

Comparison of Carbon Storage in Soil and Plant Biomass of Different Land Uses/Land Covers of Sefiddasht Watershed in Chaharmahal and Bakhtiari Province

Mohsen Amani¹ | Ali Asghar Naghipour^{1*}  | Ataollah Ebrahimi¹ |
Zahra Heidari Ghahfarrokhi¹ | Mohammad Reza Ashrafzadeh²

1. Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Science,
Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

2. Department of Environmental Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Science,
Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

E-mail: aa.naghipour@sku.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 05 Feb. 2024

Revised: 31 Mar. 2024

Accepted: 08 Apr. 2024

Published online: 20 Sept. 2024

Keywords:

Rangelands,

Land cover,

Carbon sequestration,

Climate change,

Carbon distribution.

Abstract

Carbon storage in terrestrial ecosystems is an important component of global carbon storage and plays a vital role in mitigating climate change. Quantifying carbon storage across different land uses is essential for studying the carbon sequestration potential of ecosystems. The purpose of this research is to investigate the effects of various types of land uses and land covers (dense rangelands, semi-dense rangelands, low-density rangelands, barren lands, and agricultural lands) on the amount of soil carbon and plant biomass sequestration, which are important ecosystem services in the Sefiddasht watershed in Chaharmahal and Bakhtiari province. Soil and vegetation sampling was conducted randomly and systematically. For this purpose, 60 plots of 4 square meters each were used to collect soil, plant material, and litter. Plant biomass was sampled using direct measurement methods. Soil samples were collected from a depth of 0-30 cm, with 20 samples taken from each area. Comparisons between regions were performed using One-Way Analysis of Variance (ANOVA) and Duncan's multiple range test. The results indicated significant differences between the investigated regions in terms of total carbon storage. The total carbon storage, ranked from highest to lowest, includes dense rangelands (46.42 tons/ha), semi-dense rangelands (38.49 tons/ha), agricultural lands (31.62 tons/ha), low-density rangelands (26.12 tons/ha), and barren lands (17.21 tons/ha). The economic value of total carbon storage per hectare for the examined land uses—dense rangelands, semi-dense rangelands, agricultural lands, low-density rangelands, and barren lands—was determined to be \$5,446, \$4,516, \$3,710, \$3,065, and \$2,019, respectively. Therefore, it can be concluded that implementing appropriate policies to prevent or minimize the conversion of land uses with higher carbon storage capacity to those with lower carbon storage capacity is particularly important.

Cite this article: Amani, M., Naghipour, A.A., Ebrahimi, A., Heidari Ghahfarrokhi, Z., Ashrafzadeh, M.R. (2024). Comparison of carbon storage in soil and plant biomass of different land uses/land covers of Sefiddasht watershed in Chaharmahal and Bakhtiari province. *Journal of Range & Watershed Management*, 77 (2), 223-232. DOI: <http://doi.org/10.22059/jrwm.2024.372204.1746>



© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press

مقایسه میزان ذخیره‌ی کربن در خاک و زیتوده گیاهی کاربری‌های مختلف حوزه آبخیز سفیددشت در استان چهارمحال و بختیاری

محسن امانی شلمزاری^۱ | علی اصغر نقی پور^{۱*} | عطاالله ابراهیمی^۱ | زهرا حیدری قهفرخی^۱ | محمدرضا اشرفزاده^۲

۱. گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.
۲. گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.
رایانامه: aa.naghipour@sku.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۱/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۲۰

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۶/۳۰

کلیدواژه‌ها:

اراضی مرتعی،
پوشش اراضی،
ترسیب کربن،
تغییر اقلیم،
توزیع کربن.

ذخیره‌سازی کربن در اکوسیستم‌های زمینی بخش مهمی از ذخیره‌سازی جهانی کربن است و نقشی حیاتی در کاهش تغییرات اقلیمی ایفا می‌کند. کمی نمودن ذخیره کربن در کاربری‌های مختلف زمین، جهت مطالعه ترسیب کربن بوم‌سازگان از اهمیت زیادی برخوردار است. پژوهش حاضر با هدف بررسی اثرات انواع کاربری/پوشش زمین (مراتع متراکم، مراتع نیمه‌متراکم، مراتع کم‌تراکم، اراضی بایر و اراضی کشاورزی) بر میزان ترسیب کربن خاک و زیتوده گیاهی به عنوان یک خدمت اکوسیستمی مهم در حوزه آبخیز سفیددشت واقع در استان چهارمحال و بختیاری انجام شد. نمونه‌برداری از خاک و پوشش گیاهی به صورت تصادفی - سیستماتیک انجام شد. بدین منظور در هر کاربری، از ۶۰ پلات ۴ مترمربعی جهت جمع‌آوری خاک، زیتوده گیاهی و لاشبرگ استفاده شد. زیتوده گیاهی به روش اندازه‌گیری مستقیم نمونه‌برداری شد. نمونه‌های خاک نیز از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری و به تعداد ۲۰ نمونه در هر منطقه جمع‌آوری شد. مقایسه بین مناطق با استفاده از آنالیز واریانس یک طرفه و آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام گرفت. نتایج نشان داد در مجموع از منظر ذخیره کربن کل بین مناطق مورد بررسی اختلاف معنی‌داری وجود دارد. ذخیره کربن کل از بیشترین به کمترین به ترتیب شامل مرتع متراکم (۴۶/۴۲ تن بر هکتار)، مرتع نیمه‌متراکم (۳۸/۴۹ تن بر هکتار)، اراضی کشاورزی (۳۱/۶۲ تن بر هکتار)، مرتع کم‌تراکم (۲۶/۱۲ تن بر هکتار) و اراضی بایر (۱۷/۲۱ تن بر هکتار) می‌باشد. ارزش اقتصادی کل ذخیره کربن در هر هکتار از کاربری‌های بررسی شده شامل مراتع متراکم، مراتع نیمه‌متراکم، اراضی کشاورزی، مراتع کم‌تراکم و اراضی بایر به ترتیب ۵۴۴۶، ۴۵۱۶، ۳۷۱۰، ۳۰۶۵ و ۲۰۱۹ دلار تعیین شد. بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری نمود که اجرای سیاست‌های مناسب برای جلوگیری و یا به حداقل رساندن تبدیل کاربری‌های زمینی با ظرفیت ذخیره‌سازی کربن بالاتر به کاربری‌هایی که ظرفیت ذخیره‌سازی کربن کمتری دارند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

استناد: امانی شلمزاری، محسن؛ نقی پور، علی اصغر؛ ابراهیمی، عطاالله؛ حیدری قهفرخی، زهرا؛ اشرفزاده، محمدرضا (۱۴۰۳). مدل‌سازی حجم بندهای اصلاحی آبخیزداری مبتنی بر عوامل محیطی. نشریه مرتع و آبخیزداری، ۲(۲۷)، ۲۳۱-۲۲۳.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jrwm.2024.372204.1746>



© نویسندگان.

