *Environmental Pollution*. Vol 116(3), pp: 381–389.
۸. **ورامش، س.، حسینی، س. م. و عبدی، ن. ۱۳۹۰.** برآورد نیروی جنگل شهری در ترسیب کربن اتمسفری. *محیط‌شناسی*، دوره ۳۷، شماره ۵۷، صفحات: ۱۱۳–۱۲۰.
9. **Atsbha, T., Belayneh, A., Zewdu, T., 2019.** Carbon sequestration potential of natural vegetation under grazing influence in Southern Tigray, Ethiopia: implication for climate change mitigation. *Heliyon*. Vol 5(8).
10. **Baes, C.F., H.E. Goeller, J.S. Olson, and Rotty, R.M., 1977.** Carbon dioxide and climate: The uncontrolled experiment. *Am. Sci.*, vol 65, pp: 310–320.
11. **Boiri Monji, A., Iranmanesh, Y., Jafari, A., Jahanbazi Goujani, H., 2020.** Non-destructive derivation of biomass and carbon stock of wild pistachio (*Pistacia atlantica* Desf.). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*. vol 28(2), pp: 204–216 (In Persian).
12. **Bolund, P., and Hunhammar S., 1999.** *Ecosystem Services in Urban Areas*. Edited by Robert Costanza. *Ecological Economics*. Vol 29 (2), pp: 293–301.
13. **Breu, F., Guggenbichler, S., Wollmann, J., 2012.** Manual for building tree volume and biomass allometric equations: from field measurement to prediction. *Vasa*.
14. **Briber BM, Hutyra LR, Dunn AL, Raciti SM, Munger J.W., 2013.** Variations in atmospheric CO₂ and carbon fluxes across a Boston, MA urban gradient. *Land*, vol 2(3), pp: 304–27.
15. **Bühler O, Kristoffersen P, Larsen S., 2007.** Growth of Street Trees in Copenhagen with Emphasis on the Effect of Different Establishment Concepts. *Arboriculture and Urban Forestry*. vol 33.
16. **Bunce, R. G. H., 1968.** Biomass and production of trees in a mixed deciduous woodland: I. Girth and height as parameters for the estimation of tree dry weight. *Journal of Ecology*, vol 56(3), pp: 759–775.
17. **Butlin, T., Gill, S. and Nolan, P., 2015.** An ecosystem services mapping method for use in green infrastructure planning. *The Mersey Forest and the Green Infrastructure Think Tank*, ISBN 978-0-9934267-0-4.
18. **Dahlhausen, J. Biber, P. Rötzer, T. Uhl, E. Pretzsch, H., 2016.** Tree Species and Their Space Requirements in Six Urban Environments Worldwide. *Forests*, vol 7, p 111.

