Research Article

Iranian Journal of Range and Desert Research
Vol. 31, No. 4, Page 347- 362 (2024)

DOI: 10.22092/ijrdr.2025.132714

Comparison of soil carbon sequestration of several plant species in the desert areas of South Khorasan

M. Rostampour[1*], R. Yari[2], S. M. Mirmiran [3]

1*-Corresponding author, Associate Professor, Department of Rangeland and Watershed Management and Research Group of Drought and Climate Change, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Birjand, Birjand, Iran, Email: rostampour@birjand.ac.ir
2- Assistant Professor, Khorasan-e-razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Mashhad, Iran.
3. Assistant Professor, Khorasan-e-razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Mashhad, Iran.

Received:05/18/2024 Accepted: 12/02/2024

Abstract

Background and objectives

Desert ecosystems usually receive less attention in carbon sequestration studies due to their low vegetation cover and limited carbon sequestration. However, since more than a third of the earth's surface covers 55% of the total area of Iran and more than 50% of the area of South Khorasan province, so they can be a significant carbon storage place. This research was conducted with the aim of investigating the carbon sequestration by six desert species: *Calligonum polygonoides, Seidlitzia rosmarinus, Artemisia sieberi, Stipagrostis pennata, Salsoa richteri* and *Zygophyllum eurypterum* in the rangeland of Ferdows.

Methodology

In this Study, 30 plots of four square meters were randomly established in *Calligonum polygonoides*, *Seidlitzia rosmarinus*, *Zygophyllum eurypterum* and *Salsoa richteri* and in *Artemisia sieberi* and *Stipagrostis pennata* habitats, 30 plots of two square meters were randomly established and the canopy percentage and plant density were estimated in each plot. Vegetation cover and plant density were estimated in each plot. In the same plots, the soil profile was dredged down to a depth of 70 cm under the canopy, and the soil sample was taken and transported to the laboratory. By estimating the percentage of soil organic carbon (using the Walkley-Black method) and bulk density of the soils (using the paraffin method), the amount of soil carbon sequestration was finally measured. The data was used in the form of a completely random design, and Tukey's test was used to compare the means at the five percent probability level. The Shapiro-Wilk and Bartlett tests were used to check whether residual value variances were normal and homogeneous. The data obtained from the results of the experiments were analyzed using R software.

Results

In general, the results showed that the highest amount of soil organic carbon was

Copyright: © 2024 by the authors. This is an open access, peer-reviewed article published by Research Institute of Forests and Rangelands (http://ijrdr.areeo.ac.ir/) and distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License(http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

observed in *Salsoa richteri* and *Artemisia sieberi* habitats and the lowest amount was observed in *Seidlitzia rosmarinus* habitat. The highest amount of bulk density was observed in *Calligonum polygonoides* habitats. The results of the analysis of variance showed that the effect of the habitat on soil carbon sequestration is significant (P<0.01) and the amount of this effect is moderate to high (ηp^2 between 0.10 and 0.47). The highest and lowest amount of carbon sequestration was observed in *Zygophyllum eurypterum* (28.66 tons per hectare) and *Seidlitzia rosmarinus* (12.80 tons per hectare habitats, respectively. Also, in terms of the percentage of vegetation, a significant difference was observed between habitats. The highest and lowest of vegetation cover percentage was obtained in *Zygophyllum eurypteru* (36.84%) and *Seidlitzia rosmarinus* (10.15%) habitats, respectively. *Seidlitzia rosmarinus* habitat had the lowest amount of soil organic carbon and also the highest percentage of vegetation, and compared to other plants, it produced the lowest amount of carbon sequestration. The highest and lowest plant density was obtained in the *Stipagrostis pennata* and *Zygophyllum eurypterum* habitats, respectively. Despite the high organic carbon in the soil of its habitat, *Salsoa richteri* plant also had low carbon sequestration due to the low density and percentage of vegetation cover. The results of correlation analysis show that there is a positive and significant relationship between vegetation percentage and carbon sequestration (P<0.01), but no significant relationship was observed between plant density and carbon sequestration (P>0.05).

Conclusion

The amount of carbon sequestration was different depending on the percentage of vegetation and there was a positive and significant relationship between the percentage of vegetation and the amount of carbon sequestration, while no relationship was observed between the amount of vegetation density and carbon sequestration. So, in this study, *Zygophyllum eurypterum* habitat produced the highest percentage of vegetation cover and carbon sequestration, and *Seidlitzia rosmarinus* habitat had the lowest percentage of vegetation cover and carbon sequestration. Therefore, the vegetation percentage parameter can be used to estimate carbon sequestration. In other words, in the habitats that have bushy and shrubby plants, it is possible to estimate the amount of carbon sequestration based on the canopy percentage.

Keywords: Arid regions, carbon storage, sustainable development, vegetation cover.

مقایسه میزان ترسیب کربن خاک چند گونه گیاهی در مناطق بیابانی خراسان جنوبی

مسلم رستم‌پور[۱*]، رضا یاری [۲] و سیده‌محبوبه میرمیران [۳]

۱*-نویسنده مسئول، دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری و عضو گروه پژوهشی خشکسالی و تغییر اقلیم، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران، پست‌الکترونیک: rostampour@birjand.ac.ir

۲- استادیار پژوهشی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

۳- استادیار پژوهشی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۱۲

چکیده

سابقه و هدف

اگرچه اکوسیستم‌های بیابانی به دلیل پوشش گیاهی کم و کربن محدود، معمولاً در بررسی‌های ترسیب کربن کمتر مورد توجه قرار می‌گیرند اما به‌دلیل اینکه بیش از یک‌سوم اراضی سطح زمین، ۵۵ درصد از کل مساحت ایران و بیش از ۵۰ درصد از مساحت استان خراسان جنوبی را پوشش می‌دهند، بنابراین می‌توانند محل ذخیره کربن قابل توجهی باشند. این پژوهش با هدف بررسی میزان ترسیب کربن توسط شش گونه بیابانی *Calligonum polygonoides*، *Seidlitzia rosmarinus*، *Artemisia sieberi*، *Stipagrostis pennata*، *Salsoa richteri* و *Zygophyllum eurypterum* در مراتع شهرستان فردوس انجام شد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، گونه غالب شش رویشگاه مورد مطالعه شناسایی شد و نمونه‌برداری زیر تاج پوشش گونه غالب انجام گردید. در رویشگاه *Calligonum polygonoides*، *Seidlitzia rosmarinus*، *Zygophyllum eurypterum* و *Salsoa richteri* ۳۰ پلات چهار متر مربعی و در رویشگاه‌های *Artemisia sieberi* و *Stipagrostis pennata*، ۳۰ پلات دو متر مربعی به‌طور تصادفی مستقر شدند و درصد تاج پوشش و تراکم گیاهی در هر پلات برآورد شد. سپس در همان پلات‌ها، در زیر تاج پوشش گونه غالب، پروفیل خاک تا عمق ۷۰ سانتی‌متر حفر شد و نمونه خاک برداشت شده و به آزمایشگاه منتقل گردید. با برآورد درصد کربن آلی خاک (روش والکلی بلک) و وزن مخصوص ظاهری خاک (به روش کلوخه)، در نهایت میزان ترسیب کربن خاک اندازه‌گیری شد. داده‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد. نرمالیتی و همگنی واریانس‌های مقادیر باقیمانده توسط آزمون‌های شاپیرو-ویلک و بارتلت بررسی شد. داده‌های حاصل از نتایج آزمایش‌ها با استفاده از نرم‌افزار R مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت.

نتایج

به‌طورکلی نتایج نشان داد که بیشترین میزان کربن آلی خاک در رویشگاه‌های جفنه و درمنه و کمترین میزان آن نیز در رویشگاه اشنان مشاهده شد. بیشترین وزن مخصوص ظاهری خاک در رویشگاه اسکنبیل وجود داشت. نتایج تحلیل واریانس نشان داد که اثر رویشگاه بر ترسیب کربن خاک معنی‌دار ($P<$ ۰/۰۱) و میزان این تأثیر متوسط تا زیاد است (η_p^2 بین ۰/۱۰ تا ۰/۴۷). بیشترین و کمترین میزان ترسیب کربن به ترتیب در رویشگاه‌های قیچ (۲۸/۶۶ تن در هکتار) و اشنان (۱۲/۸۰ تن در هکتار) مشاهده شد. همچنین از لحاظ درصد پوشش گیاهی نیز بین رویشگاه‌ها تفاوت معنی‌داری مشاهده شد ($P<$ ۰/۰۱). بیشترین و کمترین میزان درصد پوشش گیاهی نیز به ترتیب در رویشگاه‌های قیچ (۳۶/۸۴ درصد) و اشنان (۱۰/۱۵ درصد) به‌دست آمد. رویشگاه اشنان از کمترین میزان کربن آلی خاک و درصد پوشش گیاهی کمتر برخوردار بود و در مقایسه با سایر گیاهان، کمترین میزان ترسیب کربن را تولید نمود. گیاه جفنه نیز با وجود بالا بودن کربن آلی در خاک رویشگاه خود اما به دلیل پایین بودن تراکم و درصد تاج پوشش گیاهی ترسیب کربن کمی داشت. نتایج تحلیل همبستگی نشان می‌دهد که بین درصد پوشش گیاهی و ترسیب کربن رابطه مثبت و معنی‌داری وجود دارد ($P<$ ۰/۰۱)، اما

بین تراکم گیاهی و ترسیب کربن رابطه معنی‌داری مشاهده نشد ($P>$ ۰/۰۵).

