

## تأثیر گونه‌های درختی بر ذخیره کربن در زیست‌توده و خاک؛ مطالعه پارک جنگلی توس نوذر، سنندج

مهین ساعدپناه<sup>۱\*</sup>، حامد قادرزاده<sup>۲</sup>، مرضیه رئیسی<sup>۳</sup>، ایوب مرادی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup>گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران  
<sup>۲</sup>گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران  
<sup>۳</sup>کارشناس محیط زیست، شرکت محیط زیست ESG، ملبورن، استرالیا  
<sup>۴</sup>گروه جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۱۴

### چکیده

فضاهای سبز شهری، به‌ویژه درختان، پتانسیل زیادی برای جذب کربن از جو و کاهش اثرات تغییرات آب و هوایی در شهرها دارند. هدف از پژوهش حاضر برآورد تجمع کربن در گونه‌های درختی اقلایا، سرو سیمین، زبان گنجشک و شبه‌سرو در پارک جنگلی توس نوذر سنندج بود. به‌همین منظور نوع گونه‌ها، ارتفاع و قطر برابر سینه برای کلیه درختان موجود در پلات‌های دائمی، جهت تعیین کربن زیست‌توده درختی سطح و زیر سطح زمین ثبت گردید و برآورد ذخیره‌سازی کربن با استفاده از معادلات آلومتریک انجام شد. نتایج نشان داد، که میزان ذخیره کربن در پارک جنگلی توس نوذر در مجموع، ۱۱۳/۶۸ تن در هکتار است. بررسی تراکم کل کربن ذخیره‌شده نشان داد، بیشترین مقدار کربن در خاک و کمترین آن در لاشبرگ‌ها و پوشش علفی پارک جنگلی توس نوذر ذخیره شده است. نتایج بر تأثیر نوع گونه درختان در میزان تجمع کربن تأکید دارد. گونه سرو سیمین، قابلیت بیشتری نسبت به گونه‌های دیگر در ذخیره‌سازی کربن دارد. با شناخت گونه‌هایی که قابلیت بیشتری برای ذخیره کربن دارند و نیز بررسی عوامل مدیریتی که بر فرآیند ذخیره کربن تأثیرگذار هستند، می‌توان اصلاح و احیاء جنگل‌های شهری را از منظر شاخص ترسیب کربن دنبال نمود. نتایج این پژوهش ارزش درختان شهری را نه تنها به‌عنوان اراضی زینتی و زیبایی‌شناختی بلکه در کاهش اثرات تغییرات آب و هوایی در سطح محلی آشکار می‌کند.

**کلید واژگان:** تنوع گونه‌ها، زیست‌توده، ذخیره کربن، جنگل شهری

مقدمه

جنگل‌های شهری برای بهبود درک ما از نقش فضای سبز شهری در تعادل کربن شهری بسیار ضروری است. Heidarian و Ghasemi Aghbash (۲۰۲۰)، در پژوهشی ترسیب کربن خاک را در دو پارک شهری کوه‌دشت بررسی کردند. نتایج نشان داد، مقدار ترسیب کربن خاک در اعماق ۳۰-۱۵ سانتی‌متری در پارک شقایق (۶۵/۲۵۱ تن در هکتار) از پارک شهید بهشتی (۸۳/۲۰ تن در هکتار) بیشتر بود. از جمله دلایل اصلی آن می‌توان به بافت خاک (رسی)، تراکم و تنوع بالای پوشش درختی اشاره کرد (Heidarian and Ghasemi Aghbash, 2020). Agbelade و Onyekwelu (۲۰۲۰)، در بررسی تنوع، عملکرد حجمی، زیست‌توده و ترسیب کربن گونه‌های درختان در جنگل‌های شهری در دو شهر نیجریه (بندر هارکورت و ایلورین) گزارش کردند که در مجموع ۷۴۶ درخت در ۳۷ گونه و ۱۹ خانواده در بندر هارکورت و ۵۵۶ درخت در ۴۶ گونه و ۱۸ خانواده در جنگل شهری ایلورین توزیع شده است. کل کربن ذخیره‌شده در جنگل‌های شهری بندر هارکورت و ایلورین به ترتیب ۶۷۹۷۹/۰۸ تن و ۹۱۵۱۲/۴۹ تن ثبت شد (Agbelade and Onyekwelu, 2020). Lindén و همکاران (۲۰۲۰)، مقدار کربن آلی ذخیره‌شده در درختان و خاک جنگل‌های شهری تحت شرایط آب و هوایی سرد در فنلاند را ارزیابی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که، تراکم کل کربن تخمین‌زده شده تقریباً ۱۳۰ تن در هکتار بود، در حالی که کربن ذخیره‌شده در خاک و درختان به ترتیب ۱۰۴ تن در هکتار و ۲۲-۲۸ تن در هکتار بود (Lindén et al., 2020). نتایج مطالعات مختلف نشان داده است، میزان ذخیره خالص کربن توسط درختان در محیط شهری می‌تواند بالغ بر ۱۸ کیلوگرم به ازای هر پایه در سال باشد که این مقدار برابر با ۳-۵ پایه درخت جنگلی است (Surya Prabha et al., 2020). از آنجا که پالایش کربن با روش‌های مصنوعی، هزینه سنگینی را در بر دارد، ساده‌ترین و ارزان‌ترین راهکار ممکن برای کاهش دی‌اکسید کربن در جو ذخیره و ترسیب آن در زیست‌توده‌های گیاهی و خاک است که نقش مهمی در چرخه کربن جهانی ایفا می‌کنند

فرآیندهای جهانی صنعتی‌شدن در سال‌های اخیر، منجر به افزایش میزان قابل توجهی تولید گازهای گلخانه‌ای شده است. این گازها به‌طور طبیعی در جو وجود دارند اما، فعالیت‌های انسان و آلودگی‌های ناشی از آن، مقدار گازهای گلخانه‌ای را به‌طور غیرطبیعی تغییر داده است (Kerr, 2007). دی‌اکسید کربن، ۷۲ درصد از کل گازهای گلخانه‌ای انسانی را تشکیل می‌دهد و بین ۲۶-۹ درصد اثر گلخانه‌ای ایجاد می‌کند.