ناشر: انتشارات دانشگاه تهران.

۱. مقدمه

تغییرات اقلیمی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای، بزرگترین تهدید برای بشریت محسوب شده و محیط زندگی انسان را تغییر داده است (Hu et al., 2022). انتشار گازهای گلخانه‌ای اتمسفر با افزایش بیش از $\frac{2}{8}$ پتاگرم کربن (PgC)^۱ در سال به سطوح بی‌سابقه‌ای رسیده است (۴۰۰ ppm) (Zeebe et al., 2016). ذخیره‌سازی کربن در بوم‌سازگان‌های زمینی بخش مهمی از ذخیره‌سازی جهانی کربن است و نقشی حیاتی در کاهش تغییرات اقلیمی ایفا می‌کند (Zhu et al., 2021). تغییر کاربری/پوشش زمین، مستقیم‌ترین جلوه فعالیت‌های انسانی است که بر تغییرات اقلیمی تأثیر می‌گذارد. با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن در جو و گرم شدن کره زمین، تأثیر آن بر چرخه کربن بوم‌سازگان‌های زمینی به بخشی ضروری از زمینه تحقیقات تغییرات اقلیمی تبدیل شده است (Ma and Wang, 2015). منابع اصلی کربن در بوم‌سازگان‌های زمینی، شامل زیتوده هوایی و زیرزمینی، خاک و لاشبرگ است و مظهر اصلی ذخیره کربن آن، پوشش گیاهی است (Zhu et al., 2021). تغییرات در توزیع پوشش گیاهی می‌تواند مستقیماً بر ذخیره کربن بوم‌سازگان‌های زمینی تأثیر بگذارد (Pongratz et al., 2008). تأثیر تغییرات کاربری زمین بر ذخیره‌سازی کربن بوم‌سازگان‌های زمینی عمده‌تاً در این واقعیت منعکس می‌شود که می‌تواند فرآیندهای بیوژئوشیمیایی سطح زمین و جریان انرژی و گردش مواد آن را تغییر دهد (Gaillard et al., 2018).

تخریب منابع خاک و تغییر کاربری نه تنها کارکرد تولیدی و زیست محیطی را تحت تأثیر قرار می‌دهد، بلکه موجب کاهش کربن آلی خاک نیز می‌گردد (Asadi et al., 2022). تغییرات ذخیره‌سازی کربن ممکن است اثرات و پیامدهای مستقیم و غیرمستقیم بر رفاه اجتماعی-اقتصادی انسان و محیط طبیعی داشته باشد (Japelaghi et al., 2022). امروزه تغییر و تبدیل کاربری اراضی بوم‌سازگان‌های طبیعی همچون جنگل و مرتع به کشاورزی، به یکی از مهمترین نگرانی‌ها در سطح جهان در زمینه تخریب محیط زیست طبیعی و تغییرات اقلیمی جهان تبدیل شده است (Yu & Song, 2023; Mahdavi et al., 2022).

کمی نمودن ذخیره کربن در کاربری‌های مختلف زمین، جهت مطالعه ترسیب کربن بوم‌سازگان از اهمیت زیادی برخوردار است. به عنوان مثال نتایج نشان داده است که تغییر کاربری زمین عامل تعیین کننده اصلی مخازن کربن و تغییرات ذخیره کربن در بریتانیا است. همچنین در میان عوامل مختلف تأثیرگذار، بیش از ۹۵ درصد کاهش ذخیره کربن خاک در بریتانیا ناشی از تغییرات کاربری زمین است (Ostle et al., 2009). در مطالعه‌ای دیگر، محتوای کربن آلی خاک انواع مختلف کاربری زمین، انواع خاک و انواع شیب در مناطق مرطوب جنوب رواندا اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که کربن آلی خاک بیشترین همبستگی را با کاربری زمین دارد. خاک جنگلی دارای بیشترین میزان کربن آلی و خاک کشاورزی دارای کمترین میزان کربن آلی است. جنگل‌زدایی برای اهداف کشاورزی منجر به از دست دادن ۷۲ درصد کربن آلی خاک شد (Wasige et al., 2014). اثر تغییرات کاربری زمین بر ذخیره کربن آلی خاک در بخش میانی حوضه رودخانه هیبه در منطقه خشک شمال غربی چین طی ۲۰ سال (از سال ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۷) مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که بیشترین ذخیره‌سازی در کاربری مرتع و کمترین آن در زمین‌های کشاورزی بود. بنابراین، گسترش کشاورزی در این مناطق منجر به کاهش قابل توجه کربن آلی خاک شده است (Lü et al., 2014). بررسی ترسیب کربن کاربری‌های مختلف در مناطق خشک چین نشان داد که مناطق با ارزش ذخیره‌سازی کربن در مناطق خشک، عمده‌تاً در مراتع و جنگل‌ها متمرکز شده‌اند. همچنین نتایج نشان داد که ذخیره کربن در مناطق خشک روند نزولی را نشان می‌دهد و دلیل اصلی این کاهش ذخیره کربن را تغییر کاربری و تخریب مراتع معرفی نمودند (Zhu et al., 2021). در مطالعه‌ای، میزان ترسیب کربن خاک و زی‌توده گیاهی در مراتع طبیعی و دست‌کاشت در مراتع نیمه‌خشک سیسب بجنورد اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که بیشترین میزان ترسیب کربن در مراتع طبیعی و کمترین آن در تناوب کشت گندم و آیش است (Naghypour Borj et al., 2012).