نتیجه‌گیری

میزان ترسیب کربن با توجه به درصد پوشش گیاهی متفاوت بوده و بین درصد پوشش گیاهی با میزان ترسیب کربن رابطه مثبت و معناداری وجود داشت، در صورتی که بین میزان تراکم گیاهی و ترسیب کربن رابطه معنی‌داری مشاهده نشد. به‌طوری‌که در این بررسی رویشگاه قیچ دارای بیشترین درصد تاج پوشش گیاهی و ترسیب کربن بوده و رویشگاه اشنان از کمترین درصد پوشش گیاهی و ترسیب کربن برخوردار است. بنابراین می‌توان از پارامتر درصد پوشش گیاهی برای برآورد ترسیب کربن استفاده نمود. به‌عبارتی، رویشگاه‌هایی که گیاهان بوته‌ای و درختچه‌ای دارند می‌توان از روی درصد تاج پوشش، میزان ترسیب کربن را برآورد کرد.

واژه‌های کلیدی: پوشش گیاهی، توسعه پایدار، ذخیره کربن، منطقه خشک.

مقدمه

در قرن حاضر، چندین موضوع عمده محیط‌زیستی شامل تخریب زمین و بیابان‌زایی، تهدید تنوع زیستی، تضعیف منابع آب، تخریب جنگل‌ها و مراتع و بالاخره، تغییر اقلیم از چالش‌های مهم در توسعه پایدار و فقرزدایی به‌شمار می‌روند (Asgari *et al.*, 2021). عامل اصلی تغییر اقلیم، افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای و دی‌اکسیدکربن در اتمسفر است (Su *et al.*, 2020) و از مهمترین منابع ذخیره کربن جو در جهان، خاک، زیست توده گیاهی و اکوسیستم‌های آبی است (Brooks, 2020). خاک‌ها با ذخیره دی‌اکسیدکربن، در حفظ توازن چرخه جهانی کربن، نقش عمده‌ای را ایفا می‌کنند (Komer, 2003). خاک به‌عنوان منبع مهم کربن اتمسفری، می‌تواند با مهار دی‌اکسیدکربن، از پدیده افزایش گازهای گلخانه‌ای جلوگیری کند. فرایندهایی که دینامیک کربن آلی و کربن معدنی خاک متأثر از آنها است، بسیار متفاوت بوده و بستگی زیادی به شرایط زمین و اقلیم منطقه، نوع عملیات مدیریتی خاک و سیستم‌های کشاورزی دارد. ورود و خروج کربن تحت تأثیر عوامل زنده و غیر زنده مانند اقلیم، پوشش گیاهی، مدیریت اکوسیستم و مهمتر از آن ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک قرار دارد (Jafari and Rostampour, 2020). در برخی مطالعات کربن خام به دو جزء پایدار و ناپایدار تقسیم می‌شود. منبع کربن ناپایدار دارای زمان ماندگاری چندسال تا چند دهه بوده و از تغییرات عوامل محیطی در دوره‌های کوتاه‌مدت تأثیر می‌پذیرد. در صورتی که منبع پایدار کربن دارای زمان ماندگاری صدها تا هزاران سال بوده و موجب می‌شود تا خاک بتواند به‌عنوان یک مخزن ذخیره کربن عمل کند. اجزای کربن آلی خاک شامل بقایای گیاهی سطحی و دفن شده، ماده آلی ریز (مواد آلی نیمه تجزیه شده با اندازه کوچک‌تر از دو میلی‌متر و بزرگتر از ۵۰ میکرومتر)، هوموس و کربن آلی مقاوم (مواد زغالی که از سوختن ماده آلی تولید می‌شوند) می‌باشد (Stockmann *et al.*, 2011).

ترسیب کربن به‌عنوان توانایی درختان و سایر گیاهان و خاک برای انتقال دی‌اکسیدکربن از اتمسفر و ذخیره آن در خاک و گیاه اشاره می‌کند که موجب بهبود کیفیت هوا و آب، خاک، حاصلخیزی خاک و تولید، کاهش فرسایش خاک، افزایش مقدار آب و عناصر غذایی خاک و تأمین زیستگاه حیوانات وحشی می‌شود (Surya Prabha *et al.*, 2020). ترسیب کربن به روش‌های مختلف شیمیایی، تکنیک‌های جذب و ذخیره‌سازی (جذب، انتقال، ذخیره ژئولوژیکی، ذخیره اقیانوسی، کربناسیون معدنی، استفاده صنعتی از دی‌اکسیدکربن) و تکنیک‌های طبیعی بر پایه فتوسنتز طبیعی انجام می‌شود (Lal, 2009). جایگاه گیاهان در ترسیب کربن به سه مؤلفه اصلی تقسیم‌بندی می‌شود: ۱- ذخیره کربن گیاهی، تولید خالص اکوسیستم و بایوم، ۲- مسیر ترسیب بیولوژیکی کربن (بیوماس گیاهی، زغال زیستی، فیتولیت‌ها، دفن چوب و محصولات زیست‌فناوری) و ۳- رویکردهای مهندسی ژنتیک برای افزایش ترسیب گیاهی (افزایش دادن

فتوسنتز، افزایش اختصاص کربن به ریشه‌ها، افزایش تحمل به تنش‌ها، افزایش کیفیت بایومس و تولید گیاهان چندساله پرمحصول برای کشاورزی) (Jansson *et al.*, 2010).

شرایط محیطی سخت، مانند دمای بالا، بارندگی کم، توزیع فصلی نابرابر بارش و فرسایش شدید خاک، منجر به حاصلخیزی ضعیف خاک، محتوای کم مواد آلی خاک و بهره‌وری پایین پوشش گیاهی در اکوسیستم‌های بیابانی شده است. بنابراین، عموماً اعتقاد بر این است که ظرفیت‌ها و توانمندی ترسیب کربن آنها به‌دلیل پوشش گیاهی کم و ظرفیت محدود جذب کربن بسیار ضعیف است. با این حال، این مناطق عمدتاً از درختچه‌ها و بوته‌های خشکی‌پسند تشکیل شده‌اند، تقریباً ۳۵ درصد از سطح زمین را اشغال می‌کنند و جذب کربن کل آنها هنوز قابل توجه بوده و نقش مهمی در چرخه جهانی کربن ایفا می‌نمایند (Liu *et al.*, 2022; Xiaohong *et al.*, 2023). در مناطق خشک و بیابانی، علاوه بر اهمیت سنتز ترکیبات کربن آلی، بقاء و دوام کربن در اجزای گیاهی و خاک نیز حائز اهمیت است (Attaeian *et al.*, 2023). اکوسیستم‌های مرتعی و جنگلی و رویشگاه‌های گونه‌های مرتعی با توان و ظرفیت متفاوت باعث ذخیره کربن آلی و چرخه انرژی در خاک رویشگاه و زیست توده اندام‌های گیاهی می‌شوند (John, 2022). مدیریت زمین یکی از فاکتورهای مهم و تأثیرگذار بر محافظت و ترسیب کربن در اکوسیستم‌های طبیعی محسوب می‌شود. حفظ اکوسیستم‌ها به صورت طبیعی سبب پایداری پوشش گیاهی و خاک خواهد شد.

در بررسی Dianati Tilaki و همکاران (۲۰۲۲) میزان کل ترسیب کربن در مراتع قرق و مراتع تحت چرای دام بررسی شد و نتایج نشان داد که میزان ترسیب کربن در مراتع قرق بیشتر است. در این راستا، بیشترین میزان ترسیب کربن توسط گونه باتلاقی شور (*Halocnemum strobilaceum*) و به میزان ۱۷/۴ درصد در اراضی قرق و ۱۱/۷۴ درصد در اراضی چرا مشاهده شد.