ترسیب کربن پدیده‌ای برای ذخیره‌سازی دی‌اکسید کربن یا سایر اشکال کربن است (Surya Prabha et al., 2020). هر چه نیروی تولید زیست‌توده سطحی و زیرسطحی در گونه‌ها و رویشگاه‌های مختلف بیشتر باشد، ذخیره کربن در پیکره درختان، لاشبرگ و خاک نیز بیشتر می‌شود و در صورتی که کارایی و سرعت عوامل منجر به تجزیه و هدررفت کربن از درخت، لاشبرگ و خاک کمتر باشد، بقای کربن ذخیره شده در بوم‌سازگان بیشتر می‌شود و به دنبال مقدار ترسیب کربن افزایش خواهد یافت (Valladars, 2008). واژه جنگل و فضای سبز شهری شامل درختان در باغ‌ها، پارک‌ها و کنار خیابان‌ها و جاده‌ها می‌شود که به سرسبزی شهر کمک می‌کنند (Sharma et al., 2021). این فضاها انواع خدمات بوم‌سازگان مانند بهبود کیفیت هوا (Singh et al., 2018)، کاهش آلودگی صوتی، حفاظت از تنوع زیستی، کاهش اثر جزیره گرمایی شهری، تنظیم ریزاقلیم، تثبیت خاک، تغذیه آب زیرزمینی، جلوگیری از فرسایش خاک و ترسیب کربن را فراهم می‌کنند (Shah and Gavali, 2017). از آنجا که جنگل‌ها بزرگ‌ترین ذخایر کربن هستند، بیشتر پژوهش‌ها در مورد ذخیره‌سازی کربن در سطح زمین روی این بوم‌سازگان‌ها متمرکز شده است (Zhang et al., 2015). علاوه بر این مطالعات نشان می‌دهد که تراکم کربن پوشش گیاهی و میزان تجمع کربن در جنگل‌های شهری می‌تواند بیشتر از جنگل‌های طبیعی مجاور باشد (Davies et al., 2011; Hutrya et al., 2011). بنابراین، برآورد ذخیره کربن در

(William, 2002). برآورد تأثیر جنگل‌های شهری بر ذخیره و ترسیب کربن، یک پیش شرط مهم برای مدیریت بهتر آن‌هاست. با دستیابی به پتانسیل ذخیره کربن در جنگل‌های شهری می‌توان زمینه خوبی را برای معرفی گونه‌های مناسب‌تر جهت گسترش فضای سبز ایجاد نمود (Kalantari, 2017).

منافع جنگل‌های شهری موضوع جدیدی نیست. با این حال، به اندازه کافی در برنامه‌ریزی شهری و فرآیندهای توسعه، دخالت داده نمی‌شوند. نیاز به فراهم آوردن دانش بیش‌تر در مورد نقش جنگل‌ها و درختان شهری در بهبود محیط زیست لازم است. آگاهی از میزان کربنی که یک فضای سبز شهری می‌تواند جذب کند مفید است، زیرا می‌تواند به یک مؤسسه یا سازمان کمک کند تا انتشار گازهای گلخانه‌ای خود را جبران کند و برای فضاهای سبز ارزش قائل شود (Sharma et al., 2021). بخش اعظم شهر سنندج به لحاظ وضعیت ترافیکی، وضعیت توپوگرافی شهر (شکل کاسه مانند شهر) و وجود کارگاه‌های کوچک (که بعضاً با تأکید بر افزایش تولید بدون وجود تجهیزات کافی برای مهار آلودگی مشغول فعالیت‌اند) در معرض خطر آلودگی قرار گرفته است. از آنجا که جنگل‌های شهری یکی از کاهنده‌های مؤثر آلاینده‌ها محسوب می‌شوند، هدف از پژوهش حاضر برآورد تجمع کربن در زیست‌توده و خاک گونه‌های درختی افاقیا، سرو سیمین، زبان گنجشک و شبه‌سرو در پارک جنگلی توس نوذر سنندج و مقایسه این گونه‌ها با یکدیگر می‌باشد.

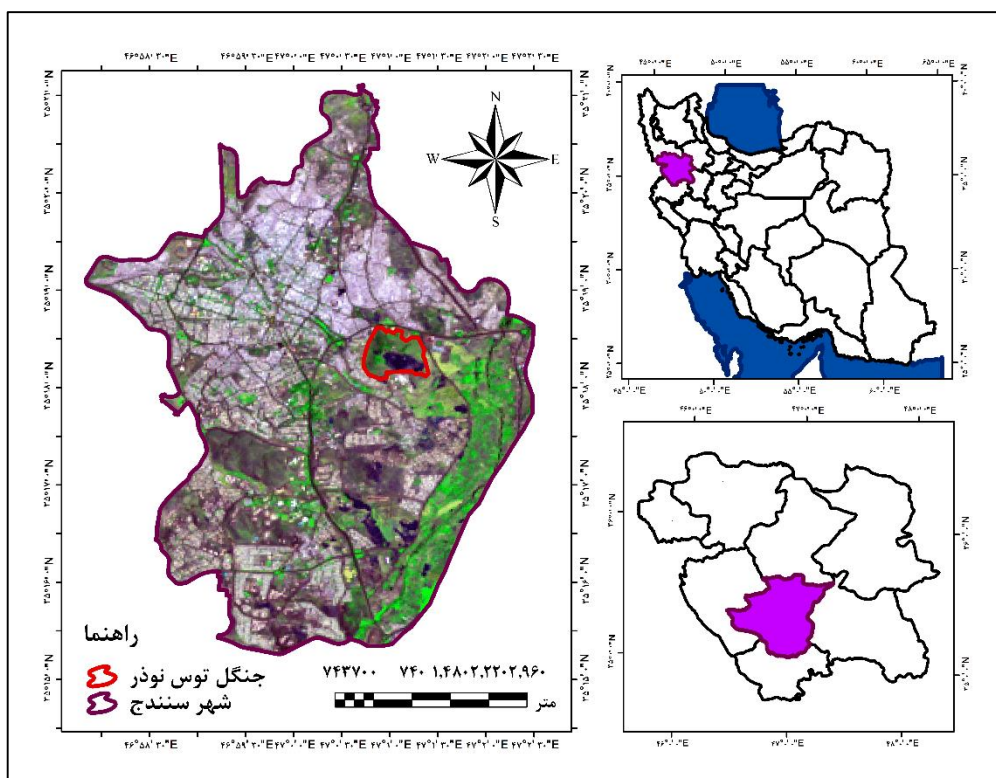
## مواد و روش‌ها

**محدوده مورد مطالعه:** شهر سنندج با مساحت ۶۳۶۸۸ هکتار در غرب ایران و در بخش جنوبی استان کردستان در موقعیت جغرافیایی ۳۵ درجه و ۱۴ دقیقه عرض شمالی و ۴۶ درجه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار دارد و ارتفاع آن از سطح دریا بین ۱۴۵۰-۱۵۳۸ متر در نقاط مختلف شهر متغیر است. بارندگی سالیانه ۴۵۰-۵۰۰ میلی‌متر است که پراکنش آن بیش‌تر در اواخر فصل پاییز-زمستان و اوایل

