Journal of Sustainable City

Online ISSN: 2476-6151

Journal Homepage: www.jscity.ir

Carbon storage capacity in a city with a cold and mountainous climate: the case study of Urmia city and Suburb

Roghayeh Ansari-Golenji [1], Ali Akbar Shamsipour [2] ✉, Faeze Shoja [3]

1. *Department of Physical Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Teheran*
Email: rogaye.ansari87@gmail.com
2. (Corresponding Author) *Department of Physical Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Teheran*
Email: shamsipr@ut.ac.ir
3. *Department of Physical Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Teheran*
Email: faeze.shoja@yahoo.com

ARTICLEINFO

Article type:
Research Paper

Received:
24 April 2024
Received in revised form:
2 July 2024
Accepted:
28 July 2024
Available online:
5 September 2024

Keywords:
Carbon Storage,
Ecosystem Services,
InVest Model,
Land use/Land cover,
Climate Change.

ABSTRACT

In the research, the carbon storage capacity of Urmia's urban and suburb green infrastructures were analyzed. Urmia is characterized by a cold climate with a dense building structure with scattered green spaces, especially in the surrounding areas and neighborhoods of the city. The research was carried out using the carbon storage model available in the InVest software package. The results revealed that more than 57% of the study area has a carbon storage capacity of less than 2 tons, and less than 6 percent of the area has more than 30 tons per hectare, which is limited to the gardens and groves along the Shahrchai River. Soil carbon storage has the highest share with 2344.41 tons, and above biomass carbon storage followed closely with 1403.47 tons. The total amount of carbon storage in the studied area is 3900.9 tons per year. The carbon storage was highest in gardens and groves, followed by barren lands with sparse vegetation and rocky outcrops mountain's without vegetation and soil cover had no carbon storage. Dense plants and trees have the highest storage capacity per unit area, However, the amount of storage depends on the season, so it is necessary to consider the selection and expanding the urban green spaces according to the types of plants and their compatibility with the climatic conditions and urban spaces of Urmia. As a result, it is necessary to create and develop urban green spaces at the same time as physical development, it should be the priority of Urmia's urban development plans.

Citation: Ansari-Golenji, R., Shamsipour, A.A., & Shoja, F. (2024). Carbon storage capacity in a city with a cold and mountainous climate: the case study of Urmia city and Suburb. *Journal of Sustainable City, 7*(2), 45-61.
http://doi.org/10.22034/jsc.2024.434150.1758

© The Author(s) **Publisher:** Iranian Geography and Urban Planning Association.
This is an open access article under the CC BY license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Extended Abstract

Introduction

Cities with high energy consumption, extensive changes of land cover/ land use, increasing impervious surfaces and construction fraction, change of surface geometry and topography, and as a result, a change in the surface energy balance and water cycle pattern and abundant production of greenhouse gases. The city's growth and changes in the land cover pattern cause extensive social and environmental changes. Ecosystem services are benefits that human societies receive from ecosystems and natural resources and are divided into four categories as regulation, provision, support, and cultural services. Hence, carbon storage is a win-win approach (by creating recreational spaces, adjusting air temperature, and air pollution) to moderate the destructive effects of human activity in solving the problems of increasing greenhouse gas emissions in urban spaces.

Since cities have become significant carbon emissions sources, accurate carbon storage and sequestration assessment is needed in the city area. Urmia is facing an increase in population, followed by the sprawl of urban areas. Therefore, calculating the effects of urbanization growth and land cover changes on the amount of ecosystem services and valuing these services is necessary to improve the understanding of urban ecology and achieve sustainable ecosystem services. The study aims to calculate the carbon storage capacity of Urmia City according to the changing conditions of urban green spaces in hot and cold periods.

Methodology

The most important data required for the research was the land cover map of Urmia city and suburbs, which was prepared by processing Landsat 8 satellite images for 2020. Also, the data related to carbon stock in four main reservoirs were extracted from the information available from the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). The InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Exchanges) model was used to analyze the amount of carbon storage in each LULC class. The InVEST-CSS carbon sequestration model estimates the amount of carbon stored in a land cover and values the amount of sequestered carbon over time. This model first collects the biophysical amount of carbon stored in four carbon pools (above-ground biomass including all living biomass above the soil; below-ground biomass including all living biomass of live roots; soil including the organic components of the land; and dead wood biomass containing all non-living biomass related to dead leaves, branches, and trunks) based on land use/land cover (LULC) maps provided by users. The second step consists of an evaluation model that approximately determines the value of carbon sequestered by ecosystems (the net value of sequestered carbon) in a given period.

Results and discussion

Most of the land cover in the suburbs is land with soil and rock outcrops. The main characteristic of a compact and medium-height building characterizes the area of the city. According to the model outputs, the above biomass carbon storage in the city center has average conditions. Lands with rocky outcrops in the study area have the lowest carbon storage values. On the other hand, Shahrchai River route has the highest amount of carbon storage (between 40 and 50 tons per hectare). Concerning dead organic matter, the city area is located on two levels with no carbon storage capacity and low storage capacity between 0.1 and 2 tons per hectare. Over 57% of the study area has carbon storage between 0.1 and 2 tons per hectare. Also, less than 6% of the range of carbon storage capacity is above 30 tons per hectare, which is limited to the gardens and groves along the Shahrchai. About 67% of above-ground biomass has a low carbon storage capacity range of 0.1 to 2 tons per hectare, which is a total of 25750 tons of carbon storage capacity. More than 30% of the area with the characteristics of barren lands and with rocky facies and intensive construction uses cannot store carbon from the source of dead organic matter. As an important carbon storage reservoir, soil in the city and suburbs of Urmia has 2344 tons of carbon storage capacity. According to the total carbon storage values of all resources, a large city area with a storage

capacity between 15 and 30 tons per hectare has been calculated. The total amount of storage in the area is 3900 tons, which is more than 10 tons per hectare on average for all uses. The most important role or ecosystem service of carbon storage is soil, with 234441 tons, and the least is dead organic matter, with 37633 tons. The highest amounts of carbon storage per surface unit (tons per hectare) are in garden lands and groves at 75.19 tons per hectare, agricultural lands at 14.73 tons per hectare, and lands with less vegetation at 10.33 tons per hectare.

Conclusion

Based on the calculations in the current situation, about 3900 tons are stored in the total 358 hectares of the study area with an average of 10 tons of carbon per hectare by the existing land uses. Contrary to the results of Podyal et al. (2017) or Abu Hashem et al. (2016) that the development of the urban areas of the Mediterranean coast and the reduction of natural covers in that climatic region led to a decrease in the amount of carbon storage and the intensification of climate change at the local and urban scale. In Urmia, due to the mountains without soil cover and, as a result, lack of vegetation in the suburbs, the urban growth with the development of green spaces has increased the urban carbon storage capacity. It is necessary to pay more attention to developing green infrastructures under the principle of climate adaptation by adjusting atmospheric carbon and regulating the city's atmospheric conditions. Carbon storage capacity maps can be a good help for the better management of ecosystems at different spatial scales so that managers can better identify the places of protection, harvest, and development, and with proper and intelligent management, they can ensure the continuation of reserved ecosystem services carbon in the environment.

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

It is confirmed, the first author in writing the initial text, ran the model (40 percent), getting their output, the second author in editing the text, analysis and the process of sending and answering judgments (30 percent), and the third author in running the model, analyzes (30 percent) have participated

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We are grateful to all the scientific consultants of this paper.

مجلـــه شـــهر پایـــدار
شاپا الکترونیکی: 2476-6151
Journal Homepage: www.jscity.ir

محاسبه میزان ظرفیت ذخیره کربن در شهری با اقلیم سرد و کوهستانی مطالعه موردی: شهر و پیرا شهر ارومیه

رقیه انصاری قولنجی [۱]، علی‌اکبر شمسی‌پور [۲]، فائزه شجاع [۳]

۱- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران. **Email:** rogaye.ansari87@gmail.com
۲- نویسنده مسئول، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران. **Email:** shamsipr@ut.ac.ir
۳- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران. **Email:** faeze.shoja@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۳/۰۲/۰۵
تاریخ بازنگری:
۱۴۰۲/۰۴/۱۲
تاریخ پذیرش:
۱۴۰۳/۰۵/۰۷
تاریخ چاپ:
۱۴۰۳/۰۶/۱۵

واژگان کلیدی:
ارومیه،
خدمات اکوسیستم،
ذخیره کربن،
کاربری/پوشش زمین،
مدل اینوست.

چکیده

در پژوهش حاضر ظرفیت ذخیره کربن زیرساخت‌های سبز شهر و پیرا شهر ارومیه واکاوی می‌شود. ارومیه با مشخصه اقلیمی سرد بافت ساختمانی فشرده با فضاهای سبز پراکنده بخصوص در مناطق و محله‌های پیرامونی شهر مشخص می‌شود. پژوهش با مدل ذخیره کربن موجود در بسته نرم‌افزاری InVest انجام گردید. نتایج نشان داد که بیش از ۵۷ درصد محدوده مطالعاتی ظرفیت ذخیره کربن کمتر از ۲ تن و کمتر از ۶ درصد محدوده بالای ۳۰ تن در هکتار دارد که به باغ‌ها و درختزارهای حاشیه رودخانه شهر چای محدود می‌شود. ذخیره کربن خاک با ۲۳۴۴/۴۱ تن بیش‌ترین سهم و سپس زیست‌توده بالایی با ۱۴۰۳/۴۷ تن بالاترین مقادیر ذخیره کربن را دارند. مقدار ذخیره کربن کل محدوده موردمطالعه نیز ۳۹۰۰/۹ تن در سال می‌باشد. بیش‌ترین میزان ذخیره کربن متعلق به باغ‌ها و درختزارها و در رتبه بعدی زمین‌های بایر با پوشش گیاهی تنک به دست آمد و ارتفاعات بدون پوشش گیاهی با رخنمون‌های سنگی و فاقد پوشش خاک بدون ذخیره کربن هستند. گیاهان و درختان متراکم بالاترین میزان ذخیره کربن را دارند، اما به دلیل اینکه میزان ذخیره آن تابعی از تغییر فصل است، لازم است در انتخاب و توسعه فضاهای سبز شهری به گونه گیاهی و میزان سازگاری آن‌ها با شرایط اقلیمی سرد و فضاهای شهری ارومیه توجه گردد. در نتیجه لازم است ایجاد و توسعه فضاهای سبز شهری هم‌راستا با توسعه فیزیکی و کالبدی، در اولویت برنامه‌های توسعه شهری ارومیه باشد.

