



## The Capability of Urban Green Spaces in Providing Carbon Sequestration Ecosystem Services

Shiva Gharibi<sup>1</sup> | Kamran Shayesteh<sup>2</sup>  | Behnaz Attaeian<sup>3</sup>

1. Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran. E-mail: shiva\_gharibi@yahoo.com
2. Corresponding Author, Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran. E-mail: ka\_shayesteh@yahoo.com
3. Department of Rangelands and Watershed Management, Faculty of Natural resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran. E-mail: attaeian94@gmail.com

---

### Article Info

**Article type:** Research Article

**Article history:**

Received: 16 June 2021

Accepted: 03 Nov. 2021

**Keywords:**

Green Infrastructure, Sentinel-2, SAVI Index, Organic Carbon, Carbon Storage

---

### ABSTRACT

Carbon sequestration in the soil, as the main carbon reserve, can play an important role in reducing atmospheric carbon. In this study, we focused on evaluating the soil carbon storage and sequestration potential in urban green infrastructures including agricultural lands, gardens, parks, and vacant lands because of their considerable extent in Hamadan city. The SAVI index was used to determine the physical units of carbon sequestration ecosystem service using Sentinel-2 satellite images. Then, 108 sampling stations were selected using a systematic-random technique and at each station soil, litter, herbaceous samples, and all allometric data of trees and shrubs were collected in 10-meter plots. Samples were dried and transferred to the laboratory to analyze carbon. Statistical tests were performed using SPSS statistical software. According to the results, agricultural lands are the highest percentage of green infrastructures, and the highest amount of Carbon is stored in soils (312047 tons), tree and shrub covers (90266 tons), grass cover (8383 tons), and litter (771 tons), respectively. Since most of the urban green infrastructure area has been allocated to agricultural lands, gardens, parks, and vacant land, respectively, but the greatest potential of Carbon sequestration and storage has been done by park, garden, agriculture land and vacant land uses. In general, the results of this study showed that the highest carbon sequestration is the highest CO<sub>2</sub> capture done by soils in the parks of the city which can be considered as a management option to reduce atmospheric carbon via creating more green spaces in the city of Hamadan.

---

**Cite this article:** Gharibi, Sh., Shayesteh, K., & Attaeian, B. (2021). The Capability of Urban Green Spaces in providing Carbon Sequestration Ecosystem Services. *Geography and Sustainability of Environment*, 11 (3), 61-80. DOI:10.22126/GES.2021.6574.2406



© The Author(s).

DOI: 10.22126/GES.2021.6574.2406

Publisher: Razi University



## قابلیت فضای سبز شهری در ارائه خدمت اکوسیستمی ترسیب کربن

شیوا غریبی<sup>۱</sup> | کامران شایسته<sup>۲</sup> | بهناز عطائیان<sup>۳</sup>

۱. گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران. رایانامه: shiva\_gharibi@yahoo.com
۲. نویسنده مسئول، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران. رایانامه: ka\_shayesteh@yahoo.com
۳. گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران. رایانامه: attaeian94@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: مقاله پژوهشی</p> <p>تاریخچه مقاله:</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۲۶</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۱۲</p> <p>کلیدواژه‌ها:</p> <p>زیرساخت سبز، سنتینل ۲، شاخص SAVI، کربن آلی، ذخیره‌سازی کربن</p>	<p>ترسیب کربن در خاک به‌عنوان یکی از مهم‌ترین ذخایر کربن می‌تواند نقش مهمی در کاهش کربن اتمسفری ایفا کند. بررسی پتانسیل ترسیب خاک در کاربری‌های کشاورزی، باغات، پارک‌ها و زمین‌های رهاشده در همدان به دلیل برخورداری از وسعت قابل ملاحظه‌ای از سطح شهر، از دلایل انجام این پژوهش به شمار می‌رود. برای تعیین واحدهای فیزیکی ارائه خدمت اکوسیستمی ترسیب کربن از شاخص SAVI حاصل از تصویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ استفاده شد. در ابتدا، ۱۰۸ ایستگاه نمونه‌برداری به صورت سیستماتیک تصادفی انتخاب و در هر ایستگاه نمونه‌های خاک، پوشش علفی، لاشبرگ و گونه‌های درختی و درختچه‌ای در پلات‌های ۱۰ مترمربعی برداشت و اطلاعات آلومتریک تمام گونه‌های درختی و درختچه‌ای ثبت شدند. سپس نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل شدند و مورد تحلیل قرار گرفتند و تحلیل‌های آماری با نرم‌افزار SPSS انجام شد. بر اساس نتایج، بالاترین مساحت زیرساخت‌های سبز به ترتیب مربوط به کاربری کشاورزی، باغ، پارک و زمین‌های رهاشده است. بیشترین پتانسیل ذخیره‌سازی و ترسیب کربن در شهر همدان به ترتیب توسط خاک (۳۱۲۰۴۷ تن)، پوشش درختی و درختچه‌ای (۹۰۲۶۶ تن)، پوشش علفی (۸۳۸۳ تن) و لاشبرگ‌ها (۷۷۱ تن) است. با توجه به نتایج بیشترین مساحت زیرساخت‌های سبز شهری به ترتیب مربوط به مزارع کشاورزی، باغ، پارک و زمین رهاشده است، اما بیشترین پتانسیل ترسیب و ذخیره‌سازی توسط کاربری‌های پارک، باغ، کشاورزی و زمین‌های رهاشده انجام گرفته است. به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که بیشترین ترسیب کربن توسط خاک در کاربری پارک نسبت به سایر کاربری‌ها انجام می‌گیرد، بنابراین ایجاد فضاهای سبز به‌عنوان یک گزینه برای کاهش کربن موجود در اتمسفر می‌تواند مورد توجه قرار گیرد.</p>

استناد: غریبی، شیوا؛ شایسته، کامران؛ و عطائیان، بهناز (۱۴۰۰). قابلیت فضای سبز شهری در ارائه خدمت اکوسیستمی ترسیب کربن.

DOI: 10.22126/GES.2021.6574.2406. ۶۱-۸۰، (۳)، ۱۱ جغرافیا و پایداری محیط، ۱۱ (۳)، ۶۱-۸۰.



## مقدمه

افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی، تغییر کاربری اراضی و پوشش گیاهی در نتیجه‌ی شهرنشینی منجر به انتشار حجم عظیمی از گازهای گلخانه‌ای به اتمسفر می‌شود (IPCC، ۲۰۰۱). در نتیجه، مناطق شهری مراکز عمده‌ی مصرف انرژی و انتشار CO<sub>2</sub> اتمسفری هستند (IEA، ۲۰۱۲). دو رویکرد اساسی برای کاهش انتشار CO<sub>2</sub> شامل (۱) کاهش در منبع تولید و (۲) ترسیب و ذخیره کربن<sup>۱</sup> وجود دارد (تیلور<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۶). رویکرد اول شامل استفاده از انرژی‌های پاک به جای سوخت‌های فسیلی (داوآذر<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۹) بخصوص در کشورهای در حال توسعه است (تیلور و همکاران، ۲۰۱۶)؛ اما رویکرد دوم (جذب و ذخیره کربن) نسبت به رویکرد اول در دسترس‌تر و بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد (نور عظیم<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۷) و به‌عنوان فرصتی برای دستیابی به کاهش عظیم مقدار CO<sub>2</sub> منتشرشده به اتمسفر در نظر گرفته می‌شود (شارپ<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۰۹). از طرفی، شهرها نیز مانند هر اکوسیستم پیچیده دیگری خدمات اکوسیستمی خاصی را از طریق زیرساخت‌های سبز که در مجاورت و داخل مناطق شهری قرار گرفته‌اند، به ساکنان خود و اجتماع ارائه می‌دهند (هس<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۱۴). زیرساخت سبز<sup>۷</sup> خود یک شبکه به هم پیوسته از فضاهای سبز است که از ارزش و عملکرد اکوسیستم طبیعی حفاظت و منافع مربوط به رفاه انسان‌ها را فراهم می‌کند (بندی و مک‌مون<sup>۸</sup>، ۲۰۰۲) و شامل زمین‌های کشاورزی، مزارع شهری، چمنزارها، زمین‌های رهاشده، بام‌های سبز، باغستان، پارک‌ها، درختان خیابان و جنگل‌های شهری (بولتن<sup>۹</sup> و همکاران، ۲۰۱۵) است. این زیرساخت‌ها خدمات اکوسیستمی مختلفی از جمله ذخیره‌سازی و ترسیب کربن (کانتروسا و رزا<sup>۱۰</sup>، ۲۰۱۷) ارائه می‌دهند که با ترسیب گازهای گلخانه‌ای در حذف دی‌اکسید کربن اتمسفری و کنترل تغییرات اقلیمی نقش مهمی ایفا می‌کنند (مس<sup>۱۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۳).

به‌طور کلی، ترسیب کربن به فرآیند حذف کربن اتمسفری و انباشت آن در یک مخزن اشاره دارد؛ در حالی که ذخیره‌سازی کربن، کربن ذخیره شده در یک مخزن است (حسین<sup>۱۲</sup>، ۲۰۲۰). پتانسیل ترسیب کربن نیز به ذخیره کربن به‌صورت پایدار در خاک و گیاه اشاره دارد که به هر دو صورت مستقیم و غیرمستقیم در کاهش CO<sub>2</sub> اتمسفری نقش دارد (SSSA، ۲۰۰۱). عناصر زیرساخت‌های سبز (خاک و زی‌توده) به‌عنوان ذخیره‌های اصلی کربن در محیط‌های شهری هستند. خاک پتانسیل مخزن یا منبع CO<sub>2</sub> اتمسفری است و نقش کلیدی در تنظیم اقلیم دارد (نیاک<sup>۱۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۹) و به‌عنوان مهم‌ترین مخزن کربن در جهان (زرین کفش و همکاران، ۱۳۹۴) و بزرگ‌ترین مخزن کربن آلی در مناطق شهری شناخته می‌شود؛ به‌طوری‌که حدود ۸۲ درصد از کربن آلی در خاک‌ها و ۱۳ درصد آن در پوشش گیاهی قرار دارد (ادمسون<sup>۱۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۲). از این رو، مهم‌ترین روش‌های کاهش گازهای گلخانه‌ای، ترسیب آن‌ها

1. Sequestration and Storage
2. Taylor
3. Davarazar
4. Nor Aizam
5. Sharp
6. Haase
7. Green Infrastructure (GI)
8. Benedict & McMahon
9. Butlin
10. Contrerasa
11. Maes
12. Hossain
13. Nayak
14. Edmondson

در خاک است (روسی<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۹) که به‌عنوان یک مخزن بسیار مهمی در ترسیب کربن عمل می‌کنند (میناسی<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۷). گیاهان نیز با استفاده از فرآیند فتوسنتز کربن اتمسفری را ترسیب و در زی‌توده ذخیره می‌کنند (کویتن<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۶). علاوه بر آن، زی‌توده زیرزمینی (ریشه)، لاشبرگ و خاک‌های معدنی نیز مخازن بزرگی از کربن را تشکیل می‌دهند (اولی<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۰۴)؛ بنابراین، کربن آلی خاک و زی‌توده ایستاده به‌عنوان یکی از مراحل تعیین‌کننده در ارزیابی ذخایر کربن برای کاهش گازهای گلخانه‌ای شناخته‌شده‌اند (پیلی<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۰۶).