فصل بهار بوده و دارای تابستان‌های خشک و بدون بارندگی می‌باشد. حداکثر مطلق دما به ۴۰+ درجه سانتی‌گراد و حداقل آن به ۳۱- درجه سانتی‌گراد می‌رسد. متوسط درجه حرارت سالیانه ۱۳/۱+ درجه سانتی‌گراد و تعداد روزهای یخبندان ۹۶ روز در سال است. رطوبت نسبی هوا در تابستان و پاییز بین ۶۰-۳۴ درصد و در بهار و زمستان بین ۹۸-۲۰ درصد، متوسط سرعت باد ۱۰-۴ متر بر ثانیه و حداکثر آن ۲۵/۵ متر بر ثانیه می‌باشد (Jafari, 2005). از جنگل‌های شهری سنندج می‌توان به پارک جنگلی توس نوذر اشاره کرد. این پارک جنگلی با وضعیت خاص توپوگرافی خود در نزدیکی مرکز شهر سنندج در حاشیه یکی از ورودی‌های اصلی شهر که محور همدان-سنندج می‌باشد، قرار دارد. مساحت کل توس نوذر ۵۲ هکتار می‌باشد که با کاشت درختان متنوع (اقاقیا، زبان گنجشک، سرو سیمین و شبه‌سرو) به صورت پارک جنگلی در دامنه‌های تپه توسعه یافته است (Sanandaj Municipality, 2009). ارتفاع متوسط منطقه، ۱۵۱۷ متر از سطح دریاست و با مختصات ۳۵ درجه و ۱۸ دقیقه و ۱۸/۹ ثانیه طول شمالی و ۴۷ درجه و ۵۳ ثانیه عرض شرقی در جوار دو تپه جنگلی لاله و کشاورز واقع شده است (Sanandaj Municipality, 2009، شکل ۱).

**نمونه‌برداری:** بر اساس مشاهدات صورت گرفته، وسعت منطقه و همچنین تراکم متوسط درختان، ۶۰ پلات دائمی به وسعت ۲۰×۵۰ مترمربع به صورت تصادفی در محدوده مورد مطالعه مستقر شد. نوع گونه‌ها، ارتفاع و قطر برابر سینه برای کلیه درختان موجود در پلات‌های دائمی، جهت تعیین کربن زیست‌توده درختی سطح و زیر سطح زمین ثبت گردید (Subedi et al., 2010). در داخل پلات‌های دائمی، پلات‌های موقتی به وسعت یک مترمربع برای نمونه‌برداری از خاک و پوشش علفی مستقر گردید. در نهایت کلیه نمونه‌های برداشت شده جهت اندازه‌گیری به آزمایشگاه منتقل شد.

**محاسبه کربن ذخیره‌شده:** کربن ذخیره‌شده در منطقه جنگلی از مجموع کربن‌های تجمع یافته شامل: زیست‌توده



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه.

روی سطح زمین وابسته به چگالی ویژه چوب، قطر درخت در ارتفاع برابر سینه و ارتفاع درخت می‌باشد و با استفاده از رابطه ۲ به دست می‌آید (Subedi et al., 2010):

رابطه (۲)

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

که در آن (AGB) زیست‌توده درختی روی سطح زمین (کیلوگرم)، (ρ) چگالی ویژه چوب (گرم بر سانتی‌متر مکعب)، (D) قطر درخت در ارتفاع برابر سینه (سانتی‌متر) و (H) ارتفاع درخت (متر) می‌باشد. قطر برابر سینه و ارتفاع درختان در پلات‌های دائمی به وسعت ۲۰×۵۰ مترمربع اندازه‌گیری شد. به منظور اندازه‌گیری چگالی ویژه چوب، پنج نمونه از تنه هر گونه درختی به طور تصادفی انتخاب شد و نمونه چوب آن‌ها با استفاده از مته مخصوص استخراج گردید. در آزمایشگاه، نمونه‌ها در دمای ۱۰۵-۱۰۱ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲-۴۸ ساعت در آون خشک و وزن و حجم نمونه‌های خشک شده تعیین شدند. سپس با استفاده از رابطه ۳ چگالی ویژه چوب محاسبه شد (Chave, 2006):

رابطه (۳)

درختی روی سطح زمین: زیست‌توده درختی زیر سطح زمین، پوشش‌های علفی، لاشبرگ‌ها و خاک حاصل می‌گردد. بنابراین، کربن ذخیره‌شده در یک منطقه جنگلی بر اساس رابطه ۱ به دست می‌آید (Subedi et al., 2010):

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 زیست‌توده درختی روی سطح زمین، (C(BGB)) کربن ذخیره‌شده در زیست‌توده درختی زیر سطح زمین، (C(LHG)) کربن ذخیره‌شده در لاشبرگ و پوشش علفی و (SOC) کربن آلی خاک می‌باشد. کربن ذخیره‌شده در هر بخش گیاه از حاصل ضرب وزن زیست‌توده خشک در ۰/۴۷ به دست می‌آید (Subedi et al., 2010). بنابراین، جهت محاسبه کربن ذخیره‌شده در هر بخش از گیاه، لازم است زیست‌توده مربوط به آن بخش محاسبه گردد.

زیست‌توده درختی روی سطح زمین: زیست‌توده درختی

شده به آزمایشگاه و ( $W_{\text{Subsample, wet}}$ ) وزن مرطوب پوشش علفی منتقل شده به آزمایشگاه می‌باشد.

**کربن آلی خاک:** نمونه‌های خاک در پلات‌های موقتی به وسعت یک مترمربع از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری 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)

$$\text{SOC} = 10000 \times \%C \times \rho \times d$$

که در آن (SOC) کربن آلی خاک (تن/هکتار)، (%C) درصد تجمع کربن در خاک، ( $\rho$ ) وزن مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب خاک) و ( $d$ ) عمق نمونه‌برداری (سانتی‌متر) می‌باشد. برای اندازه‌گیری وزن مخصوص ظاهری خاک استوانه‌های حاوی نمونه خاک پس از انتقال به آزمایشگاه به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد در داخل آون قرار داده شدند. پس از خروج و سرد شدن استوانه، وزن خاک موجود در استوانه تعیین شد. بر اساس حجم استوانه، چگالی مخصوص ظاهری خاک محاسبه شد (Al-Shammary *et al.*, 2018). به منظور تعیین درصد تجمع کربن در خاک نیز از روش والکلی-بلاک استفاده شد (رابطه ۷) (Walkley - Black, 1934):

رابطه (۷)

$$\%C = M \times 0.39 \times [V_1 - V_2/S]$$

که در آن  $M$ : نرمالیته فروآمونوم سولفات،  $V_1$ : فروآمونوم سولفات مصرفی برای شاهد (میلی‌لیتر)،  $V_2$ : فروآمونوم سولفات مصرفی برای نمونه (میلی‌لیتر) و  $S$ : وزن خاک خشک‌شده در هوای آزاد (گرم) می‌باشد.