استناد: انصاری قولنجی، رقیه؛ شمسی‌پور، علی‌اکبر و شجاع، فائزه. (۱۴۰۳). محاسبه میزان ظرفیت ذخیره کربن در شهری با اقلیم سرد و کوهستانی مطالعه موردی: شهر و پیرا شهر ارومیه. *مجله شهر پایدار، ۷* (۲)، ۶۱-۴۵.
http://doi.org/10.22034/jsc.2024.434150.1758

© نویسندگان
ناشر: انجمن جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری ایران

مقدمه

شهرنشینی با رشد روزافزون خود سبب شکل‌گیری گسترده‌ترین دست‌کاری‌های بشری در چهره طبیعی زمین است؛ و شهرها با تغییر گسترده کاربری/پوشش زمین، افزایش ضریب زمین‌های نفوذناپذیر و ساختمانی، تغییر هندسه و توپوگرافی سطحی و در نتیجه با تغییر در بیلان انرژی سطحی و الگوی چرخه آب شناخته می‌شوند. شهرها با تجمع توده‌های سیمانی، سنگی و آسفالت و با مصرف فراوان انرژی، منبع مهم تولید کربن در مقیاس جهانی هستند. از مهم‌ترین نتایج شهری شدن تولید گازهای آلاینده و یا گلخانه‌ای است؛ و به همین دلیل خود از راهکارهای اصلی کاهش میزان انتشار در ابعاد محلی (تعدیل بار گرمای محیطی و آلودگی هوا) و جهانی (تعدیل روند افزایش کربن جو و دمای هوا) محسوب می‌شود. توسعه و گسترش زیرساخت‌های سبز شهری به‌خصوص برای ترسیب و ذخیره کربن بسیار مهم است؛ این موضوع مستلزم داشتن اطلاعاتی درباره وضعیت کاربری/پوشش اراضی شهری، میزان ظرفیت ذخیره کربن آن‌ها و توزیع مکانی پوشش‌های با ذخیره کربن بالا می‌باشد.

رشد و توسعه شهر و تغییرات الگوی کاربری زمین سبب ایجاد تغییرات گسترده اجتماعی و محیط زیستی می‌گردد. مارتینز[1] و همکاران (۲۰۱۷) این تأثیرات را شامل کاهش فضاهای طبیعی، افزایش وسایل نقلیه، کاهش زمین‌های کشاورزی با توان تولید مواد غذایی، تأثیر بر زهکش‌های طبیعی و کاهش کیفیت آب بیان کردند؛ بنابراین توسعه شهری به حالت‌های مختلف بر اکوسیستم تأثیرگذار بوده و اغلب سبب تکه‌تکه شدن آن می‌شود. اکوسیستم‌ها اقلیم زمین را از طریق افزایش و کاهش میزان گازهای گلخانه‌ای اتمسفر که از جمله مهم‌ترین آن‌ها Co_2 است، تنظیم می‌کنند. سه عنصر آب (اقیانوس‌ها، دریاچه‌ها و تالاب‌ها)، منابع خاک و گیاه (جنگل‌ها و مراتع)، وظیفه تنظیم میزان کربن جو را با تولید و ذخیره کربن بر عهده دارند، موضوعی که با اضافه شدن تولید کربن توسط فعالیت‌های انسانی دچار تنش و عدم تعادل شده است. با ذخیره کربن در انواع زیست‌توده، خاک، آب و گیاهان، اکوسیستم‌ها Co_2 جو را تنظیم و متعادل نگه می‌دارند و مانع از رخداد بی‌هنجاری حرارتی و پدیده گرم شدن محلی و جهانی ناشی از افزایش Co_2 می‌شوند. فراتر از آن اینکه بسیاری از نظام‌های طبیعی با استمرار انباشت کربن در گیاهان و خاک در طول زمان، مقدار مازاد کربن را هر سال ذخیره می‌کنند. اختلال در نظام‌های طبیعی در اثر آتش‌سوزی، مخاطرات طبیعی و انسانی و تبدیل پوشش گیاهی (تغییر پوشش و کاربری زمین) می‌تواند به انتشار مقادیر زیادی Co2 منجر شود (Canadell & Raupach, 2008). ترسیب و ذخیره کربن از مهم‌ترین و شناخته‌شده‌ترین خدمات تنظیمی اکوسیستم است که از طریق تنظیم اقلیم در مقیاس‌های خرد، محلی تا کلان جهانی به کاهش و تعدیل سرعت تغییرات اقلیمی منجر می‌شود (Pagiola, 2008؛ فدایی و همکاران، ۱۳۹۹). نوواک[2] و همکاران (۲۰۱۳) با محاسبه ذخیره کربن در مناطق شهری ایالات‌متحده قیمت متوسط هر تن کربن را ۵/۷۸ دلار محاسبه کردند. پیرو این مسئله ذخیره کربن رهیافتی برد–برد (توسعه فضاهای سبز با ایجاد فضاهای تفرجی، تعدیل دمای هوا، تنظیم رطوبت هوا و تعدیل آلودگی هوا) برای تعدیل آثار مخرب فعالیت بشر در حل مشکلات افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای در فضاهای شهری است. پژوهش‌های زیادی نشان داده است که، تغییرات ناشی از فعالیت‌های انسانی در پوشش و کاربری زمین می‌تواند موجب تشدید تغییرات اقلیمی از طریق انتشار دی‌اکسید کربن در اتمسفر، تغییر در موازنه انرژی سطحی و چرخه آب شود (Poudyal et al., 2017). با افزایش تقاضا برای تغییرات ساختاری در زمین که همراه با تغییر در کیفیت اکوسیستم‌های طبیعی است، تمرکز تحقیقاتی فزاینده‌ای برای این موضوع مهم به وجود آمده است (Bleary et al., 2010)؛

1Martínez
2Nowak

نتایج پژوهش‌های تولسا و همکاران[1] (۲۰۱۷)؛ نووارا[2]و همکاران، (۲۰۱۷) و ابوهاشم و همکاران، (۲۰۱۶)، نشان داد تبدیل اراضی طبیعی به زمین‌های شهری منجر به کاهش قابل‌توجهی در ذخیره کربن آلی خاک سطحی شده که خود منجر به تشدید انتشار دی‌اکسید کربن به جو در شهرهای حاشیه دریای مدیترانه و سرخ می‌گردد. هرچند دلفین[3]و همکاران (۲۰۱۶) و لی و همکاران، (۲۰۲۲) شهری شدن را عامل محرک و پویایی‌های زمانی مکانی خدمات اکوسیستمی در رابطه با ذخیره خالص کربن می‌دانند. دنگ[4]و همکاران (۲۰۱۶) الگوهای جهانی اثرات تغییر کاربری اراضی روی موجودی‌های کربن خاک را بررسی کردند و نشان دادند که در مجموع تمام تغییرات موجود در کاربری‌های اراضی منجر به کاهش معنی‌دار موجودی کربن خاک شده است. موجودی کربن خاک از تبدیل اراضی کشاورزی و جنگل به علفزار، افزایش داشته؛ اما از تبدیل علفزار و جنگل به کشاورزی کاهش پیداکرده است. پژوهش بایی و ریو[5](۲۰۱۵) پیرامون تغییرپذیری مکانی و زمانی موجودی کربن آلی خاک در یک پارک شهری نشان داد که غلظت کربن آلی در خاک فوقانی در یک دوره ده‌ساله از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۳ تقریباً سه برابر شده است؛ بنابراین خاک پارک‌های شهری می‌تواند به‌عنوان یک مخزن کربن عمل کند. نتیجه پژوهش‌هایی با پایش تغییرات پوشش اراضی با سری تصاویر ماهواره لندست در دوره ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۱ (Tao et al., 2015) و سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۱۳ و ۲۰۲۱ (Hazem et al., 2022) و (Zhao at al., 2013)، با لحاظ مقادیر بیوماس و موجودی‌های کربن موجود در مدل InVest؛ گویای کاهش موجودی کربن در واحد سطح پوشش‌های زمین با افزایش شدت توسعه شهری در دلتای رود نیل و جنوب شرق آمریکا بوده است. همچنین نل[6]و همکاران (۲۰۲۲) در مجارستان، پیاتی‌لیک[7](۲۰۲۱) و بابار (۲۰۲۲) در سری‌لانکا و مالیک (۲۰۲۲) در آبحا عربستان، با استفاده از داده‌های میدانی ذخیره کربن خاک و پوشش زمین را به‌عنوان یک شاخص از خدمات اکوسیستم با مدل InVEST مدل‌سازی کردند. کاماراجوگادا،[8](۲۰۲۳) با یک نگرش متفاوت و با روش ارزیابی خوشه‌ای به تخمین مقدار ذخیره کربن و اثرات کاهشی آن در اقلیم شهر در دو سناریوی فعلی و آینده پرداخت.

اسکندری‌شهرکی و همکاران (۱۳۹۵) نیز با پایش تغییرات پوشش اراضی در منطقه حفاظت‌شده جهان‌نما با مدل InVEST به ارزیابی خدمت اکوسیستمی ذخیره کربن تا سال ۲۰۳۶ پرداختند. نتایج گویای کاهش تدریجی وسعت اراضی جنگلی و مرتعی و در نتیجه ذخیره کربن تا ۴۰ درصد بود. در مطالعه‌ای دیگر در مورد اثرات تغییر کاربری زمین بر میزان ذخیره کربن در منطقه حفاظت‌شده ارسباران، شاهی و همکاران، (۱۳۹۶) نشان دادند که میزان ذخیره کربن یک روند کاهشی دارد و این کاهش، هزینه‌ای معادل ۵۷۷/۵۳ میلیارد ریال را در پی داشته است. سجادی و همکاران (۱۴۰۰)، پیامدهای رشد شهری بر خدمت اکوسیستمی مربوط به ذخیره کربن را در زیر حوضه‌های آبریز شهر کرج ارزش‌گذاری کردند. نگاشت خدمات اکوسیستمی و ارزش‌گذاری آن در کاربری‌های طبیعی و فضای انسان‌ساخت را فدایی و همکاران، ۱۳۹۹ انجام دادند؛ و در نهایت جهانداری و همکاران (۱۴۰۱) اثر رشد شهری بندرعباس را در روند تغییرات خدمات اکوسیستمی ترسیب و ذخیره کربن موردبررسی قرار دادند. ایشان با استفاده از نقشه پوشش/کاربری اراضی سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۲۰ و با استفاده از مدل ذخیره‌سازی و ذخیره کربن InVEST، توزیع فضایی و تغییرات در ذخیره‌سازی و ارزش اقتصادی کربن را تهیه کردند. بر اساس محاسبات مدل‌سازی، توان ذخیره کربن از سال ۲۰۰۰ تا سال ۲۰۲۰، ۲۲۳۷۴ تن

1Tolessa
2Novara
3Delphin
4Deng
5Bae, & Ryu
6Lyndré Nel
7Piyathilake
8Kamarajugedda

افزایش داشته است که دلیل آن افزایش زمین‌های کشاورزی بوده است.