مراتع اغلب در بحث ذخیره‌سازی کربن نادیده گرفته می‌شوند، زیرا این سیستم‌های خشک‌تر، اغلب کربن کمتری در مقایسه با جنگل‌ها در واحد سطح ترسیب می‌کنند (Thomey et al. 2014; Provencher et al., 2023). با این حال، بوم‌سازگان‌های خشک و

^۱ 1 PgC = 1 petagram = 10¹⁵ gC

نیمه خشک تقریباً ۳۰ درصد از خشکی‌های جهان را اشغال نموده‌اند و بنابراین یکی از بزرگترین مخازن کربن آلی به شمار می‌روند (Thomey et al., 2014). حفظ و حتی افزایش این ذخایر کربن پایدار، متضمن کاهش انتشار کربن و در نتیجه تعدیل اثرات تغییر اقلیم خواهد بود (Provencher et al., 2023).

پژوهش حاضر با هدف بررسی اثرات انواع کاربری/پوشش زمین بر میزان ترسیب کربن خاک و زیتوده گیاهی به عنوان یک خدمت اکوسیستمی مهم در حوزه آبخیز سفیددشت در شهرستان بروجن واقع در استان چهارمحال و بختیاری انجام شد. در گذشته، این منطقه از جمله مناطقی بود که به لحاظ بارش مناسب و حاصلخیز بودن اراضی آن از قطب‌های کشاورزی استان محسوب می‌شد و همچنین از نظر پوشش گیاهی نیز دارای شرایط مطلوبی بوده است. در دهه‌های اخیر به علت خشکسالی‌های پی در پی و کاهش سطح آب‌های زیرزمینی و همچنین فشار روز افزون و چرای بی رویه دام، رشد زیاد کارخانجات صنعتی، تبدیل اراضی مرتعی به کشاورزی، تغییر سریع کاربری‌ها در این منطقه رخ داده است (Nafar et al., 2021). این موضوع باعث از بین رفتن بسیاری از اراضی کشاورزی و پوشش گیاهی در منطقه شده است. بنابراین، با توجه به اهمیت موضوع، نتایج حاصل از این مطالعه می‌تواند درک ما را از تأثیر انواع کاربری زمین بر ترسیب و ذخیره کربن افزایش داده و در مدیریت هر چه بهتر زمین و کاهش تغییرات اقلیمی موثر باشد.

۲. مواد و روش‌ها

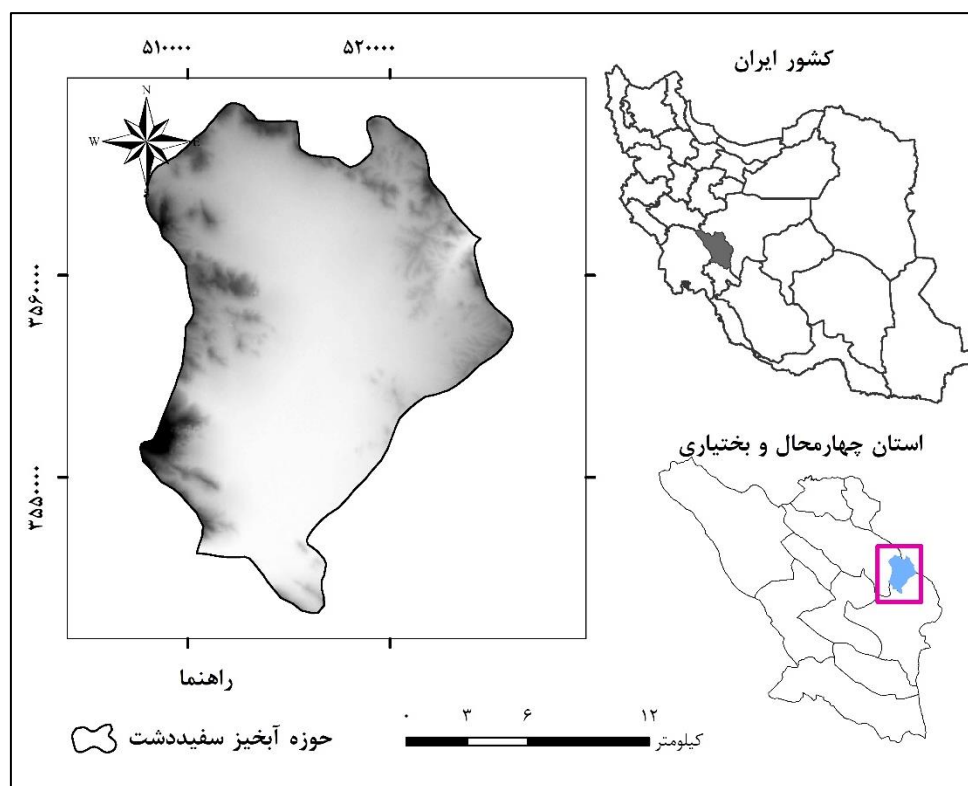
۲-۱. منطقه مورد مطالعه

مطالعه حاضر در حوزه آبخیز سفیددشت با مساحت ۲۷ هزار هکتار واقع در استان چهارمحال و بختیاری انجام شد. این حوزه آبخیز بین $51^{\circ} 4' 51''$ تا $51^{\circ} 16' 36''$ طول شرقی و بین $32^{\circ} 1' 32''$ تا $32^{\circ} 15' 27''$ عرض شمالی قرار گرفته است. این منطقه دارای حداقل ارتفاع ۲۱۲۱ و حداکثر ۳۱۳۷ متر از سطح دریای آزاد است. بر اساس نزدیک‌ترین ایستگاه کلیماتولوژی به منطقه مورد مطالعه (ایستگاه کلیماتولوژی فرخسهر)، میانگین بارندگی سالانه‌ی منطقه ۲۷۷ میلی‌متر و میانگین درجه‌ی حرارت آن $11/5$ درجه‌ی سانتی‌گراد در سال است. بر اساس اقلیم‌نمای گوسن این منطقه در قلمرو اقلیمی استپی سرد قرار دارد (Soltani et al., 2011). پوشش گیاهی غالب در مراتع منطقه مورد مطالعه شامل گونه‌های بوت‌ه‌ای (*Astragalus spp.*) به همراه گندمیان چندساله از جمله استپی بیابانی (*Stipa hohenackeriana*) و جارو علفی (*Bromus tomentellus*) می‌باشد.