مطالعه اثر تاغکاری (*Haloxylon ammodendron*) و پسته‌کاری (*Pistacia vera* L.) بر تغییرات ذخایر کربن و ازت درمنه‌زارهای استان سمنان نشان داد که پسته‌کاری منجر به کاهش معنی‌دار ذخایر کربن به میزان ۱۷ درصد نسبت به درمنه‌زار مجاور گردید. اما در ایوانکی تاغکاری منجر به افزایش ذخایر کربن و ازت خاک به‌ترتیب به مقدار ۱۱۰ و ۴۱ درصد نسبت به درمنه‌زار مجاور شده است. به‌طورکلی، تغییر کاربری زمین از درمنه‌زار به جنگل‌کاری با گونه سیاه تاغ در ایوانکی منجر به افزایش ذخایر کربن و ازت اکوسیستم به‌ترتیب به مقدار ۱۲۹ و ۴۱ درصد شد، ولی در قوشه تفاوت محسوسی در ذخیره کربن و ازت در منطقه پسته‌کاری شده و درمنه‌زار مجاور آن مشاهده نشد (Joneidi *et al.*, 2012). بررسی توان ترسیب کربن سه گونه آگروپایرون (*Agropyron elongatum*) ، استیپا (*Stipa barbata*) و درمنه کوهی (*Artemisia aucheri*) نشان داد که گونه درمنه کوهی نسبت به دو گونه دیگر، بیشترین توان ترسیب کربن را در منطقه دارد (Jafarian *et al.*, 2012).

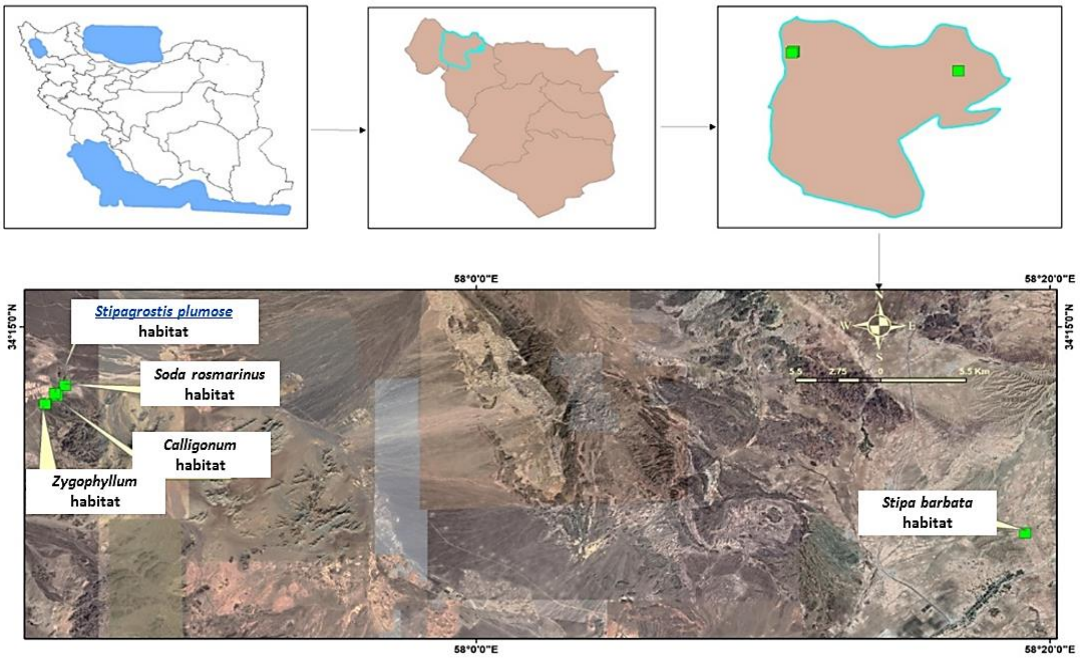
ارزیابی جنبه‌های اقتصادی هزینه ترسیب کربن خاک توسط دو گونه *Atriplex lentiformis* و *Agropyron elongatum* در دو سایت مرتعی کاشت شده در گنبد کاووس بیانگر این است که احیای مراتع مورد مطالعه تحت کاشت آتریپلکس و آگروپایرون در هر هکتار از خاک عرصه به ترتیب در حدود ۲۱/۹۷۴ و ۱۲/۸۷۲ تن کربن ذخیره کرده است (Sheidai Karkaj *et al.*, 2013). در مطالعه اثر تغییرات پوشش گیاهی بر میزان ترسیب کربن مراتع حوزه آبخیز خانقاه سرخ ارومیه، تیپ‌های گیاهی (*Pteropyrum aucheri-Astragalus microcephulus*)، (*Astragalous microcephalus- Acanthophyllum microcephalum*) و (*Pteropyrum aucheri- Prangus uloptera*) به ترتیب ۹۶/۱۰، ۷۳/۸۴ و ۵۲/۸۵ تن در هکتار، کربن آلی را ترسیب کرده‌اند (Bahrami *et al.*, 2013). میزان ترسیب کربن در جنگل‌های تاغ و علفزارهای بیابانی جنوب دریاچه نمک (کویر مرنجاب) بررسی شد. مقایسه کربن ترسیب شده در اندام‌های گونه تاغ نشان داد که بیشترین مقدار کربن ترسیب شده در لاشبرگ و کمترین مقدار در ساقه فرعی بود. همچنین مقایسه دو گونه نشان داد که ترسیب کربن در گونه تاغ (*Haloxylon aphyllum*) بیشتر از گونه سوف (*Stipagrostis plumosa*) بوده است (Ahmadi *et al.*, 2015). Mofidi Chelan و همکاران (۲۰۲۱) در تحقیقی به برآورد ارزش اقتصادی ترسیب

کربن در رویشگاه‌های شوره‌زار اینچه‌برون استان گلستان پرداختند. نتایج نشان داد که در سه رویشگاه گونه‌های هالوفیت مورد بررسی از نظر میزان ذخیره کربن آلی در بین زی‌توده گونه‌ها و خاک اختلاف معناداری وجود دارد و بیشترین ذخیره کربن در خاک رویشگاه است. ترسیب کربن به‌عنوان یک راهکار اساسی در کاهش گازهای گلخانه‌ای، افزایش ماده آلی و حاصل‌خیزی خاک، به‌تبع آن افزایش کیفیت محیط‌زیست و تنوع زیستی در راستای پایداری اکوسیستم‌های طبیعی به‌ویژه در مناطق خشک و بیابانی محسوب می‌شود (Alvarez *et al.*, 2021). به‌منظور بررسی اهمیت و نقش ترسیب بیولوژیکی کربن در خاک رویشگاه‌های گونه‌های مناطق خشک و بیابانی به‌عنوان کاهنده گازهای گلخانه‌ای، تحقیقاتی به صورت میدانی و آزمایشگاهی انجام شد. با توجه به این مطلب که ارتباط ترسیب کربن با خصوصیات گیاهی به‌ویژه در مناطق بیابانی، کمتر مورد بررسی قرار گرفته است؛ بنابراین هدف از این تحقیق، بررسی ذخیره کربن خاک رویشگاه‌های گونه‌های بیابانی در شهرستان فردوس استان خراسان جنوبی به‌منظور تعیین گونه‌هایی با ظرفیت و توانایی بیشتر ترسیب کربن در برنامه‌های مرتع‌کاری است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در مراتع غرب شهرستان فردوس در بهار ۱۴۰۰ انجام شد. شهرستان فردوس در شمال‌غربی استان خراسان جنوبی بین ۳۳ درجه و ۲۱ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۱ دقیقه عرض شمالی و ۵۷ درجه و ۳۳ دقیقه تا ۵۸ درجه و ۲۸ دقیقه طول شرقی واقع شده است. این شهرستان از شمال با شهرستان بردسکن، از شرق با شهرستان گناباد، از جنوب با شهرستان سرایان و از غرب با شهرستان طبس و بشرویه محدود می‌شود. شهرستان فردوس بین دو رشته کوه کم ارتفاع کلات و کوه سیاه و کوه زول در شرق و کوه شتری طبس در مغرب واقع شده است. این ناحیه به علت مجاورت با کویر مرکزی و لوت دارای آب و هوایی صحرایی و خشک است و به دو بخش آب و هوای کوهستانی (شمالی) و دشت (جنوبی) تفکیک می‌شود (شکل ۱). اقلیم منطقه براساس شاخص دومارتن خشک و طول دوره خشکی در منطقه ۵ ماه می‌باشد (Fatehi, 2019; Khademi, 2020).