ازآنجایی‌که شهرها به منابع قابل‌توجهی برای انتشار کربن تبدیل‌شده‌اند، ارزیابی دقیق ذخیره‌سازی کربن در سطح شهر موردنیاز است. شهر ارومیه به‌عنوان یک شهر مهاجرپذیر با افزایش جمعیت شهری و پیرو آن توسعه زمین‌های شهری با رشد روزافزون فیزیکی و کالبدی مواجه است. بنابراین محاسبه اثرات رشد شهر و تغییرات پوشش زمین بر میزان خدمات اکوسیستمی و ارزش‌گذاری این خدمات، برای بهبود درک اکولوژی شهری و دستیابی پایدار به خدمات اکوسیستم ضروری است. هدف مطالعه حاضر محاسبه میزان ظرفیت ذخیره‌سازی کربن شهر و حومه ارومیه با توجه به وضعیت پوشش زمین در فصول مختلف سال با توجه به ویژگی اقلیم سرد با میانگین دماهای ماهانه زیر صفر درجه سانتی‌گراد در دوره زمستانه می‌باشد. این مناطق اقلیمی با دوره رویشی عموماً فصلی و درختان خزان‌پذیر از شرایط فصلی متفاوتی در مقادیر ذخیره کربن برخوردارند. در محاسبه ظرفیت ذخیره کربن فضاهای سبز و پوشش‌های گیاهی این منطقه اقلیمی باید ملاحظات فصلی، خزان‌پذیری درختان، دامنه‌های اغلب با رخنمون‌های سنگی و بدون یا با پوشش گیاهی تنک و کوتاه‌مدت موردتوجه باشد.

روش پژوهش

داده‌های موردنیاز در این پژوهش محدود به نقشه کاربری/پوشش زمین (LULC) بود که از تصاویر ماهواره لندست ۸ برای سال ۲۰۲۲ با وضوح فضایی ۳۰×۳۰ متر تهیه شد (http://www.usgs.gov). ظرفیت ذخیره کربن متفاوتی دارد. برای محاسبه مقادیر ذخیره کربن در منظر فعلی محدوده شهر ارومیه نقشه رستری کاربری/پوشش زمین، به‌عنوان یکی از داده‌های اصلی (جدول ۱) ورودی مدل اینوست موردنیاز است.

برای تهیه LULC موردنظر از نقشه زون‌های اقلیم محلی (LCZ) محاسبه‌شده برای شهر و حومه شهر ارومیه استفاده گردید. این زون‌ها دارای جامعیت انواع پوشش/کاربری اراضی فضاهای انسان‌ساخت و محیط طبیعی، شامل ۱۴ طبقه است؛ که عمدتاً بر اساس ویژگی‌های ساختار سطحی (مثل ارتفاع و تراکم ساختمان‌ها و درختان) و پوشش سطحی (نفوذپذیر در مقابل غیرقابل نفوذ) طبقه‌بندی می‌گردد (Stwart et al., 2014). همچنین داده‌های مربوط به موجودی ذخیره کربن در چهار مخزن اصلی، از اطلاعات موجود در شورای بین دولتی تغییر اقلیم (IPCC, 2006) استخراج شد.

برای تجزیه‌وتحلیل میزان ذخیره کربن در هر یک از طبقات LULC، مدل InVEST (ارزش‌گذاری یکپارچه خدمات اکوسیستم و مبادلات) ارائه‌شده توسط دانشگاه استنفورد، مورداستفاده قرار گرفت. مدل ترسیب و ذخیره کربن InVEST-CSS[1] یک ابزار مدل‌سازی مکانی است که مقدار فعلی کربن ذخیره‌شده در یک پوشش را تخمین می‌زند و مقدار کربن ذخیره‌شده را در طول زمان ارزش‌گذاری می‌کند و به‌طور گسترده برای ارزیابی اثرات تغییر کاربری زمین بر ذخیره‌سازی کربن در طول زمان بکار می‌رود (لی و همکاران، ۲۰۱۸). مدل CSS تغییرات رخداده در میزان دی‌اکسید کربن جو ناشی از تغییر LULC های ایجادشده توسط فعالیت‌های انسانی را در نظر می‌گیرد؛ تغییراتی که می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی بر ذخیره و جذب کربن در اکوسیستم‌های مختلف تأثیر بگذارد. این مدل ابتدا مقدار بیوفیزیکی کربن ذخیره‌شده در چهار مخزن کربن (زیست‌توده زنده روی زمین شامل تمام مواد آلی زنده بالای سطح زمین، زیست‌توده زنده زیرزمینی شامل تمام مواد آلی در ریشه گیاهان، کربن آلی خاک شامل اجزای آلی خود زمین و مواد آلی مرده حاوی توده آلی مربوط به برگ، شاخه و تنه مرده) را بر اساس نقشه‌های LULC ارائه‌شده توسط کاربران جمع می‌کند. اگر کاربر یک نقشه LULC

1 Integrated Valuation of Environmental Services and Tradeoffs- Carbon storage and sequestration

آینده ارائه کند، مدل، تغییرات مورد انتظار در ذخایر کربن را در طول زمان تخمین می‌زند (Tao et al., 2015). این بخش از مدل مقدار کربن ذخیره‌شده را به‌عنوان یک خدمت محیطی با استفاده از داده‌های اضافی در مورد ارزش بازار یا هزینه اجتماعی کربن، نرخ تغییر سالانه آن و نرخ تنزیل ارزش‌گذاری می‌کند.

جدول ۱. داده‌های مورداستفاده در تحقیق

اسم/نام	نوع	منبع	روش گردآوری	مقیاس زمانی	مقیاس مکانی
نقشه کاربری/پوشش زمین	سطحی/برداری	شهرداری ارومیه	نامه‌نگاری	۲۰۲۰	۱/۱۰۰۰
توپوگرافی	شبکه‌ای	سنجنده استر	اینترنت	۲۰۱۸	۳۰ متری
تصاویر ماهواره	لندست ۸	http://www.usgs.gov)	اینترنت	۲۰۲۲	۳۰×۳۰ متر
داده‌های موجودی ذخیره کربن	Excell	پانل بین دولتی تغییر اقلیم (IPCC)	–	2006	–
داده‌های نمونه‌برداری	سطحی/برداری	Google Earth	اینترنت	۲۰۲۳	––
اطلاعات اسنادی	متنی	جستجوی اینترنتی	اینترنت	––	––

بنابراین مدل، مقدار ذخیره کربن را با تجمیع مقادیر کربن ذخیره‌شده در مخازن ذکرشده با توجه به نقشه‌های کاربری زمین که در دو مرحله انجام می‌شود، اندازه‌گیری می‌کند (Aitali et al., 2022): ابتدا، مدل بیوفیزیکی با در نظر گرفتن پوشش زمین و مخازن کربن مرتبط اجرا می‌شود. مدل ذخیره کربن یعنی مقدار کربن آلی به دام افتاده توسط اکوسیستم (واحد به تن) یا ذخیره کربن (نرخ کربن حذف‌شده یا منتشرشده در جو در طول یک دوره معین) را بر حسب تن در هکتار تخمین می‌زند. مرحله دوم شامل یک مدل ارزیابی است که ارزش کربن ذخیره‌شده توسط اکوسیستم‌ها را (مثلاً ارزش خالص کربن ذخیره‌شده) در یک دوره معین به‌طور تقریبی تعیین می‌کند.

با در اختیار داشتن نقشه‌های رستری LULC، مساحت کل برای هر طبقه کاربری/پوشش زمین محاسبه می‌شود و با شناخت مقدار کربن ذخیره‌شده در هر کلاس LULC، کل مقادیر کربن ذخیره‌شده در هر نقشه مطابق رابطه زیر به دست می‌آید (Li et al. 2022):

$$C_i = C_{i-\text{above}} + C_{i-\text{below}} + C_{i-\text{soil}} + C_{i-\text{dead}}$$

$$C_{\text{total}} = \sum_{i=1}^{m} C_i \times A_i$$

که در آن $C_{i-\text{above}}$، $C_{i-\text{below}}$، $C_{i-\text{soil}}$ و $C_{i-\text{dead}}$ به ترتیب چگالی کربن روی زمین، کربن زیرزمین، کربن خاک و کربن بیولوژیکی مرده برای iامین نوع LULC هستند. C_iنیز چگالی کربن برای iامین نوع LULC است. A_i مساحت iامین نوع LULC را نشان می‌دهد و m تعداد کل انواع کاربری اراضی است.