۲-۲. نمونه‌برداری پوشش گیاهی و خاک

از روش نمونه‌برداری تصادفی-سیستماتیک جهت اندازه‌گیری زیتوده گیاهی و خاک استفاده شد. جمع‌آوری داده‌های صحرایی در خرداد ماه ۱۴۰۲ انجام شد. بدین منظور در هر کاربری (مراتع متراکم، مراتع نیمه‌متراکم، مراتع کم‌تراکم، اراضی بایر و اراضی کشاورزی)، ابتدا یک پلات بزرگ (30×30 متر) تعیین و سپس در درون هر پلات بزرگ، ۳ پلات ۴ مترمربعی (2×2 متر) (Tahmasebi et al., 2012) جهت جمع‌آوری خاک، زیتوده گیاهی و لاشبرگ به کار گرفته شد. فاصله دو پلات بزرگ ۶۰ متر در نظر گرفته شد. ۲۰ پلات بزرگ در هر کاربری و در مجموع ۱۰۰ پلات بزرگ در منطقه مورد مطالعه قرار گرفته شد. لازم به توضیح است که منظور از مراتع متراکم، مراتعی است که تاج پوشش در آن بیش از ۵۰ درصد است. همچنین، مراتع نیمه‌متراکم دارای ۲۵ تا ۵۰ درصد و مراتع کم‌تراکم دارای ۵ تا ۲۵ درصد تاج پوشش گیاهی می‌باشند (سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری، ۱۴۰۲). منظور از اراضی بایر^۱، زمین‌های فاقد پوشش گیاهی و یا دارای پوشش گیاهی ناچیز است (Li et al., 2017). در منطقه مورد مطالعه، اراضی بایر غالباً شامل زمین‌هایی است که در گذشته کاربری کشاورزی داشته است ولی به دلیل خشکسالی و کاهش سطح سفره آب زیرزمینی، رها شده و دیگر کشاورزی در آن انجام نمی‌شود.

¹ Bareland



شکل ۱. موقعیت حوزه آبخیز سفیددشت در کشور و استان چهارمحال و بختیاری

در مطالعه حاضر جهت برآورد زیتوده بالای سطح زمین شامل اندام‌های هوایی گیاهان و همچنین لاشبرگ از روش اندازه‌گیری مستقیم استفاده شد. در هر پلات اقدام به کفبر کردن گونه‌های گیاهی و همچنین جمع‌آوری لاشبرگ از سطح خاک شد. در هر کاربری، ۶۰ پلات و در مجموع، ۲۴۰ پلات نمونه‌برداری شد (لازم به ذکر است با توجه به عدم وجود پوشش گیاهی طبیعی در اراضی کشاورزی، نمونه‌برداری پوشش در این کاربری انجام نشد). نمونه‌های گیاهی برداشت شده به آزمایشگاه منتقل و ابتدا توزین شدند. سپس جهت محاسبه ضریب خشکی، نمونه‌های گیاهی در محیط آزاد و در سایه خشک شدند. درصد ماده خشک برای هر یک از نمونه‌ها و همچنین لاشبرگ محاسبه شد. جهت برآورد زیتوده زیرزمینی گونه‌ها از نسبت وزنی ریشه به ساقه استفاده گردید. این نسبت با توجه به مطالعات انجام شده در بوم‌سازگان‌های بوته‌زار جهان، ۰/۵۸ برآورد شده است (Guo et al., 2021). درصد کربن آلی نمونه‌های زیتوده گیاهی و لاشبرگ به روش احتراق (Zarinkafsh, 1993) در کوره الکتریکی تعیین گردید.

نمونه‌برداری از خاک نیز همانند نمونه‌برداری پوشش گیاهی به صورت تصادفی - سیستماتیک عمل شد. نمونه‌های خاک از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری و به تعداد ۲۰ نمونه ترکیبی از هر کاربری جمع‌آوری شد. در آزمایشگاه ابتدا وزن مخصوص ظاهری نمونه‌های خاک به روش سیلندر و بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب تعیین شد (Zarinkafsh, 1993). نمونه‌های خاک از الک دو میلی‌متری عبور داده شد و سپس درصد کربن آلی از روش والکی بلک (Zarinkafsh, 1993) محاسبه گردید.

در نهایت با استفاده از رابطه ۱، میزان کربن آلی خاک بر حسب تن بر هکتار تعیین شد (Tadiello et al., 2022).

$$\text{SOC} = \% \text{OC} \times \text{BD} \times \text{LT} \times 10^4$$

رابطه ۱)

SO C = میزان کربن آلی (Mg r/ha⁻¹) (تن بر هکتار)

% OC = درصد کربن آلی

BD = وزن مخصوص ظاهری خاک سطحی (Mg/m^3) (تن بر متر مکعب)

E = عمق خاک نمونه برداری شده (m)

در ادامه با توجه به ارزش قیمتی هر تن ترسیب کربن، اقدام محاسبه و ارزشگذاری این خدمت اکوسیستمی در هر کاربری می‌شود.

۳-۲. تجزیه و تحلیل آماری

این پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. از آنالیز واریانس یک طرفه جهت مقایسات کلی استفاده گردید و مقایسه میانگین تیمارها بوسیله آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام گرفت. تجزیه‌های آماری به کمک نرم افزار SPSS26 انجام شد و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده گردید.