**تجزیه و تحلیل آماری:** ابتدا تبعیت داده‌ها از توزیع نرمال به وسیله آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بررسی شد. با توجه به عدم نرمال بودن داده‌های کربن ذخیره‌شده در زیست‌توده سطحی و زیرسطحی، به منظور بررسی تأثیر گونه‌های درختی بر تجمع کربن در زیست‌توده‌های مذکور از آزمون ناپارامتری کروسکال-والیس در محیط نرم‌افزار SPSS

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

که در آن (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 و ( $\rho_{\text{water}}$ ) وزن مخصوص آب (یک گرم بر سانتی‌متر مکعب در دمای ۴/۴ درجه سانتی‌گراد) می‌باشد.

**زیست‌توده درختی زیر سطح زمین:** بر خلاف زیست‌توده درختی روی سطح زمین، ساخت و زمان بر بوده و با عدم قطعیت زیادی همراه است. برای حل این مشکل می‌توان از زیست‌توده درختی زیر سطح زمین به برآوردی از زیست‌توده درختی زیر سطح زمین دست یافت (رابطه ۴). این رابطه، بر اساس بررسی رابطه بین زیست‌توده سطح و زیر سطح زمین در ۳۰ کشور با جنگل‌های حاره‌ای، معتدل و قطبی به دست آمده و می‌توان آن را برای کلیه گونه‌ها در شرایط آب و هوایی مختلف بکار گرفت (Cairns *et al.*, 1997).

رابطه (۴)

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

که در آن (BGB) زیست‌توده درختی زیر سطح زمین و (AGB) زیست‌توده درختی روی سطح زمین می‌باشد.

**زیست‌توده لاشبرگ‌ها و پوشش علفی:** وزن پوشش علفی در پلات‌های موقتی با وسعت یک مترمربع اندازه‌گیری شد. بخشی از نمونه‌های برداشت شده در هر پلات موقتی برای اندازه‌گیری‌های بیشتر به آزمایشگاه منتقل شدند. زیست‌توده نمونه‌های خشک شده در آون 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) زیست‌توده لاشبرگ و پوشش علفی، ( $W_{\text{field}}$ ) وزن لاشبرگ و پوشش علفی تازه در منطقه، ( $A$ ) مساحت پلات‌هایی که پوشش علفی در آن‌ها برداشت شده است، ( $W_{\text{subsample, dry}}$ ) وزن خشک پوشش علفی منتقل

جدول ۱- توصیف آماری درختان اندازه‌گیری شده در طبقه‌های قطری.

گونه											
طبقه قطری (cm)	سرو سیمین			افاقیا			زبان گنجشک			شبه‌سرو	
	میانگین			میانگین			میانگین			میانگین	
	ارتفاع	قطر	حجم	ارتفاع	قطر	حجم	ارتفاع	قطر	حجم	ارتفاع	قطر
۲۵-۳۵	۶۲	۲۹/۰۰	۴/۸۵	۳۱۸	۱۷/۲۶	۳/۶۲	۱۱۴	۲۲/۸۱	۳/۵۹	۱۸/۱۲	۴/۴۲
۳۵-۴۵	۱۵۰	۴۷/۵۷	۵/۹۲	۳۴	۴۵/۰۹	۶/۹۰	۵۶	۴۵/۵۵	۴/۵۶	۴۵/۸۷	۵/۳۲
۴۵-۶۵	۳۳	۷۴/۶۱	۸	-	-	-	۱۷	۷۵/۳۸	۷/۲۷	-	-
کل	۲۴۵	۴۹/۹۴	۶/۲۵	۳۵۲	۱۹/۹۵	۳/۹۴	۱۸۷	۳۴/۴۲	۴/۲۵	۲۱/۲۸	۴/۵۲

شکل‌های ۲ و ۳ ارائه شده است. بر اساس نتایج، دامنه تراکم کل کربن ذخیره‌شده در گونه‌های درختی در زیست‌توده سطحی بین صفر و ۳۵/۵۶ و در زیست‌توده زیرسطحی بین صفر و ۶/۷۳ تن در هکتار متغیر است. نتایج آزمون کروسکال-والیس مقایسه کربن نشان داد که، تجمع کربن در زیست‌توده‌های سطحی و زیرسطحی در طبقه قطری ۳۵-۴۵ سانتی‌متری در گونه‌های درختی، در سطح خطای کمتر از ۰/۰۱ تفاوت معنی‌داری دارند. میانگین رتبه کربن ذخیره‌شده برای گونه‌های درختی در جدول ۳ ارائه شده است. در گونه‌های درختی با طبقه قطری ۳۵-۴۵ سانتی‌متری، کای اسکور در سطح خطای کمتر از ۰/۰۱ معنی‌دار شد، بنابراین میزان کربن ذخیره‌شده در زیست‌توده‌های سطحی و زیرسطحی، تفاوت معنی‌داری داشت. میانگین رتبه کربن ذخیره‌شده برای گونه‌های درختی در جدول ۴ ارائه شده است.

نتایج آزمون کروسکال-والیس مقایسه کربن نشان داد، تجمع کربن در زیست‌توده‌های سطحی و زیرسطحی در طبقه قطری ۴۵-۶۵ سانتی‌متری در دو گونه سرو سیمین و زبان گنجشک، تفاوت معنی‌داری ندارند (جدول ۵). در مقایسه دو به دوی گونه‌ها با استفاده از آزمون من-ویتنی، میانگین رتبه نشان داد، کربن ذخیره شده در کدام گونه، بیشتر و در کدام کمتر است. بر اساس نتایج، در طبقه قطری ۳۵-۴۵ سانتی‌متری، سرو سیمین نسبت به گونه‌های افاقیا، زبان گنجشک و شبه‌سرو، همچنین زبان گنجشک نسبت به شبه‌سرو کربن بیشتری را در زیست‌توده‌های روی سطح زمین و زیر سطح زمین ذخیره کرده بودند. گونه‌های دیگر از

نسخه ۲۲ استفاده شد. به دلیل وجود تفاوت بین گروه‌ها، از آزمون مقایسه‌ای چندگانه تعقیبی (من-ویتنی) برای بررسی تفاوت دو به دوی میانگین‌ها استفاده شد.