شکل ۱. روند نمای انجام پژوهش از مرحله گردآوری داده‌ها و اطلاعات تا تحلیل و ارزیابی

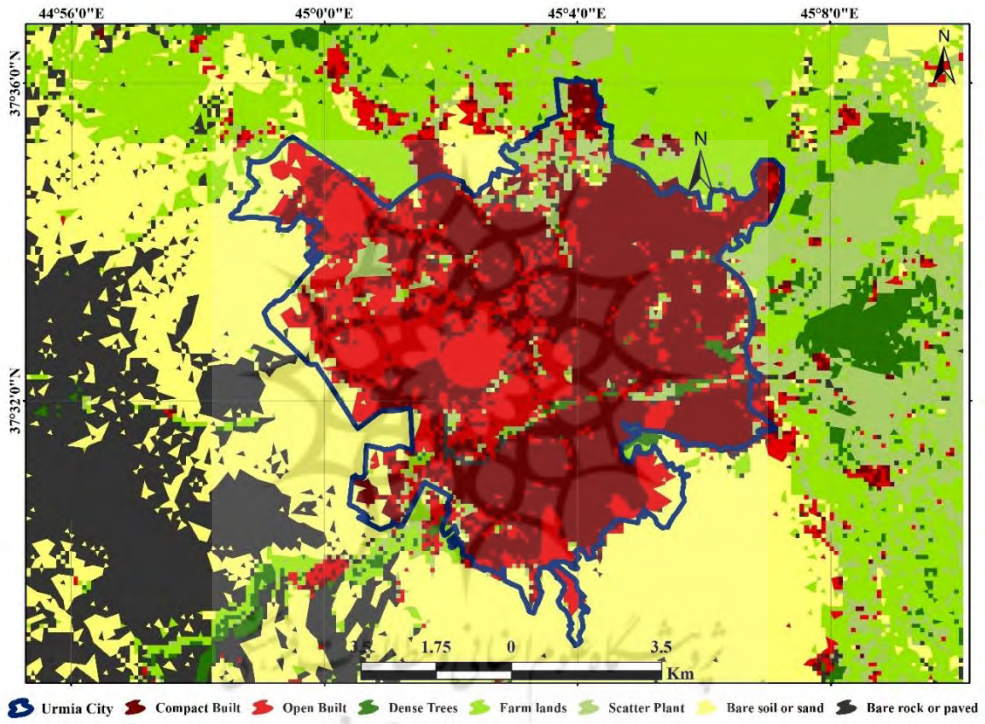
محدوده موردمطالعه

شهر ارومیه در مدار ′۳۷°۳۲ نیمکره شمالی و طول ′۳۷°۳۲ شرقی در پای کوه‌های رشته ارتفاعات مرزی ایران و ترکیه در ارتفاع ۱۳۳۲ متری از تراز آب‌های آزاد و در فاصله ۱۸ کیلومتری غرب دریاچه ارومیه قرار گرفته است. مساحت محدوده شهر برابر با ۱۰۵ کیلومترمربع و جمعیت آن مطابق پیش‌بینی رسمی مرکز آمار ایران در سال ۱۴۰۰ بالغ بر یک‌میلیون و ۱۰۹ هزار نفر بوده است. شهر دارای ۴ منطقه شهرداری و تعداد ۷۰ پارک در مساحتی بالغ بر ۶۵۰ هکتار می‌باشد. سرانه فضای سبز ۱۱/۷ مترمربع است. موقعیت سیاره‌ای شهر در عرض‌های برون‌حاره‌ای سبب شکل‌گیری دو فصل کاملاً مجزای گرم و خشک تابستانه، و سرد و مرطوب زمستانه شده و موقعیت منطقه‌ای آن در غرب دریاچه ارومیه، دامنه‌های شرقی ارتفاعات مرزی و نزدیکی به عرض‌های معتدله، شرایط اقلیمی سردتری را به وجود آورده است. کوه‌های حومه شهر شامل کوه‌های سیر، قیزقلعه، جهودها، چهل شهیدان، ماه، علی پنجه سی و کوه علی ایمان است؛ در واقع ارومیه بین دریاچه ارومیه و کمربندی از کوه‌های غرب استان واقع‌شده که مانع مهمی بر سر جریان‌های غربی هستند. با مروری بر مقادیر دما و بارش ایستگاه همدید ارومیه، تغییرات فصلی دما و بارش چشمگیر است، به‌طوری‌که از متوسط دمای ۲۷ درجه سانتی‌گراد در ماه مرداد تا متوسط دمای ۱/۱- درجه سانتی‌گراد در ماه دی تغییر می‌کند (ملکی و همکاران، ۱۳۹۷).

مهم‌ترین منبع آبی منطقه، دریاچه ارومیه است که به‌عنوان دومین دریاچه شور جهان تحت تأثیر شرایط اقلیمی، مدیریت نامناسب، سدسازی بر رودخانه‌های منتهی به دریاچه، افزایش برداشت از آب‌های زیرزمینی ناشی از توسعه فعالیت‌های کشاورزی و باغی در حال خشک شدن کامل است. بنا بر مطالعه نیکوی و همکاران (۱۴۰۰) نقش خدمات اکوسیستمی تولید آب در حوضه آبخیز دریاچه ارومیه با مدل InVEST؛ میزان کل ورودی آب حوضهٔ دریاچه ارومیه در حسابداری WA+ برابر ۱۶/۴ میلیارد مترمکعب بوده که از این میزان ۷ میلیارد مترمکعب، یعنی بیش از ۴۰ درصد حجم ورودی آب در حوضه، سهم خدمت تولید آب در حوضه آبخیز دریاچه ارومیه است.

یافته‌ها

با مراجعه به نقشه پوشش اراضی شهر و اراضی پیرامون ارومیه (شکل ۲)، ۷ کاربری اصلی با ویژگی‌های اصلی ساختمانی، زراعی، فضای سبز، زمین بایر و رخنمون‌های سنگی به تفکیک مشخص‌شده است. با توجه به منطقه مطالعاتی بیشترین میزان مساحت اراضی مربوط به زمین‌های بدون پوشش با رخنمون‌های خاکی و سنگی می‌باشد که در نواری به‌هم‌پیوسته از جنوب شرق تا شمال غرب به‌صورت هلالی شهر ارومیه را احاطه کرده است. زمین‌های ضلع و حومه شمالی شهر با زمین‌های زراعی مشخص‌شده است؛ درحالی‌که محدوده شهر با مشخصه اصلی ساختمانی فشرده و باز و ساختمان‌های با ارتفاع متوسط دیده می‌شود. کم‌ترین میزان مساحت در محدوده و حومه شهر مربوط به کاربری پهنه‌های آبی با ۶۱,۴۵ هکتار و فقط ۰/۶ درصد از مساحت کل می‌باشد. مناطق مرکزی شهر به‌طور کامل کاربری ساختمانی داشته و به‌تدریج به سمت حومه شهر بر مساحت کاربری‌های زراعی (باغی)، بایر و رخنمون‌های سنگی افزوده می‌شود.

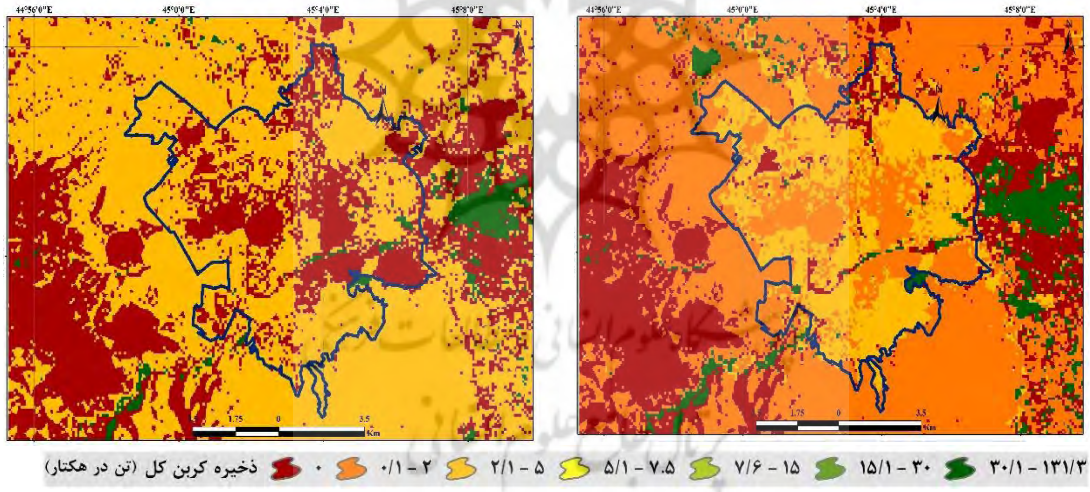


شکل ۲. نقشه پوشش/کاربری اراضی شهر و حومه ارومیه با روش LCZ

جدول ۲. مساحت پوشش اراضی در شهر و حومه ارومیه (هکتار)

ردیف	پوشش زمین	مساحت	درصد از مساحت کل
۱	ساختمانی فشرده	۴۸۹۳/۸۱	۱۲/۶۸
۲	ساختمانی باز	۳۲۴۱/۵۹	۸,۴
۳	مزارع	۹۵۰۹/۰۷	۲۴/۶۴
۴	باغ و درختزار	۱۴۰۵/۴۴	۳/۶۴
۵	پوشش گیاهی پراکنده	۴۰۸۶,۶	۱۰,۵۹
۶	زمین بایر	۱۰۴۹۱,۶	۲۷,۱۹
۷	رخساره سنگی	۴۹۵۷,۸۶	۱۲,۸۵
جمع		۳۸۵۸۵/۹۸	۱۰۰

با توجه به نقشه کاربری اراضی و ارزش‌گذاری خدمات اکوسیستم شهری با استفاده از مدل اینوست نقشه‌های مربوط به ذخیره کربن زیست‌توده بالایی (شکل ۳)، ذخیره کربن مواد آلی مرده (شکل ۴) ذخیره کربن خاک (شکل ۵)، ذخیره کربن زیست‌توده زیرین و در نهایت مجموع ذخیره کل کربن (شکل ۶) منطقه موردمطالعه ترسیم شد. پیش از پرداختن به تحلیل میزان ذخیره هر زیست‌توده لازم است مفهوم زیست‌توده به‌طور مختصر معرفی شود؛ به‌طور کل بقایا و مواد مشتق شده از موجودات زنده را زیست‌توده می‌نامند. در واقع تمامی شکل‌های مواد آلی، زیست‌توده محسوب می‌شوند؛ مثل بقایا و پسماند گیاهان و حیوانات، پسماندهای شهری و کارخانه‌ها. منابع مهم زیست‌توده شامل دانه‌های تولید انرژی (دانه‌هایی که برای تولید سوخت زیستی در زمین‌های غیرقابل کشت تولید می‌شوند)، باقی‌مانده دانه‌های کشاورزی، بقایای جنگلی، جلبک، بقایای میکروبی، بقایای فرآیند صنایع چوبی، پسماندهای شهری و منابع دیگر است. با بررسی نقشه ذخیره کربن زیست‌توده بالایی (شکل ۳)، مرکز شهر شرایط متوسطی در ضریب مقدار ذخیره کربن دارد، به‌طوری‌که در کل محدوده مطالعاتی اراضی با رخنمون سنگی در حومه‌های غربی و شرقی شهر پایین‌ترین مقادیر ذخیره کربن را دارند. در مقابل مسیر رود شهر چای در جهت عمومی جنوب غربی به شمال شرق تا شرق همراه با پوشش‌های گیاهی مشخص‌شده است که دارای بالاترین مقادیر ذخیره کربن (بین ۴۰ تا ۵۰ تن در هکتار) است. به سمت پیرامون از میزان ذخیره کربن زیست‌توده بالایی به دلیل منظر عمومی رخنمون‌های سنگی و زمین‌های بدون پوشش کاسته شده است (شکل ۳، سمت راست). در مجموع مواد آلی مرده در مقایسه با منابع زیست‌توده بالایی ظرفیت پایینی برای ذخیره کربن دارد و محدوده شهر در دو طبقه فاقد توان ذخیره کربن و با توان ذخیره پایین بین ۰/۱ تا ۲ تن در هکتار است (شکل ۳، چپ).