- space—a life cycle approach. *Landsc Urban Plan*, vol 104, pp: 220-229.
40. **Strohbach, M.W. and Haase, D., 2012.** Above-ground carbon storage by urban trees in Leipzig, Germany: analysis of patterns in a European city. *Landsc Urban Plan*. Vol 104, pp: 95–104.
 41. **Tang, Y.J. Chen, A.P. Zhao, S.Q., 2016.** Carbon Storage and Sequestration of Urban Street Trees in Beijing, China. *Front. Ecol.* vol. 4, p 53.
 42. **Vienneau, D., de Hoogh, K., Faeh, D., Kaufmann, M., Wunderli, J.M., Roosli, M., the SNC Study Group., 2017.** More than clean air and tranquillity: residential green is independently associated with decreasing mortality. *Environ. Int.* vol 108, pp: 176–184.
 43. **Yan, G., Xing, Y., Wang, J., Li, Z., Wang, L., Wang, Q., Xu, L., Zhang, Z., Zhang, J., Dong, X., Shan, W., Guo, L. and Han, S., 2018.** Sequestration of atmospheric CO₂ in boreal forest carbon pools in northeastern China: Effects of nitrogen deposition. *Agricultural and Forest Meteorology*, vol 248, pp: 70–81.
 44. **Zhao, C. and Sander, H.A., 2015.** Quantifying and Mapping the Supply of and Demand for Carbon Storage and Sequestration Service from Urban Trees. *PLoS One*, vol 10(8), p 31.
 30. **Nowak D.J., Greenfield, E.J., 2012.** Tree and impervious cover change in US cities. *Urban for Urban Green*, vol 11(1), pp: 21–30.
 31. **Nowak, D.J. Greenfield, E.J. Hoehn, R.E. Lapoint, E., 2013.** Carbon storage and sequestration by trees in urban and community areas of the United States. *Environ. Pollut.* Vol 178, pp: 229–236.
 32. **Oliver, G.R., Pearce, S.H., Kimberly, M.O., Ford-Robertson, J.B., Robertson, K.A., Beets, P.N., and Garrett L.G., 2004.** Variation in soil carbon in pine plantations and implications for monitoring soil carbon stocks in relation to land-use change and forest site management in New Zealand. *For. Ecol. Manage.*, vol 203, pp: 283–295.
 33. **Peichl, M., and Arain, M.A., 2006.** Above- and belowground ecosystem biomass and carbon pools in an age-sequence of temperate pine plantation forest, *Agric. For. Meteorol.* vol 140, pp: 51–63.
 34. **Pilli, R., Anfodillo, T., and Carrer, M., 2006.** Towards a functional and simplified allometry for estimating forest biomass. *For. Ecol. Manage.*, vol 237, pp: 583–593.
 35. **Quigley, M.F., 2004.** Street trees and rural conspecifics: Will long-lived trees reach full size in urban conditions. *Urban Ecosyst.* Vol 7, pp: 29–39.
 36. **Raciti, S.M. Hutyr, L.R., Newell, J.D., 2014.** Mapping carbon storage in urban trees with multi-source remote sensing data: Relationships between biomass, land use, and demographics in Boston neighborhoods. *Science of the Total Environment* vol 500–501, pp: 72–83.
 37. **Schaffer, B., Brink, M., Schlatter, F., Vienneau, D., Wunderli, J.M., 2020.** Residential green is associated with reduced annoyance to road traffic and railway noise but increased annoyance to aircraft noise exposure. *Environment International*, vol 143, pp: 105885.
 38. **Snowdon, P., Raison, J., Keith, H., Ritson, P., Grierson, P., Adams, M., Montagu, K., Bi, H., Burrows, W., Eamus, D., 2002.** Protocol for Sampling Tree and Stand Biomass. National carbon accounting system technical report No. 31.
 39. **Strohbach, M.W. Arnold, E. Haase, D., 2012.** The carbon footprint of urban green

Potential Evaluation of Carbon Storage by Urban Trees (Case Study: Hamadan)

Kamran Shayesteh¹, Shiva Gharibi^{1*} and Farhad Feizi²

1* - Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Hamedan, Iran.

2- Department of Urban Planning, Tehran University of Art, Tehran, Iran

Abstract

Urban is a unique and inconsistently defined land cover including green and grey infrastructures. Tree covers that can store large stocks of carbon. There are several ways to estimate a tree's CO₂ sequestration. In this study, Google Earth images were used for mapping tree covers in the Hamadan urban scale with an area of 7422 hectares. First, a 50-meter buffer was applied on two sides of the main streets. Then, it was classified into three groups called high, medium, and low density based on the percentage of greenery. In each group, the information of 265 trees (the total of 800 trees) were recorded randomly such as allometric data and canopy diameter of trees. An Object-Oriented approach was applied to extract the area and canopies of individual urban trees. The total number of trees and their location were estimated by dividing the total of trees canopy by the average of the individual urban trees canopy. Allometric equations were used to estimate the dry biomass of tree species. Based on the results, the main species in the study area include maple, black locust, sycamore, manna ash, cypress, fir tree, and elm. The average amount of organic carbon stored in individual and street trees with asphalt and cobblestone pavement is estimated to be about 88.29 kg, which differs significantly from those with the surface covered by soil and grass (an average value of 148.79 kg). In total, the amount of organic carbon stored by Hamadan urban trees is estimated to be 1.6 tons per hectare.

Keywords: Allometric Equations, Biomass, Canopy, Carbon Dioxide, Hamadan