۳. نتایج

نتایج حاصل از مقایسه کربن زیتوده هوایی، زیتوده زیرزمینی، لاشبرگ و خاک در پنج منطقه مرتع متراکم، مرتع نیمه‌متراکم، مرتع کم‌تراکم، اراضی بایر و کشاورزی در جدول ۱ ارائه شده است. نتایج نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین کربن زیتوده گیاهی و خاک پنج منطقه مورد بررسی در سطح ۱ درصد وجود دارد. بیشترین میزان ذخیره کربن زیتوده هوایی، زیتوده زیرزمینی و لاشبرگ به ترتیب با $288/6$ ، $167/4$ و $38/6$ گرم بر متر مربع در مرتع متراکم وجود داشت و با افزایش تخریب، از میزان کربن زیتوده گیاهی کاسته شده است. در اراضی کشاورزی مقدار ذخیره کربن در زیتوده گیاهی با توجه به برداشت محصول، صفر در نظر گرفته شده است و بنابراین دارای کمترین مقدار است و پس از آن اراضی بایر با مجموع کربن ذخیره شده گیاهی $71/3$ گرم بر متر مربع قرار دارد. نتایج همچنین نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین کربن خاک پنج منطقه مورد بررسی در سطح ۱ درصد وجود دارد. بیشترین میزان ذخیره کربن خاک در مرتع متراکم با 4147 گرم بر متر مربع و کمترین میزان ذخیره کربن مربوط به اراضی بایر با 1650 گرم بر متر مربع می‌باشد (جدول ۱). در مجموع از منظر ذخیره کربن کل (مجموع زیتوده گیاهی و خاک) بین مناطق مورد بررسی اختلاف معنی‌داری در سطح ۱ درصد وجود دارد. ذخیره کربن کل از بیشترین به کمترین به ترتیب شامل مرتع متراکم (4642 گرم بر متر مربع)، مرتع نیمه‌متراکم (3849 گرم بر متر مربع)، اراضی کشاورزی (3162 گرم بر متر مربع)، مرتع کم‌تراکم (2612 گرم بر متر مربع) و اراضی بایر (1721 گرم بر متر مربع) می‌باشد (جدول ۱).

از کل کربن ترسیب شده در هر متر مربع از مرتع متراکم، 4179 گرم ($89/42$ ٪) سهم کربن آلی خاک، 288 گرم ($6/18$ ٪) سهم کربن زیتوده هوایی، 38 گرم ($0/83$ ٪) سهم لاشبرگ و 167 گرم ($3/58$ ٪) سهم زیتوده زیرزمینی بود. در مرتع نیمه‌متراکم، 3636 گرم ($94/45$ ٪) سهم کربن آلی خاک، 120 گرم ($3/13$ ٪) سهم کربن زیتوده هوایی، 22 گرم ($0/59$ ٪) سهم لاشبرگ و 69 گرم ($1/82$ ٪) سهم زیتوده زیرزمینی بود. در مرتع کم‌تراکم، 2467 گرم ($94/65$ ٪) سهم کربن آلی خاک، 83 گرم ($3/05$ ٪) سهم کربن زیتوده هوایی، 13 گرم ($0/53$ ٪) سهم لاشبرگ و 48 گرم ($1/77$ ٪) سهم زیتوده زیرزمینی بود و همچنین در اراضی بایر، 1650 گرم ($94/65$ ٪) سهم کربن آلی خاک، 42 گرم ($3/05$ ٪) سهم کربن زیتوده هوایی، $4/5$ گرم ($0/53$ ٪) سهم لاشبرگ و 24 گرم ($1/77$ ٪) سهم زیتوده زیرزمینی بود. در اراضی کشاورزی نیز 100 درصد ذخیره کربن مربوط به کربن آلی خاک (3162 گرم در متر مربع) می‌باشد (جدول ۱ و شکل ۲). بنابراین خاک بیشترین و لاشبرگ کمترین سهم را از ذخیره کربن کل در مناطق مورد مطالعه دارا بودند.

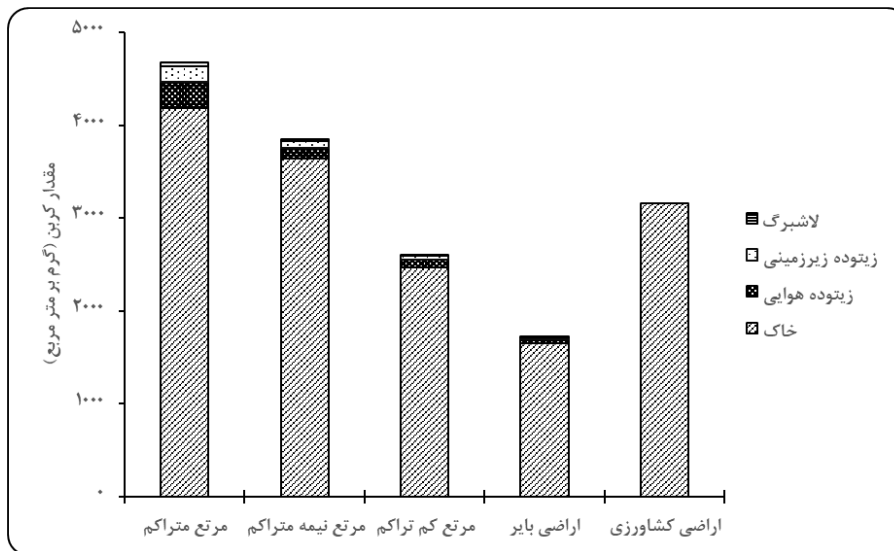
ارزش اقتصادی ذخیره کربن با روش قیمت بازار کربن تخمین زده شد. این روش خساراتی را نشان می‌دهد که در اثر کاهش انتشار کربن مهار می‌شود (Pache et al., 2021). با توجه به رویکردهای مختلف قیمت‌گذاری کربن، بررسی‌های جدید بین‌المللی اخیر نشان می‌دهد که هزینه اجتماعی کربن، هزینه خسارات ناشی از انتشار یک تن اضافی دی‌اکسید کربن است. این هزینه از 60 دلار آمریکا

(Pache et al., 2021) و ۸۱ دلار (Stern, 2007) در هر تن تا ۱۵۴/۱۴ دلار (Interagency Working Group, 2016) متغیر است. با بررسی مطالعات مختلف (Hope, 2011; Siwar et al., 2016; Stern, 2007; Kohestani et al., 2023) در خصوص ارزش اقتصادی کربن ترسیب شده تحت رویکرد هزینه خسارت، عدد ۱۱۷/۳۳ دلار آمریکا به ازای هر تن انتشار دی اکسید کربن در این پژوهش مورد نظر قرار گرفت. با توجه به موارد بیان شده، ارزش اقتصادی کل ذخیره کربن در هر هکتار از کاربری‌های بررسی شده شامل مراتع متراکم، مراتع نیمه‌متراکم، مراتع کم‌متراکم، اراضی بایر و اراضی کشاورزی به ترتیب ۵۴۴۶، ۴۵۱۶، ۳۰۶۵، ۲۰۱۹ و ۳۷۱۰ دلار می‌باشد.