شکل ۳. میزان ذخیره کربن زیست‌توده بالایی (راست) میزان ذخیره کربن مواد آلی مرده (چپ) در شهر و حومه ارومیه

مطابق جدول ۲، بیش از ۵۷ درصد محدوده مطالعاتی با ذخیره کربن بین ۰/۱ تا ۲ تن در هکتار مشخص‌شده که گویای ظرفیت پایین ذخیره کربن از منبع زیست‌توده بالایی در آن است، اگر به آن ۲۳ درصد زمین‌های فاقد توان ذخیره کربن اضافه شود این وضعیت حادتر دیده می‌شود. فقط کمتر از ۶ درصد محدوده ظرفیت ذخیره کربن بالای ۳۰ تن در هکتار دارد که به باغ‌ها و درختزارهای حاشیه رودخانه شهر چای محدود می‌شود (جدول ۳).

جدول ۳. مقادیر ذخیره کربن زیست‌توده بالایی در شهر و حومه ارومیه (تن در هکتار)

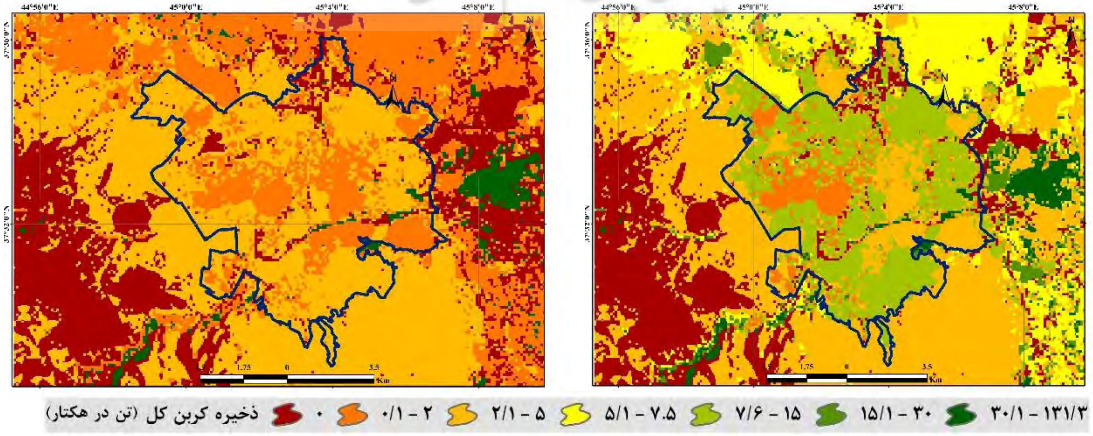
مقادیر ذخیره کربن	مساحت به هکتار	درصد از مساحت کل	مقدار کل ظرفیت ذخیره کربن
۰	۸۹۹۰/۰	۲۳/۳	۰/۰۰
۰/۱–۲	۲۲۰۲۳/۰	۵۷/۰۸	۲۲۰۲۳/۰
۲/۱–۵	۵۳۲۱/۰	۱۳/۷۹	۱۸۶۲۳/۵
۳۰/۱–۵۰	۲۲۴۵/۰	۵/۸۲	۸۹۸۰۰۰/۰
	۳۸۵۸۵/۹۸	۱۰۰	۹۳۸۶۴۶/۵

ذخیره کربن محدود به زیست‌توده بالایی گیاهان نمی‌شود و مواد آلی مرده آن‌ها یعنی شاخ و برگ خزان شده در سطح نیز دارای ظرفیت ذخیره کربن هستند، در این مورد حدود ۶۷ درصد محدوده مطالعاتی ظرفیت ذخیره کربن پایینی برابر با ۰/۱ تا ۲ تن در هکتار دارند که در مجموع توان ذخیره کربن در این مناطق حدود ۲۵۷۵۰ تن است. بیش از ۳۰ درصد محدوده با مشخصه زمین‌های بایر و با رخساره‌های سنگی و در داخل شهر کاربری‌های ساختمانی فشرده قابلیت ذخیره کربن از منبع مواد آلی مرده را ندارند (جدول ۴).

جدول ٤. مقادیر ذخیره کربن مواد آلی مرده در شهر و حومه ارومیه (تن در هکتار)

ردیف	مقادیر ذخیره کربن	مساحت به هکتار	درصد از مساحت کل	مقدار کل ظرفیت ذخیره کربن
۱	۰	۱۱۷۴۵/۰	۳۰/۴۴	۰/۰۰
۲	۰/۱–۲	۲۵۷۵۰/۰	۶۶/۷۵	۲۵۷۵۰
۵	۷/۶–۱۵	۱۰۸۳/۰	۲/۸۱	۱۱۹۱۳
جمع		۳۸۵۸۵/۹۸	۱۰۰	۳۷۶۶۳

خاک به همراه آب و پوشش گیاهی سه مخزن مهم ذخیره کربن هستند. خاک با ویژگی‌هایی همچون میزان تکامل افق‌ها، عمق و میزان مواد آلی و معدنی تقسیم‌بندی می‌شود. در شهر و حومه شهری ارومیه خاک با ۲۳۴۴ تن ظرفیت ذخیره کربن مهم‌ترین منبع ذخیره کربن هست. درصد بالایی از محدوده شهر با میزان ذخیره کربن متوسط بین ۷/۵ تا ۱۵ تن در هکتار مشخص‌شده است (جدول ۵) که مربوط به پهنه‌های ساختمانی کم تراکم با فضاهای باز و سبز می‌باشد (شکل ۴ راست). زون کوهستانی با رخساره‌های سنگی بدون پوشش خاک در ضلع غربی حومه شهر فاقد توان ذخیره کربن است و محدوده‌های با تراکم پوشش گیاهی بالا و متوسط به دلیل خاک عمیق‌تر و تکامل‌یافته‌تر با توان ذخیره کربن بالا محاسبه‌شده‌اند.



شکل ٤. میزان ذخیره کربن خاک (راست) و ذخیره کربن زیست‌توده زیرین (چپ) در شهر و حومه ارومیه

جدول ۵. مقادیر ذخیره کربن خاک در شهر و حومه ارومیه

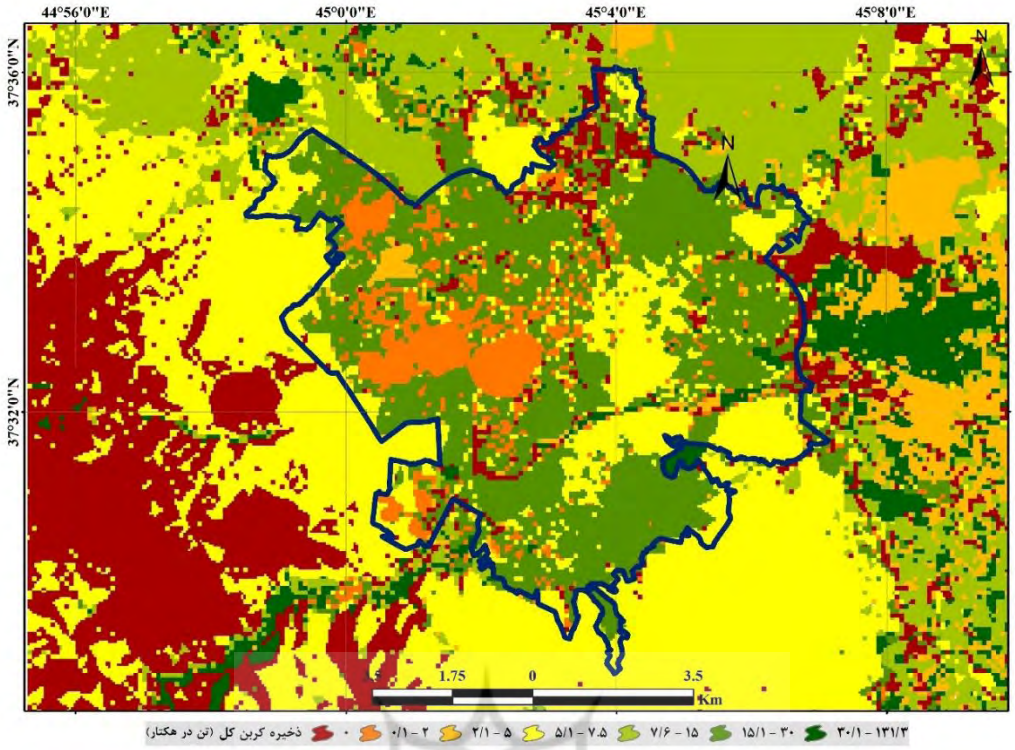
ردیف	مقادیر ذخیره کربن	مساحت به هکتار	درصد از مساحت کل	مقدار کل ظرفیت ذخیره کربن
۱	۰	۶۶۲۲/۰	۱۷/۱۶	۰/۰۰
۲	۰/۱–۲	۱۳۳۰/۰	۳/۴۵	۱۳۳۰/۰
۳	۲/۱–۵	۱۴۳۶۶/۰	۳۷/۲۴	۵۰۲۸۱/۰
۴	۵/۱–۷/۵	۸۶۸۳/۰	۲۲/۵۱	۵۴۷۰۳/۰
۵	۷/۶–۱۵	۵۳۳۲/۰	۱۳/۸۲	۵۸۶۵۲/۰
۶	۱۵/۱–۳۰	۱۱۵۶/۰	۳/۰	۲۵۸۷۵/۰
۷	۳۰/۱–۵۰	۱۰۹۰/۰	۲/۸۳	۴۳۶۰۰/۰
جمع		۳۸۵۸۵/۹۸	۱۰۰	۲۳۴۴۴۱/۰

شبکه ریشه درختان و گیاهان مخزن مهمی برای ذخیره کربن هستند. بیشترین میزان ذخیره زیست‌توده زیرین با مقادیر بالای ۳۰ تن در هکتار مربوط به باغ‌ها و درختزارهای مسیر رود شهر چای است که عموماً در حومه شرقی شهر بوده و زمین‌های فاقد توان ذخیره کربن از منبع بیومس زیرین در زون کوهستانی غرب شهر می‌باشد (جدول ۶). محدوده شهر به‌طورکلی با ظرفیت پایین ذخیره کربن از منبع بیومس زیرین محاسبه‌شده است.