برآورد میزان ترسیب کربن در تمام انواع اکوسیستم‌های شهری از جمله عناصر مختلف پوشش سبز شهری و خاک برای ایجاد رویکردهای مدیریتی بهتر در برنامه‌ریزی شهری ضروری است (ندو<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۱۶). بر همین اساس، پژوهش‌های فراوانی در راستای ارزیابی میزان ترسیب کربن انجام گرفته است که به نتایج مختلفی دست یافته‌اند. میزان ترسیب کربن بر اساس نوع خاک و با پوشش گیاهی متفاوت است به طوری که در عمق ۳۰ سانتی‌متری از خاک فوق العاده شور ۲۷۹ تن، در خاک‌های گچی این مقدار ۴۳۰۳ تن و در خاک‌های آهکی است (زرین‌کفش و همکاران، ۱۳۹۴). مقدار کربن آلی خاک در کاربری‌های جنگلی، علفزار و زمین‌های رها شده دارای تفاوت معناداری هستند (وانگ<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۱۸) و این میزان در خاک جنگل‌های ساحلی نیز نتایج متفاوتی را نشان می‌دهد (فروغ‌نصب<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۲۰). از اینرو، میزان ذخیره کربن خاک زیر پوشش‌های علفی، بوته‌ای و درختی نیز متفاوت است به طوری که میزان ذخیره کربن آلی در عمق ۵۰-۱۰ سانتی‌متر زیر پوشش درختی نسبت به ذخیره کربن آلی خاک زیر پوشش بوته و علفی میزان بالاتری دارد و میزان کربن و پوشش بوته‌ای و علفی نیز از نظر غلظت کربن آلی در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر خاک قابل توجه است (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۳). طبق نتایج تراکم و تنوع در آمیختگی پوشش درختی دارای تاثیر چشمگیری بر مقدار ترسیب کربن است (حیدریان و قاسمی، ۱۳۹۹) و این مقدار نیز در گونه‌های درختی مختلف دارای تفاوت چشمگیری است (رئسی و همکاران، ۱۳۹۸). همچنین، تفاوت میزان ذخیره کربن در اندام‌های مختلف درختی نیز متفاوت است به طوری که بیشترین مقدار ذخیره و ترسیب به ترتیب مربوط به تنه اصلی، شاخه، سرشاخه، پوست و برگ درختان است (حیدری و همکاران، ۱۳۹۵). به طور کلی، پژوهش‌ها نشان داده است که بیشترین پتانسیل ذخیره و ترسیب کربن در یک پارک جنگلی به ترتیب مربوط به خاک، درختان، درختچه، پوشش علفی و لاشبرگ است (رئسی و همکاران، ۱۳۹۸). در ارتباط با کمی سازی و نقشه‌سازی عرضه و تقاضای ترسیب کربن نیز مطالعات زیادی انجام شده‌اند. نقشه‌سازی میزان ترسیب کربن توسط درختان شهری می‌تواند بر اساس پردازش LiDAR و مدل‌های آلومتریک انجام شود (ژاو و ساندر<sup>۹</sup>، ۲۰۱۵). در پژوهشی دیگر برای نقشه‌سازی پوشش زمین/کاربری از تصاویر ماهواره‌ای و ترکیبی از طبقه‌بندی نظارت شده و نظارت نشده استفاده و برآورد میزان کربن با استفاده از InVEST محاسبه شد (سالستیو<sup>۱۰</sup> و همکاران، ۲۰۱۵). همچنین برآورد میزان ترسیب کربن می‌تواند از طریق معادلات تجربی-آماري (دنگ<sup>۱۱</sup> و همکاران،

1. Rossi
2. Minasny
3. Kuittinen
4. Oliver
5. Pili
6. Nedkov
7. Wang
8. Forogh Nasab
9. Zhao & Sander
10. Sallustio
11. Deng

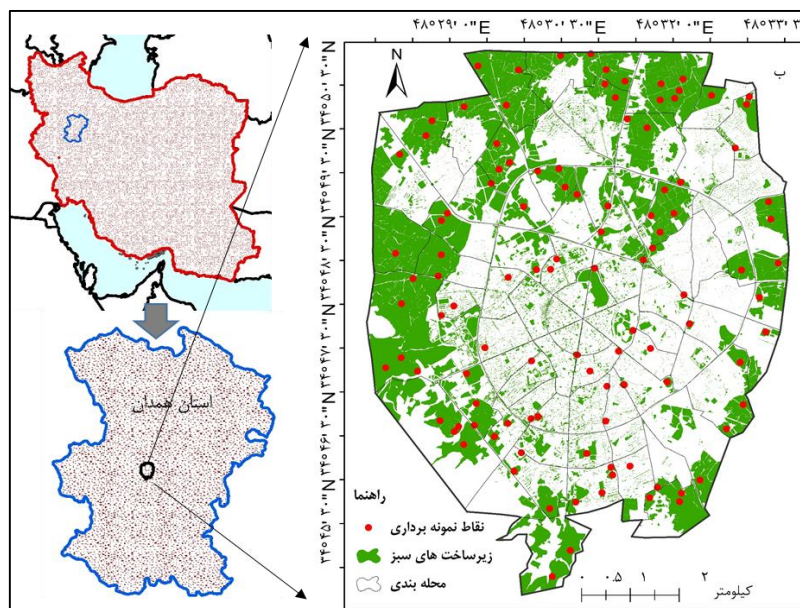
(۲۰۱۷) یا روش‌های نمونه‌برداری تصادفی (یان<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۸) انجام گیرد.

بر اساس این واقعیت که عرضه خدمت اکوسیستمی پتانسیل ترسیب کربن بر اساس مقدار ترسیب کربن توسط خاک و پوشش گیاهی تخمین زده می‌شود (کرمر<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۶)، پژوهش‌های انجام شده تنها به ارزیابی میزان ترسیب کربن در عناصر سبز (خاک و زی‌توده) پرداخته‌اند و در هیچ‌کدام مقایسه‌ای بین میزان ترسیب کربن خاک و زی‌توده توسط کاربری‌های سبز (زمین‌های کشاورزی، پارک، زمین رهاشده و باغ‌ها) بررسی نشده است. از این رو، این مطالعه ضمن استخراج کاربری‌های سبز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ و اندازه‌گیری‌های میدانی به بررسی میزان ذخیره و پتانسیل ترسیب کربن آلی خاک و پوشش گیاهی شهری باهدف پاسخگویی به این سؤال که آیا خاک و پوشش گیاهی در کاربری‌های مختلف (زمین‌های کشاورزی، باغات، پارک‌ها و زمین‌های رهاشده) بر میزان ترسیب کربن اثر معناداری دارند یا خیر، پرداخته است.

## مواد و روش‌ها

### معرفی منطقه مورد بررسی

شهر همدان در غرب ایران با مساحت حدود ۷۴ کیلومترمربع معادل ۳۶ درصد از مساحت شهرستان است و از شمال به شهرستان‌های فامنین و کبودرآهنگ، از جنوب به تویسرکان و ملایر، از شرق به استان مرکزی و از غرب به شهرستان بهار محدود می‌شود و پانزدهمین شهر پرجمعیت ایران به شمار می‌آید. این شهر در موقعیت جغرافیایی بین ۳۴° تا ۱۵' ۳۶° عرض جغرافیایی و ۲۷' ۴۸° طول جغرافیایی واقع شده است. موقعیت منطقه و کاربری‌های موجود و همچنین پراکنش نقاط نمونه‌برداری به‌منظور برآورد پتانسیل ترسیب کربن خاک و زی‌توده در شکل شماره ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. موقعیت شهر همدان (چپ)؛ طبقات زیرساخت‌های سبز و پراکنش نقاط نمونه‌برداری (راست)

1. Yan

2. Kremer

### پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ و شاخص SAVI

محصول (MSILIC) 2A از تصویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ دریافت و در نرم‌افزار SNAP پردازش شد. این تصاویر بدون نیاز به تصحیحات هندسی و به صورت زمین مرجع شده است. تصحیحات رادیومتریکی و اتمسفری با الگوریتم Sen2Cor برای تبدیل تصاویر TOA-1C به BOA-2A و تغییر توان تفکیک مکانی با پلاگین Sne2res انجام شد (کوور<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۹). نقشه زیرساخت‌های سبز با شاخص SAVI (شاخص تعدیل خاک پوشش گیاهی) بر اساس رابطه (۱) محاسبه شد که  $L$  فاکتور تصحیح اثرات زمینه خاک است و دارای ارزش صفر (برای پوشش گیاهی متراکم) تا یک (برای پوشش گیاهی کم تراکم) است. آلن<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۲) برای  $L$  مقدار ۰/۵ را پیشنهاد داده‌اند. آستانه ۰/۰۲ نیز برای تهیه ماسک پوشش گیاهی در نظر گرفته شد. مناطقی با ارزش یک به عنوان مناطق حاوی پوشش گیاهی است.

$$SAVI = \frac{(1 + L)(IR_{factor} * NIR - Red_{factor} * Red)}{(IR_{factor} * NIR - Red_{factor} * Red)} \quad (\text{رابطه ۱})$$