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و مراتع شهرستان فردوس

Figure 1- The location of the studied area in Iran and the Rangelands of Ferdows

نمونه‌برداری از پوشش گیاهی و خاک

این پژوهش در رویشگاه شش گونه بیابانی *Seidlitzia rosmarinus*، *Calligonum polygonoides*، *Artemisia sieberi*، *Stipagrostis pennata*، *Salsoa richteri* و *Zygophyllum eurypterum* مطالعه شد. به عبارتی، این پژوهش در شش رویشگاه که هر رویشگاه معرف یک جامعه گیاهی بود، انجام شده است. در رویشگاه *Seidlitzia rosmarinus*، *Calligonum polygonoides* و *Zygophyllum eurypterum*، *Salsoa richteri* ۳۰ پلات چهار مترمربعی و در رویشگاه‌های *Artemisia sieberi* و *Stipagrostis pennata* ۳۰ پلات دو متر مربعی به‌طور تصادفی مستقر شدند؛ به عبارتی برای گیاهان درختچه‌ای پلات‌های چهار مترمربعی و علفی و بوته‌ای پلات‌های دو مترمربعی در نظر گرفته شد و بعد درصد تاج پوشش و تراکم گیاهی در هر پلات برآورد شد (Fatehi, 2019). سپس از هر گونه ۱۰ پایه به صورتی تصادفی انتخاب و در همان پلات‌ها، در زیر تاج پوشش گیاه، پروفیل خاک تا عمق ۷۰ سانتی‌متر حفر گردید و نمونه خاک برداشت شده و به آزمایشگاه خاک‌شناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند منتقل شد. در کل برای هر رویشگاه، ۱۰ نمونه خاک و در مجموع ۶۰ نمونه خاک برداشت گردید. برای اندازه‌گیری درصد کربن آلی خاک از روش والکلی بلک استفاده شد. سپس با داشتن وزن مخصوص ظاهری خاک (به روش کلوخه)، میزان ترسیب کربن آلی خاک با استفاده از رابطه ۱ ارزیابی شد.

$$Cc=10000\times Bd\times E\times \%OC \qquad \text{رابطه ۱}$$

که در آن:

Cc: میزان کربن ترسیب شده به ازای کیلوگرم بر هکتار، OC: درصد کربن آلی خاک، BD: وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتیمتر مکعب) و E: عمق نمونه خاک به سانتیمتر می‌باشد.

تجزیه‌وتحلیل آماری

داده‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی مورد تجزیه‌وتحلیل آماری قرار گرفت. به منظور مقایسه میانگین‌های کربن در خاک زیر اشکوب گونه‌های مورد مطالعه، از آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد. پس از تحلیل واریانس، نرمالیتی و همگنی واریانس‌های مقادیر باقیمانده توسط آزمون‌های شاپیرو–ویلک و بارتلت بررسی شد. به منظور تعیین اندازه اثر از مربع اتای جزئی (رابطه ۲) استفاده شد. به‌عنوان راهنمای کلی مقادیر ۰/۰۱، ۰/۰۶ و ۰/۱۴ به ترتیب اثر کوچک، متوسط و بزرگ را نشان می‌دهد.

$$\eta_p^2 = \frac{SS_{effect}}{SS_{effect} + SS_{error}} \qquad \text{رابطه ۲}$$

که در آن η_p^2، SS_{effect} و SS_{error} به ترتیب مربع اتای جزئی، مجموع مربعات تیمار و مجموع مربعات خطاست.

کلیه تحلیل‌های آماری توسط نرم‌افزار R انجام شد.

نتایج

نتایج نشان می‌دهد که گونه‌های گیاهی مورد مطالعه بین ۱۲/۸۰ تا ۲۸/۶۶ تن کربن در هر هکتار خاک ترسیب می‌کنند (شکل ۱). بیشترین ضریب تغییرات مربوط به تراکم گیاهی (۵۵/۲۸ درصد) و کمترین ضریب تغییرات مربوط به درصد تاج پوشش گیاهی (۲۵/۵۹) است (جدول ۲). به منظور بررسی اثر رویشگاه بر خصوصیات مورد مطالعه از آزمون تحلیل واریانس استفاده شد، پس از تحلیل واریانس، نتایج آزمون نرمال بودن باقیمانده‌ها و همگنی واریانس‌های خصوصیات مورد مطالعه در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که بجز داده‌های پوشش گیاهی ($P > ۰/۰۵$)، نرمالیتی و همگنی واریانس ترسیب کربن و تراکم گیاهی تأیید نمی‌شود ($P < ۰/۰۱$)، ازاین‌رو از مقادیر تبدیل شده لگاریتمی استفاده شد.

جدول ۱- مقادیر کربن آلی و وزن مخصوص ظاهری خاک گونه‌های مورد مطالعه

Table 1- Organic carbon and bulk density of the soil of the studied species

Species	Soil depth (cm)	Bulk density (gr/cm^3)	Organic carbon (%)
Artemisia sieberi	0-70	1.44	0.32
Salsoa richteri	0-70	1.53	0.42
Zygophyllum eurypterum	0-70	1.57	0.16
Calligonum polygonoides	0-70	1.78	0.12
Seidlitzia rosmarinus	0-70	1.59	0.12
Stipagrostis pennata	0-70	1.75	0.14

جدول ۲- نتایج آزمون‌های نرمالیتی و همگنی واریانس‌های مقادیر باقیمانده

Table 2- Results of tests for normality of residuals and homogeneity of variances.

Properties	CV	Homogeneity of Variances		Normality of Residuals	
		p.value	K square	p.value	W
Carbon sequestration	36.87	0.00**	29.90	0.00**	0.81
vegetation cover	25.59	0.03*	6.69	0.48	0.97
Plane density	55.28	0.005**	10.56	0.05*	0.93

**: significant at one percent level/ *: significant at five percent levels

نتایج تحلیل واریانس نشان می‌دهد که اثر رویشگاه بر ترسیب کربن خاک معنی‌دار است ($P < ۰/۰۱$) و میزان این تأثیر متوسط تا زیاد است (η_p^2 بین ۰/۱۰ تا ۰/۴۷) (جدول ۳).

جدول ۳- نتایج تحلیل واریانس (ANOVA) اثر رویشگاه بر ترسیب کربن

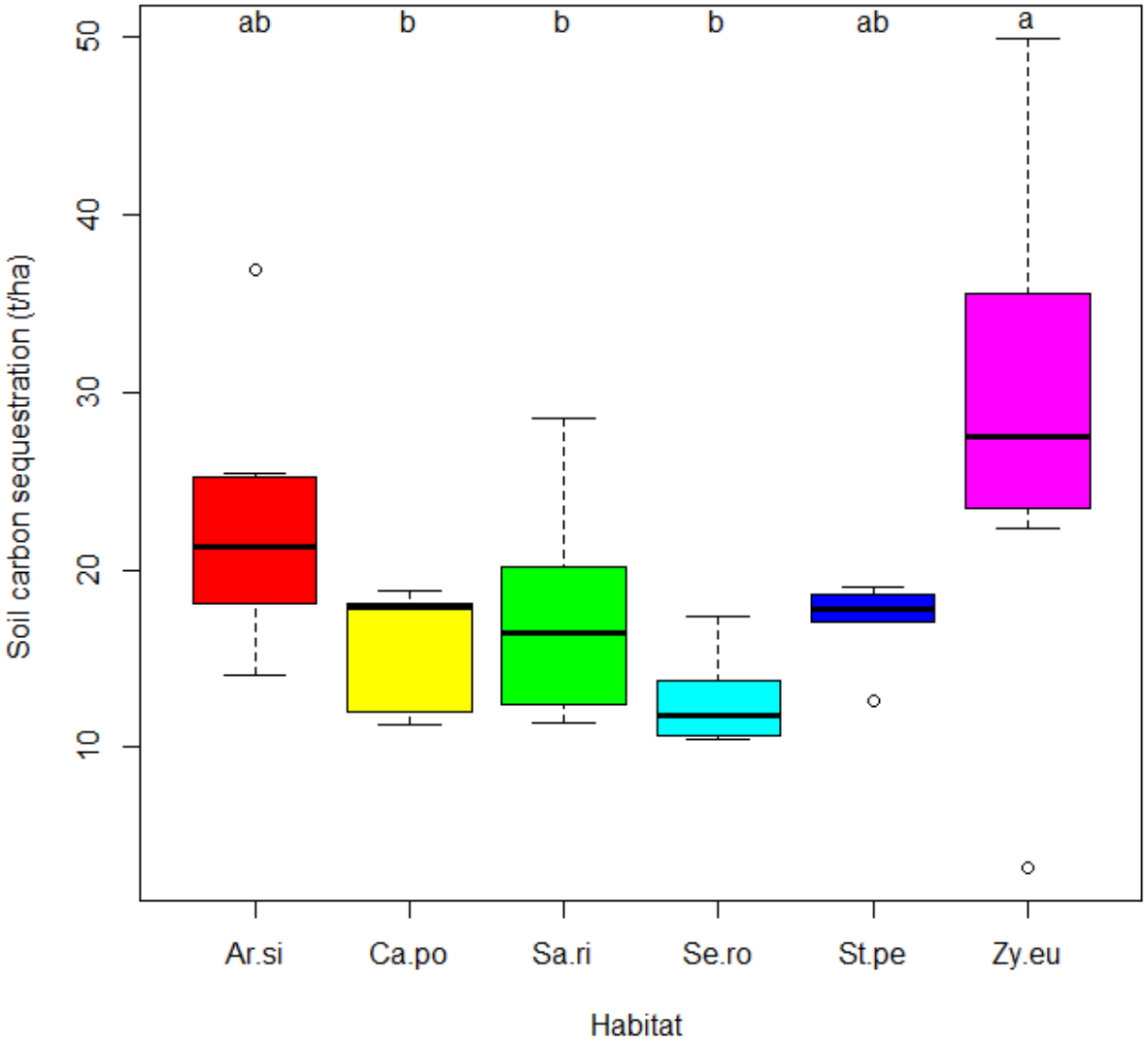
Table 3- Results of the analysis of variance (ANOVA) testing the effects of habitat on carbon sequestration