## نتایج

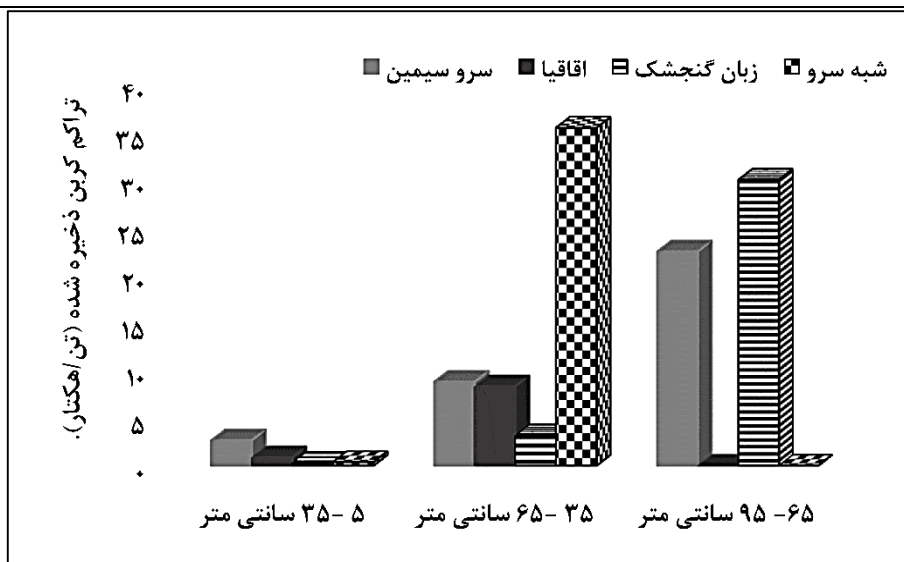
**توصیف آماری داده‌ها:** در پارک توس نوذر، ۱۰۲۱ اصله درخت از گونه‌های افاقیا، سرو سیمین، زبان گنجشک و شبه‌سرو با تراکم ۲۸۵ درخت در هکتار اندازه‌گیری شد. برای تحلیل دقیق‌تر کربن ذخیره‌شده در گونه‌ها، درختان نمونه‌برداری شده بر حسب قطر به سه طبقه ۳۵-۴۵، ۴۵-۶۵ و ۶۵-۹۵ سانتی‌متری تفکیک شدند. توصیف آماری درختان اندازه‌گیری شده در پارک جنگلی توس نوذر در جدول ۱ ارائه شده است. از مجموع ۱۰۲۱ درخت، ۶۸/۹۵ درصد درختان قطر کمتر از ۳۵ سانتی‌متر، ۲۶/۱۵ درصد درختان در طبقه قطری ۳۵-۴۵ و ۴/۸۹ درصد باقی‌مانده در طبقه قطری ۴۵-۶۵-۹۵ سانتی‌متری قرار گرفتند. در مجموع میانگین قطر هر درخت به ترتیب از گونه‌های سرو سیمین، شبه‌سرو، زبان گنجشک و افاقیا بالغ بر ۴۹، ۱۹، ۳۴ و ۲۱ سانتی‌متر است.

**بررسی تراکم کل کربن ذخیره‌شده:** بررسی تراکم کل کربن ذخیره‌شده نشان داد، بیشترین مقدار کربن در خاک (۵۹/۵۶ درصد) و کمترین آن در لاشبرگ‌ها و پوشش علفی پارک جنگلی توس نوذر (۰/۷۰ درصد) ذخیره شده است (جدول ۲).

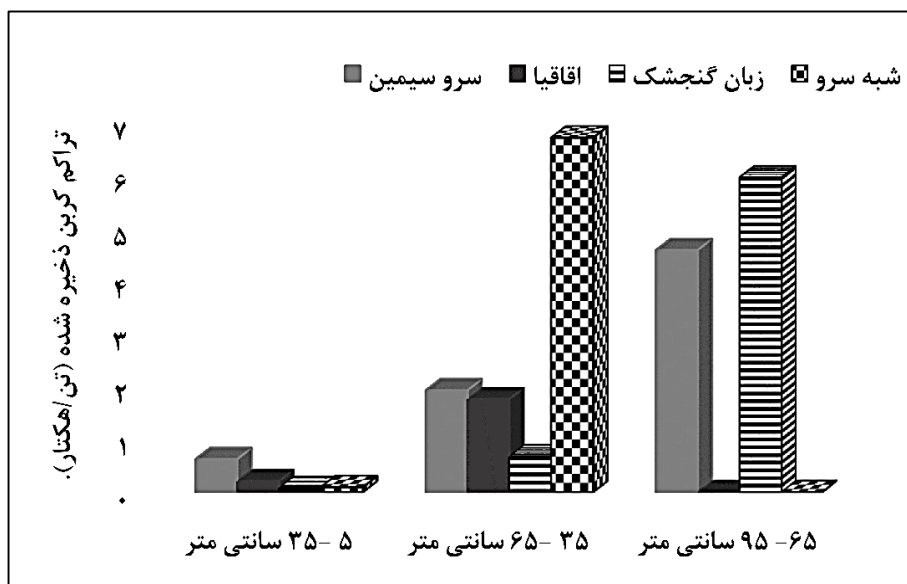
تراکم کل کربن ذخیره‌شده در زیست‌توده‌های سطحی و زیر سطح زمین گونه‌های درختی به تفکیک طبقه قطری در

جدول ۲- تراكم كربن ذخيره شده در بخش‌هاي مختلف پارک جنگلي.

تراكم كربن ذخيره شده (درصد)	تراكم كربن ذخيره شده $\pm$ انحراف معيار (تن در هكتار)	
۳۳/۰۸	۳۷/۲۸ $\pm$ ۶۱/۹۰	زيست‌توده درختي سطح زمين
۶/۶۵	۷/۵ $\pm$ ۵۶/۶۸	زيست‌توده درختي زير سطح زمين
۰/۷۰	۰/۰ $\pm$ ۸/۴۳	زيست‌توده لاشيرگ و پوشش علفي
۵۹/۵۶	۶۷/۳۷ $\pm$ ۷۱/۵۴	خاک
۱۰۰	۱۱۳/۶۸	كل



شکل ۲- تراكم كل كربن ذخيره شده در زيست‌توده سطحی گونه‌هاي درختي.



شکل ۳- تراكم كل كربن ذخيره شده در زيست‌توده زیرسطحی گونه‌هاي درختي.

را در زيست‌توده‌هاي روی سطح زمين و زير سطح زمين ذخيره کرده بودند. گونه‌هاي ديگر از اين نظر با يکديگر تفاوت معنی‌داري نداشتند (جدول ۷).