### تعیین واحدهای فیزیکی ارائه خدمت اکوسیستمی و نقاط نمونه برداری

برای تعیین واحدهای فیزیکی ارائه خدمت اکوسیستمی ترسیب کربن (زمین‌های کشاورزی، باغ‌ها، پارک‌ها و زمین‌های رها شده) از برنامه Terra Incognita در محدوده شاخص SAVI استفاده شد. کاربری‌های سبز به صورت سیستماتیک انتخاب و سپس در هر کاربری با استفاده از نرم‌افزار ایدریسی<sup>۳</sup> و به صورت تصادفی نقاط نمونه برداری مشخص و در مجموع تعداد ۱۰۸ پلات برداشت شد. سپس، در هر پلات، از سه نقطه در میکرو پلات‌های یک متری، پس از کنار زدن لاشبرگ، در عمق ۲۰-۳۰ سانتی متری (نورا<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۷)، ۵۰۰ گرم خاک، حاوی بیشترین غلظت کربن آلی (کوپتن و همکاران، ۲۰۱۶) به صورت ترکیبی گردآوری شد. برای اندازه‌گیری و نمونه برداری زی توده پوشش علفی و لاشبرگ تمام نمونه‌های موجود در میکرو پلات‌های<sup>۵</sup> یک متری با نمونه برداری تخریبی برداشت شدند (اسبح<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۹). اطلاعات آلومتریک تمام درختان (پلات ۱۰×۱۰ m) و درختچه‌های (پلات ۵×۵ m) موجود شامل نام گونه، چگالی چوب، ارتفاع درخت، قطر برابر سینه در ارتفاع تقریباً ۱/۳۰ متری از سطح زمین، قطر درختچه در ارتفاع ۳۰ سانتی متری از سطح زمین (اسبح و همکاران، ۲۰۱۹) ثبت شد. در این مطالعه قطر بیش از پنج سانتی متر نیز در قطر برابر سینه مورد توجه قرار گرفت (استروچ و هس<sup>۶</sup>، ۲۰۱۲). تمام اندازه‌گیری‌ها در مردادماه، در شرایط آب و هوایی یکسان، آسمان صاف و بازه زمانی ساعت ۱۶-۱۲ انجام شد.

### محاسبه مقدار کربن آلی خاک و پوشش گیاهی

نمونه‌های خاک در آزمایشگاه از الک دو میلی متری عبور (نورا و همکاران، ۲۰۱۷) و توسط آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت (بورگین<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۱۹) خشک و وزن شدند و مواد آلی به روش احتراق در کوره با

1. Cavour
2. Allen
3. IDRISI
4. Novara
5. Subplots
6. Atsbha
7. Strohbach & Haase
8. Buragiené

دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد در مدت دو ساعت (سلگی<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۲۰) محاسبه شد. نمونه‌های علفی و لاشبرگ نیز به مدت ۱۲ ساعت در هوای آزاد، سپس ۴۸ ساعت در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد خشک (فیسو و همکاران، ۲۰۱۷) و درصد کربن آلی زی‌توده نیز به روش احتراق (شش ساعت در دمای ۴۷۵ درجه سانتی‌گراد) محاسبه شد. برای برآورد زی‌توده گونه‌های درختی و درختچه‌ای از معادلات آلومتریک (روش غیر تخریبی) استفاده شد (تانگ<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۶). زی‌توده زیرزمینی نیز با استفاده از نسبت انشعابات-ریشه<sup>۳</sup> که روشی استاندارد برای برآورد زی‌توده ریشه است (اسبح و همکاران، ۲۰۱۹) اندازه‌گیری شد.

### نقشه‌سازی پتانسیل ترسیب کربن

نقشه‌سازی خاک بر اساس پلی‌گون، جایگزین نقشه‌سازی دیجیتال خاک شده است (میناسی و همکاران، ۲۰۱۷)؛ از این رو، پلی‌گون‌های زیرساخت‌های سبز به‌عنوان پایه نقشه‌سازی در نظر گرفته شد. مجموع زی‌توده روزمینی، زیرزمینی و خاک بر اساس پلات‌های نمونه‌برداری (۱۰ در ۱۰ متری) محاسبه و به‌صورت تن در هکتار بیان شد. طرح نمونه‌برداری این اطمینان را داد که تمام پلی‌گون‌ها حداقل حضور یک پلات را نشان دهند. برای پلی‌گون‌های شامل چند پلات، تخمین زی‌توده کل از طریق میانگین‌گیری به‌صورت (۱) برآورد میانگین زی‌توده کل برای تمام پلات‌های موجود در داخل هر پلی‌گون و (۲) بالا بردن مقیاس از طریق تبدیل میانگین زی‌توده کل در پلات‌ها و مساحت آن نسبت به مساحت کل هر پلی‌گون مورد توجه است (هرناندز<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۰۴). نقشه خروجی طبقه‌بندی و پلی‌گون‌ها با استفاده از پالت طرح رنگی نشان داده شد و مقادیر منفی به‌عنوان طبقه فاقد عرضه بر اساس طرح پیشنهاد شده توسط بورکاد<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۱۲) در نظر گرفته شد. نقشه ترسیب کل نیز از طریق روی هم گذاری و حاصل‌جمع نقشه ترسیب خاک و پوشش گیاهی ساخته شد. درنهایت، مقادیر میانگین عرضه بر اساس تحلیل ناحیه‌ای<sup>۶</sup> و بر اساس واحدهای مکانی زیر بخش‌های اکوسیستم شهری (ناحیه بندی) استخراج شد.

### برآورد پتانسیل CO<sub>2</sub> ترسیب شده از اتمسفر

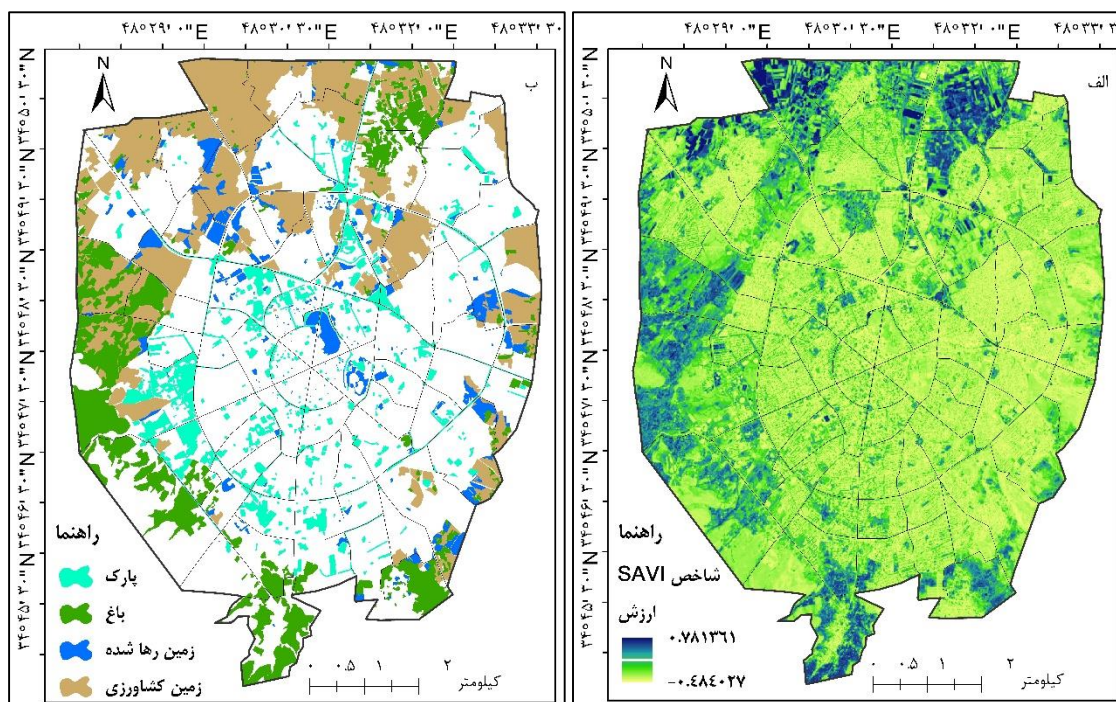
پتانسیل ترسیب کربن برحسب تن در هکتار از طریق ضرب مقدار کربن در عدد ۳/۶۷ بر اساس رابطه (۲) به دست می‌آید (فری<sup>۷</sup>، ۲۰۱۸). D نسبت جرم مولکولی CO<sub>2</sub> به C (بدون واحد) و برابر ۳/۶۷ است (جرم CO<sub>2</sub> ترسیب شده از اتمسفر بیشتر از جرم C به‌تنهایی است؛ زیرا C ذخیره و O<sub>2</sub> به اتمسفر برگردانده می‌شود).

$$CO2_{sequestered} = ((C_S) + (C_{LHG})) * D \quad (\text{رابطه } ۲)$$

### داده‌ها و تحلیل آماری

ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و آزمون همگنی واریانس لون مورد بررسی قرار گرفت و با فرض برابری واریانس از آزمون‌های تعقیبی شفه و گابریل به‌عنوان به دلیل نابرابر بودن حجم نمونه‌ها استفاده شد. همبستگی میان متغیرها (فرضیه رابطه‌ای پارامتری برای ارتباط میان دو متغیر) با ضریب همبستگی پیرسون و بررسی فرضیه مقایسه‌ای داده‌های پارامتری برای چند گروه مستقل با آزمون تحلیل واریانس یک طرفه بررسی شد. تمامی آزمون‌های آماری با SPSS انجام شد.