S. O. V	df	Sum of square	Mean square	*F*	*P*	$_{partial}\eta^2$	$_{partial}\eta^2$ 90% CI [LL, UL]
Species	5	1277.05	255.41	4.63	0.002	0.37	[0.10 , 0.47]
Error	39	2149.85	55.12				

Note. LL and UL represent the lower-limit and upper-limit of the partial η^2 confidence interval, respectively.

نتایج مقایسه میانگین‌های آزمون توکی نشان می‌دهد که رویشگاه قیچ (*Zygophyllum eurypterum*) بیشترین میزان ترسیب کربن خاک (۲۸/۶۶ تن در هکتار) را دارد. از این نظر بین رویشگاه‌های اسکنبیل (*Calligonum polygonoides*)، جفنه (*Salsoa richteri*) و اشنان (*Seidlitzia rosmarinus*) اختلاف آماری معنی‌داری وجود ندارد (شکل ۲). مقادیر کربن خاک در رویشگاه‌های اسکنبیل و اشنان کمترین تغییرات و در رویشگاه قیچ بیشترین تغییرات را دارد. نمودار جعبه‌ای نشان می‌دهد که مقادیر ترسیب کربن رویشگاه‌های درمنه (*Artemisia*

sieberi)، سبد (*Stipagrostis pennata*) و قیچ دارای داده پرت هستند.



شکل ۲- نمودار جعبه‌ای مقادیر ترسیب کربن خاک به همراه حروف معنی‌داری آزمون توکی

(میانگین‌های با حروف غیرمشترک در سطح ۵ درصد آزمون توکی اختلاف معنی‌داری با هم دارند)

Figure 2- Box plot of carbon sequestration values, Different letters indicate significant differences between groups (Tukey post-hoc test with Bonferroni correction, *P*<0.05).

جدول ۴- نتایج تحلیل واریانس (**ANOVA**) اثر رویشگاه بر درصد پوشش گیاهی

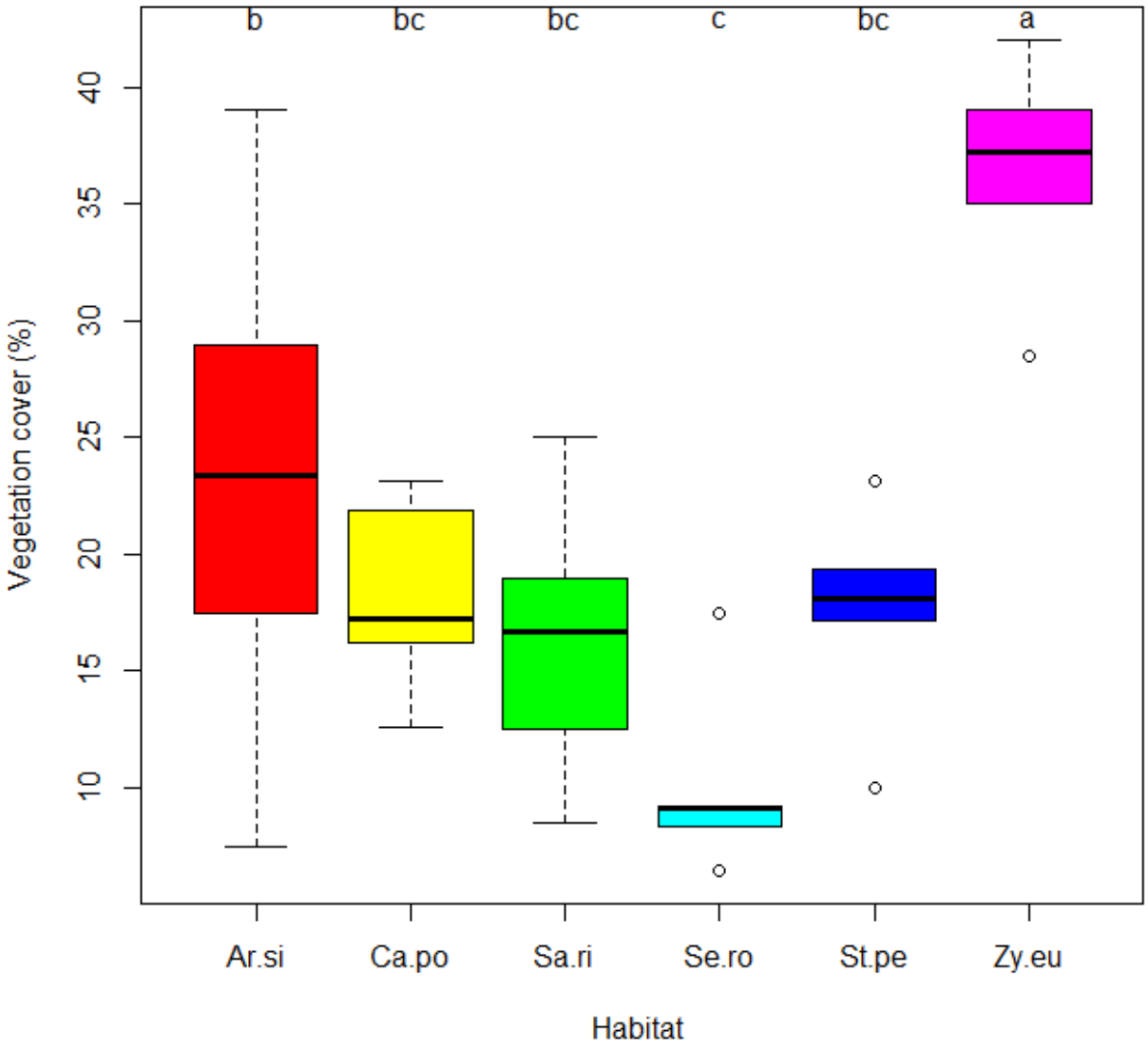
Table 4- Results of the analysis of variance (ANOVA) testing the effects of habitat on vegetation cover

S. O. V	df	Sum of square	Mean square	*F*	*P*	$_{partial}\eta^2$	$_{partial}\eta^2$ 90% CI [LL, UL]
Species	5	3453.94	690.79	21.60	0.00	0.73	[0.56, 0.78]
Error	39						

Note. LL and UL represent the lower-limit and upper-limit of the partial η^2 confidence interval, respectively.

همچنین نتایج تحلیل واریانس نشان می‌دهد که اثر رویشگاه بر درصد پوشش گیاهی معنی‌دار است ($P < ۰/۰۱$) و میزان این تأثیر زیاد است (جدول ۴). این نشان می‌دهد که اختلاف بسیار زیادی بین رویشگاه‌ها از لحاظ درصد پوشش گیاهی وجود دارد ($\eta_p^2 = ۰/۷۳$).

نتایج آزمون توکی نشان می‌دهد که از لحاظ درصد پوشش گیاهی بین رویشگاه‌های اسکنبیل، جفنه و سبد اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. بیشترین درصد تاج پوشش گیاهی در رویشگاه قیچ (۳۶/۸۴ درصد) و کمترین درصد پوشش گیاهی در رویشگاه اشنان (۱۰/۱۵ درصد) مشاهده شد (شکل ۳). تغییرات پوشش گیاهی در رویشگاه درمنه نسبت به سایر رویشگاه‌ها بیشتر است. نمودار جعبه‌ای نشان می‌دهد که مقادیر درصد پوشش گیاهی رویشگاه‌های اشنان، سبد و قیچ دارای داده پرت هستند.



شکل ۳- نمودار جعبه‌ای مقادیر درصد پوشش گیاهی به همراه حروف معنی‌داری آزمون توکی

(میانگین‌های با حروف غیرمشترک در سطح ۵ درصد آزمون توکی اختلاف معنی‌داری با هم دارند)

Figure 3- Box plot of vegetation cover values, different letters indicate significant differences between groups (Tukey post-hoc test with Bonferroni correction, P<0.05).