این نظر با يکديگر تفاوت معنی‌داري نداشتند (جدول ۶). در طبقه قطري ۳۵-۶۵ سانی متری نیز سرو سيمين نسبت به زبان گنجشک و افاقيا نسبت به زبان گنجشک کربن بیشتری

جدول ۳- مقایسه تراکم کربن ذخیره شده در طبقه قطری ۳۵-۵ سانتی متری (کیلوگرم/مترمربع).

کربن روی سطح زمین		کربن زیر سطح زمین	
گونه	میانگین رتبه	گونه	میانگین رتبه
سرو سیمین	۵۷۰/۰۶	سرو سیمین	۵۶۸/۲۴
اقاقیا	۳۴۴/۹۱	اقاقیا	۳۴۶/۹۷
زبان گنجشک	۳۶۴/۱۹	زبان گنجشک	۳۶۱/۵۰
شبه سرو	۲۹۳/۴۱	شبه سرو	۲۹۲/۲۹
کای اسکوتر	۸۹/۵۰۱	کای اسکوتر	۸۸/۶۳۷
درجه آزادی	۳	درجه آزادی	۳
سطح معنی داری	۰/۰۰۰	سطح معنی داری	۰/۰۰۰

جدول ۴- مقایسه تراکم کربن ذخیره شده در طبقه قطری ۶۵-۳۵ سانتی متری (کیلوگرم/مترمربع).

کربن روی سطح زمین		کربن زیر سطح زمین	
گونه	میانگین رتبه	گونه	میانگین رتبه
سرو سیمین	۱۴۶/۰۶	سرو سیمین	۱۴۶/۰۶
اقاقیا	۱۶۴/۵۶	اقاقیا	۱۶۴/۵۶
زبان گنجشک	۸۶/۶۶	زبان گنجشک	۸۶/۶۶
شبه سرو	۱۲۶/۵۹	شبه سرو	۱۲۶/۵۹
کای اسکوتر	۳۰/۲۹۰	کای اسکوتر	۳۰/۲۹۰
درجه آزادی	۳	درجه آزادی	۳
سطح معنی داری	۰/۰۰۰	سطح معنی داری	۰/۰۰۰

جدول ۵- مقایسه تراکم کربن ذخیره شده در طبقه قطری ۹۵-۶۵ سانتی متری (کیلوگرم/مترمربع).

کربن روی سطح زمین		کربن زیر سطح زمین	
گونه	میانگین رتبه	گونه	میانگین رتبه
سرو سیمین	۲۳/۴۲	سرو سیمین	۲۳/۴۲
زبان گنجشک	۲۹/۵۳	زبان گنجشک	۲۹/۵۳
کای اسکوتر	۱/۹۶۸	کای اسکوتر	۱/۹۶۸
درجه آزادی	۱	درجه آزادی	۱
سطح معنی داری	۰/۱۶۱	سطح معنی داری	۰/۱۶۱

جدول ۶- مقایسه دوگانه تراکم کربن ذخیره شده در طبقه قطری ۳۵-۵ سانتی متری (کیلوگرم/مترمربع).

گروه	میانگین رتبه من-ویتنی	سطح معنی داری	میانگین رتبه من-ویتنی	سطح معنی داری
سرو سیمین	۲۷۵/۵۳	۴۵۸۶	۲۷۳/۶۶	۴۷۰۲
اقاقیا	۱۷۳/۹۲	۰/۰۰۰	۱۷۴/۲۹	۰/۰۰۰
سرو سیمین	۱۲۹/۸۱	۹۷۳	۱۲۹/۸۷	۹۶۹
زبان گنجشک	۶۶/۰۴	۰/۰۰۰	۶۶/۰۰	۰/۰۰۰
سرو سیمین	۲۲۷/۷۳	۸۵۴	۲۲۷/۷۱	۸۵۵
شبه سرو	۱۰۹/۵۷	۰/۰۰۰	۱۰۹/۵۷	۰/۰۰۰
اقاقیا	۲۱۵/۱۳	۱۷۶۹۱	۲۱۶/۰۸	۱۷۹۹۱
زبان گنجشک	۲۲۰/۳۱	۰/۷۰۴	۲۱۷/۶۸	۰/۹۰۶
اقاقیا	۲۷۴/۸۶	۳۰۰۹۷	۲۷۵/۶۱	۲۹۸۵۸
شبه سرو	۲۴۸/۸۲	۰/۰۵۵	۲۴۷/۶۸	۰/۰۴۰
زبان گنجشک	۱۹۲/۸۴	۸۵۱۱	۱۹۲/۸۲	۸۵۱۳
شبه سرو	۱۴۶/۰۳	۰/۰۰۰	۱۴۶/۰۴	۰/۰۰۰



جدول ۷- مقایسه دوگانه تراکم کربن ذخیره‌شده در طبقه قطری ۶۵-۳۵ سانتی متری (کیلوگرم/مترمربع).

گروه	کربن روی سطح زمین		زیر سطح زمین	
	میانگین رتبه	من-ویتنی	میانگین رتبه	من-ویتنی
سرو سیمین اقاقیا	۹۱/۳۱ ۹۷/۷۴	۲۳۷۲	۹۱/۳۱ ۹۷/۷۴	۲۳۷۲
سرو سیمین زبان گنجشک	۱۱۵/۴۹ ۷۱/۳۹	۲۴۰۲	۱۱۵/۴۹ ۷۱/۳۹	۲۴۰۲
سرو سیمین شبه‌سرو	۹۰/۲۸ ۸۱/۸۹	۱۸۳۳	۹۰/۲۸ ۸۱/۸۹	۱۸۳۳
اقاقیا زبان گنجشک	۶۶/۵۳ ۳۲/۷۳	۲۳۷	۶۶/۵۳ ۳۲/۷۳	۲۳۷
اقاقیا شبه‌سرو	۳۵/۲۹ ۲۵/۵۹	۳۱۳	۳۵/۲۹ ۲۵/۵۹	۳۱۳
زبان گنجشک شبه‌سرو	۳۹/۵۴ ۴۷/۱۱	۶۱۸	۳۹/۵۴ ۴۷/۱۱	۶۱۸