جدول ۱. نتایج مقایسه میانگین میزان کربن خاک و زیتوده گیاهی (گرم بر متر مربع) در پنج نوع پوشش زمین در حوزه آبخیز سفیددشت

صفت	مرتع متراکم	مرتع نیمه‌متراکم	مرتع کم‌متراکم	اراضی بایر	اراضی کشاورزی	F
زیتوده هوایی	۲۸۸/۲۸±۶/۹a	۱۲۰/۱۳±۶/۷b	۸۲/۷±۷/۶bc	۴۲/۳±۵/۴c	.	۴۲/۷۰**
لاشبرگ	۳۸/۲±۶/۸۱a	۲۲/۰±۸/۹b	۱۳/۰±۶/۸c	۴/۵±۱/۵d	.	۸۷/۲۹**
مجموع کربن بالای سطح زمین	۳۲۷/۲۸±۳/۹a	۱۴۳/۱۳±۵/۸b	۹۶/۷±۵/۸c	۴۶/۳±۶/۵d	.	۵۴/۴۱**
زیتوده زیرزمینی	۱۶۷/۱۶±۴/۸a	۶۹/۷±۹/۹b	۴۸/۴±۱/۴bc	۲۴/۱±۶/۲c	.	۴۲/۶۸**
مجموع کربن گیاهی	۴۹۴/۴۵±۷/۷a	۲۱۳/۱۲±۵/۱b	۱۴۴/۱۲±۵/۲bc	۷۱/۵±۳/۴c	.	۵۰/۰۴**
کربن خاک (۳۰ cm)	۴۱۷۹/۲۸±۳/۳a	۳۶۳۶/۱۰۲±۱/۴ab	۲۴۶۷/۱۷۳±۸/۸c	۱۶۵۰/۱۰۰±۰/۲d	۳۱۶۲/۲۲۱±۲/۱b	۱۸/۸۵**
ذخیره کربن کل	۴۶۴۲/۳۹±۰/۴a	۳۸۴۹/۱۰۰±۶/۱b	۲۶۱۲/۱۷۶±۳/۸c	۱۷۲۱/۴۴۷±۳/۲d	۳۱۶۲/۲۲۱±۲/۱c	۲۴/۹۱**

توضیح: اعداد نمایانگر میانگین ± اشتباه معیار صفات مورد بررسی می‌باشند. حروف برای مقایسه اعداد هر ردیف ارائه شده و حروف غیر مشترک نشان دهنده اختلاف آماری در سطح ۵٪ می‌باشند. **معنی‌دار در سطح ۱٪



شکل ۲. نمودار توزیع کربن در ترکیب زیتوده‌هوایی، زیرزمینی، لاشبرگ و خاک (عمق ۳۰ سانتی‌متری) در پنج نوع پوشش زمین در حوزه آبخیز سفیددشت

۴. بحث و نتیجه‌گیری

ذخیره کربن در بوم‌سازگان‌های زمینی عمدتاً در دو بخش شامل کربن موجود در زیتوده گیاهی و کربن خاک توزیع می‌شود. از آنجا که پوشش گیاهی و خاک مکانیسم‌های جذب کربن خاص خود را دارند، عواملی که بر ذخیره‌سازی کربن این دو تأثیر می‌گذارند نیز متفاوت است. مخزن کربن گیاهی عمدتاً از طریق فتوسنتز پوشش گیاهی است که مواد معدنی را به مواد آلی تبدیل می‌کند و سپس آن را در

ریشه، ساقه و برگ زیتوده گیاهی ذخیره می‌کند. بنابراین، عوامل اصلی موثر بر تغییرات ذخیره کربن زیتوده گیاهی، شامل اقلیم، توپوگرافی، ژئومورفولوژی، شرایط هیدرولوژیکی، رسوب نیتروژن و غیره است. از طرفی، مکانیسم تثبیت کربن خاک عمدتاً متکی بر تشکیل معدنی‌سازی میکروبی و تجزیه بقایای گیاهی در خاک است و عوامل مؤثر بر آن شامل نوع خاک، سرعت تنفس خاک، پوشش گیاهی، و غیره می‌باشد. با این حال، هر دو مخزن کربن به ناچار تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی قرار خواهند گرفت (Zhu et al., 2021).

در سال‌های اخیر، تضاد کاربری اراضی در مناطق خشک و نیمه‌خشک بیش از پیش نمایان شده است. نوع کاربری زمین به طور مداوم در حال تغییر است و این موضوع تأثیر منفی بر مخزن کربن بوم‌سازگان زمینی به دلیل افزایش انتشار کربن خواهد داشت (Zhu et al., 2021). در حوزه آبخیز سفیددشت نیز بهره‌برداری شدید از زمین توسط فعالیت‌های انسانی (چرای مفرط دام و تبدیل اراضی مرتعی به کشاورزی و مناطق مسکونی-صنعتی) به طور قابل توجهی کمیت و کیفیت مراتع را کاهش داده است.