جدول ٦. مقادیر ذخیره کربن زیست‌توده زیرین در شهر و حومه ارومیه

ردیف	مقادیر ذخیره کربن	مساحت به هکتار	درصد از مساحت کل	مقدار کل ظرفیت ذخیره کربن (تن)
۱	۰	۸۹۹۲/۰	۲۳/۳۱	۰/۰۰
۲	۰/۱–۲	۱۲۶۵۶/۰	۳۲/۸۱	۱۲۶۵۶
۳	۲/۱–۵	۱۵۸۴۴/۰	۴۱/۰۷	۵۵۴۵۴
۷	۳۰/۱–۵۰	۱۰۸۷/۰	۲/۸۱	۴۳۴۸۰
جمع		۳۸۵۸۵/۹۸	۱۰۰	۱۱۱۵۹۰

مقادیر ذخیره کربن از مجموع تمام منابع ذکرشده، در شکل (۵) نمایش داده‌شده است. آنچه قابل‌توجه است، ظرفیت به نسبت بالای فضای شهری ارومیه در ذخیره کربن هست. به‌غیر از محدوده‌هایی در ضلع غربی شهر با توان پایین ذخیره کربن مساحت زیادی از شهر با توان ذخیره بین ۱۵ تا ۳۰ تن در هکتار محاسبه‌شده است. این گویای وجود فضاهای خالی و سبز درون‌شهری است که توان ذخیره کربن از مجموع خاک، زیست‌توده بالایی، زیرین و مواد آلی مرده بالا به‌دست‌آمده است (شکل ۵). در کل بیشتر سطح محدوده مطالعاتی با توان ذخیره کربن بین ۵ تا ۷/۵ تن در هکتار با بیش از ۳۱ درصد کل منطقه موردمطالعه است (جدول ۷). مجموع ذخیره کربن در منطقه ۳۹۰۰/۰ تن می‌باشد که به‌طور متوسط برای همه کاربری‌ها بیش از ۱۰ تن در هکتار به دست می‌آید.



شکل ۵. نقشه ذخیره کل کربن شهر ارومیه و حومه

جدول ۷. مقادیر ذخیره کل کربن در شهر و حومه ارومیه (تن در هکتار)

ردیف	مقادیر ذخیره کربن	مساحت به هکتار	درصد از مساحت کل	مقدار کل ظرفیت ذخیره کربن (تن)
۱	۰	۶۶۲۱/۰	۱۷/۱۶	۰/۰۰
۲	۰/۱–۲	۱۳۳۰/۰۰	۳/۴۵	۱۳۳۰/۰۰
۳	۲/۱–۵	۲۳۷۸/۰۰	۶/۱۶	۸۳۲۳/۰۰
۴	۵/۱–۷/۵	۱۱۹۸۲/۰۰	۳۱/۰۶	۷۴۸۸/۰۰
۵	۷/۶–۱۵	۸۶۸۳/۰۰	۲۲/۵۱	۹۵۵۱۳/۰۰
۶	۱۵/۱–۳۰	۵۳۳۴/۰۰	۱۳/۸۳	۱۲۰۰۱۵/۰۰
۷	۳۰/۱–۵۰	۲۲۵۰/۰۰	۵/۸۳	۹۰۰۰۰
جمع		۳۸۵۸۵/۹۸	۱۰۰	۳۹۰۰۶۹/۰۰

مقادیر عددی هر کدام از کاربری‌ها به همراه میزان ذخیره و مساحت و درصد مشارکت آن‌ها در هر بخش از خدمت اکوسیستمی ذخیره کربن در جدول (۸) آورده شده است. با تحلیل مقادیر جدول مشخص می‌شود که بیشترین نقش یا مهم‌ترین خدمت اکوسیستمی ذخیره کربن را خاک با ۲۳۴۴۴۱ تن و کم‌ترین آن را مواد آلی مرده با ۳۷۶۳۳ تن دارد. بیش‌ترین مقادیر ذخیره کربن در واحد سطح (تن در هر هکتار) به ترتیب در زمین‌های باغی و درختزارها با ۷۵,۱۹ تن در هکتار، زمین‌های زراعی ۱۴,۷۳ تن در هر هکتار و سپس زمین‌های با پوشش گیاهی کم تراکم با ۱۰,۳۳ تن در هکتار می‌باشد.

جدول ۷. درصد و مساحت میزان ذخیره کربن هر کاربری در چهار مخزن (تن در هکتار)

پوشش/ کاربری	مساحت (هکتار)	ذخیره زیست‌توده بالا (تن)	ذخیره زیست‌توده زیرین (تن)	ذخیره خاک (تن)	ذخیره مواد آلی مرده (تن)	درصد مساحت	ذخیره کل	ذخیره در واحد مساحت	درصد ذخیره کل
ساختمانی فشرده	۴۸۹۳/۶۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۴/۰۱	۰/۳۵	۱۲/۶۸	۴/۳۶	۰/۰۰۱	۰,۰۰۱
ساختمانی کم تراکم	۳۲۴۱/۵۹	۶۳۶/۰۱	۳۷۷/۹۷	۸۹۳۳/۶۳	۲۶۱/۶۴	۸/۴	۱۰۲۰۹/۳	۳/۱۵	۲,۶۲
زراعی	۹۵۰۹/۰۷	۵۳۳۲۶/۲۶	۹۷۵۵/۳۶	۶۷۴۷۶/۸۰	۹۴۶۵/۵۷	۲۴/۶۴	۱۴۰۰۲/۰۴	۱۴/۷۳	۳۵,۹۰
باغ و درختزار	۱۴۰۵/۴۴	۳۳۴۱۲/۹۷	۲۴۱۴۸/۹۳	۳۶۰۱۷/۳۰	۱۲۰۹۱/۰۳	۳/۶۴	۱۰۵۶/۲۳۷۰	۷۵/۱۹	۲۷,۰۹
زمین‌های بایر	۱۰۴۹۱/۶۰	۱۰۵۲۵/۰۵	۳۶۴۱۷/۱۱	۳۴۶۶۲/۵۰	۱۰۳۵۸/۰۴	۲۷/۱۹	۹۱۹۶۲/۷	۸/۷۶	۲۳,۵۸
رخنمون سنگی	۴۹۵۷/۸۶	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۲/۸۵	۰/۰	۰/۰	۰,۰
پوشش گیاهی تنک	۴۰۸۶/۶۰	۱۴۱۶۷/۱۹	۱۱۶۰۷/۵	۱۴۳۴۰/۹	۲۰۸۲/۹۸	۱۰/۵۹	۴۲۱۹/۵۸۸	۱۰/۳۳	۱۰,۸۲
جمع	۳۸۵۸۵/۸۱	۱۱۲۰۶۷,۵	۸۲۳۰۶,۹	۱۶۱۴۳۵	۳۴۲۵۹,۶	۱۰۰/۰۰	۳۹۰۰۶۹,۱		۱۰۰,۰

بحث

در سال‌های اخیر، جنگل‌ها و فضاهای سبز شهری توجه زیادی را در مقابله با تغییر اقلیم و کاهش از دست رفتن تنوع زیستی به خود جلب کرده‌اند. در واقع جنگل‌های شهری (درختان در باغ‌ها، پارک‌ها و امتداد خیابان‌ها، جاده‌ها، کانال‌ها و غیره)، افزون بر سرسبزی شهر و حفظ تنوع زیستی، با ارائه خدمات اکوسیستمی متنوع و جذب کربن، نقش بسیار مهمی در محدود کردن ردپای کربن شهر ایفا می‌کنند (Dadhich et al., 2023). نتایج پژوهش حاضر حاکی از این بود که بیشینه مقادیر ذخیره کربن در منطقه موردمطالعه متعلق به کربن خاک و پس‌ازآن زیست‌توده بالای زمین است و در بین LULC های موردبررسی نیز فضاهای سبز شامل درختان متراکم، پراکنده، علفزار، چمن بالاترین توان ذخیره کربن را نشان دادند. این نتایج با تحقیقات انجام‌شده توسط دیگر محققین همسو می‌باشد: چورکینا[1] و همکاران (۲۰۱۰) با اشاره به نقش مهم خاک در ذخیره‌سازی کربن نشان دادند که ۶۴٪ ذخیره کربن در سکونتگاه‌های انسانی به خاک، ۲۰٪ به پوشش گیاهی، ۱۱٪ به محل‌های دفن زباله و ۵٪ به ساختمان‌ها نسبت داده می‌شود. کای[2] و همکاران (۲۰۰۵) و لیندن[3] و همکاران (۲۰۲۰) نیز به این نتیجه رسیدند که خاک پارک‌ها و چمن‌های شهری می‌تواند مقادیر زیادی کربن را ذخیره کند، که ممکن است به‌طور قابل‌توجهی از میزان کربن ذخیره‌شده در مراتع بومی، مزارع کشاورزی و جنگل‌های شمالی بیشتر باشد. غریبی و همکاران (۱۴۰۰) با مطالعه فضای سبز شهری در ارائه خدمت اکوسیستمی ترسیب کربن دریافتند که بیشترین پتانسیل ذخیره‌سازی و ترسیب کربن در شهر همدان به ترتیب متعلق به خاک (۳۱۲۰۴۷ تن)، پوشش درختی و درختچه‌ای (۹۰۲۶۶ تن)، پوشش علفی (۸۳۸۳ تن) و لاشبرگ‌ها (۷۷۱ تن) می‌باشد.

به عقیده روسو[4] و همکاران (۲۰۱۵) اگرچه جوامع گیاهی مختلف، در جذب دی‌اکسید کربن، کارایی متفاوتی دارند اما درختان کاشته شده در بلوارها قادر هستند آلایندگی دی‌اکسید کربن ناشی از فعالیت‌های ترافیکی حدود ۱۴ نفر از ساکنین را جبران نمایند. برآوردها نشان می‌دهند که ذخیره کربن شهری دارای تنوع چشمگیری بوده و این قابلیت را دارد که تقریباً

1Churkina
2Kaye
3Lindén
4Russo

۱۰٪ از مجموع ذخیره کربن زمینی جهان را در خود داشته باشد (چورکینا و همکاران، ۲۰۱۰). در همین راستا مطابق نتایج پژوهش پودیال[1] و همکاران، (۲۰۱۷) یا ابوهاشم و همکاران (۲۰۱۶) که توسعه مناطق شهری ساحل مدیترانه و کاهش پوشش‌های طبیعی در آن منطقه اقلیمی را سبب کاهش میزان ذخیره کربن و سبب تشدید تغییرات اقلیمی در مقیاس محلی و شهری می‌دانند، در ارومیه با توجه ارتفاعات با صخره‌های بدون پوشش خاکی و در نتیجه فاقد پوشش گیاهی در حومه شهر، توسعه فضای شهری با توسعه فضاهای سبز سبب افزایش ظرفیت ذخیره کربن شهری می‌شود. همچنین اسکویراوسکی[2](۲۰۲۲) نیز نشان داد بازسازی دریاچه‌های زهکش شده پیشین از طریق پر کردن مجدد آن‌ها، می‌تواند روشی مؤثر برای حمایت از کاهش میزان کربن موجود در چرخه سریع کربن – از جمله CO2 اتمسفر باشد. توجه به این مسئله با در نظر گرفتن خشکی دریاچه ارومیه به‌خصوص در دهه اخیر بسیار حائز اهمیت است.