1. Solgi
2. Tang
3. Root-to-shoot ratio
4. Hernandez
5. Burkhard
6. Zonal Statistics
7. Frey



شکل ۲. شاخص SAVI (الف)؛ نقشه طبقه‌بندی شده زیرساخت‌های سبز شهری (ب) در محدوده مطالعاتی

## نتایج

### نقشه طبقه‌بندی شده زیرساخت‌های سبز

بر اساس شاخص SAVI مساحت تقریبی زیرساخت‌های سبز شهری همدان حدود ۳۵/۷۶ درصد است (شکل ۲، الف) که از این مقدار مساحت طبقات زمین‌های کشاورزی، باغات، پارک‌ها و زمین‌های رها شده به ترتیب ۱۳۲۴/۲۰، ۷۶۹/۲۴، ۲۸۲/۳۶ و ۲۷۸/۳۷ هکتار است که به ترتیب ۴۴، ۳۰، ۱۰ و ۹ درصد از زیرساخت‌های سبز شهری همدان را دربر می‌گیرند (شکل ۲، ب). زمین‌های کشاورزی دربرگیرنده تمام زمین‌های زیر کشت محصولات کشاورزی است، پارک‌ها نیز تمام پارک‌های شهری و بلوار و میدان‌ها حاوی چمن و درختان را در برداشتند. باغ‌ها نیز حاوی مجموعه درختان از جمله باغ‌های خصوصی و عمومی در سطح شهر بودند. زمین‌های شامل پوشش علفی و خاک لخت، گاه‌ها با حضور درختان پراکنده که در هیچ‌کدام از سه گروه اشاره‌شده جای نمی‌گرفتند، به عنوان زمین‌های رها شده در نظر گرفته شدند.

### ترسیب کربن خاک

پتانسیل ترسیب کربن خاک از ۱۲/۳۵ در کاربری کشاورزی (کشت خیار) تا ۹۴۹ تن در هکتار در کاربری پارک متغیر است. متوسط وزن مخصوص ظاهری خاک برابر ۱/۶۹۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب و متوسط میزان کربن آلی ۲۸۰/۴۱ تن در هکتار برآورد شد. بر اساس نتایج آزمون لون ( $P \geq 0.05$ ) همگنی واریانس بین چهار گروه برقرار بود. نتایج تحلیل واریانس برای بررسی تفاوت معناداری در میزان کربن آلی موجود در خاک (متغیر وابسته)، در کاربری‌های مختلف (متغیر مستقل) نشان داد که بین مقدار کربن آلی خاک در کاربری کشاورزی و پارک و همچنین باغ و پارک تفاوت معناداری وجود دارد (جدول ۱). مقدار کربن آلی در خاک زمین‌های کشاورزی و باغ‌ها به صورت معنادار کمتر از پارک‌ها هستند.



بیشترین میانگین کربن آلی خاک به ترتیب مربوط به پارک، باغ، زمین‌های کشاورزی و زمین‌های رها شده است (جدول ۷). در مجموع، شهر همدان دارای پتانسیل ذخیره و ترسیب ۳۱۲۰۴۷ تن کربن توسط خاک است. نتایج همبستگی پیرسون نشان داد که بین وزن مخصوص ظاهری با کربن آلی خاک (۷۱ درصد) همبستگی منفی بالایی برقرار است (جدول ۲).

### ترسیب کربن لاشبرگ

میانگین کربن آلی موجود در لاشبرگ کاربری‌های کشاورزی، باغ، پارک و زمین‌های رها شده به ترتیب ۰/۴۹۴، ۰/۵۳۲، ۰/۱۲۴ و ۰/۴۶۴ تن در هکتار برآورد شد که دارای اختلاف معناداری باهم نیستند. نمونه لاشبرگ در کاربری پارک از مقایسه میانگین‌ها و محاسبات مقایسه‌ای حذف شد؛ زیرا این کاربری به‌ندرت داری مواد آلی مرده و لاشبرگ است. با بررسی آزمون همگنی واریانس‌ها و بررسی تحلیل واریانس یک طرفه تساوی میانگین سه گروه پذیرفته شد و با اطمینان ۹۵ درصد باهم اختلاف ندارند (جدول ۳). کربن آلی لاشبرگ در بین کاربری‌های زمین کشاورزی، باغ و زمین‌های رها شده را نشان داد. بیشترین پتانسیل ترسیب کربن لاشبرگ به ترتیب مربوط به کاربری زمین کشاورزی، باغ، زمین رها شده و پارک است (جدول ۷). مجموع پتانسیل ذخیره و ترسیب کربن در شهر همدان توسط لاشبرگ‌های موجود در کاربری‌های سبز نیز حدود ۷۷۱ تن برآورد شد.

جدول ۱. نتایج آزمون تحلیل واریانس برای مقایسه میانگین میزان کربن آلی خاک در کاربری‌های سبز

سطح معناداری	F	میانگین مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	
۰/۰۰۲	۵/۱۶۸	۷۰۷۴۲/۹	۳	۲۱۲۲۲۸/۷	بین گروه‌ها
		۱۳۶۸۹/۳	۱۰۴	۱۴۲۳۶۹۱/۳	درون گروه‌ها
			۱۰۷	۱۶۳۵۹۱۹/۹	کل

جدول ۲. نتایج همبستگی پیرسون بین کربن آلی خاک و سایر پارامترهای اندازه‌گیری شده خاک

وزن مخصوص ظاهری خاک	دما	رطوبت	کربن آلی خاک
۱			
دما	۱		
رطوبت	-۰/۴۱۴**	۱	
کربن آلی خاک	-۰/۷۰۷**	-۰/۱۶۶	۱

دار است‌دار است. \* در سطح ۰/۰۵ معنادار سطح ۰/۰۱ معنا\*\*

جدول ۳. نتایج آزمون تحلیل واریانس برای مقایسه میانگین میزان کربن آلی لاشبرگ در کاربری‌های سبز

سطح معناداری	F	میانگین مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	
۰/۲۰۳	۱/۶۴۸	۰/۷۸۹	۲	۱/۵۷۸	بین گروه‌ها
		۰/۴۷۹	۴۹	۲۳/۴۴۸	درون گروه‌ها
			۵۱	۲۵/۰۲۵	کل

جدول ۴. نتایج آزمون تحلیل واریانس برای مقایسه میانگین میزان کربن آلی پوشش علفی در کاربری‌های سبز

سطح معناداری	F	میانگین مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	
۰/۰۷۸	۲/۳۴۴	۱۹۵/۴۹	۳	۵۸۶/۴۹	بین گروه‌ها
		۰/۸۳/۴۱	۹۴	۷۸۴۰/۶۴	درون گروه‌ها
			۹۷	۸۴۲۷/۱۳	کل

### ترسیب کربن پوشش علفی

میانگین کربن آلی در پوشش علفی کاربری‌های کشاورزی، پارک، باغ و زمین‌های رها شده در منطقه مطالعاتی نیز به ترتیب ۶/۳۱، ۲/۱۵، ۰/۹۶ و ۰/۴۶ تن در هکتار برآورد شد. بر اساس نتایج تحلیل واریانس یک طرفه (جدول ۴) بین گروه‌های کاربری تفاوت معناداری وجود نداشت. با بررسی آزمون همگنی و بررسی تحلیل واریانس تساوی میانگین چهار گروه کاربری پذیرفته شد. بیشترین پتانسیل ترسیب کربن نیز به ترتیب مربوط به کاربری زمین کشاورزی، پارک، باغ و زمین رها شده است (جدول ۷). مجموع پتانسیل ذخیره و ترسیب کربن توسط پوشش علفی در شهر همدان نیز ۸۳۸۳ تن برآورد شده است.

### ترسیب کربن پوشش درختی و درختچه‌ای

بیشترین نوع درختان ثبت شده افرای زینتی، افاقیا، آلبالوی وحشی، بادام، توت، توری، چنار، بید، زبان گنجشک، زردآلو، زیتون تلخ، سرو، سیب، صنوبر، کاج، گردو، ماگنولیا، گیلان، نارون، هلو، زیتون تلخ، به، سیب، گردو و گلابی و درختچه‌های ثبت شده شامل یاس زرد، برگ نو، سرو خمره‌ای و نسترن با ارتفاع ۶-۰/۷۵ متری، قطر شاخه‌های ۱۷۵-۲ سانتی متری و تعداد ۱-۲۸ شاخه‌ای بود. ارتفاع درختان نیز از ۱۷-۲/۵ متر، محیط تنه درخت آن‌ها از ۲۳۳-۶ سانتی متر و قطر برابر سینه از ۷۴-۱/۹۱ سانتی متر متغیر است. بررسی بیشترین و کمترین مقدار کربن ترسیب شده در زی توده هوایی و زیرزمینی در منطقه مطالعاتی در جدول (۵) نشان داده شده است. همچنین، میانگین کربن آلی ذخیره شده در درختان اندازه گیری شده ۱۴۸/۷۹ کیلوگرم برآورد شد. مجموع کربن ذخیره شده توسط پوشش درختی و درختچه‌ای در منطقه مطالعاتی ۹۰۲۶۶ تن برآورد شده است.

بر اساس نتایج تحلیل واریانس برای گونه‌های درختی و درختچه‌ای میان کاربری‌های مختلف تفاوت معناداری در سطح ۰/۰۵ وجود ندارد.

جدول ۵. بررسی بیشترین و کمترین مقدار کربن ترسیب شده در زی توده منطقه مطالعاتی

مقدار کربن	نوع کربن آلی	گونه	ارتفاع (m)	قطر برابر سینه (cm)	زی توده (kg)	کربن آلی (kg)
حداقل	روزمینی	صنوبر	۲	۲	۰/۴۷	۰/۲
حداکثر	روزمینی	نارون	۱۵	۵۵	۱۵۲۶	۷۶۳
حداقل	روزمینی و زیرزمینی	صنوبر	۲	۲/۲	۰/۴۷	۰/۲۴
حداکثر	روزمینی و زیرزمینی	نارون	۱۵	۵۶	۱۸۳۱	۹۰۶

جدول ۶. میانگین پتانسیل ترسیب کربن خاک، پوشش علفی، لاشبرگ، درخت و درختچه در کاربری‌های سبز هم‌دان بر حسب تن در هکتار

کاربری و نوع زیرساخت	خاک	لاشبرگ	علفی	درخت و درختچه
کشاورزی	۱۰۴/۸۸	۰/۲۷	۴/۹۶	۱۶/۱۵
باغ	۱۱۷/۴۳	۰/۱۹	۱/۴۰	۲۸/۴۷
زمین رها شده	۸۵/۸۷	۰/۱۳	۱/۱۰	۳۸/۲۷
پارک	۱۶۷/۵۴	۰/۱	۲/۹۹	۵۰/۴۳
مجموع پتانسیل ترسیب در شهر (تن)	۳۱۲۰۴۷	۷۷۱	۸۳۸۳	۹۰۲۶۶