در بین مناطق مورد بررسی، مرتع متراکم به دلیل پوشش گیاهی بیشتر، توان حفظ رطوبت خاک و همچنین پویایی بوم‌سازگان، بیشترین ذخیره کربن آلی را دارا بود. از طرف دیگر، این منطقه به دلیل مصون ماندن پوشش گیاهی از چرای شدید دام و وجود ساختمان مناسب خاک، قابلیت فرسایش‌پذیری کمتری نسبت به دیگر مناطق مورد بررسی دارا است. لازم به ذکر است مراتع متراکم مطالعه شده در این پژوهش بخشی از منطقه حفاظت شده تنگ صیاد می‌باشد و بنابراین چرای دام به صورت کنترل شده و در زمان مشخص انجام می‌شود. مطالعات نشان می‌دهد که در سطح جهانی، تنوع زیستی مراتع و عملکرد بوم‌سازگان به طور قابل توجهی کاهش یافته است که منجر به کاهش ذخایر کربن آلی شده است. عامل اصلی موثر بر ترسیب کربن در مراتع، چرای دام است. چرای دام مهم‌ترین فعالیت انسانی است که بر خاک و پوشش گیاهی مرتع موثر است که با تغییر ترکیب گونه‌ای جامعه بر محتوای کربن نیز تأثیر می‌گذارد (Yu et al., 2023). همانطور که بیان شد چرای بیش از حد دام باعث از بین رفتن کربن آلی می‌شود. چرای دام از یک طرف باعث کاهش بازگشت کربن از گیاهان به خاک شده و از طرفی باعث اختلال در خصوصیات فیزیکیوشیمیایی خاک و تسریع تنفس خاک می‌شود (Conant et al., 2017). یافته‌های سنائی^۱ و همکاران (۲۰۲۳) نیز نشان می‌دهد که ذخایر کربن در زیتوده گیاهی و خاک با افزایش شدت چرای دام، در مناطق وسیعی از مراتع خشک تا نیمه مرطوب کاهش می‌یابد.

تبدیل مراتع به اراضی کشاورزی در منطقه مورد مطالعه باعث کاهش ذخایر کربن آلی شده است. نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر با یافته‌های محققان بسیاری در خصوص اینکه تغییر کاربری اراضی مرتعی به کشاورزی تأثیر منفی بر مواد آلی دارد، در یک راستا قرار دارد (Mishra et al., 2020; Joneidi et al., 2014; Naghipour borj et al., 2012). البته، ذخیره کربن در کاربری کشاورزی ۳۱/۶۲ تن در هکتار به دست آمد که نسبت به اراضی بایر و مراتع کم تراکم بالاتر است. مطالعات، دلیل این میزان ذخیره کربن در اراضی کشاورزی را قرار گرفتن زمین‌های کشاورزی در شرایط مساعد، فاقد شیب و اضافه شدن کودهای آلی و غیرآلی به این اراضی بیان نموده‌اند. زمین کشاورزی یک بوم‌سازگان تبادل کربن نسبتاً فعال در بوم‌سازگان زمینی محسوب می‌شود. این اراضی بیشترین ارتباط را با فعالیت‌های انسانی دارند و یکی از عواملی هستند که نمی‌توان آن را برای تسریع گرمایش جهانی نادیده گرفت. در مقایسه با بوم‌سازگان‌های طبیعی مانند جنگل‌ها و مراتع، خاک زمین‌های کشاورزی نسبتاً CO₂ بیشتری آزاد می‌کند. اگرچه میزان جذب سالانه کربن در زمین‌های کشاورزی بسیار بالا است، اما مقدار زیادی کربن آلی به صورت محصولات کشاورزی و بقایای گیاهی مربوطه صادر می‌شود که به سرعت در جو آزاد می‌شود. زمین‌های کشاورزی مهم‌ترین عامل بالقوه در کاهش انتشار کربن از بوم‌سازگان‌های زمینی است. مطالعات نشان داده‌اند که اقدامات مدیریتی مناسب در اراضی کشاورزی می‌تواند ذخیره کربن خاک را افزایش داده و انتشار کربن خاک را کاهش دهد. به عنوان مثال، در این خصوص می‌توان به بهبود کوددهی، روش‌های آبیاری، کشت مخلوط، کاهش دفعات رهاسازی، تناوب زراعی معقول و انتخاب ارقام زراعی مناسب اشاره نمود (Zhu et al., 2021).

با توجه به سطح مراتع کشور، این اراضی نقش مهمی در ترسیب کربن دارا هستند و می‌توان بیان نمود که هزینه محیط زیستی تغییر

¹ Sanaei

کاربری/پوشش زمین در جهت منافع اقتصادی کوتاه‌مدت بهره‌برداری از سرزمین با کاهش عرضه خدمت اکوسیستمی ترسیب و ذخیره کربن همراه بوده است (Fadaei et al., 2020). بنابراین با توجه به ظرفیت بالای مراتع از منظر ترسیب کربن، حفظ اراضی مرتعی با وضعیت خوب و احیاء مراتع فقیر منطقه، گزینه مناسبی جهت کاهش انتشار CO₂ و اثرات تغییر اقلیم جهانی است. در منطقه مورد مطالعه ما، به دلیل افزایش چشمگیر تغییر کاربری طی چند دهه گذشته، اکنون باید تلاش‌ها بر احیای مراتع کم تراکم و اراضی بایر متمرکز شود. احیای مراتع منطقه می‌تواند جذب CO₂ را افزایش داده و در عین حال خدمات فراوان دیگری همچون حفظ تنوع زیستی را به همراه داشته باشد. در مجموع با اجرای سیاست‌های مناسب در منطقه مورد مطالعه برای جلوگیری یا به حداقل رساندن تبدیل کاربری‌های زمینی با ظرفیت ذخیره‌سازی کربن بالاتر به کاربری‌هایی که ظرفیت ذخیره‌سازی کربن کمتری دارند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار خواهد بود.