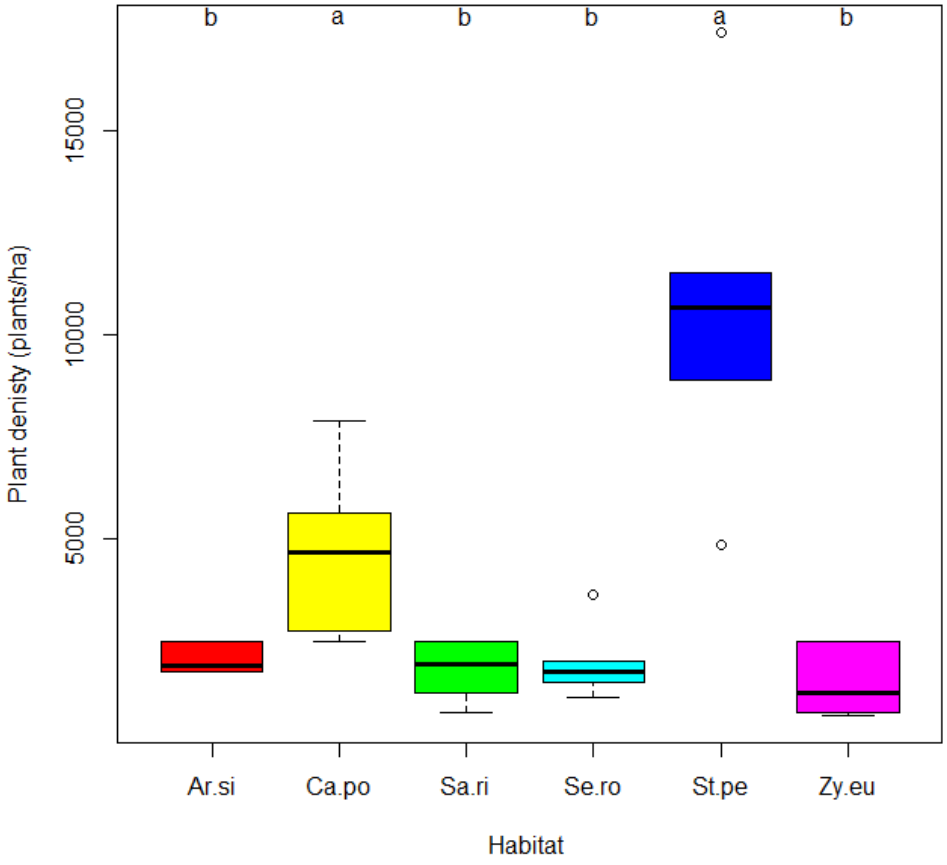
نتایج تحلیل واریانس نشان می‌دهد که اثر رویشگاه بر تراکم گیاهی نیز معنی‌دار است ($P < ۰/۰۱$) و میزان این تأثیر زیاد است ($\eta_p^2 = ۰/۷۵$) (جدول ۵). این نشان می‌دهد که اختلاف بسیار زیادی بین رویشگاه‌ها از لحاظ تراکم گیاهی وجود دارد.

جدول ۵- نتایج تحلیل واریانس (ANOVA) اثر رویشگاه بر تراکم گیاهی

Table 5- Results of the analysis of variance (ANOVA) testing the effects of habitat on plant density

S. O. V	df	Sum of square	Mean square	*F*	*P*	$_{partial}\eta^2$	$_{partial}\eta^2$ 90% CI [LL, UL]
Species	5	357133705	71426741	24.02	0.00	0.75	[0.59, 0.80]
Error	39	115975147	2973721				

Note. LL and UL represent the lower-limit and upper-limit of the partial η^2 confidence interval, respectively.



شکل ۴- نمودار جعبه‌ای مقادیر تراکم گیاهی به همراه حروف معنی‌داری آزمون توکی

(میانگین‌های با حروف غیرمشترک در سطح ۵ درصد آزمون توکی اختلاف معنی‌داری با هم دارند)

Figure 4- Box plot of plant density values, different letters indicate significant differences between groups (Tukey post-hoc test with Bonferroni correction, *P*<0.05).

نتایج آزمون توکی نشان می‌دهد که بیشترین میزان تراکم گیاهی در رویشگاه سبد (۱۰۶۵۶ پایه در هکتار) مشاهده می‌شود. همانطور که نمودار جعبه‌ای نشان می‌دهد، داده‌های تراکم گیاهی از توزیع نرمال برخودار نبوده، ازاین‌رو از تبدیل داده‌ها برای تحلیل واریانس استفاده شده است.

نتایج تحلیل همبستگی نشان می‌دهد که بین درصد پوشش گیاهی و ترسیب کربن رابطه مثبت و معنی‌داری وجود دارد ($P < ۰/۰۱$) (جدول ۶ و شکل ۴)، اما بین تراکم گیاهی و ترسیب کربن رابطه معنی‌داری مشاهده نشد ($P > ۰/۰۵$)، ازاین‌رو می‌توان برای برآورد ترسیب کربن از درصد پوشش گیاهی استفاده نمود.

جدول ۶- میانگین، انحراف معیار و ضرایب همبستگی پیرسون به همراه حدود اطمینان، رابطه بین خصوصیات پوشش گیاهی و ترسیب کربن

Table 6- Means, standard deviation, and correlation with confidence intervals, relationship between vegetation cover and carbon sequestration

Variable	Mean	standard deviation	Cover Vegetation (%)	Carbon sequestration
Carbon sequestration	20.14	8.83		
Cover Vegetation (%)	22.10	10.34		0.55** [0.30, 0.72]
Plant density	3119.29	3279.10	−0.25 [−۰0.51, 0.05]	−0.19 [−0.45 و 0.11]

Note: Values in square brackets indicate the bounds of the 95% confidence interval for correlation coefficient. ** indicates P <.01.

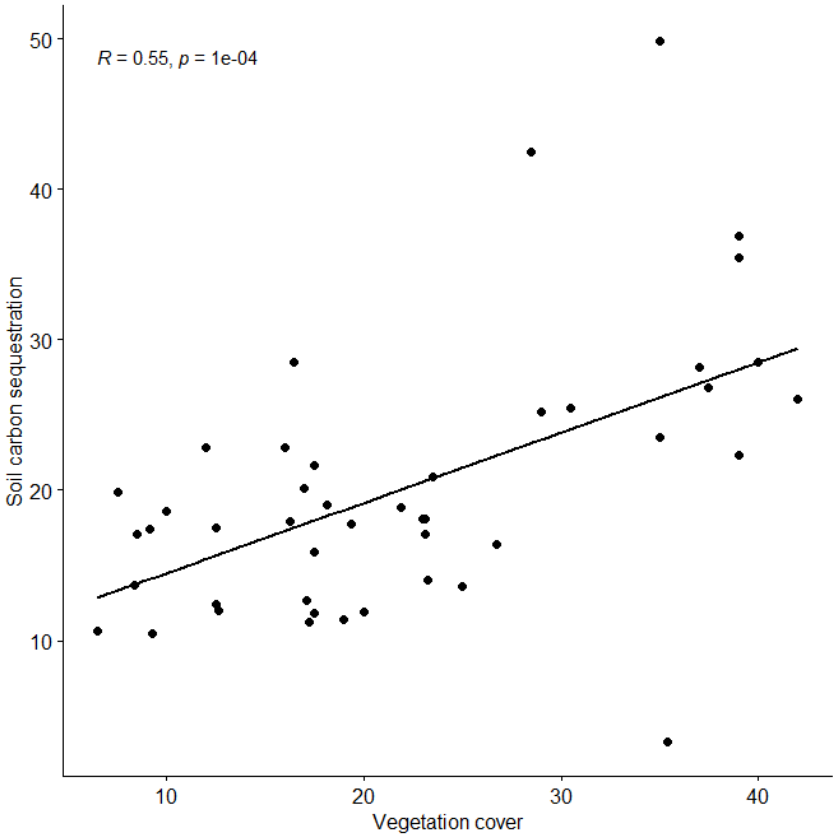
نتیجه تحلیل رگرسیون نشان می‌دهد که مدل خطی بین ترسیب کربن و درصد پوشش گیاهی و ضرایب رگرسیون معنی‌دار است ($P < ۰/۰۱$ و $R^2 = ۰/۳۰$) (جدول ۷).