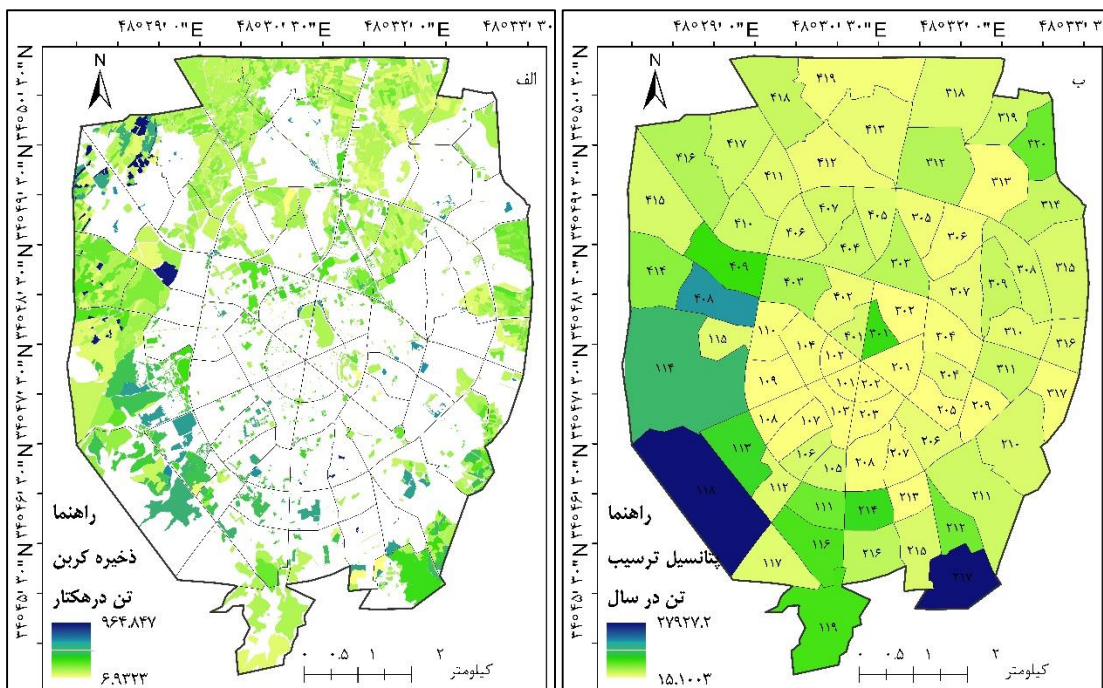
جدول ۷. نتایج آزمون تحلیل واریانس برای مقایسه میانگین میزان کربن آلی پوشش درختی و درختچه‌ای در کاربری‌های سبز

سطح معناداری	F	میانگین مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	
۰/۲۵۹	۱/۳۷۳	۲۱۱۸/۲۷	۳	۶۳۵۴/۸۱	بین گروه‌ها
		۱۵۴۲/۷۱	۶۵	۱۰۰۲۷۶/۲۹	درون گروه‌ها
			۶۸	۱۰۶۶۳۱/۰۹	کل

به طور کلی، میانگین پتانسیل ترسیب کربن خاک، پوشش علفی، لاشبرگ، درخت و درختچه در کاربری‌های سبز هم‌دان بر حسب تن در هکتار نشان داد که بیشترین پتانسیل ذخیره و ترسیب کربن توسط درختان در کاربری پارک و کمترین آن مربوط به زمین کشاورزی است (جدول ۷).

### پتانسیل ترسیب کل و تحلیل مکانی

برآورد کل کربن ذخیره‌شده در هر پلات از مجموع کربن ذخیره‌شده در مخازن کربن از جمله خاک، لاشبرگ، پوشش علفی، درخت و درختچه موجود در کاربری‌های کشاورزی، باغ، پارک، زمین‌های رها شده به دست می‌آید که به صورت تن در هکتار بیان می‌شود (۳، الف). مجموع ذخیره کربن از ۶/۹-۹۶۴/۸۵ تن در هکتار متغیر است (پتانسیل ترسیب نیز از ۰/۳۷-۳۵۴۰/۹ تن در هکتار متغیر است). نتایج تحلیل ناحیه‌ای میانگین پتانسیل ترسیب کربن نیز بر اساس محله‌بندی در شکل (۳، ب) نشان داده شده است که از ۱۵-۲۷۹۲۷ تن در سال (با مجموع ذخیره‌سازی کربن از ۴/۱۱-۷۶۰۹/۵۸ تن در سال به ازای محله‌بندی) متغیر است. بیشترین میانگین پتانسیل ترسیب مربوط به محله ۲۱۷ و کمترین آن محله ۱۰۹ است. بر اساس آماره مجموع نیز بیشترین مجموع پتانسیل ترسیب مربوط به محله ۱۱۴ و کمترین مربوط به محله ۱۰۹ است.



شکل ۳. پتانسیل ذخیره‌سازی کربن کل بر اساس تن در هکتار (الف)؛ نقشه پتانسیل ترسیب کربن بر اساس تحلیل ناحیه‌ای بر اساس آماره میانگین (ب)

جدول ۸. پتانسیل ترسیب CO<sub>2</sub> توسط خاک و زی توده در محدوده مطالعاتی شهر همدان برحسب تن

ناحیه	خاک (تن)	لاشبرگ تن	علفی (تن)	درخت (تن)	درختچه (تن)	مجموع (تن)
کل	۱۱۵۴۸۸۷/۷۲	۳۰۳۷/۵۵	۳۳۵۴۸/۶۳	۲۵۶۰۸۱/۹۵	۷۶۹۴/۴۱	۱۵۲۴۴۹۶/۳

بررسی میزان CO<sub>2</sub> ترسیب شده توسط خاک و زی توده به تفکیک اجزای زیرساخت‌های سبز نشان داد که بیشترین مقدار ترسیب کربن توسط خاک و کمترین مقدار ترسیب توسط لاشبرگ‌ها انجام می‌شود جدول (۸).

### بحث

به‌طور کلی این نتیجه حاصل شد که بیشترین پتانسیل ذخیره و ترسیب کربن مربوط به خاک، درختان، درختچه‌ها، پوشش علفی و در نهایت لاشبرگ است که در مطالعات دیگری نیز به این نتیجه‌گیری دست یافته‌اند (رئییسی و همکاران، ۱۳۹۸). بیشترین میزان ذخیره‌سازی و ترسیب کربن به ترتیب مربوط به خاک و سپس زی توده است (مالی<sup>۱</sup> و همکاران، ۱۹۹۹) که در پژوهش حاضر نیز این موضوع اثبات شده است؛ به‌طوری‌که میزان ذخیره‌سازی و ترسیب کربن توسط خاک حدود ۷۶ درصد، زی توده فعال حدود ۲۵ درصد و لاشبرگ و مواد آلی مرده حدود ۰/۲ درصد است. میزان ترسیب کربن توسط پوشش علفی و لاشبرگ در مطالعه‌ای مشابه در پارک جنگلی آبیدر نیز حدود ۰/۷۱ درصد است که در مقایسه با کربن خاک آن (۱۵،۶۶ درصد) بسیار کمتر است (رئییسی و همکاران، ۱۳۹۸). همچنین، همبستگی مثبت و معناداری بین کربن آلی خاک و وزن مخصوص ظاهری خاک وجود دارد (قریشی و همکاران، ۱۳۹۲؛ قاسمی و

همکاران، ۱۳۹۶) که در این پژوهش نیز مقدار همبستگی ۷۱ درصد است. وزن مخصوص ظاهری خاک و میزان ماده آلی خاک از مهم ترین عوامل تأثیرگذار بر مقدار کربن آلی خاک در کاربری های مورد مطالعه هستند؛ به طوری که با افزایش ماده آلی در خاک، وزن مخصوص ظاهری خاک کاهش می یابد که منجر به تولید کلوخه و افزایش خلل و فرج در خاک و سپس کاهش رواناب و فرسایش می شود و در نتیجه منجر به کاهش هدر رفت مقدار کربن آلی می شود (قریشی و همکاران، ۱۳۹۲). از اینرو، بیشترین میانگین وزن مخصوص ظاهری خاک ( $1/186 \text{ gr/cm}^3$ ) مربوط به کاربری پارک است که تفاوت معناداری با وزن مخصوص خاک در سایر کاربری ها ندارد. با افزایش عمق، کاهش میزان تغییرات و جابجایی خاک به دلیل نبود شخم برای افزودن کود و استفاده و بهره برداری از خاک منجر به کاهش تولید کلوخه و در نتیجه کاهش خلل و فرج می شود و چسبندگی و فشردگی خاک افزایش می یابد و میزان کربن آلی خاک افزایش می یابد. نتایج همبستگی رطوبت خاک با میزان کربن آلی نیز نشان از همبستگی مثبت و معنادار این دو پارامتر دارد که در سایر پژوهش ها نیز این مهم اثبات شده است (آرمنتو، ۱۹۸۰).

بر اساس نتایج، پس از خاک، پوشش درختی دارای بالاترین پتانسیل ترسیب کربن در شهر همدان است. دیگر پژوهش ها نیز بیانگر قابلیت بیشتر پوشش درختی در ترسیب کربن به دنبال خاک بوده اند (مک هال<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۹). به طوری که افزایش تعداد درختان به طور بالقوه تجمع کربن اتمسفری را کاهش می دهد (مولتن و ریچارد، ۱۹۹۰)؛ زیرا درختان توانایی منحصربه فردی در ذخیره مقدار بسیار زیادی کربن در چوب خود دارند و این مقدار با افزایش رشد گونه افزایش می یابد. مجموع کربن ذخیره شده در اندام های سطحی و زیرزمینی گونه های درختی و درختچه های در منطقه مطالعاتی حاضر ۹۰۲۶۶ تن برآورد شده است (۱۲/۲ تن در هکتار) که این مقدار در پژوهش مشابه در پارک جنگلی آبیدر ۴۸/۹۵ تن در هکتار تخمین زده شده است (رئیس و همکاران، ۱۳۹۸) که نه تنها بیشتر از منطقه شهری همدان بلکه بر اساس نتایج آن ها بیشتر از بسیاری از مناطق در ایران و جهان است و یکی از دلایل آن می تواند غنای گونه های پارک آبیدر نسبت به تنوع گونه های درختی در شهر همدان باشد.