### بحث و نتیجه‌گیری

جنگل‌های شهری سبب کاهش گازهای گلخانه‌ای از طریق ترسیب کربن در زیست‌توده گیاهی و خاک می‌شود. به این ترتیب باعث جلوگیری از آلودگی هوا، افزایش حاصلخیزی خاک و حفظ تنوع زیستی در طبیعت می‌گردد (Varamesh *et al.*, 2008). نتایج پژوهش حاضر نشان داد، میزان کربن ذخیره‌شده در کل فضای پارک جنگلی توس نوذر (زیست‌توده و خاک) ۵۹۱۱/۳۶ تن بود. Banfield و همکاران (۲۰۰۲) با توجه به نتایج پژوهش‌های خود که در بوم‌سازگان‌های جنگلی بوره‌آل در منطقه وست آلبرتا کانادا انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که میانگین ذخیره کربن زیست‌توده روی سطح زمین (۴۳-۵۰) تن در هکتار بود. در حالی که ذخیره کربن آلی خاک (۱۶۵-۸۳) تن در هکتار برآورد گردید. تجمع لاشبرگ در سطح خاک در توده‌های سوزنی‌برگ را می‌توان به‌عنوان عاملی برای افزایش ذخیره کربن خاک دانست، از طرفی افزایش ذخیره کربن خاک می‌تواند ناشی از افزایش تنوع درختان باشد؛ زیرا ذخیره کربن پوشش گیاهی آمیخته (سوزنی‌برگ و پهن‌برگ) بیشتر از پهن‌برگ است (Azadi *et al.*, 2014). Nan و Liu (۲۰۱۸)، در پژوهشی نشان دادند، خاک جنگل‌های سوزنی‌برگ چین با ۵۴ درصد کربن ذخیره‌شده، قابلیت

بیشتری نسبت به گونه‌های گیاهی از نظر ذخیره کربن دارد. با توجه به این که ترسیب کربن در لاشبرگ و خاک، از ترسیب کربن در پوشش درختی ناشی می‌شود و کربن موجود در بافت‌های درخت با قرار گرفتن در چرخه کربن، به کربن موجود در لاشبرگ و خاک تبدیل می‌شود، بنابراین بررسی ترسیب کربن در پوشش درختی از اولویت بیشتری برخوردار است (Varamesh *et al.*, 2011). در پژوهش Sharma و همکاران (۲۰۲۱)، کل زیست‌توده انباشته شده ۷۲/۶۰۷ تن و میزان کربن کل درختان پردیس دانشگاه آمیتی نویدا برابر با ۳۸/۱۴۲ تن بود. کل کربن جذب‌شده توسط همه درختان در یک سال ۱۳۹/۹ تن بود. بر اساس یافته‌های پژوهش حاضر بیشترین کربن در خاک و کمترین آن در لاشبرگ‌ها و پوشش علفی ذخیره شده بود. مقدار کربن ذخیره شده در زیست‌توده سطحی و زیرسطحی گونه‌های درختی پارک جنگلی توس نوذر (۴۵/۱۷) تن در هکتار) به‌دست آمد. علاوه بر این نتایج پژوهش نشان داد، در طبقه قطری ۳۵-۵ سانتی‌متری، سرو سیمین نسبت به گونه‌های افاقیا، زبان گنجشک و شبه‌سرو و در طبقه قطری ۶۵-۳۵ سانتی‌متری سرو سیمین نسبت به زبان گنجشک، کربن بیشتری را در زیست‌توده سطحی و زیرسطحی خود ذخیره کرده بود.

Kimble و همکاران (۲۰۰۳)، گزارش کردند، ترسیب

پژوهش مذکور، کمتر از ۲۵ سانتی متر بود. در پژوهش Narimani و همکاران (۲۰۱۵)، مقدار ذخیره کربن برای سرو سیمین و کاج تهران به ترتیب ۳۰/۹۹ و ۱۱/۱۳ تن در هکتار برآورد شد. قطر بیشتر درختان در پژوهش مذکور، کمتر از ۱۵ سانتی متر بود. یکی دیگر از عوامل تأثیرگذار در ذخیره کربن می تواند نوع پوشش علفی باشد.

Dinakaran و Krishnayya (۲۰۰۸)، معتقدند، نوع پوشش گیاهی تأثیر معنی داری بر ذخیره کربن خاک می گذارد به طوری که تغییر در مقدار ذخیره کربن خاک، به مقدار ورودی کربن به خاک از راه بقایای گیاهی و هدررفت کربن از راه تجزیه بستگی دارد. در مجموع نتایج بر تأثیر نوع گونه درختان در میزان تجمع کربن تأکید دارد. گونه سرو سیمین، قابلیت بیشتری نسبت به گونه های افاقیا، زبان گنجشک و شبه سرو در ذخیره سازی کربن دارد. بنابراین با شناخت گونه هایی که قابلیت بیشتری برای ذخیره کربن دارند و نیز بررسی عوامل مدیریتی که بر فرآیند ذخیره کربن تأثیرگذار هستند، می توان اصلاح و احیاء جنگل های شهری را از منظر شاخص ترسیب کربن دنبال نمود. نتایج این پژوهش ارزش درختان شهری را نه تنها به عنوان اراضی زینتی و زیبایی شناختی بلکه در کاهش اثرات تغییرات آب و هوایی در سطح محلی آشکار می کند.

کربن در لاشبرگ های توده سرو سیمین بیشتر از افاقیا است که دلیل این امر را نسبت کم تجزیه در لاشبرگ های سرو سیمین می توان دانست. بنابراین به نظر می رسد که تجمع لاشبرگ در سطح خاک و حفاظت بیشتر توده های سوزنی برگ از خاک تأثیر زیادی در جلوگیری از هدر رفتن کربن دارد و بر این اساس سوزنی برگان کربن بیشتری را جذب می کنند. Nobakht و همکاران (۲۰۱۱)، با مقایسه میزان ترسیب کربن در جنگل کاری سوزنی برگ با پهن برگ به این نتیجه رسیدند، جنگل کاری سوزنی برگ سبب افزایش بیشتر ترسیب کربن می شود.