جدول ۷- ضرایب رگرسیون رابطه بین خصوصیات پوشش گیاهی و ترسیب کربن

Table 7- Regression results using vegetation cover as the criterion

Predictor	R^2	sr^2 95% CI [LL, UL]	sr^2	beta 95% CI [LL, UL]	beta	b 95% CI [LL, UL]	b
intercept						[4.46, 15.17]	9.82**
vegetation cover	0.30**	[0.48, 0.09]	0.30	[0.29, 0.80]	0.55	[0.25, 0.69]	0.47**

Note. A significant *b*-weight indicates the beta-weight and semi-partial correlation are also significant. *b* represents unstandardized regression weights. *beta* indicates the standardized regression weights. sr^2 represents the semi-partial correlation squared. *r* represents the zero-order correlation. *LL* and *UL* indicate the lower and upper limits of a confidence interval, respectively. * indicates P <.05. ** indicates P <.01.



شکل ۵- نمودار پراکنش بین درصد پوشش گیاهی و ترسیب کربن خاک

Figure 5- Scatter plot of vegetation cover and carbon sequestration

بحث

در این پژوهش، رابطه مثبت و معنی‌داری بین درصد پوشش گیاهی و میزان ترسیب کربن مشاهده شد، به‌طوری‌که بیشترین درصد تاج پوشش گیاهی و ترسیب کربن مربوط به رویشگاه‌های قیچ و درمنه بود. برگ گیاه قیچ در اثر مواجه شدن با خشکی تابستان ریزش می‌کند و این گونه بیشتر به‌عنوان یک گیاه خشکی‌گریز محسوب می‌شود (Jankju and Noedoost, 2012). وجود مقادیر زیادی از اندام‌های هوایی در این گیاه که سبب بالاتر بودن درصد پوشش گیاهی در آن شده است نیز نشان‌دهنده نقش مؤثر این گیاه در حفاظت از خاک، تولید علوفه دام‌های اهلی و وحشی و نقش آن در ترسیب کربن می‌باشد. گونه‌های درمنه به‌دلیل چندساله بودن، مقاومت به تنش‌های محیطی به‌ویژه خشکی، جوانه‌زنی سریع، قابلیت انتشار گسترده، مقاومت در برابر فرسایش‌های بادی و داشتن فرم بوته‌ای نقش مؤثری در حفاظت از آب و خاک و ذخیره کربن ایفا می‌کنند (Kamali *et al.*, 2021). رویشگاه اشنان از کمترین میزان کربن آلی خاک و درصد پوشش گیاهی کمتر برخوردار بود، به همین دلیل در مقایسه با سایر گیاهان کمترین میزان ترسیب کربن را تولید نمود. گیاه جفنه نیز با وجود بالا بودن کربن آلی در خاک رویشگاه خود اما به دلیل پایین بودن تراکم و درصد تاج پوشش گیاهی ترسیب کربن کمی داشت. رویشگاه‌های این گونه معمولاً دارای خاک کم عمق تا نیمه‌عمیق و دارای بافت سبک تا سنگین، سطح آب زیرزمینی پایین و عمدتاً بدون شوری و قلیائیت است (Bahadoran *et al.*, 2016). تجدید حیات این گیاه با استفاده از بذر انجام می‌شود. ولی گذر زمان میزان جوانه‌زنی بذرهای این گیاه را کاهش داده و بذرها

بیشتر از دو سال قوه نامیه خود را حفظ نمی‌کنند. بنابراین در صورت کاهش بارندگی، رشد و تجدید حیات گیاه با مشکل مواجه می‌شود. در طی سال‌های گذشته نیز کاهش بارش‌ها تأثیر منفی بر رشد انواع گونه‌های گیاهی ازجمله جفنه داشته است. نتایج نیز نشان‌دهنده پایین بودن تراکم و درصد پوشش گیاهی گیاه در رویشگاه خود می‌باشد (جدول ۱ و شکل‌های ۲ و ۴). بنابراین براساس نتایج این تحقیق می‌توان برای برآورد ترسیب کربن به جای تراکم گیاهی از درصد پوشش گیاهی استفاده نمود. بیشترین میزان کربن آلی خاک در رویشگاه‌های جفنه و درمنه و کمترین میزان در رویشگاه‌های اسکنبیل و اشنان مشاهده شد. نتایج سایر تحقیقات نیز نشان می‌دهد که نوع گونه گیاهی از لحاظ فرم رویشی درختی، درختچه‌ای و بوته‌ای در میزان تجمع کربن در خاک رویشگاه این گونه‌ها متفاوت است (Agbelade and Onyekwelu, 2020). به‌طورکلی گونه‌های درختچه‌ای در مقایسه با فرم‌های بوته‌ای و علفی به‌دلیل سیستم ریشه‌ای عمیق‌تر، تراکم بافت چوبی بیشتر و قدرت زنده‌مانی و تجزیه‌پذیری کندتر از توانایی ذخیره کربن بیشتری برخوردار هستند (Shirzaei *et al.*, 2022). مقدار کربن ذخیره شده در کل اندام‌های درمنه دشتی (*Artemisia sieberi*) در شرایط قرق در حدود ۵۵ درصد بیشتر از اراضی تحت چرای دام بود و به‌طورکلی مدیریت مناسب مراتع مانند قرق تأثیر مثبتی بر افزایش ذخیره کربن در خاک خواهد داشت. بیشترین میزان ذخیره کربن در ریشه گیاه درمنه به‌دلیل ضخیم بودن و بالا بودن میزان مواد چوبی و به میزان ۲/۶ تن در هکتار در مراتع قرق به‌دست آمد. به‌طورکلی بالا بودن بافت چوبی در گونه‌های گیاهی سبب افزایش میزان ذخیره کربن در آنها می‌شود (Souri *et al.*, 2020). تنوع گونه‌های گیاهی و بالا بودن زیست توده آنها تأثیر مثبت و معنی‌داری بر ترسیب کربن و ذخایر کربن آلی خاک دارد (Tian *et al.*, 2023). احیا و کاشت پوشش گیاهی به‌ویژه در اکوسیستم‌های بیابانی با استفاده از گونه‌های بومی آن مناطق سبب افزایش ذخیره کربن آلی خاک، ترسیب کربن و احیای اکوسیستم می‌شود (Pandey *et al.*, 2022). در بررسی ظرفیت ذخیره کربن در رویشگاه‌های دو گونه قیچ و گرگ‌تیغ در کویر میقان اراک، میزان ترسیب کربن در مناطق دارای پوشش گیاهی به‌طور معنی‌داری بیشتر از مناطق بدون پوشش بود. گیاه قیچ در مقایسه با گرگ‌تیغ (*Lycium depressum* Stocks) شش درصد میزان ترسیب کربن بیشتری داشت که این موضوع نشان‌دهنده نقش این گیاه در ترسیب کربن با حداقل هزینه ممکن و تعدیل پیامدهای تغییر اقلیم در مناطق خشک می‌باشد (Mirdavoodi *et al.*, 2021). گونه‌های درمنه، بیشترین پراکندگی را در سطح کشور دارند و اندام‌های مختلف آنها مانند ریشه، ساقه و برگ از توانایی ترسیب کربن مناسبی برخوردار است، به همین دلیل از این گیاهان می‌توان برای احیای پوشش گیاهی در مناطق خشک به دلیل توانایی آن برای ترسیب کربن استفاده کرد (Sadeghi and Raeini, 2016). میزان ترسیب کربن علاوه بر پوشش گیاهی تحت تأثیر سایر عوامل مانند مدیریت (Motamedi *et al.*, 2020) ، تغییرات آب و هوایی، درصد و جهت شیب، میزان بارندگی، عمق، ترکیبات شیمیایی و ویژگی‌های فیزیکی خاک قرار دارد (Tessema *et al.*, 2020). بنابراین شناخت درست عوامل مؤثر بر آن با توجه به اینکه ترسیب بیولوژیکی کربن به‌عنوان اقتصادی‌ترین روش در ذخیره و تله‌اندازی کربن و به دنبال آن کاهش اثرهای نگران‌کننده زیست محیطی به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه ازجمله ایران به‌شمار می‌آید، می‌تواند برای برنامه‌ریزی راهبردهای مدیریت سرزمین بازدهی مطلوبی داشته باشد.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از معاون محترم پژوهشی، فناوری و نوآوری دانشگاه بیرجند و معاون محترم پژوهشی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی قدردانی می‌گردد.