همچنین، نتایج نشان داد که در منطقه شهری همدان مجموع میزان کربن آلی لاشبرگ (۲۵/۳۰۲ تن) در مقابل کربن آلی خاک (۱۴۶۰۹/۵ تن در هکتار) بسیار ناچیز و دارای همبستگی ۴۴ درصدی مثبت هستند. به طوری که بیشترین و کمترین میزان ترسیب کربن به ترتیب مربوط به خاک و لاشبرگ است (رئیس و همکاران، ۱۳۹۸). بنابراین، بین کربن آلی خاک و لاشبرگ دارای یک رابطه یک طرفه ضعیفی برقرار است به طوری که با افزایش کربن آلی موجود در لاشبرگ، کربن موجود در خاک نیز افزایش می یابد. مقایسه ی ترسیب کربن لاشبرگ در منطقه ی استپ بوتته زار و نیمه استپ گندمی نشان داده است که میزان کربن به طور غیر معناداری در منطقه ی استپ بوتته زار بیشتر است (مرادی و طهماسبی، ۱۳۹۴). میزان کربن آلی نمونه های لاشبرگ نیز در کاربری های مختلف شهر همدان دارای تفاوت معناداری نیستند. کاربری پارک فاقد نمونه های لاشبرگ است؛ زیرا در فصل تابستان و نبود برگ ریزان و همچنین پاک سازی پارک ها توسط مأموران شهرداری عاری از لاشبرگ است. همچنین برخی ایستگاه های نمونه برداری زمین های کشاورزی به شکل شخم زده و یا در فصل رشد برخی از محصولات کشاورزی از جمله گوجه، خیار، پنبه، سبزیجات، سیب زمینی و ذرت بودند که در نتیجه فاقد گونه های لاشبرگ بودند و مابقی زیر کشت گندم برداشت شده بود که لاشبرگ آن ها بر روی زمین باقی مانده بود. یکی از دلایل افزایش کربن آلی خاک، تجزیه ی لاشبرگ ها است (پیلهور و همکاران، ۱۳۹۵) و سرعت

تجزیه آن‌ها وابسته به شرایط محیطی و کیفیت لاشبرگ‌ها دارد (یانگ<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۲). بیشترین مقدار میانگین کربن آلی نیز در پوشش علفی مربوط به کاربری کشاورزی و کمترین آن در زمین‌های رها شده است اما تفاوت آن‌ها معنادار نیست. در زمین‌های رها شده با شروع فصل گرما و در اوایل مردادماه پوشش علفی از بین می‌رود و پوشش علفی موجود در زمین‌های کشاورزی محدود به فصل زراعی است اما پارک‌ها با وجود مساحت کمتر نسبت به زمین‌های کشاورزی، در تمام فصول دارای پوشش علفی و چمن هستند.

از طرفی دیگر، بیشترین مجموع کربن ذخیره شده در کاربری‌های سبز شهر همدان به ترتیب مربوط به کاربری‌های پارک، باغ، زمین کشاورزی و زمین‌های رها شده است و در بخش پوشش گیاهی، بیشترین زی توده روزمینی و پتانسیل ذخیره کربن در داخل اجزای زی توده درخت ارزیابی شده است (پیشل و آراین<sup>۲</sup>، ۲۰۰۶). بیشترین پتانسیل ذخیره و ترسیب کربن توسط درختان نیز در کاربری پارک و کمترین آن در کاربری کشاورزی است. به طور کلی، در این پژوهش نتایج مقایسه میانگین کربن آلی خاک در کاربری‌های سبز نشان داد که بیشترین میزان کربن آلی خاک در پارک‌ها تخمین زده شده است (۱۶۷/۵ تن در هکتار) که دارای تفاوت معناداری با میزان کربن خاک در کاربری‌های کشاورزی و باغ است. از طرفی، باغات و زمین‌های کشاورزی در اطراف منطقه‌ی شهری و با فاصله از جاده‌های پرتراфик شهری قرار گرفته‌اند که دارای رابطه‌ی مستقیم و منفی با میزان ترسیب کربن هستند، زیرا نزدیکی به جاده‌های اصلی با حجم بالای تردد و تراфик عواملی هستند که سبب افزایش ترسیب کربن در فضای سبز شده‌اند (حیدریان و قاسمی، ۱۳۹۹). همچنین، در زمین‌های کشاورزی و باغ‌ها، شخم‌زنی و استفاده از زمین برای تولید محصولات کشاورزی و همچنین استفاده از کودهای شیمیایی منجر به کاهش مواد آلی و همچنین مواد مغذی خاک و به تبع آن فرسایش خاک و میزان هدر رفت کربن آلی خاک شده است؛ اما در برخی مطالعات دلیل بالا بودن مقدار کربن در خاک زمین‌های کشاورزی را یونجه و استفاده از کودهای آلی عنوان کرده‌اند؛ زیرا در زمین‌های کشاورزی یونجه بسیار کشت می‌شود و توانایی جذب نیتروژن و در نتیجه، افزایش میزان کربن را دارد (فروغ نصب و همکاران، ۲۰۲۰) اما در پارک‌ها ساختمان و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بدون تغییر خواهد بود، زیرا قسمت اعظم کربن ترسیب شده در خاک قرار دارد. از اینرو، فرسایش و تغییرات فیزیکی و شیمیایی موجود در خاک منجر به هدر رفت کربن می‌شود و عملیات بیولوژیکی و مکانیکی که مانعی در سیر فقهقاری خاک و پوشش گیاهی هستند، قطعاً گام مثبتی برای مدیریت ترسیب کربن خواهد بود (ورامش و همکاران، ۱۳۹۱). در نتیجه، کاهش در مقدار خاکدانه‌ها و کاهش حفاظت فیزیکی خاک می‌تواند در میزان انباشت کربن خاک تأثیر منفی داشته باشد (پیلهور و همکاران، ۱۳۹۵) که نبود وجود این ویژگی‌ها در پارک‌ها صادق است.

میزان کربن آلی خاک در یک پوشش جنگلی ۴۸/۵-۲۵/۸ تن در هکتار برآورد شده است (فروغ نصب و همکاران، ۲۰۲۰) اما در کاربری درختی شهر همدان (باغ‌ها و مجموع درختان متراکم شهری) حدود ۱۱۷/۴۳ تن در هکتار برآورد شده است که دارای تفاوت معناداری هستند و یکی از مهمترین دلایل آن می‌تواند انباشت لاشبرگ در منطقه جنگلی باشد. همچنین، پارک جنگلی آبیدر نیز با مساحت ۱۵۵۵ هکتار توان ترسیب ۲۲۹/۷ تن در هکتار را دارد (رئییسی و همکاران، ۱۳۹۸).

از طرفی دیگر، با در نظر گرفتن مساحت کاربری‌های سبز شهر همدان، بیشترین میزان ذخیره کربن مربوط به کاربری باغ و کمترین آن مربوط به کاربری پارک است. مساحت باغ (۷۶۹/۲۴ هکتار) تقریباً دو برابر مساحت پارک شهری (۲۸۲/۳۶ هکتار) است. از اینرو، یکی از دلایل تاثیرگذار می‌تواند مساحت و تراکم و در هم آمیختگی درختان باغ نیز باشد زیرا بالا بودن حجم در هکتار و تراکم درختان در مجموع ترسیب کربن اثرگذار هستند (حیدریان و قاسمی، ۱۳۹۹). از

1. Yang

2. Peichl & Arain

اینرو، تغییر الگوی کاربری زمین از مزارع به علفزار و زمین‌های رها شده می‌تواند در ارتباط با افزایش موجودی کربن در لایه‌های فوقانی خاک اثربخش باشد (وانگ و همکاران، ۲۰۱۸).

در مجموع، بر اساس نتایج، بیشترین و کمترین توان ذخیره‌سازی و ترسیب کربن در محله‌بندی شهر همدان به ترتیب مربوط به محلات ۲۱۷ و ۱۰۲ است. حدود ۲/۶۱ درصد از مساحت فضای سبز در محله ۲۱۷ قرار دارد که در این محله (۱۲۲ هکتار) حدود ۷۴ هکتار توسط فضای سبز (۸ هکتار زمین کشاورزی، ۵۹ هکتار باغ، ۰/۰۲ هکتار پارک، ۶ هکتار زمین رها شده) پوشیده شده است و پتانسیل ترسیب در این محله حدود ۲۷۹۵۶ تن کربن در سال است. در مقابل، محله ۱۰۲ (مساحت ۳۲/۵ هکتار) دارای ۴/۹ هکتار پوشش فضای سبز (۱/۵ هکتار پارک و ۰/۱۳ هکتار زمین رها شده و ۳/۳ هکتار درختان منفرد و ردیفی) است و ۰/۴۴ درصد از فضای سبز همدان را به خود اختصاص داده است. این منطقه پتانسیل ترسیب ۹۵ تن کربن در سال را دارد. منطقه ۲۱۷ با بیشترین میزان عرضه ترسیب کربن فاقد مناطق صنعتی است و ۱/۶۶ درصد جمعیت در این محله مستقر هستند. ۲۴۵۱۶ تن گاز مصرفی و فاقد خیابان اصلی است. محله ۱۰۲ نیز با کمترین میزان عرضه فاقد منطقه صنعتی است و ۰/۶۵ درصد از جمعیت در این محله ساکن هستند. میزان گاز مصرفی نیز ۹۰۱۳ تن است و حدود ۸۶۳ متر خیابان اصلی در این محله قرار دارد. در مجموع شهر همدان در سال توان ذخیره حدود ۵۴ هزار تن کربن و پتانسیل ترسیب حدود ۱۹۸ هزار دی‌اکسید کربن را دارد.