References

- Asadi, H., & Gorji, M. (2022). Challenges and Limitations of Soil and Land Resources in Iran. *Land Management Journal*, 10(1), 111-134. (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. (In Persian)
- Gaillard, M. J., Morrison, K. D., Madella, M., & Whitehouse, N. (2018). Past land-use and land-cover change: The challenge of quantification at the subcontinental to global scales. *Past Global Changes Magazine*, 26(1), 3.
- Conant, R. T., Cerri, C. E., Osborne, B. B., & Paustian, K. (2017). Grassland management impacts on soil carbon stocks: a new synthesis. *Ecological Applications*, 27(2), 662-668.
- Guo, J., Guo, Y., Chai, Y., Liu, X., & Yue, M. (2021). Shrubland biomass and root-shoot allocation along a climate gradient in China. *Plant Ecology and Evolution*, 154(1), 5-14.
- Hope, C. (2011). *The social cost of CO₂ from the PAGE09 model*. Economics discussion paper, (2011-39).
- Hu, Y., Zhang, Q., Hu, S., Xiao, G., Chen, X., Wang, J., ... & Han, L. (2022). Research progress and prospects of ecosystem carbon sequestration under climate change (1992–2022). *Ecological Indicators*, 145, 109656.
- Japelaghi, M., Hajian, F., Gholamalifard, M., Pradhan, B., Maulud, K. N. A., & Park, H. J. (2022). Modelling the impact of land cover changes on carbon storage and sequestration in the central zagros region, Iran using ecosystem services approach. *Land*, 11(3), 423.
- Joneidi, H., Nazari, Z., Karami, P., & Gholinejad, B. (2014). The impact of Rangelands conversion to dry-farming on the loss of organic carbon and nitrogen of soil in the vicinity of Sanandaj. *Environmental Erosion Research*, 3(15), 19-32. (In Persian)
- Kohestani, N., Rastgar, S., Heydari, G., Jouibary, S. S., & Amirnejad, H. (2023). Spatiotemporal modeling of the value of carbon sequestration under changing land use/land cover using InVEST model: a case study of Nour-rud Watershed, Northern Iran. *Environment, Development and Sustainability*, 1-29.
- Li, H., Wang C, Zhong, C., Su, A., Xiong, C., Wang, J., & Liu, J. (2017). Mapping Urban Bare Land Automatically from Landsat Imagery with a Simple Index. *Remote Sensing*, 9(3):249.
- Lü, Y., Ma, Z., Zhao, Z., Sun, F., & Fu, B. (2014). Effects of land use change on soil carbon storage and water consumption in an oasis-desert ecotone. *Environmental management*, 53, 1066-1076.
- Ma, X., & Wang, Z. (2015). Progress in the study on the impact of land-use change on regional carbon sources and sinks. *Acta Ecologica Sinica*, 35(17), 5898-5907.
- Mahdavi, A., Rezavinia, Z., Bazgir, M., & Rostaminia, M. (2022). The Effect of Land use Changes on Soil Quality Indicators and Carbon Sequestration in Semi-arid Areas. *Desert Ecosystem Engineering*, 8(22), 101-113. (In Persian)
- Mishra, P. K., Rai, A., & Rai, S. C. (2020). Land use and land cover change detection using geospatial techniques in the Sikkim Himalaya, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 23(2), 133-143.
- Nafar, F., Ebrahimi, A., & Naghipour, A. A. (2021). Land Cover change detection and prediction in Sefiddasht-Borujen basin using Ca-Markov. *Desert Management*, 8(16), 111-124. (In Persian)

- Naghipour Borj, A. A., Haidarian Aghakhani, M., & Nasri, M. (2012). An investigation of carbon sequestration and plant biomass in modified rangeland communities (Case study: Sisab rangelands of Bojnord). *Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi)*, 94, 19-26. (In Persian)
- Ostle, N. J., Levy, P. E., Evans, C. D., & Smith, P. (2009). UK land use and soil carbon sequestration. *Land use policy*, 26, S274-S283.
- Pache, R. G., Abrudan, I. V., & Niță, M. D. (2021). Economic valuation of carbon storage and sequestration in Retezat National Park, Romania. *Forests*, 12(1), 43.
- Pongratz, J., Reick, C., Raddatz, T., & Claussen, M. (2008). A reconstruction of global agricultural areas and land cover for the last millennium. *Global Biogeochemical Cycles*, 22(3).
- Provencher, L., Byer, S., Frid, L., Senthivasan, S., Badik, K. J., & Szabo, K. (2023). Carbon Sequestration in Degraded Intermountain West Rangelands, United States. *Rangeland Ecology & Management*, 90, 22-34.
- Sanaei, A., Sayer, E. J., Yuan, Z., Saiz, H., Delgado-Baquerizo, M., Sadeghinia, M., ... & Ali, A. (2023). Grazing intensity alters the plant diversity–ecosystem carbon storage relationship in rangelands across topographic and climatic gradients. *Functional Ecology*, 37(3), 703-718.
- Siwar, Ch., Chinande, A.A., Mohamad Ismail, Sh. & Isahak A. (2016). Economic valuation of soil carbon sequestration services in Malasia Forest sector: A review of possible approaches. *Journal of Sustainability Science and Management*, 11(1), 14–28.
- Soltani, S., Yaghmaei, L., Khodagholi, M., & Saboohi, R. (2011). Bioclimatic classification of Chahar-Mahal & Bakhtiari province using multivariate statistical methods. *JWSS-Isfahan University of Technology*, 14(54), 53-68. (In Persian)
- Stern, N. H. (2007). *The economics of climate change: the Stern review*. Cambridge University press.
- Tadiello, T., Perego, A., Valkama, E., Schillaci, C., & Acutis, M. (2022). Computation of total soil organic carbon stock and its standard deviation from layered soils. *MethodsX*, 9, 101662.
- Tahmasebi, P., Ebrahimi, A., & Yarali, N. (2012). The most appropriate quadrature size and shape for determining some characteristics of a semi-steppic rangeland. *Journal of Range and Watershed Management*, 65(2), 203-216. (In Persian)
- Thomey, M. L., Ford, P. L., Reeves, M. C., Finch, D. M., Litvak, M. E., & Collins, S. L. (2014). Climate change impacts on future carbon stores and management of warm deserts of the United States. *Rangelands*, 36(1), 16-24.
- Wasige, J. E., Groen, T. A., Rwamukwaya, B. M., Tumwesigye, W., Smaling, E. M. A., & Jetten, V. (2014). Contemporary land use/land cover types determine soil organic carbon stocks in south-west Rwanda. *Nutrient cycling in agroecosystems*, 100, 19-33.
- Yu, H., & Song, W. (2023). Research Progress on the Impact of Land Use Change on Soil Carbon Sequestration. *Land*, 12(1), 213.
- Zarinkafsh, M. (1993). *Applied Soil Science, Soil Survey and Quantity Analysis of Soil-Water-Plant*. Tehran University Publications, 342pp. (In Persian)
- Zeebe, R. E., Ridgwell, A., & Zachos, J. C. (2016). Anthropogenic carbon release rate unprecedented during the past 66 million years. *Nature Geoscience*, 9(4), 325-329.
- Zhu, G., Qiu, D., Zhang, Z., Sang, L., Liu, Y., Wang, L., ... & Wan, Q. (2021). Land-use changes lead to a decrease in carbon storage in arid region, China. *Ecological Indicators*, 127, 107770.