References

- Agbelade, A. D. and Onyekwelu, J. C., 2020. Tree species diversity, volume yield, biomass and carbon sequestration in urban forests in two Nigerian cities. Urban Ecosystems, 2: 1-14.
- Ahmadi, H., Heshmati, G.H. and Naseri, H.R., 2015. Soil carbon sequestration potential in desert lands affected two species of *Haloxylon aphyllum* and *Stipagrostis plumosa* (Aran-o-Bidgol, Iran). Desert Ecosystem Engineering Journal, 3(5): 29-36 (In Persian).
- Ahmed, M.M., 2023. Environmental indicators related to native plants to assess the quality of life in the degraded desert area. Journal of Agricultural Science and Technology, 13: 40-47.
- Alvarez, F., Casanoves, F. and Suarez, J.C., 2021. Influence of scattered trees in grazing areas on soil properties in the Piedmont region of the Colombian Amazon. plos one, 16(12): e0261612.2.
- Asgari, H.R., Savarolya, M., Yeganeh, H., Honardoust, F. and Mombeni, M., 2021. Effects of grazing exclusure on some soil properties, carbon sequestration and estimating the economic value of (case study: arid rangelands north of Gonbad Kavous). Degradation and Rehabilitation of Natural Land, 2(3): 1-11 (In Persian).
- Attaeian, B., Karami, F., Akhzari, D. and Kiani, G.A., 2023. Comparative study of vegetation parameters, soil elements, and organic carbon storage in mountain rangelands under exclosure and grazing management: A case study in Asadabad, Hamadan. Journal of Rangeland, 17(2): 247-262 (In Persian).
- Bahadoran, M., Ejtehadi, H., Ghasemzadeh, F. and Abrishamchi, P., 2016. An autecological study of "*Salsola richteri* (Moq.) Karel ex Litw. in South Khorasan. Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology), 29(2): 286-299 (In Persian).
- Bahrami, B., Erfanzadeh, R. and Motamedi, J., 2013. Effect of slope and vegetation on carbon sequestration in a semi-dry rangeland of western Iran, case study: Khanghah Sorkh, Urmia. Journal of Water and Soil, 27(4): 703-711 (In Persian).
- Brooks, R., 2020. Carbon sequestration what's that? Journal of Forest Management, 32: 2-4.
- Dianati Tilaki, G.H. A., Rahmani, R., Hoseini, S.A. and Vasenev, I., 2022. The effect of land management on carbon sequestration in salty rangelands of Golestan province, Iran. Acta Ecologica Sinica, 42: 82-89.
- Fatehi, M., 2019. Investigating the relationship between soil nutrients and halophyte and psammophyte plants in western rangeland of Ferdows, South Khorasan province. Master thesis. Faculty of Natural Resources and Environment, Birjand University. 97 p (In Persian).
- Jafari, M. and Rostampour, M., 2020. Environmental stress. Seed and plant. Tehran University Press. 351p (In Persian).
- Jafarian, Z., Tayefeh Seyyed Alikhani, L. and Tamartash, R., 2012. Investigation of carbon storage potential of *Artemisia aucheri*, *Agropyron elongatum*, *Stipa barbata*, in semi-arid rangelands of Iran (Case study: Peshert Region, Kiasar). Journal of Range and Watershed Management, Iranian Journal of Natural Resources, 65(2): 191-202 (In Persian).
- Jankju, M. and Noedoost, F., 2012. Autecology of *Zygophyllum atriplicoides* in the rangelands of Northern Khorasan province. Journal of Range and Watershed Management, 65(4): 483-494 (In Persian).
- Jansson, C., Wullschleger, S.D., Kalluri, U.C. and Tuskan, G.A., 2010. Phytosequestration: Carbon biosequestration by plant and prospects of genetic engineering. Journal of BioScience. 60: 658-696.
- John, R., 2022. Profitability of carbon sequestration in western rangelands of the United States. Rangeland Ecology and Management, 5(4): 40-350.
- Joneidi, H., Zare Chahouki, M.A., Azarnivand, H. and Sadeghipour, A., 2012. Efffect of *Haloxylon ammodendron* and *Pistachia vera* plantation on carbon and nitrogen storage in *Artemisia sieberi* shrubland of Semnan province. Journal of Arid Biome, 1(4): 15-25 (In Persian).
- Kamali, N., Jalili, A., Ashouri, P. and Khodagholi, M., 2021. Artemisia, the largest rangeland ecosystem in Iran. Iran Nature, 6(5): 35-43 (In Persian).
- Khademi, T., 2020. Investigating the relationship between soil properties and forage quality in rangeland species *Stipa barbata* ،*Stipa capensic*, *Zygophyllum atriplicoides*, *Eryngium billardieri* and *Artemisia aucheri* (case study: rangelands of Ferdows, South Khorasan) province). Master thesis. faculty of natural resources and environment, Birjand University. 105 p (In Persian).
- Komer, C., 2003. Carbon limitation in trees. Journal of Ecology, 91: 4-17.
- Lal, R., 2009. Sequestering atmospheric carbon dioxide. Critical Reviews in Plant science, 28: 90-96.
- Liu, H., Chongyang, X., Craig, D.A., Hartmann, H., Wei, X., Yakir, D., Wu, X. and Yu, P., 2022. Nature-based framework for sustainable afforestation in global drylands under changing climate. Global Change Biology, 28(7): 2202–2220.
- Mirdavoodi, H., Zandi Esfahan, E., Goudarzi, G. H. and Farmaheini, A., 2021. Carbon storage capacity of *Lycium depressum* Stocks and *Zygophyllum fabago* L. and soil (rooting depth) of their habitats in

Meyghan playa, Arak. Iranian Journal of Range and Desert Research, 28(2): 328-340 (In Persian).
- Mofidi Chelan, M., Sheidai Karkaj, E. and Ghoreyshi, R., 2021. Estimation of economic value of carbon sequestration at Inchehbrun salt lands, Golestan province. Journal of Rangeland, 15(2): 269-281 (In Persian).
- Motamedi, J., Ebrahimi, Sh. and Sheidai karkaj, E., 2020. Relationship between carbon storage of *Astragalus brachyanus* species with plant characteristics, habitat characteristics and rangeland management, Rajan, West Azerbaijan. Journal of Range and Watershed Management, 73 (2): 423-438 (In Persian).
- Pandey, R., Singh Bargali, S., Bargali, K., Karki, H., Kumar, M. and Sahoo. U.K., 2022. Fine root dynamics and associated nutrient flux in Sal dominated forest ecosystems of Central Himalaya, India. Frontiers in Forests and Global Change, 5:1064502: 1-19.
- Sadeghi, H. and Raeini, M.G.N., 2016. Capability investigation of carbon sequestration in *Artemisia aucheri* Bioss. International Journal of Environmental Science and Technology, 13: 159-164.
- Sheidai Karkaj, E., Barani, H., Akbarlo, M., Heshmati, G.H. A. and Khormali, F., 2013. Cost comparing of soil carbon sequestration in rangeland reclamation practices through plantation of *Agropyron elongatum* and *Atriplex lentiformis* (Case Study: Chapr goymeh of Gonbad). Journal of water and Soil Conservation, 20(1): 241-252 (In Persian).
- Shirzaei, M., Ebrahimi, M. and Saberi, M., 2022. Comparison of carbon pool in habitats of *Zygophyllum atriplicoides* Fisch. & C.A.Mey. and *Artemisia sieberi* Besser. in Luchunasi rangelands (Southeastern Iran). Desert, 27(2): 215-225 (In Persian).
- Souri, M., Fayaz, M., Kamali, N., Nateghi, S. and Ashouri, P., 2020. The carbon storage capacity of the Artemisia sieberi Besser under the enclosure (Kalat Sadat Abad, Sabzevar city). Journal of Plant Research, 32(4): 788-797 (In Persian).
- Stockmann, U., Adams, M., Crawford, J., Field, D., Henakaarchchi, N., Jenkins, M., McBratney, A., Courcelles, V.R., Singh, K. and Wheeler, I. 2011. Managing the soil-plant system to mitigate atmospheric CO2. The university of Sydney, faculty of agriculture, food and natural resources. Dow Sustainability Program. 55p.
- Su, Y.Z., Xue, F.W., Rong, Y. and Jaehoon, L., 2020. Effects of sandy desertified land rehabilitation on soil carbon sequestration and aggregation in an arid region in china. Journal of Environment Management, 91: 2109-2116.
- Surya Prabha, A.C., Senthivelu, M., Krishna kumar, N. and Nagendran, S., 2020. Urba Forests and their Role in Carbon Sequestration: A Review. International Journal of Forest Research, 1(16): 23-29.
- Tessema, B., Sommer, R., Piikki, K., Soderstrom, M., Namirembe, S., Notenbaert, A., Tamene, L., Nyawira, S. and Paul, B., 2020. Potential for soil organic carbon sequestration in grasslands in East African countries: A review. Grassland Science, 66: 135-144.
- Tian, Q., Zhang, X., Yi, H., Li, Y., Xu, Z., He, J. and He, L., 2023. Plant diversity drives soil carbon sequestration: evidence from 150 years of vegetation restoration in the temperate zone. Frontiers in Plant Science, 14:1191704: 1-12.
- Xiaohong, J., Jia, L., Jingyun, Y., Bingqiang, F., Fang, B., Xiaotian, X. and Bo, W., 2023. Estimating carbon storage of desert ecosystems in China. International Journal of Digital Earth, 16(2): 4113–4125.