به طور کلی، پارک‌ها با مساحت حدود ۲۸۲/۳۶ هکتار، به‌طور تقریبی ۹/۸۱ درصد از زیرساخت‌های سبز و ۳/۸ درصد از کل مساحت شهر را تشکیل می‌دهند که دارای سهم بسیار پایینی نسبت به سایر کاربری‌های موجود در شهر هستند؛ از طرفی، بیشترین میزان ترسیب کربن توسط خاک در کاربری پارک نسبت به سایر کاربری‌ها دیده می‌شود که به‌عنوان یک گزینه مدیریتی برای کاهش کربن موجود در اتمسفر از طریق ایجاد فضاهای سبز در شهر همدان می‌تواند مورد توجه قرار گیرد. زیرا مطالعات دیگر نیز نشان داده‌اند که میزان کربن ترسیب شده توسط خاک در دو پارک شهری دیگر به ترتیب ۱۱۹۳/۴ و ۴۱۷۶۹/۵۵ تن در هکتار و منطقه‌ی شاهد آن‌ها (در مجاورت پارک‌ها) نیز به ترتیب ۶۶۳/۵۲ و ۲۹۷۸۶/۳۵ تن در هکتار برآورد شده است که نسبت به منطقه‌ی شاهد دارای تفاوت چشمگیری هستند (حیدریان و همکاران، ۱۳۹۹). همچنین، میزان ترسیب کربن در پارکی دیگر نیز زیر پوشش علفی، بوته‌ای و درختی نیز به ترتیب ۱۴/۳۶، ۱۳/۹۸ و ۱۴/۱۸ میلی‌گرم بر گرم است که دارای تفاوت معناداری نیستند (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۳) که نتایج آن‌ها نیز در راستای اهداف این پژوهش است. از اینرو، مشابه نتایج پژوهش حاضر بیشترین میزان ترسیب توسط خاک انجام می‌شود. بنابراین، در شهر همدان می‌توان کاربری پارک را برای کاهش کربن اتمسفری احیا نمود که دارای پتانسیل بالایی برای ترسیب کربن است.

### نتیجه‌گیری

ذخیره‌سازی و پتانسیل ترسیب کربن به‌عنوان یکی از مهم‌ترین خدمات اکوسیستمی به شمار می‌رود و کمی‌سازی و برآورد مقدار این خدمت توسط خاک، به‌عنوان مهم‌ترین ذخایر کربن در زیرساخت‌های سبز از جمله زمین‌های کشاورزی، باغ‌ها، پارک‌ها و زمین‌های رها شده، می‌تواند روش مناسبی برای انجام اقدامات مدیریتی کاهش گازهای گلخانه‌ای به شمار آید. از لحاظ ترسیب کل، زمین‌های کشاورزی و باغ‌ها به دلیل وسعت بیشتر نسبت به سایر کاربری‌ها دارای پتانسیل ذخیره و ترسیب کربن بالاتری هستند، اما بیشترین میانگین مقدار کربن آلی خاک مربوط به کاربری پارک است. از اینرو، در راستای ارزیابی پتانسیل ترسیب کربن توسط زیرساخت‌های سبز، با بررسی‌های آتی در ارتباط با میزان کربن تولیدشده در شهر می‌توان میزان ترسیب آن را بر اساس زیرساخت‌های سبز شهری تخمین زد. همچنین، حفظ و افزایش سطح فضاهای پارک شهری به‌عنوان مهم‌ترین زیرساخت سبز برای کاهش کربن اتمسفری در شهر همدان از اهمیت بالایی

برخوردار است و در صورت توسعه‌ی فضای سبز شهری، شناخت ظرفیت و برآورد دقیق میزان ترسیب کربن از اهمیت بالایی برخوردار است.

### سیاسگزاری

این مطالعه در قالب بخشی از طرح پژوهشی و با حمایت صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور به شماره ۹۶۰۱۶۳۶۳ انجام شد که بدین‌وسیله تشکر و قدرانی می‌شود.

### منابع

- پیلهور، بابک؛ جعفری، حمزه و میرآزادی، زهرا (۱۳۹۵). مقایسه میزان ترسیب کربن خاک گونه‌های مختلف جنگل کاری شده در پارک جنگلی مخمل کوه خرم آباد- لرستان. *مجله پژوهش‌های گیاهی*، ۲۹(۴): ۷۰۶-۷۱۷.
- حیدری، ابوذر. ایران منش، یعقوب. رستمی شاهراچی، تیمور (۱۳۹۵). اندوخته کربن روی زمینی و خاک کبوده (*Populus alba L.*) در فاصله کاشت های مختلف در استان چهارمحال و بختیاری. *تحقیقات صنوبر و جنگل ایران*، ۲۴(۲): ۲۱۳-۲۰۰.
- حیدریان، شریفه و قاسمی، فرهاد (۱۳۹۹). بررسی ترسیب کربن پوشش درختی و خاک در دو پارک شهری کوه‌دشت. *علوم و تکنولوژی محیط زیست*، ۲۲(۱): ۲۲۵-۲۱۶.
- رئیزی، مرضیه؛ قادرزاده، حامد؛ ساعدپناه، مهین و مرادی، ایوب (۱۳۹۸). ذخیره‌سازی کربن در پارک جنگلی آیدر سنج. *نشریه علمی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران*، ۲۷(۳): ۳۷۶-۳۶۴.
- زرین‌کفش، منوچهر؛ صباغی، علی‌محمد و نعلبندی، زیبا (۱۳۹۴). بررسی و تعیین ترسیب کربن آلی در سه نوع خاک و با سه نوع پوشش گیاهی در قسمتی از اراضی استان‌های قزوین و زنجان. *پژوهش‌های محیط‌زیست*، ۶(۱۱): ۱۱۳-۱۱۱.
- قاسمی، فرهاد؛ حیدریان، شریفه و سلگی، عیسی (۱۳۹۶). بررسی میزان توانایی ترسیب کربن پوشش درختی و خاک حاشیه بزرگراه در زیست بوم جنگلی زاگرس (مطالعه موردی: بزرگراه خرم‌آباد اندیمشک). *نشریه حفاظت زیست بوم گیاهان*، ۵(۱۱): ۱۲۹-۱۱۵.
- قریشی، رقیه؛ گلی کلانپا، اسماعیل؛ معتمدی، جواد و کیوان بهجو، فرهاد (۱۳۹۲). ظرفیت ترسیب کربن در اکوسیستم مرتع و ارتباط آن با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در مراتع خوی. *تحقیقات کاربردی خاک*، ۱(۲): ۴۴-۳۴.
- ورامش، سعید؛ حسینی، سید محسن و عبدی، نوراله (۱۳۹۰). تاثیر جنگل کاری با گونه‌های پهن برگ بر ترسیب کربن در خاک پارک جنگلی چیتگر. *مجله پژوهش‌های خاک*، ۲۵(۳): ۱۸۷-۱۹۶.
- مرادی، مهدیه و طهماسبی، پژمان (۱۳۹۴). بررسی تاثیر قرق بر میزان ترسیب کربن و صفات فیزیکی و شیمیایی خاک در مراتع نیمه استپ استان چهارمحال و بختیاری. *اکوسیستم‌های طبیعی ایران*، ۶(۴): ۹۷-۱۰۹.
- یوسفی، شیوا؛ افضل، سید فخرالدین؛ مهرنیا، مهرداد و مسعودی، مسعود (۱۳۹۳). ترسیب کربن خاک در فضای سبز پارک‌های شهری (مطالعه موردی: شهر شیراز) اولین همایش یافته‌های نوین در محیط زیست و اکوسیستم‌های کشاورزی، دانشگاه تهران، ایران.

### References

- Allen, R.G., Tasumi, M., Trezza, R., Waters, R. and Bastiaanssen, W.G.M. (2002). SEBAL: Surface Energy Balance Algorithms for Land. *Advanced Training and User Manual*, Version 1.0.



- Armentano, T.V. (1980). Drainage of organic soils as a factor in the world carbon Cycle. *Bioscience*, 30(12): 825-830.
- 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*. 5.
- Benedict, M.A. and McMahon, E.T. (2002). Green infrastructure: smart conservation for the 21st century". *Renewable Resources Journal*, 20(3): 12-17.
- Buragienė, S., Šarauskis, E., Romaneckas, K., Adamavičienė, K., Kriaučiūnienė, Z. Avižienytė, D., Marozas, V., Naujokienė, V. (2019). Relationship between CO<sub>2</sub> emissions and soil properties of differently tilled soils. *Sci Total Environ*: 662: 786–795.
- 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.
- Burkhard, B., Kroll, F., Nedkov, S., Müller, F. (2012). Mapping ecosystem services supply, demand and budgets. *Ecological Indicator*. 21, 17–29.
- Cavur, M., Duzgun, H. S., Kemec, S., and Demirkan, D.C. (2019). Land use and land cover classification of Sentinel 2A: St Petersburg Study, International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, XLII-1/W2: 13–16.
- Contrerasa, R.C. and Rosas, L.E.Q. (2017). Analyzing scale, quality and diversity of green infrastructure and the provision of Urban Ecosystem Services: A case from Mexico City. *Ecosystem Services*, 23: 127–137.
- Davarazar, M., Jahanianfard, D., Sheikhejad, Y. Nemati, B., Mostafaie, A., Zandi, S., Khalajd, MR., Kamali, MR., Aminabhavi, T. (2019). Underground carbon dioxide sequestration for climate change mitigation-A scientometric study. *J CO<sub>2</sub> Util*, 33: 179–188.
- Deng, L., Liu, S., Kim, D.G., Peng, C., Sweeney, S., Shanguan, Z. (2017). Past and future carbon sequestration benefits of China's grain for green program, *Global Environmental Change*, 47: 13–20.
- Edmondson, J., Davies, Z., McHugh, N., Gaston, K., Leake, R. (2012). Organic carbon hidden in urban ecosystems. *Sci. Report*. 2, 963.
- Elmqvist, T., Fragkias, M., Goodness, J., Güneralp, B., Marcotullio, P.J., McDonald, R.I., Parnell, S., Schewenius, M., Sendstad, M., Seto, K.C. and Wilkinson, C. (2013). Urbanization, Biodiversity and Ecosystem Services: Challenges and Opportunities: A Global Assessment, 771p.
- Frey, G. (2018). Re: Is there any equation for carbon sequestration? Retrieved from: [https://www.researchgate.net/post/Is\\_there\\_any\\_equation\\_for\\_carbon\\_sequestration/5bec5d7911ec7302b523b9a2/citation/download](https://www.researchgate.net/post/Is_there_any_equation_for_carbon_sequestration/5bec5d7911ec7302b523b9a2/citation/download).
- Forogh Nasab, M., Moradi, M., Moradi, G., & Taghizade-Mehrjardi, R. (2020). Topsoil Carbon Stock and Soil Physicochemical Properties in Riparian Forests and Agricultural Lands of Southwestern Iran. *Eurasian Soil Science*, 53(10), 1389–1395.
- Ghasemi Aghbash, F., Heidarian, S., Solgi, E. (2018). The amount of carbon sequestration capability of tree cover and roadside soil (Case study: Khorramabad-Andimeshk Highway). *PEC*. 5(11):115-129. (In Persian).