نتیجه‌گیری

بر اساس محاسبات حاصل از مدل‌سازی خدمت اکوسیستمی ذخیره کربن در شهر ارومیه و حومه طبیعی آن، در وضع موجود حدود ۳۹۰۰ تن در کل ۳۵۸ هکتار محدوده مطالعاتی با متوسط ۱۰ تن کربن در هکتار توسط انواع کاربری‌های موجود ذخیره می‌گردد. از این مقدار سهم کاربری فضاهای سبز اعم از زیرساخت‌های سبز شهری یا درختزارها و مراتع طبیعی حومه شهر بیش‌ترین مقدار است. محدوده شهر با پوشش غالب سطوح نفوذناپذیر و کاربری‌های ساختمانی ذخیره کربن پایینی در رابطه با زیست‌توده‌های بالایی و زیرین دارد، به‌واسطه فضاهای سبز و باز زیاد موجود در شهر ذخیره کربن خاک و در مجموعه ذخیره کربن شهر ارومیه مناسب هست. شهر ارومیه با وجود پهنه‌های با تراکم ساختمانی بالا در مرکز و ضلع غربی شهر که میزان ذخیره کربن از منبع پوشش گیاهی و خاک بسیار پایین است، در نواری هلالی شکل از جنوب به شرق و شمال شهر ظرفیت ذخیره کربن شهر وضعیت خوبی دارد و به‌طور متوسط از تمام منابع ذخیره بین ۱۵ تا ۳۰ تن کربن در واحد هکتار توان ذخیره دارد. با وجود اقلیم مرطوب‌تر منطقه و بالا بودن تنوع و متراکم‌تر پوشش گیاهی، حاکمیت هوای سرد در دوره سرد سال سبب کاهش سبزینگی سطح و فعالیت فتوسنتزی درختان و در نتیجه کاهش نقش آن‌ها در ذخیره کربن هوا در مقایسه با مناطق گرم با دوره رویشی بیشتر گیاهان می‌شود.

در محدوده شهر و حومه آن در ارومیه منابع آبی محدود به جریان آب شهر چای است که در مسیر آن درختان متراکم و باغات احداث‌شده و اثر دوچندانی بر افزایش توان ذخیره کربن دارد. همچنین مهم‌ترین مسئله شهر ارومیه خشکی دریاچه ارومیه است که به‌عنوان مهم‌ترین مخزن ذخیره کربن حومه شهر مطرح می‌باشد. با خشکی دریاچه ظرفیت ذخیره کربن منطقه کاهش‌یافته و عاملی مهم در تشدید مخاطرات اقلیمی مانند آلودگی هوا، گردوغبار و گرم شدن هوا می‌باشد. این مسئله نشان‌دهنده اهمیت پهنه‌های آبی و لزوم گسترش و افزایش مساحت آن در سطح شهر است. فضاهای سبز نیز در هر ۴ مخزن بیش‌ترین مقادیر ذخیره را به خود اختصاص داده‌اند که نشان از اهمیت این کاربری و نقش حیاتی آن در افزایش میزان ذخیره داشته و به‌عنوان یکی از مهم‌ترین کاربری‌ها می‌بایست، گسترش و توسعه فضاهای سبز در اولویت برنامه‌ریزی‌ها و افزایش بهره‌وری از خدمات اکوسیستمی باشد. با بررسی مقادیر ذخیره کربن در محدوده حریم شهر تقریباً ۴۸ درصد از مساحت شهر توان ذخیره کربن بین ۱۵ تا ۳۰ تن دارد که ۴۳ درصد از کل را شامل می‌شود. بالاترین مقدار ذخیره ۳۰ تا ۵۰ تن در هکتار است که کمتر از ۵ درصد از کل محدوده شهر ذخیره کربنی در این محدوده دارد.

بنابراین با توجه به اینکه انواع زیست‌توده از منابع مهم و تجدیدپذیری هستند که قابلیت ذخیره مقادیر بالایی از کربن

1Paudyal
2Skwierawski

جو را به‌ویژه در فضاهای شهری دارند، لازم است در توسعه زیرساخت‌های سبز با رعایت اصل سازگاری اقلیمی با رویکرد تعدیل کربن جو و تنظیم شرایط جوی شهر اهتمام بیشتری انجام شود. در شهر ارومیه عملکرد زیست‌توده درختان و گیاهان در ماه‌های سرد دچار چالش است، به‌طوری‌که با خزان برگ درختان و نبود پوشش گیاهان طبیعی میزان ذخیره کربن جو بشدت کاهش می‌یابد. درحالی‌که دوره سرد با ویژگی‌هایی مانند تشدید وارونگی دما، انقباض هوا و کاهش ظرفیت پذیرش کربن جو، از قابلیت آلودگی بیشتری برخوردار است. بنابراین پیشنهاد مشخص این پژوهش توسعه زیرساخت‌های سبز شهری با گونه‌های سازگار با اقلیم و درختان همیشه‌سبز می‌باشد. بنابراین، نقشه‌های ظرفیت ذخیره کربن می‌توانند کمک مطلوبی برای مدیریت بهتر اکوسیستم‌ها در مقیاس‌های مختلف مکانی باشند تا مدیران بتوانند تشخیص بهتری از مکان‌های حفاظت، برداشت و توسعه داشته و با مدیریت مناسب و هوشمندانه باعث استمرار خدمات اکوسیستمی ذخیره کربن محیط شوند.

حامی مالی

این پژوهش با حمایت مالی دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه کردستان به‌عنوان پژوهش پسادکتری انجام شده است.

سهم نویسندگان در پژوهش

تأیید می‌گردد، نویسندگان مقاله رقیه انصاری قولنجی در نوشتن متن اولیه، اجرای مدل (۴۰ درصد)، اخذ خروجی آن‌ها، علی‌اکبر شمسی‌پور در ویرایش متن، تحلیل و فرایند ارسال و پاسخ داوری‌ها (۳۰ درصد)، و فائزه شجاع در اجرای مدل، تحلیل‌ها (۳۰ درصد) مشارکت داشته‌اند.

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافعی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

تقدیر و تشکر

نویسندگان از همه‌کسانی که در انجام این پژوهش به ما یاری رساندند، به‌ویژه کسانی که کار ارزیابی کیفیت مقالات را انجام دادند، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع

اسکندری شهرکی، آزیتا؛ کیانی، بهمن و ایران‌منش، یعقوب. (۱۳۹۵). تأثیر کاربری‌های مختلف اراضی بر ترسیب کربن خاک. *تحقیقات جنگل و صنوبر ایران*، ۲۴(۳)، ۳۷۹-۳۸۹.

جهانداری، جاوید؛ حجازی، رخشاد؛ جوزی، سیّد علی و مرادی، عباس. (۱۴۰۱). اثرات توسعه شهری بر الگوهای مکانی، زمانی خدمت اکوسیستمی ذخیره کربن در حوزه آبخیز بندرعباس با نرم‌افزار Invest. *مدل‌سازی و مدیریت آب‌وخاک*، ۲ (۴)، ۹۱-۱۰۶.
Doi:10.22098/MMWS.2022.11069.1097

سجادی قائم‌مقامی، ساره السادات؛ سیاح‌نیا، رومینا؛ مبرقعی‌دینان، نغمه و مخدوم، فرخنده. (۱۴۰۰). ارزشیابی پیامدهای رشد شهری بر خدمت اکوسیستمی ذخیره کربن (مطالعه موردی: زیر حوزه‌های آبریز شهر کرج). *سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*، ۱۲ (۱)، ۲۰-۳۷. Doi:10.30495/GIRS.2021.677995

شاهی، الهام؛ کریمی، سعید و جعفری، حمیدرضا. (۱۳۹۶). ارزیابی اثرات تغییرات کاربری اراضی بر روی خدمات اکوسیستمی (ترسیب و ذخیره کربن) در راستای تحقق توسعه پایدار سرزمین. *دومین همایش ملی رویکردهای نوین آمایش سرزمین در ایران، شاهرود*.

غریبی، شیوا؛ شایسته، کامران و عطائیان، بهناز. (۱۴۰۰). قابلیت فضای سبز شهری در ارائه خدمت اکوسیستمی ترسیب کربن. *جغرافیا و پایداری محیط*، ۱۱(۳)، ۶۱-۸۰. Doi:10.22126/GES.2021.6574.2406

فدایی، انسیه، میرسنجری، میرمهرداد، و امیری، محمدجواد. (۱۳۹۹). مدل‌سازی خدمات اکوسیستمی مبتنی بر تغییرات پوشش و کاربری سیمای سرزمین با به‌کارگیری نرم‌افزار Invest در منطقه حفاظت‌شده جهان‌نما (موردمطالعه: خدمت اکوسیستمی ذخیره کربن). *آمایش سرزمین*، ۱۲ (۱)، ۱۵۳-۱۷۳. Doi:10.22059/JTCP.2020.294342.670051

ملکی، سعید؛ شجاعیان علی و فرهمند، قاسم. (۱۳۹۷). ارزیابی تغییرپذیری فضایی ـ زمانی جزایر حرارتی در ارتباط با کاربری‌های شهری مطالعه موردی: شهر ارومیه. *فصلنامه اطلاعات جغرافیایی (سپهر)*، ۲۷(۵). ۱۸۳-۱۹۶.

https://doi.org/10.22131/sepehr.2018.31488

References

Abu-hashim, M., Elsayed, M., & Belal, A.E. (2016). Effect of land-use changes and site variables on surface soil organic carbon pool at Mediterranean Region. *Journal of African Earth Sciences*, *114*, 78-84. doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2015.11.020

Aitali, R., Snoussi, M., Kolker, A.S., Oujidi, B., & Mhammdi, N. (2022). Effects of land use/land cover changes on carbon storage in North African Coastal Wetlands. *Journal of Marine Science and Engineering*, *10*(3), 364. https://doi.org/10.3390/jmse10030364

Babbar, D., Areendran, G., Sahana, M., Sarma, K., Raj, K., & Sivadas, A. (2021). Assessment and prediction of carbon sequestration using Markov chain and InVEST model in Sariska Tiger Reserve, India. *Journal of Cleaner Production*, *278*, 123333. doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123333

Bae, J., & Ryu, Y. (2015). Land use and land cover changes explain spatial and temporal variations of the soil organic carbon stocks in a constructed urban park. *Landscape and Urban Planning*, *136*, 57-67. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.11.015

Bélair, C., Ichikawa, K., Wong, B., & Mulongoy, K. (2010). Sustainable use of biological diversity in socio- ecological production landscapes. Background to the Satoyama initiative for the benefit of biodiversity and human wellbeing. *Journal of Secretariat of the Convention on Biological Diversity*, 22(3), 617-634.