Narimani و همکاران (۲۰۱۵)، در پژوهشی با عنوان تأثیر جنگل کاری با گونه های سوزنی برگ بر ذخیره کربن جو بیان داشتند که سرو سیمین به صورت معنی داری از توان ترسیب کربن بیشتری نسبت به کاج تهران برخوردار است. قطر و ارتفاع درختان از جمله عوامل مؤثر در ذخیره سازی کربن هستند. درختان با قطر بیش از ۶۰ سانتی متر (۲۳/۶ اینچ) در ارتفاع برابر سینه، ۴۱ درصد از زیست توده روی سطح زمین در جهان را تشکیل می دهند (Lutz et al., 2018). بیشتر درختان در پارک جنگلی توس نودر در طبقه قطری ۳۵-۵ سانتی متری قرار دارند. Li و Liu (۲۰۱۲)، در پژوهشی در شهر شن یانگ چین میزان ذخیره کربن را ۳۳/۲۲ تن در هکتار برآورد کردند. قطر بیشتر درختان در

## References

- Agbelade, A.D., Onyekwelu, J.C., 2020. Tree species diversity, volume yield, biomass and carbon sequestration in urban forests in two Nigerian cities. *Urban Ecosystems* 2, 1-14.
- Al-Shammery, A.A.G., Kouzani, A.Z., Kaynak, A., Khoo, S.Y., Norton, M., Gates, W., 2018. Soil bulk density estimation methods: A review. *Pedosphere* 28(4), 581-596.
- Azadi, A., Hojati, S.A., Jalilvand, H., Naghavi, H., 2014. Investigation on soil carbon sequestration and understory biodiversity of hard wood and soft wood plantations of Khoramabad city (Makhamalkoh site). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* 21(4), 703-715. (In Persian)
- Badebian, Z., Mashayekhi, Z., Zebardast, L., Mobrghee, N., 2014. Economic valuation of carbon sequestration function in the mixed and pure beech stands (Case study: Kheyroud Forests). *Environmental Researches* 5(9), 147-156.
- Banfield, G.E., Bhatti, J.S., Jiang, H., Apps, M.J., Karjalainen, T., 2002. Variability in regional scale estimates of carbon stocks in boreal forest ecosystems results from west-central Alberta. *Forest Ecology Management* 169, 15-27.
- Cairns, M.A., Brown, S., Helmer, E.H., 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. 6 p.
- Davies, Z.G., Edmondson, J.L., Heinemeyer, A., Leake, J.R., Gaston, K.J., 2011. Mapping an urban ecosystem service: quantifying above-ground carbon storage at a city-wide scale. *Applied Ecology* 48, 1125-1134.
- Dinakaran, J. and Krishnappa, N.S.R., 2008. Variations in type of vegetal cover and heterogeneity of soil organic carbon in affecting sink capacity of tropical soils. *India Environment Portal by Centre for Science and Environment* 94, 1144-1150.
- Heidarian, S. and Ghasemi Aghbash, F., 2020. Study of Carbon sequestration in trees and soil in two urban parks of Kohdasht City. *Environmental Science and Technology* 22(1), 217-225. (In Persian)
- Hutyra, L.R., Yoon, B., Alberti, M., 2011. Terrestrial carbon stocks across a gradient of urbanization: a study of the Seattle, WA region. *Global Chang Biology* 17, 783-797.
- Jafari, A., 2005. *Iranian Geology*. Tehran: Institute of Geography and Cartography of Geology, 3, 1488 p. (In Persian)
- Kalantari, H., 2017. Investigation of above ground carbon stock estimation possibility in urban forests using Ultracam-D Data (Case study: Yazd City). Ph.D. Thesis in Forestry, Sari University of Agricultural and Natural Resources Sciences. 118 p. (In Persian)
- Kerr, R.A., 2007. Global warming is changing the world. *Science* 316, 188-190.
- Kimble, J.M., Heath, L.S., Birdsey, R., Lal, R., 2003. The potential of U.S. forest soils to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect. CRC Press.
- Lindén, L., Riikonen, A., Setälä, H., Yli-Pelkonen, V., 2020. Quantifying carbon stocks in urban parks under cold climate conditions. *Urban Forestry and Urban Greening* 49, 1-9.
- Liu, C., Li, X., 2012. Carbon storage and sequestration by urban forests in Shenyang, China. *Urban Forestry and Urban Greening* 11(2), 121-128.
- Liu, N., 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.
- Lutz, J.A., Furniss, T.J., Johnson, D.J., Davies, S.J., Allen, D., Alonso, A., 2018. Global importance of large-diameter trees. *Global Ecology Biogeography* 27, 849-864.
- Narimani, H., Iran Nezhad Parizi, M.H., Kiani, B., 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)
- Nobakht, A., Pourmajidian, M., Hojjati, S.M., Fallah, A., 2011. A comparison of soil carbon sequestration in hardwood and softwood monocultures (Case study: Dehmian forest management plan, Mazandaran). *Iranian Journal of Forest* 3(1), 13-23. (In Persian)
- Pearson, T.R.H., Brown, S.L., Birdsey, R.A., 2007. Measurement guidelines for the sequestration of forest carbon. General Technical Report NRS-18, US Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station, Newtown Square, Pennsylvania, 42 p.
- Sanandaj Municipality. 2009. Development and maintenance plan of Toos Nozar amusement and Natural Park, construction of facilities and buildings and adaptation of the park for women. (In Persian).
- Shah, D.R., Gavali, D.J., 2017. Floral diversity in Vadodara gardens, Gujarat, India. *International Journal of Conservation Science* 8, 113-120.
- Sharma, R., Pradhan, L., Kumari, M., Bhattacharya, P., 2021. Assessment of Carbon Sequestration Potential of Tree Species in Amity University Campus Noida. *Environmental Science Proceeding* 3(25), 1-9.
- Singh, S., Bhattacharya, P., Gupta, N.C., 2018. Dust particles characterization and innate resistance for *Thevetia peruviana* in different land-use pattern of urban area. *International Journal Environmental Science Technology* 15, 1061-1072.
- Subedi, B.P., Pandey, S.S., Pandey, A., Rana, E.B., Bhattarai, S., Banskota, T.R., Charmakar, S., Tamrakar, R., 2010. Forest carbon stock measurement: Guidelines for measuring carbon stocks in community-managed forests. *Ansab, Fecofun and Icimod, Kathmandu, Nepal*. 69 p.
- Surya Prabha, A.C., Senthivelu. M., Krishna kumar, N., Nagendran, S., 2020. Urban Forests and their Role in Carbon Sequestration: A Review. *International*

- Journal of Forest Research 1(16), 23-29.
- Varamesh, S., Hosseini, S.M., Maleki, K., 2008. Potential of urban forest to reduce the greenhouse gases and energy preservation. National Conference on Fuel, Energy and Environment 1, 1-10. (In Persian)
- Varamesh, S., Hosseini, S.M., Abdi, N., 2011. Stimating Potential of urban forests for atmospheric carbon sequestration. Environmental Studies 37(57), 113-120. (In Persian)
- Valladars, F., 2008. A mechanistic view of the capacity of forests to cope with climate change. The Challenge of Climate Change 17, 15-40.
- Walkley, A. and Black, I.A., 1934. An examination of degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science 37, b29-37.
- William, E., 2002. Dioxide fluxes in a semiarid environment with high crbonate soils. Agricultural and Forest Meteorology 116, 91-102.
- Zhang, C., Zhou, Y., Qiu, F., 2015. Individual tree segmentation from LiDAR point clouds for urban forest inventory. Remote Sensing 7, 7892-7913.