- Ghoreyshi, R., Goly kalanpa, E., Motamedi, j., Keivan Behjou, F. (2013). Carbon Sequestration Capacity in Rangeland Ecosystems and its Relation with Soil Physical and Chemical Characteristics in Rangelands of Khoy. *Applied Soil Research*, 1(2): 34-44. (In Persian).
- Heidari Safari Kouchi, A., Iranmanesh, Y., Rostami Shahraji, T. (2016). Above-ground and soil carbon sequestration of white poplar (*Populus alba* L.) species in four different planting spaces in Chaharmahal and Bakhtiari province. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 24(2), 213-200. Doi: 10.22092/ijfpr.2016.106984 (In Persian).
- Heidarian, S., Ghasemi Aghbash, F. (2020). Study of Carbon sequestration in trees and soil in two urban parks of Kohdasht City. *Journal of Environmental Science and Technology*, 22(1), 215-225. Doi: 10.22034/jest.2020.11035 (In Persian).
- Haase, D., Larondelle, N., Andersson, E., Artmann, M., Borgström, S., Breuste, J., Gomez-Baggethun, E., Gren, A., Hamstead, Z., Hansen, R., Kabisch, N., Kremer, P., Langemeyer, J., Rall, E., McPhearson, T., Pauleit, S., Qureshi, S., Schwarz, N., Voigt, A., Wurster, D., Elmqvist, T. (2014). A quantitative review of urban ecosystem service assessments: concepts, models, and implementation. *Ambio*, 43: 413-433.
- Hernandez, R.P., Koochafkan, P. and Antoine, j. (2004). Assessing carbon stocks and modelling win-win scenarios of carbon sequestration through land-use change. *FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS*, 166 p.
- Hossain, M.. (2020). Re: How can I differentiate between carbon sequestration and carbon storage capacity of a tree. Retrieved from: [https://www.researchgate.net/post/How\\_can\\_I\\_differentiate\\_between\\_carbon\\_sequestration\\_and\\_carbon\\_storage\\_capacity\\_of\\_a\\_tree/5e27053b6611238f03362675/citation/download](https://www.researchgate.net/post/How_can_I_differentiate_between_carbon_sequestration_and_carbon_storage_capacity_of_a_tree/5e27053b6611238f03362675/citation/download).
- IEA, (2012). *World Energy Outlook 2012*, 700p.
- IPCC. (2001). *Climate Change. The Scientific Basis. IPCC third assessment report, Working group I, Technical Summary*, Cambridge University Press, Cambridge, UK. 881 p.
- Kremer, P., Hamstead, Z. A., McPhearson, T. (2016). The value of urban ecosystem services in New York City: A spatially explicit multicriteria analysis of landscape scale valuation scenarios. *Environmental Science & Policy*, 57-68.
- Kuittinen, M., Moine, C., Adalgeirsdottir, K. (2016). Carbon sequestration through urban ecosystem services, A case study from Finland. *Sci Total Environ*, 563: 623-632.
- Maes, J., Teller, A. and Erhard, M. (2013). *Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services. An analytical framework for ecosystem assessments under action 5 of the EU biodiversity strategy to 2020. 1st MARS report*. Publications office of the European Union, Luxembourg. 60pp.
- Malhi, Y. Baldocchi D.D. Jarvis P.G. (1999). The carbon balance of tropical, temperate and boreal forests, *Plant Cell Environ*, 22: 715-740.
- 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

- Minasny, B. Malone, B.P. McBratney, A.B. Angers, D.A. Arrouays, D. Chambers, A. Chaplot, V. Chen, Z.S. Cheng, K. Das, B.S. Field, D.J. (2017). Soil carbon 4 per mille. *Geoderma* 292: 59–86.
- Moradi Shahgharie, M., Tahmasbi, P. (2016). The effect of enclosure on carbon sequestration and soil physical and chemical properties in semi steppe rangelands of Chaharmahal and Bakhtiari Province. *Natural Ecosystems of Iran*, 6(4), 97-109. (In Persian).
- 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.
- Nayak. A.K., Mahmudur Rahman, M., Naidu, R., B. Dhal, B., Swain, C.K. Nayak, A.D. Tripathi, R., Shahid, M., Rafiqul Islam, M. Pathak, H. (2019). Current and emerging methodologies for estimating carbon sequestration in agricultural soils: A review. *Sci Total Environ*, 665: 890–912.
- Nedkov, S., Zhiyanski, M., Nikolova, M., Gikov, A., Nikolov, P. and Todorov, L. (2016). Mapping of carbon storage in urban ecosystems: A Case study of Pleven District, Bulgaria. ISBN: 978-619-90446-1-2.
- Nor Aizam, A., Noorazwani Mohd, R., Zaharah Mohd, Y., Zulkiflee Abd, L. (2017). Spatial Temporal Estimation and Analysis of Carbon Sequestration. *Adv Sci Lett*, 23(7): 6157-6162.
- Novara, A., Gristina, L., Sala, G., Galati, A., Crescimanno, M., Cerda, A., Badalamenti, E. and Mantia, T.L. (2017). Agricultural land abandonment in Mediterranean environment provides ecosystem services via soil carbon sequestration. *Science of the Total Environment*, 576: 420–429.
- Oliver, G.R., S.H. Pearce, M.O. Kimberly, J.B. Ford-Robertson, K.A. Robertson, P.N. Beets, and L.G. Garrett (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.* 203: 283–295.
- 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*, 140: 51–63.
- Pilehvar, B., Jafari Sarabi, H., Mirazadi, Z. (2015). Soil carbon sequestration compression in plantations with different species in Makhmalkooh forest park. khoramabad-Lorestan. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 29(4): 706-716 (In Persian).
- Pilli, R., T. Anfodillo, and M. Carrer (2006), Towards a functional and simplified allometry for estimating forest biomass, *For. Ecol. Manage.* 237: 583–593.
- Reisi, M., Ghaderzadeh, H., Saedpanah, M., Moradi, A. (2019). Carbon storage in the Abidar urban forest, Sanandaj, Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 27(3), 364-376. doi: 10.22092/ijfpr.2019.127421.1855. (In Persian).
- Rossi, J., Govaerts, A., De Vos, B., Verbist, B., Vervoort, A., Poesen, J., Muys, B. and Deckers, J. (2009). Spatial structures of soil organic carbon in tropical forests- a case study of Southeastern Tanzania. *Catena*, 77: 19–27.

- Sallustio, L., Quatrini, V., Geneletti, D., Corona, P., Marchetti, M. (2015). Assessing land take by urban development and its impact on carbon storage: Findings from two case studies in Italy. *Environmental Impact Assessment Review*, 54: 80–90.
- Sharp, J.D., Jaccard, M.K., Keith, D.W. (2009). Anticipating public attitudes toward underground CO<sub>2</sub> storage. *Int J Greenh Gas Control*, 3: 641–651.
- Solgi, E., Keramaty, M. and Solgi, M. (2020). Biomonitoring of airborne Cu, Pb, and Zn in an urban area employing a broad leaved and a conifer tree species. *Journal of Geochemical Exploration*, 208:106400.
- SSSA. Ad Hoc committee s.893. (2001). Carbon sequestration: position of the soil science society of America, 3p.
- 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.* 104:95–104.
- Taylor, L. L., Quirk, J., Thorley, R.M.S., Kharecha, P.A., Hansen, J., Ridgwell, A., Lomas, M.R., Banwart, S.A. and Beerling, D.J. (2016). Enhanced weathering strategies for stabilizing climate and averting ocean acidification. *Nature Climate Chang*, 6(4): 402–406.
- Tang, Y.J. Chen, A.P. Zhao, S.Q. (2016). Carbon Storage and Sequestration of Urban Street Trees in Beijing, China. *Front. Ecol. Evol.* 4:53.
- Vahedi, A., Mattagi, A. (2014). Amount of carbon sequestration distribution associated with oak tree's (*Quercus castaneifolia* C.A. May) bole in relation to physiographical units of Hyrcanian natural forests of Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 21(4), 716-728. (In Persian).
- Varamesh, S. Hosseini, S.M. Abdi, N. (2011). Effect of Afforestation with Broadleaf Species on Carbon Sequestration in Soil of Chitgar Forest Park of Tehran. *Iranian Journal of Soil Research*, 25(3), 187. (In Persian).
- Wang, F.P. Wang, X.C. Yao, B.Q. et al. (2018) Effects of land-use types on soil organic carbon stocks: a case study across an altitudinal gradient within a farm-pastoral area on the eastern Qinghai-Tibetan Plateau, China. *Journal of Mountain Science*, 15(12).
- 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 CO<sub>2</sub> in boreal forest carbon pools in northeastern China: Effects of nitrogen deposition. *Agricultural and Forest Meteorology*, 248: 70–81.
- Yang, X.M., Xie, H.T., Drury, C.F., Reynolds, W.D., Yang, J.Y., Zhang, X.D. (2012). Determination of organic carbon and nitrogen in particulate organic matter and particle size fractions of Brookston clay loam soil using infrared spectroscopy. *Eur. J. Soil Sci.* 63: 177– 188.
- Yosefi, S., Afzali, S.F., Mehrnia, M. Masoudi, M. (2014). Details of the authors of the article Soil carbon sequestration in the green space of urban parks (Case study: Shiraz city). *The first electronic conference on new findings in the environment and agricultural ecosystem*, 14. (In Persian).

- Zrinkafsh, M., Sabaghi, A., Naalbandi, Z. (2016). The Carbon Sequestration in Three Soils Types with Different Plant Coverage in Gazvin and Zanjan Provinces. *Environmental Researches*, 6(11), 111-113. (In Persian).
- 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*, 10 (8): 1-31.