Canadell, J. G., & Raupach, M. R. (2008). Managing forests for climate change mitigation. *science*, *320*(5882), 1456-1457. doi/10.1126/science.1155458

Churkina, G., Brown, D. G., & Keoleian, G. (2010). Carbon stored in human settlements: the conterminous United States. *Global Change Biology*, *16*(1), 135-143. doi/abs/10.1111/j.1365-2486.2009.02002.x

Dadhich, P., Malav, A., & Jaiswal, P. (2023). Carbon Sequestration Potential of Trees in Urban Vegetation Islands: A Case Study. *International Journal of Environment and Climate Change*, *13*(11), 2362-2371. DOI: 10.9734/IJECC/2023/v13i113401

Delphin, S., Escobedo, F. J., Abd-Elrahman, A., & Cropper, W. P. (2016). Urbanization as a land use change driver of forest ecosystem services. *Land Use Policy*, *54*, 188-199. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.02.006

Deng, L., Zhu, G. Y., Tang, Z. S., & Shangguan, Z. P. (2016). Global patterns of the effects of land-use changes on soil carbon stocks. *Global Ecology and Conservation*, *5*, 127-138. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2015.12.004

Eskandari Shahraki, A., Kiani, B., & Iranmanesh, Y. (2016). Effects of different landuse types on soil organic carbon storage. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, *24*(3), 389-379. doi: 10.22092/ijfpr.2016.107354. [In Persian]

Fadaei, E., Mirsanjari, M. M., & Amiri, M. J. (2020). Modeling of Ecosystem Services based on Land Cover Change and Land Use Using InVEST Software in Jahannama Conservation Area (Case: Carbon Sequestration Ecosystem Service). *Town and Country Planning*, *12*(1), 153-173. Doi:10.22059/JTCP.2020.294342.670051 [In Persian].

Gharibi, S., Shayesteh, K., & Attaiean, B. (2021). The Capability of Urban Green Spaces in providing Carbon Sequestration Ecosystem Services. *Geography and Environmental*

Sustainability, *11*(3), 61-80. doi: 10.22126/ges.2021.6574.2406. [In Persian].

Hazem, A.H., Hafiz, T., M.A. (2022). Modeling of carbon sequestration with land use and land cover in the northeastern part of the Nile Delta, Egypt. *Arabian Journal of Geosciences*, *15*, 1267. Doi:10.1007/s12517-022-10462-2

IPCC. (2021). *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. (Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use; No. Part 2). http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.htm

Jahandari, J., Hejazi, R., Jozi, S. A., & Moradi, A. (2022). Impacts of urban expansion on spatio-temporal patterns of carbon storage ecosystem service in Bandar Abbas Watershed using InVEST software. *Water and Soil Management and Modelling*, *2*(4), 91-106. doi: 10.22098/mmws.2022.11069.1097. [In Persian]

Kamarajugedda, S. A., Johnson, J. A., McDonald, R., & Hamel, P. (2023). Carbon storage and sequestration in Southeast Asian urban clusters under future land cover change scenarios (2015–2050). *Frontiers in Environmental Science*, *11*, 1105759. https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1105759

Kaye, J. P., McCulley, R. L., & Burke, I. C. (2005). Carbon fluxes, nitrogen cycling, and soil microbial communities in adjacent urban, native and agricultural ecosystems. *Global Change Biology*, *11*(4), 575-587. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.00921.x

Keller, A. A., Fournier, E., & Fox, J. (2015). Minimizing impacts of land use change on ecosystem services using multi-criteria heuristic analysis. *Journal of Environmental Management*, *156*, 23-30. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.03.017

Li, X., Huang, C., Jin, H., Han, Y., Kang, S., Liu, J., ... & Sun, L. (2022). Spatio-temporal patterns of carbon storage derived using the InVEST model in Heilongjiang Province, Northeast China. *Frontiers in Earth Science*, *10*, 846456. https://doi.org/10.3389/feart.2022.846456

Li, Y., Liu, W., Feng, Q., Zhu, M., Zhang, J., Yang, L., & Yin, X. (2022). Spatiotemporal Dynamics and Driving Factors of Ecosystem Services Value in the Hexi Regions, Northwest China. *Sustainability*, *14*(21), 14164. https://doi.org/10.3390/su142114164

Li, Y., Qiu, J., Li, Z., & Li, Y. (2018). Assessment of blue carbon storage loss in coastal wetlands under rapid reclamation. *Sustainability*, *10*(8), 2818. DOI: 10.3390/su10082818

Lindén, L., Riikonen, A., Setälä, H., & Yli-Pelkonen, V. (2020). Quantifying carbon stocks in urban parks under cold climate conditions. *Urban Forestry & Urban Greening*, *49*, 126633. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126633

Maleki, S., Shojaian A., and Farhamand, Q. (2018). Evaluation of spatio-temporal variability of thermal islands in relation to urban uses, a case study: Urmia city. *Quarterly of Geographical Information (Sephehr)*, *27*(5). 183-196. https://doi.org/10.22131/sepehr.2018.31488

Mallick, J., Almesfer, M. K., Alsubih, M., Ahmed, M., & Ben Kahla, N. (2022). Estimating Carbon Stocks and Sequestration with Their Valuation under a Changing Land Use Scenario: A Multi-Temporal Research in Abha City, Saudi Arabia. *Frontiers in Ecology and Evolution*, *10*, 905799. https://doi.org/10.3389/fevo.2022.905799

Martínez-Tilleria, K., Núñez-Ávila, M., León, C. A., Pliscoff, P., Squeo, F. A., & Armesto, J. J. (2017). A framework for the classification Chilean terrestrial ecosystems as a tool for achieving global conservation targets. *Biodiversity and Conservation*, *26*, 2857-2876. Doi:10.1007/s10531-017-1393-x

Nel, L., Boeni, A. F., Prohászka, V. J., Szilágyi, A., Tormáné Kovács, E., Pásztor, L., & Centeri, C. (2022). InVEST Soil Carbon Stock Modelling of Agricultural Landscapes as an Ecosystem Service Indicator. *Sustainability*, *14*(16), 9808. https://doi.org/10.3390/su14169808

Novara, A., Gristina, L., Sala, G., Galati, A., Crescimanno, M., Cerdà, A., ... & La Mantia, T. (2017). Agricultural land abandonment in Mediterranean environment provides ecosystem services via soil carbon sequestration. *Science of the Total Environment*, *576*, 420-429. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.123

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. *Environmental pollution*, *178*, 229-236. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.03.019

Pagiola, S. (2008). Payments for environmental services in Costa Rica. *Ecological economics*, *65*(4), 712-724. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.07.033

Paudyal, K., Baral, H., Putzel, L., Bhandari, S., & Keenan, R. J. (2017). Change in land use and ecosystem services delivery from community-based forest landscape restoration in the Phewa Lake watershed, Nepal. *International Forestry Review*, *19*(4), 88-101. https://doi.org/10.1505/146554817822330524

Piyathilake, I. D. U. H., Udayakumara, E. P. N., Ranaweera, L. V., & Gunatilake, S. K. (2022). Modeling predictive assessment of carbon storage using InVEST model in Uva province, Sri Lanka. *Modeling Earth Systems and Environment*, *8*(2), 2213-2223. Doi:10.1007/s40808-021-01207-3

Russo, A., Escobedo, F. J., Timilsina, N., & Zerbe, S. (2015). Transportation carbon dioxide emission offsets by public urban trees: A case study in Bolzano, Italy. *Urban Forestry & Urban Greening*, *14*(2), 398-403. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2015.04.002

Sajjadi Ghaemmaghami, S. A., Sayahnia, R., Mobarghei Dinan, N., & Makhdoum Farkhondeh, M. (2021). Evaluating the implications of urban growth on carbon fixation ecosystem services (Case study: Karaj Subcatchments). *Journal of Applied Rs and Gis Techniques in Natural Resource Science), 12* (1), 37-20. doi:10.30495/GIRS.2021.677995 [In Persian].

Shahi, E., Karimi, S., & Jafari, H. (2016). Assessing the Impacts of Land Use Change on Ecosystem Services (Carbon Sequestration and Storage) towards Achieving Sustainable Land Development. *The Secound National Conference on New Approaches to Spatical Planning in Iran.* [In Persian]

Skwierawski, A. (2022). Carbon sequestration potential in the restoration of highly eutrophic shallow lakes. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *19*(10), 6308. https://doi.org/10.3390/ijerph19106308

Stewart, I. D., Oke, T. R., & Krayenhoff, E. S. (2014). Evaluation of the 'local climate zone'scheme using temperature observations and model simulations. *International journal of climatology*, *34*(4), 1062-1080. https://doi.org/10.1002/joc.3746

Tao, Y., Li, F., Wang, R., & Zhao, D. (2015). Effects of land use and cover change on terrestrial carbon stocks in urbanized areas: a study from Changzhou, China. *Journal of Cleaner Production*, *103*, 651-657. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.07.055

Tolessa, T., Senbeta, F., & Kidane, M. (2017). The impact of land use/land cover change on ecosystem services in the central highlands of Ethiopia. *Ecosystem services*, *23*, 47-54. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.11.010

Zhao, S., Liu, S., Sohl, T., Young, C., & Werner, J. (2013). Land use and carbon dynamics in the southeastern United States from 1992 to 2050. *Environmental Research Letters*, *8*(4), 044022. DOI: 10.1088/1748-9326/8/4/044022

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی