Advanced Environmental Sciences ***(Adv. Environ. Sci.)*** **2026, 24(1):37-52** **ISSN: 2588-6177**

Original Article

Comparative Assessment of Carbon Sequestration and Soil Properties in Rangeland and Cropland (Case Study: Chatāl, Golestan Province)

Received: 2025.01.13
Accepted: 2025.04.08

Mohammad Alinejad,[1] Hamidreza Asgari,[1]* Chooghi Bairam Komaki,[1] Maren Oelbermann,[2] Mojgansadat Azimi[3]

[1] Department of Desert Area Management, Faculty of Pasture and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

[2] Department of Environmental Studies, Faculty of Environment, University of Waterloo, Canada

[3] Department of Rangeland Management, Faculty of Pasture and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

How to cite this article:
Alinejad, M., Asgari, H.R., Komaki, C.B., Oelbermann, M. and Azimi, M. S. 2026. Comparative Assessment of Carbon Sequestration and Soil Properties in Rangeland and Cropland (Case Study: Chatāl, Golestan Province). Adv. Environ. Sci. 24 (1): 37-52.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: Population growth and increasing human needs have led to a rise in fossil fuel consumption and land-use changes, resulting in climate change and global warming. Carbon sequestration has gained significant importance as a management strategy for controlling atmospheric carbon levels. The objective of this study is to evaluate carbon sequestration rates and soil characteristics in rangeland and agricultural land uses in the Chatāl region of Golestan Province.

Material and methods: This study was conducted in the Chatal village watershed in Golestan Province, covering an area of 3000 hectares. Soil sampling was performed at 100 points at a depth of 0-30 cm. Parameters including bulk density, organic carbon, pH, electrical conductivity, soil texture, and aggregate stability were measured using standard methods. After determining and calculating all parameters, data normality was first examined using the Shapiro-Wilk test, and a t-test was used to compare the rangeland and agricultural land uses. Additionally, the correlation of the studied parameters was performed using the Pearson's correlation coefficient test using R software.

Results and discussion: The results indicated that the mean organic carbon content in rangeland land use (1.42%) was higher than in agricultural land use (0.79%). Additionally, the mean bulk density in agricultural land use (1.51 g/cm³) was lower than in rangeland (1.06 g/cm³). Soil aggregate stability in rangeland land use (8.51) was significantly higher than in agricultural land use (4.3). A significant positive correlation was observed between organic matter and carbon sequestration in both land uses, with correlation coefficients of 0.84 in rangeland and 0.77 in agricultural land use. Furthermore, electrical conductivity exhibited a negative impact on carbon sequestration in agricultural land use (correlation coefficient of -0.22).

Conclusion: The results of this study highlight the challenges in maintaining soil quality and carbon sequestration capacity in agricultural lands. Based on the comparison between rangeland and agricultural land uses, it is evident that rangeland land use plays a more significant role in carbon sequestration. This is due to the presence of more stable vegetation cover and better management of organic matter in rangelands. In agricultural land uses, common farming practices such as plowing and the use of chemical fertilizers can lead to a decrease in soil organic carbon content. In contrast, rangeland use, which typically includes more stable vegetation cover, can contribute to maintaining and increasing carbon sequestration. To enhance carbon sequestration capacity in both land use types, the following recommendations are proposed: Promote sustainable agricultural practices that help maintain soil structure and reduce soil compaction, Preserve and expand rangelands by preventing their conversion to agricultural lands, Provide necessary training to farmers about the importance of organic matter and methods to increase it in the soil, Conduct further research to identify best practices for increasing carbon storage in both land use types across different regions. These recommendations can contribute to effective management policies for mitigating the negative effects of climate change and emphasize the need for sustainable agricultural practices. Rangeland land use plays a greater role in carbon sequestration compared to agriculture. These findings emphasize that proper management of natural resources and preservation of vegetation cover can contribute to increasing carbon sequestration capacity. It is recommended to promote sustainable agricultural practices and prevent the conversion of rangelands to agricultural lands.

Keywords: Organic carbon, Soil aggregate stability, Soil quality, Pearson correlation coefficient, Golestan province.

* **Corresponding Author Email Address:** hamidreza.asgari@gau.ac.ir
DOI: 10.48308/envs.2025.238362.1481

Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

علوم محیطی نوین، ۵۲-۳۷ : (۱) ۲۴، ۱۴۰۵ شاپا: ۶۱۷۷-۲۵۸۸

مقاله پژوهشی

ارزیابی مقایسه‌ای ترسیب کربن و خصوصیات خاک در کاربری‌های اراضی مرتعی و زراعی (مطالعه موردی: چاتال، استان گلستان)

محمد علی‌نژاد[۱]، حمیدرضا عسگری[۱]* ، چوقی بایرام کمکی[۱]، مارن البرمن[۲]، مژگان سادات عظیمی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۱۹

[۱] گروه مدیریت مناطق بیابانی، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

[۲] گروه مطالعات محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه واترلو، کانادا

[۳] گروه مرتع‌داری، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

چکیده مبسوط

سابقه و هدف: افزایش جمعیت و نیازهای روزافزون انسان باعث افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی و تغییر کاربری اراضی شده که منجر به تغییر اقلیم و گرمایش جهانی گردیده است. ترسیب کربن به‌عنوان یک راهکار مدیریتی برای کنترل میزان کربن در جو اهمیت ویژه‌ای دارد. هدف از تحقیق حاضر، مطالعه و ارزیابی میزان ترسیب کربن و خصوصیات خاک در کاربری‌های مرتع و کشاورزی در منطقه چاتال استان گلستان است.

مواد و روش‌ها: این مطالعه در حوضه روستای چاتال در استان گلستان، با مساحت ۳۰۰۰ هکتار انجام شد. نمونه‌برداری از خاک از ۱۰۰ نقطه در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر انجام گرفت. پارامترهای وزن مخصوص ظاهری، کربن آلی، pH، هدایت الکتریکی، بافت خاک و پایداری خاکدانه‌ها با استفاده از روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شدند. پس از تعیین و محاسبه تمامی پارامترها، ابتدا نرمال بودن داده‌ها به‌وسیله آزمون شاپیرو-ویلک بررسی و به منظور بررسی و مقایسه دو کاربری مرتعی و زراعی از آزمون t-test استفاده شد همچنین همبستگی پارامترهای مطالعه شده با آزمون ضریب همبستگی پیرسون بررسی و در محیط نرم‌افزار R اجرا گردید.

نتایج و بحث: نتایج نشان داد که میانگین کربن آلی در کاربری اراضی مرتعی (۱/۴۲ درصد) بیشتر از کشاورزی (۰/۷۹ درصد) است. همچنین، میانگین جرم مخصوص ظاهری در کاربری اراضی زراعی (۱/۵۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب) کمتر از مرتع (۱/۰۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب) بود. پایداری خاکدانه‌ها نیز در کاربری اراضی مرتعی (۸/۵۱) به‌طور معناداری بالاتر از کشاورزی (۴/۳) بود. همبستگی مثبت معناداری بین ماده آلی و ترسیب کربن در هر دو کاربری مشاهده شد، به‌طوری‌که ضریب همبستگی بین ماده آلی و ترسیب کربن در کاربری اراضی مرتعی ۰/۸۴ و در کشاورزی ۰/۷۷ بود. همچنین، هدایت الکتریکی تأثیر منفی بر ترسیب کربن در کاربری اراضی زراعی داشت (ضریب همبستگی ۰/۲۲-).

نتیجه‌گیری: نتایج این تحقیق نشان‌دهنده چالش‌های موجود در حفظ کیفیت خاک و ظرفیت ترسیب کربن در اراضی کشاورزی است. با توجه به نتایج مقایسه کاربری اراضی مرتعی و کشاورزی، مشخص است که کاربری اراضی مرتعی نقش بیشتری در ترسیب کربن دارد. این امر به دلیل وجود پوشش گیاهی پایدارتر و مدیریت بهتر مواد آلی در مراتع است. در کاربری‌های کشاورزی، معمولاً فعالیت‌های زراعی مانند شخم زدن و استفاده از کودهای شیمیایی می‌تواند منجر به کاهش محتوای کربن آلی خاک شود. در مقابل، کاربری اراضی مرتعی که معمولاً شامل پوشش گیاهی پایدارتر است، می‌تواند به حفظ و افزایش ترسیب کربن کمک کند. برای افزایش ظرفیت ترسیب کربن در هر دو نوع کاربری، ترویج شیوه‌های زراعی پایدار که به حفظ ساختار خاک و کاهش فشردگی آن کمک کند، حفظ و گسترش مراتع با جلوگیری از تبدیل آن‌ها به اراضی کشاورزی، ارائه آموزش‌های لازم به کشاورزان درباره اهمیت مواد آلی و روش‌های افزایش آن‌ها در خاک و انجام تحقیقات بیشتر، برای شناسایی بهترین شیوه‌ها برای افزایش ذخیره‌سازی کربن در هر دو نوع کاربری و در مناطق مختلف، پیشنهاد می‌شود؛ چراکه این توصیه‌ها می‌توانند به سیاست‌های مدیریتی مؤثر برای کاهش اثرات منفی تغییرات اقلیمی کمک کنند و بر لزوم توجه به شیوه‌های زراعی پایدار تأکید نمایند. کاربری اراضی مرتعی نقش بیشتری در ترسیب کربن نسبت به کشاورزی دارد. این نتایج تأکید می‌کنند که مدیریت مناسب منابع طبیعی و حفظ پوشش گیاهی می‌تواند به افزایش ظرفیت ترسیب کربن کمک کند. پیشنهاد می‌شود که شیوه‌های زراعی پایدار ترویج شود و از تبدیل مراتع به اراضی کشاورزی جلوگیری گردد.

واژه‌های کلیدی: کربن آلی، پایداری خاکدانه، کیفیت خاک، ضریب همبستگی پیرسون، استان گلستان.

استناد به این مقاله: *علی‌نژاد، م.ر.، عسگری، ح.ر.، کمکی، چ.ب.، البرمن، م. و م. س، عظیمی. ۱۴۰۵. ارزیابی مقایسه‌ای ترسیب کربن و خصوصیات خاک در کاربری‌های اراضی مرتعی و زراعی (مطالعه موردی: چاتال-استان گلستان). فصلنامه علوم محیطی نوین. ۲۴ (۱): ۵۲-۳۷.*

* **Corresponding Author Email Address:** hamidreza.asgari@gau.ac.ir
DOI: 10.48308/envs.2025.238362.1481

Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

مقدمه

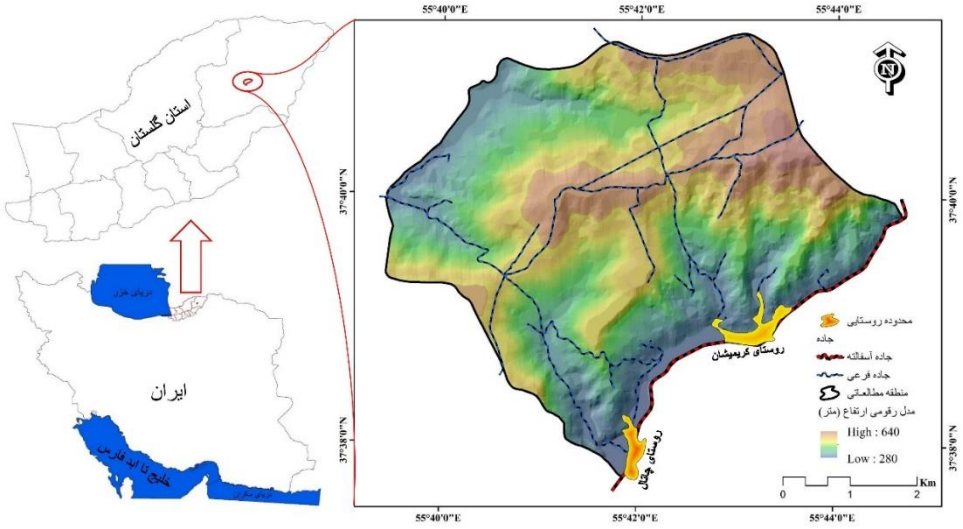
افزایش جمعیت و نیازهای روزافزون انسان باعث افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی و تغییر کاربری اراضی شده و سبب تغییر اقلیم و گرمایش جهانی گردیده است (Ahmadi *et al*., 2015)؛ بنابراین، ترسیب کربن به شیوه افزایش تجمع کربن، راه‌کاری برای مدیریت میزان کربن است. اهمیت کربن در خاک برای پایداری و کیفیت خاک، تولید محصول و حفظ کیفیت محیط‌زیست بسیار حائز اهمیت است. با توجه به نقش تعیین‌کننده‌ای که کربن در خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک دارد، افزایش مقدار آن در خاک، تأثیر مثبتی بر پایداری و کیفیت خاک، تولید محصول و کیفیت محیط‌زیست خواهد داشت (Saeidifar *et al*., 2015). کربن آلی خاک (SOC) مخزن اصلی کربن زمینی و منبع مهمی از مواد مغذی برای رشد گیاه و تولید مرتع است (Hewins *et al*., 2018) و نقش کلیدی در کیفیت خاک داشته و اثرات مثبت فراوانی بر ویژگی‌های مختلف بیولوژیکی، شیمیایی و فیزیکی خاک دارد (Babur and Dindaroglu, 2020). علاوه بر این در بهبود خواص خاک، چرخه مواد مغذی و تولید محصول به ترسیب کربن در خاک و کاهش اثرات تغییر اقلیم جهانی غیرقابل‌انکار است (Seneviratne *et al*., 2015). لازم به ذکر است که کربن آلی خاک اغلب ازنظر مکانی بسیار متغیر است؛ زیرا تحت تأثیر تنوع طبیعی خاک، آب‌وهوا و توپوگرافی و عوامل انسان‌ساخت مانند جاده و... قرار می‌گیرد (Zahirnia *et al*., 2022). با توجه به مشکلات گرمایش زمین و خشک‌سالی‌های متعدد، تمرکز بر فعالیت‌های مدیریتی مختلف به‌منظور ترسیب کربن در خاک افزایش یافته است؛ زیرا خاک نقش مهمی در چرخه کربن جهانی داراست (Asgari, 2014). ترسیب کربن توسط گیاهان در درازمدت، مقدار ذخیره کربن را در خاک افزایش داده و موجب کاهش انتشار دی‌اکسید کربن می‌شود (Saeedifar and Asgari, 2014). مطالعات نشان داده‌اند که تردد ماشین‌آلات کشاورزی موجب کاهش تراکم پوشش گیاهی و افزایش فرسایش سطحی می‌شود که این عوامل به‌نوبه خود تأثیر منفی بر میزان ترسیب کربن دارند (Mahdavi *et al*., 2019). بااین‌حال، تردد ماشین‌آلات نیز می‌تواند تأثیر مثبتی بر ترسیب کربن داشته باشد و مناطق نزدیک به جاده‌ها ممکن است تحت تأثیر فرآیندهای تجمع کربنی بیشتری قرار گیرند (Faraji *et al*., 2018). در پژوهشی Hasanvand *et al*. (2020) به مطالعه و برآورد خدمت اکوسیستمی ترسیب کربن توسط گونه‌های غالب در مراتع تیل‌آباد، استان گلستان پرداختند و نتایج آنان نشان داد که گونه‌های مرتعی نقش بسزایی در ترسیب کربن حاشیه جاده خوش‌ییلاق دارند. همچنین Asgari and Alinejad. (2022) در پژوهشی دیگر با استفاده از مدل ذخیره کربن InVEST به تحلیل فضایی ترسیب کربن گیاه آتریپلکس در مراتع چپرقویمه استان گلستان پرداختند که نتایج آن نشان داد گیاهان نزدیک به جاده مقدار بیشتری از کربن هوا را ترسیب می‌کنند. Yeasmin *et al*. (2023) در پژوهشی به بررسی تأثیر نوع کاربری زمین (زمین زراعی، باغ، علفزار و زمین بایر) بر ذخایر کربن آلی خاک پرداخته و بیان نمودند که خاک علفزارها دارای مقادیر بالاتری از کربن آلی نسبت به سایر کاربری‌ها است. به‌طورکلی تخمین پتانسیل ترسیب کربن خاک، یک فرآیند پیچیده محسوب می‌شود و بستگی به عملیات مدیریتی مختلف در هر منطقه، به روش‌های متفاوتی صورت می‌پذیرد (Challenge *et al*., 2022). اگر میزان ذخیره و ترسیب کربن به‌عنوان یک خدمت اکوسیستمی کمی‌سازی شود و ازلحاظ مکانی قابل تجسم شود، می‌تواند به‌عنوان بخشی از فرایند تصمیم‌گیری در نظر گرفته شود (Asadollahi and Mahini, 2017). مطالعه میزان کربن ترسیب شده این امکان را فراهم می‌کند که برنامه‌ریزی و مدیریت مناسب مورد استفاده قرار گیرد (Meftahi *et al*., 2022). به‌طور سنتی، اطلاعات در مورد کربن آلی خاک از طریق روش‌های استاندارد نمونه‌برداری خاک و تجزیه‌وتحلیل آزمایشگاهی به دست می‌آید. منطقه چاتال در استان گلستان به‌عنوان یکی از اکوسیستم‌های مهم مرتعی و زراعی، دارای پتانسیل بالایی برای ترسیب کربن است. با توجه به چالش‌های ناشی از تغییر اقلیم و نیاز به مدیریت

پایدار منابع طبیعی، تحقیق در این زمینه می‌تواند به توسعه راهکارهای مؤثر برای حفظ و افزایش ظرفیت ترسیب کربن در این اکوسیستم کمک کند. این تحقیق نه‌تنها به درک بهتر از فرآیندهای بیولوژیکی و شیمیایی خاک کمک می‌کند، بلکه می‌تواند به‌عنوان مبنایی برای سیاست‌گذاری‌های زیست‌محیطی و مدیریت منابع طبیعی در سطح منطقه‌ای و ملی مورداستفاده قرار گیرد. لذا در این تحقیق به مطالعه و ارزیابی میزان ترسیب کربن خاک و گیاه در کاربری‌های مرتع و کشاورزی که در مجاورت جاده کلاله-مراوتپه و واقع در حوضه چاتال، استان گلستان قرار دارد، پرداخته‌شده است. با توجه به اهمیت این موضوع برای مدیریت پایدار منابع طبیعی، نتایج این مطالعه می‌تواند راهگشای سیاست‌های مدیریتی مؤثر جهت افزایش ترسیب کربن باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، محدوده حوضه روستای چاتال و کریم ایشان در شرق استان گلستان با مساحت حدود ۳۰۰۰ هکتار است و در فاصله ۴۰ کیلومتری شهرستان کلاله و ۴۵ کیلومتری شهرستان مراوه‌تپه در مجاورت جاده اصلی کلاله-مراوه‌تپه قرار دارد. این منطقه در طول جغرافیایی ″۴۰ ′۳۹ °۵۵ الی ″۴۰ ′۴۴ °۵۵ شرقی و عرض جغرافیایی ″۳۰ ′۳۸ °۳۷ الی ″۳۰ ′۴۱ °۳۷ شمالی قرار دارد و ارتفاع بیشینه و کمینه آن به ترتیب ۶۴۰ و ۲۸۰ متر بالاتر از سطح دریا است (شکل ۱). منطقه مورد مطالعه در این پژوهش دارای کاربری اراضی زراعی و مرتعی با بارندگی حدود ۳۸۵ میلی‌متر در سال بوده و اقلیم منطقه طبق طبقه‌بندی دومارتن و آمبرژه به ترتیب نیمه‌خشک و نیمه‌مرطوب معتدل است (Fathi Taperasht *et al*., 2021). این منطقه در زون کپه‌داغ قرار دارد و از نظر چینه‌شناسی ساده و بدون پیچیدگی است. اغلب قسمت‌های حوضه را رسوبات کواترنری، به‌عبارت‌دیگر، رسوبات بادرفتی لس، تشکیل می‌دهد که از نظر سنی به فعالیت‌های متناوب فازهای یخچالی کواترنری مربوط است (Maghsoudi and Maghsoudi, 2021). پوشش گیاهی این منطقه از گونه‌های مختلفی ازجمله درمنه (*Artemisia sieberi*)، چمن پیازی (*Poa bulbosa*)، علف پشمکی (*Bromus tectorum*)، درختچه‌های انار (*Punica granatum*)، سیاه‌تلو (*Paliurus spina*) و انجیر وحشی (*Ficus carica*) تشکیل شده است که گونه غالب در بخش مرتعی درمنه می‌باشد. همچنین، کشاورزان از سطح زیرکشت دیم حوضه برای کشت گندم (*Triticum aestivum*)، جو (*Hordeum vulgare*) و کلزا (*Brassica napus*) استفاده می‌کنند (شکل ۲).



شکل ۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه در شرق استان گلستان

Fig. 1 - The study area is located in the northeast of Golestan Province

نمونه‌برداری و آزمایش خاک

پس از شناسایی و تعیین حدود منطقه مورد مطالعه، نمونه‌برداری از خاک و از نقاط تعیین‌شده به روش تصادفی طبقه‌بندی شده در محیط نرم‌افزار GIS، در کاربری اراضی مرتعی و زراعی برداشت شد؛ مجموعاً از ۱۰۰ نقطه نمونه‌برداری خاک (عمق ۳۰–۰ سانتی‌متر) انجام گرفته و نمونه‌ها به آزمایشگاه انتقال یافتند.

شکل ۲- کاربری‌های مورد مطالعه در منطقه چاتال (اراضی کشاورزی (الف) و مرتعی (ب)
Fig. 2 - Land uses studied in the Chatal region (agricultural and rangeland)

نمونه‌های خاک پس از خشک شدن در هوای آزاد و دور از نور آفتاب، با استفاده از روش کلوخه و بر اساس رابطه ۱، پارامتر وزن مخصوص ظاهری خاک به صورت گرم بر سانتی‌متر مکعب اندازه‌گیری شد (Blake and Hartge *et al*, 2003).

$$\text{جرم مخصوص ظاهری} = \frac{\text{وزن کلوخه خشک شده}}{\text{حجم آب جابه‌جاشده} - \left(\frac{\text{کلوخه وزن - پارافین و کلوخه وزن}}{\text{جرم مخصوص پارافین}}\right)} \quad (۱)$$

به‌منظور تعیین درصد کربن آلی خاک، از روش Walkly Black, (1934) استفاده شد (رابطه ۲).

$$\%OC = \frac{(A-B) \times M \times 0.39}{S} \quad (۲)$$

در این رابطه، OC درصد کربن آلی، A مقدار سولفات آهن مصرفی برای شاهد، B مقدار سولفات آهن مصرفی برای نمونه، M نرمالیته سولفات مصرفی، S وزن نمونه می‌باشد. درنهایت با استفاده از رابطه ۳ میزان کربن ترسیب شده در خاک برحسب تن در هکتار تعیین گردید (Boon *et al*., 1999).

$$Cc = 10000 \times \%C \times Bd \times E \quad (۳)$$

که Cc مقدار وزن کربن ترسیب شده در سطح یک مترمربع، C درصد تراکم کربن در عمق مشخصی از خاک، Bd جرم مخصوص ظاهری خاک برحسب گرم بر سانتی‌متر مکعب و E ضخامت عمق خاک برحسب سانتی‌متر می‌باشد.

خصوصیات خاک شامل بافت خاک با روش هیدرومتری (Klute, 1986)، pH خاک با دستگاه pH متر، EC خاک با دستگاه EC متر (Jafari *et al*., 2018) اندازه‌گیری و جهت برآورد میزان پایداری ساختمان خاک از روش الک تر و

شیوه مرطوب کردن سریع استفاده شد (Van Bavel, 1950). برای ایجاد یک پایگاه اطلاعاتی در زمینه ترسیب کربن خاک، تحلیل‌های آماری و پردازش داده‌ها ابتدا نرمال بودن داده‌ها با آزمون شاپیرو-ویلک بررسی شد و مقایسه دو کاربری اراضی مرتعی و کشاورزی با آزمون t-test در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ و ۰/۰۱ صورت گرفته و همبستگی پارامترهای مطالعه شده با آزمون ضریب همبستگی پیرسون در محیط نرم‌افزار R (Gentleman and Ihaka, 1995) انجام شد.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از مقایسه خصوصیات فیزیکو-شیمیایی خاک و میزان ترسیب کربن در کاربری اراضی مرتعی و کشاورزی مشخص شد که بین پارامتر-های رس، شن، جرم مخصوص ظاهری و مقدار ترسیب کربن در دو کاربری ذکرشده تفاوت معناداری در سطح ۹۵ درصد وجود دارد (جدول ۱). نتایج آزمون t-test برای مقایسه خصوصیات فیزیکو-شیمیایی خاک و ترسیب کربن در کاربری‌های مرتع و کشاورزی (شکل ۳) نشان داد که نوع کاربری زمین تأثیر قابل‌توجهی بر ویژگی‌های خاک دارد. به‌ویژه، میانگین کربن آلی (OC) در کاربری اراضی مرتعی (۱/۴۲) به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای بیشتر از کاربری اراضی زراعی (۰/۷۹) است (جدول ۱). این اختلاف نشان‌دهنده نقش مهم پوشش گیاهی متنوع و پایدار در مراتع در افزایش تجمع کربن در خاک است. کربن آلی به عنوان یک شاخص مهم برای سلامت خاک شناخته می‌شود و افزایش آن در خاک می‌تواند به بهبود کیفیت خاک و پایداری اکوسیستم‌ها کمک کند نتایج این پژوهش در خصوص کربن آلی با تحقیق Khatibi and Farahi, (2024) که عامل تنوع پوشش گیاهی را موجب افزایش کربن آلی در مراتع دانستند، مطابقت دارد. با توجه به جدول ۱، در مورد هدایت الکتریکی (EC)، میانگین این پارامتر در کاربری اراضی زراعی (۱/۱۶) بیشتر از کاربری اراضی مرتعی (۰/۸۶) است، اما با سطح معنی‌داری ۰/۹۹۹، این اختلاف معنی‌دار نیست. این موضوع ممکن است به دلیل استفاده از کودها و مواد شیمیایی در کشاورزی باشد که باعث افزایش غلظت نمک‌ها و مواد معدنی در خاک می‌شود. همچنین، اسیدیته (pH) خاک در هر دو کاربری مشابه بوده و اختلاف معنی‌داری نشان نمی‌دهد. مقدار کمتر اسیدیته خاک در کاربری اراضی مرتعی، احتمالاً ناشی از بالا بودن تنوع پوشش گیاهی و سیستم ریشه‌ای متراکم بوده و زیاد بودن مواد آلی خاک به دلیل بالا بودن مقدار پوشش و افزایش بیومس خاک می‌باشد. با افزایش ماده آلی، اسیدهای آلی و معدنی تولید می‌شوند که فراوان‌ترین این اسیدها، اسیدکربنیک است و تولید مداوم آن در خاکی که در آن تراکم ریشه بالا باشد موجب کاهش اسیدیته خاک می‌شود (Hosseinzadeh *et al*., 2007). بافت خاک نیز تحت تأثیر نوع کاربری قرار دارد. میانگین درصد رس در کاربری اراضی زراعی (۲۱/۴) بیشتر از کاربری اراضی مرتعی (۱۹/۱) است و این اختلاف با سطح معنی‌داری ۰/۰۰۸ معنادار است (جدول ۱) که از دلایل آن می‌توان به تردد ماشین‌آلات کشاورزی و همچنین شخم‌های متعدد در کاربری اراضی زراعی اشاره نمود که موجب شکسته شدن و پودر شدن ذرات خاک می‌گردد، نتایج این قسمت نیز با تحقیق Yeasmin *et al*., (2023) در خصوص ریزدانه‌تر بودن بافت خاک در کاربری اراضی زراعی، مطابقت دارد. همچنین، درصد شن در کاربری اراضی زراعی (۱۳/۲) به‌طور معناداری کمتر از کاربری اراضی مرتعی (۱۶/۸) است (جدول ۱) که این اختلاف نیز با سطح معنی‌داری نزدیک به صفر تأیید می‌شود. مقدار سیلت نیز در دو کاربری موردبررسی اختلاف معنی‌داری را نشان نداد، اما میانگین آن در کاربری اراضی زراعی بالاتر از قسمت مرتع بود که این مهم با نتایج Souri *et al*., (2017) مطابقت دارد.

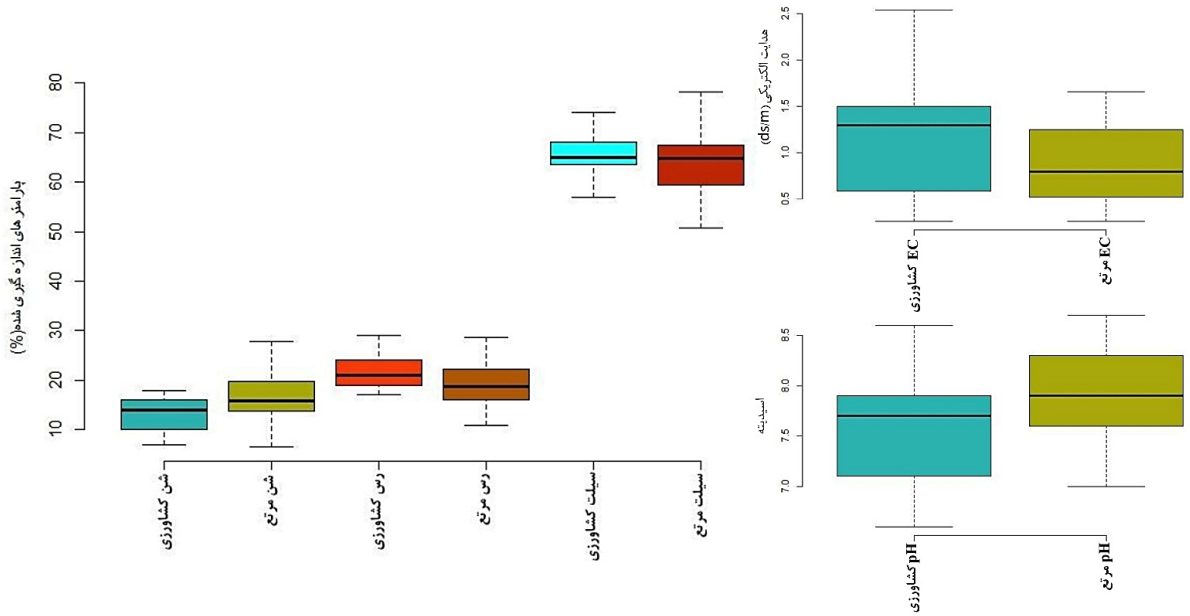
جدول ۱- نتایج آزمون t-test برای مقایسه خصوصیات فیزیکو-شیمیایی خاک و ترسیب کربن در کاربری اراضی مرتعی و کشاورزی

Table 1- Independent t-test results for comparing the physicochemical properties of the soil and carbon sequestration in rangeland and agricultural land use.

پارامتر Parameter	کاربری اراضی مرتعی Rangeland				کاربری اراضی زراعی Cropland				نتایج آزمون t-test t-test
	حداقل Min	حداکثر Max	میانگین Mean	انحراف معیار SD	حداقل Min	حداکثر Max	میانگین Mean	انحراف معیار SD	
کربن آلی (٪) OC (%)	۰/۵	۳/۱۲	۱/۴۲	۰/۶۷	۰/۲۱	۱/۶۵	۰/۷۹	۰/۳۶	۰/۹۹
هدایت الکتریکی (ds/m) EC (ds/m)	۰/۲۶	۱/۶۶	۰/۸۶	۰/۳۹	۰/۲۱	۲/۵۴	۱/۱۶	۰/۵۸	۰/۹۹۹
اسیدیته pH	۷	۸/۷	۷/۹۱	۰/۴	۰/۶۶	۸/۶	۷/۵۳	۰/۴۲	۰/۹۹۹
رس (٪) Clay (%)	۱۰/۸	۲۸/۶	۱۹/۱	۴/۰۱	۱۷	۲۹/۰۱	۲۱/۴	۲/۸۸	۰/۰۰۸*
سیلت (٪) Silt (%)	۵۰/۸	۷۸/۲	۶۳/۹	۵/۹۹	۵۷	۷۴	۶۵/۵	۳/۷۱	۰/۲۴
شن (٪) Sand (%)	۶/۶	۲۷/۸	۱۶/۸	۴/۸۷	۷	۱۸	۱۳/۲	۳/۲۲	۰/۰۰۰۰*
پایداری خاکدانه (٪) Stability (%)	۲/۰۱	۱۵/۲۴	۸/۵۱	۳/۳۹	۰/۴	۱۰/۲۲	۴/۳	۲/۵۹	۰/۰۱۳*
جرم مخصوص ظاهری (gr/cm^3) Bulk density (gr/cm^3)	۰/۵۵	۱/۶۶	۱/۰۶	۰/۳	۱/۲۲	۱/۹	۱/۵۱	۰/۱۶	۰/۰۰۰۳*
ترسیب کربن خاک (ton/ha) Soil Carbon (ton/ha)sequestration	۱۳/۶	۸۶/۲۹	۴۵/۱	۱۶/۶	۹/۵۷	۶۸/۱۶	۳۱/۸	۹/۷	۰/۰۰۰۰۰*

*معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد

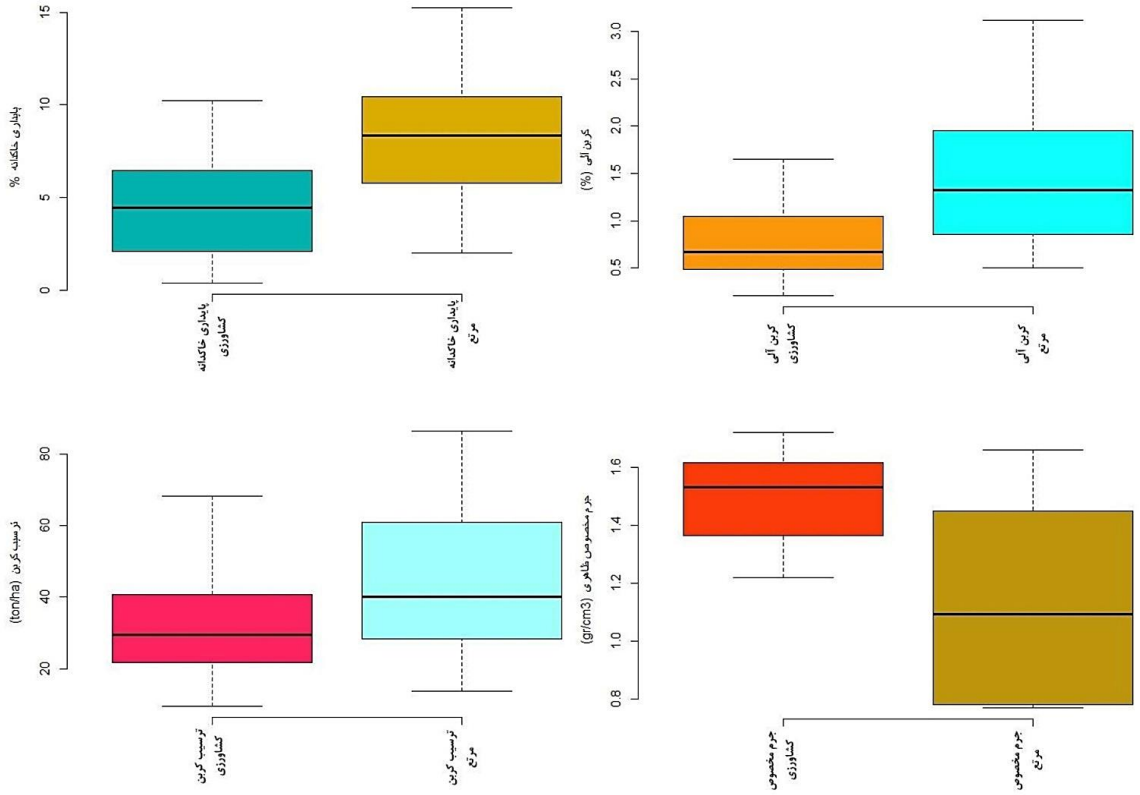
*Significance at the 99% level



شکل ۳- مقایسه میزان ترسیب کربن خاک در کاربری اراضی مرتعی و کشاورزی

Fig. 3- Comparison of Soil Carbon Sequestration in Rangeland and Agricultural Land Use

پایداری خاکدانه نیز در کاربری اراضی زراعی (۴/۳) به‌طور معنی‌داری از کاربری اراضی مرتعی (۸/۵۱) کمتر است (شکل ۴). لذا می‌توان نتیجه گرفت در اثر کاهش تنوع پوشش گیاهی و تردد ماشین‌آلات کشاورزی و اثر لگدکوبی در کاربری اراضی زراعی خاکدانه‌های سطحی از بین رفته و با شکست کلوخه‌ها و تخریب ساختمان خاک و درنتیجه فرسایش شدیدتر اتفاق می‌افتد و مقدار پایداری نسبت به بخش مرتعی منطقه مطالعاتی کمتر است. Challenge *et al*., (2022) نیز در پژوهش خود به این نتیجه دست یافتند که مقدار پایدار خاک در اراضی مرتعی نسبت به کشاورزی در وضعیت بهتری قرار دارد. نتایج آزمون t-test برای مقایسه جرم مخصوص خاک در کاربری‌های کشاورزی (۱/۵۱) و مرتع (۱/۰۶) نشان‌دهنده تفاوت‌های معناداری (۰/۰۰۰۳) بین این دو نوع کاربری است. جرم مخصوص ظاهری (Bulk Density) به رابطه بین جرم و حجم خاک اشاره دارد (Panagos *et al*., 2024). نتایج آزمون t-test نشان می‌دهد که جرم مخصوص ظاهری در کاربری اراضی زراعی به طور معناداری کمتر از کاربری اراضی مرتعی است. این تفاوت عمدتاً به تأثیر فعالیت‌های زراعی، مانند شخم زدن و تردد ماشین‌آلات، بر فشردگی خاک مربوط می‌شود که می‌تواند نفوذپذیری و ظرفیت نگهداری آب را کاهش دهد و بر کیفیت خاک تأثیر منفی بگذارد. در مقابل، کاربری اراضی مرتعی با حفظ ساختار خاک و جلوگیری از فشردگی آن به کمک پوشش گیاهی طبیعی و ریشه‌های گیاهان، باعث کاهش جرم مخصوص ظاهری می‌شود. در نتیجه، این تفاوت‌ها نشان‌دهنده تأثیرات منفی فعالیت‌های کشاورزی بر کیفیت خاک است و می‌تواند به مدیریت بهتر منابع خاک و اتخاذ تصمیمات مناسب در زمینه کشاورزی و حفاظت از اراضی مرتعی کمک کند. این بخش با نتایج Zhang *et al*., (2024) در خصوص اثر ماشین‌آلات کشاورزی و فشردگی خاک مطابقت دارد. درنهایت، ترسیب کربن خاک نیز تحت تأثیر نوع کاربری قرار دارد؛ میانگین ترسیب کربن در کاربری اراضی زراعی (۳۱/۸ تن در هکتار) به‌طور معناداری کمتر از کاربری اراضی مرتعی (۴۵/۱ تن در هکتار) است. این تفاوت به دلیل فعالیت‌های زراعی مانند شخم زدن و استفاده از کودهای شیمیایی است که می‌تواند منجر به کاهش محتوای کربن آلی خاک شود. در مقابل، کاربری اراضی مرتعی با پوشش گیاهی پایدارتر، ظرفیت بالاتری برای ترسیب کربن دارد. تحقیقات دیگر نیز این یافته‌ها را تأیید می‌کنند؛ به‌عنوان‌مثال، Amani Shalamzari *et al*., (2024) در پژوهشی که در استان چهارمحال و بختیاری انجام دادند بیان نمودند که ذخیره کربن در خاک به‌طور معناداری تحت تأثیر نوع کاربری اراضی قرار دارد. آنان میانگین ذخیره کربن کل در کاربری‌های مختلف به ترتیب شامل مرتع متراکم (۴۶/۴۲ تن در هکتار)، مرتع نیمه‌متراکم (۳۸/۴۹ تن در هکتار)، اراضی کشاورزی (۳۱/۶۲ تن در هکتار)، مرتع کم‌تراکم (۲۶/۱۲ تن در هکتار) و اراضی بایر (۱۷/۲۱ تن در هکتار) برآورد نمودند که این امر به دلیل وجود پوشش گیاهی پایدارتر و مدیریت بهتر خاک در مراتع می‌باشد؛ بنابراین، انتخاب نوع کاربری مناسب و مدیریت صحیح منابع طبیعی برای حفظ و افزایش ظرفیت ترسیب کربن خاک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این یافته‌ها نشان می‌دهد که مدیریت پایدار مراتع و حفظ آن‌ها برای افزایش ظرفیت ترسیب کربن و حفظ کیفیت خاک ضروری است. نتایج این مطالعه می‌تواند به سیاست‌های مدیریتی برای کاهش اثرات منفی تغییرات اقلیمی کمک کند و بر لزوم توجه به شیوه‌های زراعی پایدار تأکید نماید.



شکل ۴- مقایسه میزان ترسیب کربن خاک در کاربری اراضی مرتعی و کشاورزی

Fig. 4- Comparison of Soil Carbon Sequestration in Rangeland and Agricultural Land Use

نتایج جدول ۲ به بررسی ضریب همبستگی پیرسون بین ویژگی‌های خاک و ترسیب کربن در کاربری اراضی مرتعی می‌پردازد. این جدول شامل متغیرهای مختلفی از جمله اسیدیته (pH)، هدایت الکتریکی (EC)، درصد رس، سیلت، شن، جرم مخصوص ظاهری، پایداری خاکدانه، ماده آلی و ترسیب کربن خاک است. ضریب همبستگی بین pH و ترسیب کربن خاک برابر با ۰/۱۵ است که نشان‌دهنده ارتباط ضعیف مثبت است. این می‌تواند به این معنی باشد که با افزایش pH، میزان ترسیب کربن نیز به طور جزئی افزایش می‌یابد. Wang and Kuzyakov (2024) در پژوهشی نتیجه گرفتند که در خاک‌های با pH بالا، معمولاً شرایط بهتری برای فعالیت میکروبی و تجزیه مواد آلی فراهم می‌شود که این امر می‌تواند منجر به افزایش ترسیب کربن گردد. با توجه به نتایج رابطه بین EC و ترسیب کربن خاک معنادار نبود (ضریب همبستگی ۰/۰۰۱) که نشان‌دهنده عدم تأثیر مستقیم هدایت الکتریکی بر ترسیب کربن است که ممکن است به دلیل عدم ارتباط قوی بین نمک‌های محلول و فرآیندهای ترسیب کربن باشد. ضریب همبستگی بین درصد رس و ترسیب کربن برابر با ۰/۱۴ است که نشان‌دهنده یک ارتباط مثبت ضعیف است. این به این معناست که افزایش درصد رس ممکن است با افزایش ترسیب کربن همراه باشد که می‌تواند به دلیل توانایی رس در حفظ رطوبت و مواد مغذی باشد. Shivangi *et al*. (2024) نیز در تحقیق خود افزایش مقدار رس را مؤثر در ترسیب کربن خاک دانستند. ضریب همبستگی بین سیلت و ترسیب کربن نیز برابر با ۰/۲۹ است که نشان‌دهنده یک ارتباط مثبت معنادار است. این بدان معناست که افزایش درصد سیلت در کاربری اراضی مرتعی با افزایش ترسیب کربن همراه بوده است. سیلت

به دلیل ویژگی‌های فیزیکی خود می‌تواند به حفظ رطوبت و مواد مغذی در خاک کمک کند که این امر می‌تواند فرآیندهای بیولوژیکی مرتبط با ترسیب کربن را تسهیل کند (Sadeghi *et al*., 2023). ضریب همبستگی بین شن و ترسیب کربن برابر با ۰/۱۸- است که نشان‌دهنده یک ارتباط منفی ضعیف است. این بدان معناست که افزایش درصد شن ممکن است با کاهش ترسیب کربن همراه باشد. شن می‌تواند به ایجاد ساختار خوب خاک کمک کند، اما همچنین ممکن است ظرفیت نگهداری آب را کاهش دهد. Sedaghati *et al*. (2022) در پژوهشی نتیجه گرفتند که مقدار شن خاک بر میزان ترسیب کربن اثر منفی داشته و با افزایش شن مقدار ترسیب کربن کاهش می‌یابد. ضریب همبستگی بین جرم مخصوص ظاهری و ترسیب کربن برابر با ۰/۳۵ است که نشان‌دهنده یک ارتباط مثبت معنادار است. این بدان معناست که افزایش جرم مخصوص ظاهری با افزایش ترسیب کربن همراه است که ممکن است به دلیل فشردگی خاک و بهبود ساختار آن باشد. جرم مخصوص ظاهری به وزن خاک در واحد حجم اشاره دارد و با تخلخل و ساختار خاک مرتبط است. خاک‌های فشرده‌تر معمولاً دارای محتوای کربن آلی بیشتری هستند، زیرا فشردگی باعث افزایش تماس بین ذرات خاک و مواد آلی می‌شود و این امر می‌تواند منجر به افزایش فعالیت میکروبی و تجزیه مواد آلی شود که درنهایت به ترسیب بیشتر کربن منجر می‌شود (Alidadi *et al*., 2022). بین پایداری خاکدانه و ترسیب کربن ارتباط مثبت و معناداری (ضریب همبستگی ۰/۳۲) مشاهده شد که نشان‌دهنده این است که پایداری بالاتر خاکدانه‌ها می‌تواند به افزایش ترسیب کربن کمک کند. پایداری خاکدانه‌ها به توانایی ذرات خاک در حفظ ساختار خود اشاره دارد که این امر می‌تواند به بهبود تخلخل و کاهش فرسایش کمک کند. خاکدانه‌های پایدارتر معمولاً دارای فضای بیشتری برای ذخیره آب و مواد مغذی هستند که این شرایط مناسب‌تری را برای فعالیت میکروبی فراهم می‌آورد. فعالیت میکروبی بالا به تجزیه مواد آلی و تولید کربن آلی در خاک منجر می‌شود که درنهایت به افزایش ترسیب کربن کمک می‌کند (Kooch and Noghre, 2019). Puladi *et al*. (2013) نشان داده‌اند که افزایش پایداری خاکدانه‌ها با افزایش محتوای کربن آلی در خاک مرتبط است. قوی‌ترین رابطه مثبت (ضریب همبستگی ۰/۸۴) بین ماده آلی و ترسیب کربن وجود دارد. این نشان‌دهنده اهمیت بالای ماده آلی در فرآیندهای ترسیب کربن در خاک است؛ زیرا ماده آلی به عنوان یک مخزن کربن عمل کرده و می‌تواند فرآیندهای بیولوژیکی را تسهیل کند. ماده آلی خاک شامل بقایای گیاهی و جانوری است که در فرآیندهای تجزیه به کربن آلی تبدیل می‌شود و به عنوان منبع غذایی برای میکروارگانیسم‌ها عمل می‌کند. این میکروارگانیسم‌ها با تجزیه مواد آلی، کربن را از جو جذب کرده و در خاک ذخیره می‌کنند. همچنین، ماده آلی ساختار خاک را بهبود بخشیده و تخلخل آن را افزایش می‌دهد که به نگهداری بهتر آب و مواد مغذی کمک کرده و شرایط مناسبی برای فعالیت‌های میکروبی فراهم می‌آورد (Hewins *et al*., 2018). تحقیقات نشان داده‌اند که خاک‌های غنی از ماده آلی دارای محتوای بالاتری از کربن آلی هستند و مدیریت مناسب این مواد می‌تواند به افزایش ظرفیت ترسیب کربن و کاهش گازهای گلخانه‌ای کمک کند. نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد که ویژگی‌های مختلف خاک تأثیرات متفاوتی بر میزان ترسیب کربن دارند. به‌ویژه، ماده آلی و پایداری خاکدانه‌ها به عنوان عوامل اصلی در افزایش ترسیب کربن شناخته می‌شوند. از سوی دیگر، برخی ویژگی‌ها مانند هدایت الکتریکی و درصد رس تأثیر معناداری بر روی ترسیب کربن ندارند. این یافته‌ها می‌توانند به مدیریت بهتر اراضی مرتع کمک کرده و راهکارهایی برای افزایش ظرفیت ذخیره‌سازی کربن در خاک ارائه دهند.

جدول ۲- ضریب همبستگی پیرسون بین متغیرهای خاک و ترسیب کربن در کاربری اراضی مرتعی

Table 2 - Pearson correlation coefficient between soil properties and carbon sequestration in rangeland land use

	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand	جرم مخصوص ظاهری Bulk density	پایداری خاکدانه Stability	ماده آلی OC	ترسیب کربن خاک Soil Carbon sequestration
اسیدیته pH	۱	۰/۱۸	۰/۰۳	۰/۰۹	-۰/۱۴	۰/۱۷	-۰/۱	۰/۱۲	۰/۱۵
هدایت الکتریکی EC		۱	۰/۱۶	-۰/۱	۰/۰۱	۰/۲۸	-۰/۱۱	-۰/۰۷	۰/۰۰۱
رس Clay			۱	-۰/۵۸	-۰/۱۳	۰/۰۸	۰/۳۸*	۰/۱۸	۰/۱۴
سیلت Silt				۱	-۰/۷	-۰/۰۵	-۰/۳	۰/۳	۰/۲۹
شن Sand					۱	-۰/۰۶	-۰/۰۱	۰/۱۷	-۰/۱۸
جرم مخصوص ظاهری Bulk density						۱	۰/۰۸	-۰/۰۰۰۸	۰/۳۵*
پایداری خاکدانه Stability							۱	۰/۴*	۰/۳۲
ماده آلی OC								۱	۰/۸۴*
ترسیب کربن خاک Soil Carbon sequestration									۱

*معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد

*Significance at the 95% level

نتایج جدول ۳ به بررسی ضریب همبستگی پیرسون بین ویژگی‌های خاک و ترسیب کربن در کاربری اراضی زراعی می‌پردازد. ضریب همبستگی بین pH و ترسیب کربن برابر با ۰/۲ است که نشان‌دهنده یک ارتباط مثبت ضعیف است. این در مقایسه با کاربری اراضی مرتعی تغییر چندانی نداشته و این به معنای اهمیت یکسان اسیدیته در هر دو نوع کاربری می‌باشد. ضریب همبستگی بین هدایت الکتریکی و ترسیب کربن برابر با ۰/۲۲- است که نشان‌دهنده یک ارتباط منفی معنادار است. این بدین معناست که افزایش هدایت الکتریکی با کاهش ترسیب کربن همراه است و در مقایسه با کاربری اراضی مرتعی که هدایت الکتریکی تأثیر چندانی بر ترسیب کربن نداشت، این تغییر نشان‌دهنده تأثیر منفی هدایت الکتریکی بر ترسیب کربن در کاربری اراضی زراعی است که این مهم با نتایج تحقیق Sedaghati *et al*., (2022) مطابقت دارد.

ضریب همبستگی بین درصد رس و ترسیب کربن برابر با ۰/۱۱ است که نشان‌دهنده یک ارتباط مثبت ضعیف است. این مقدار کمتر از ضریب همبستگی در کاربری اراضی مرتعی (۰/۱۴) است که نشان‌دهنده کاهش تأثیر رس بر ترسیب کربن در کاربری اراضی زراعی نسبت به مرتع است. Sedaghati *et al*., (2024) در تحقیقی نشان دادند که خاک‌های غنی از رس در مراتع معمولاً دارای محتوای بالاتری از کربن آلی هستند، درحالی‌که در اراضی کشاورزی این ارتباط ممکن است تحت تأثیر فعالیت‌های

زراعی کاهش یابد. همبستگی بین سیلت و ترسیب کربن نیز برابر با ۰/۰۴ است که نشان‌دهنده یک ارتباط بسیار ضعیف و غیر معنادار است. این مقدار کمتر از ضریب همبستگی در کاربری اراضی مرتعی است، بنابراین سیلت تأثیر قابل‌توجهی بر ترسیب کربن در کاربری اراضی زراعی ندارد. ضریب همبستگی بین شن و ترسیب کربن برابر با ۰/۱۶- است که نشان‌دهنده یک ارتباط منفی ضعیف است. خاک‌های شنی دارای تخلخل بالا و ظرفیت نگهداری آب کمتری هستند که این ویژگی‌ها می‌تواند منجر به کاهش فعالیت میکروبی و تجزیه مواد آلی شود. در این نوع خاک‌ها، فضای خالی زیاد باعث می‌شود که آب و مواد مغذی سریعاً از خاک خارج شوند و در نتیجه شرایط مناسبی برای ترسیب کربن فراهم نگردد (Saeidifar *et al*., 2015). ضریب همبستگی بین جرم مخصوص ظاهری و ترسیب کربن نشان‌دهنده یک ارتباط مثبت ضعیف می‌باشد؛ بنابراین فشردگی خاک تأثیر کمتری بر ترسیب کربن در کاربری اراضی زراعی دارد. همچنین بین پایداری خاکدانه و ترسیب کربن نیز یک ارتباط مثبت ضعیف دیگر است؛ که نشان‌دهنده کاهش اهمیت پایداری خاکدانه‌ها در کاربری اراضی زراعی نسبت به مرتع می‌باشد. قوی‌ترین رابطه مثبت (ضریب همبستگی ۰/۷۷) بین ماده آلی و ترسیب کربن وجود دارد که این نشان‌دهنده اهمیت ماده آلی همانند کاربری اراضی مرتعی است و با مطالعات Hewins *et al*., (2018) مطابقت دارد.

جدول ۳- ضریب همبستگی پیرسون بین متغیرهای خاک و ترسیب کربن در کاربری اراضی زراعی

Table 3 - Pearson correlation coefficient between soil properties and carbon sequestration in agricultural land use

	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand	جرم مخصوص ظاهری Bulk density	پایداری خاکدانه Stability	ماده آلی OC	ترسیب کربن خاک Soil Carbon sequestration
اسیدیته pH	۱	۰/۰۱	-۰/۲۴	-۰/۰۸	۰/۲۶	-۰/۰۰۱	۰/۰۹	۰/۱۴	۰/۲
هدایت الکتریکی EC		۱	۰/۰۲	۰/۰۳	-۰/۰۳	-۰/۰۸	-۰/۰۷	۰/۱	-۰/۰۲
رس Clay			۱	-۰/۵۳	-۰/۲۶	-۰/۰۰۵	-۰/۲۲	۰/۱۹	۰/۱۱
سیلت Silt				۱	-۰/۶۷	-۰/۰۴	۰/۲۷	۰/۰۲	۰/۰۴
شن Sand					۱	۰/۰۶	-۰/۰۹	-۰/۱۷	-۰/۱۶
جرم مخصوص ظاهری Bulk density						۱	۰/۰۴	-۰/۰۴	۰/۱۴
پایداری خاکدانه Stability							۱	۰/۰۴	۰/۱۹
ماده آلی OC								۱	۰/۷۷*
ترسیب کربن خاک Soil Carbon sequestration									۱

*معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد

*Significance at the 95% level

نتیجه‌گیری

ترسیب کربن به عنوان یک فرآیند طبیعی، نقش حیاتی در کاهش گازهای گلخانه‌ای و بهبود کیفیت خاک دارد. در مراتع، پوشش گیاهی متنوع و پایدار به افزایش تجمع کربن در خاک کمک می‌کند، درحالی‌که در زمین‌های کشاورزی، فعالیت‌های زراعی می‌تواند منجر به کاهش محتوای کربن آلی شود؛ بنابراین، مدیریت صحیح این اراضی برای حفظ و افزایش ظرفیت ترسیب کربن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. نتایج این پژوهش نشان داد که بین خصوصیات فیزیکو-شیمیایی خاک در کاربری‌های مرتع و کشاورزی تفاوت‌های معناداری وجود دارد. به‌ویژه، میانگین کربن آلی در کاربری اراضی مرتعی (۱/۴۲) به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای بیشتر از کاربری اراضی زراعی (۰/۷۹) بود. همچنین، پایداری خاکدانه‌ها و جرم مخصوص ظاهری نیز در کاربری اراضی مرتعی به‌طور معنی‌داری بالاتر از کشاورزی بود. این نتایج نشان‌دهنده تأثیر مثبت پوشش گیاهی بر کیفیت خاک و ظرفیت ترسیب کربن است. در کاربری اراضی مرتعی، ضریب همبستگی پیرسون نشان داد که ماده آلی و پایداری خاکدانه‌ها بیشترین تأثیر مثبت را بر ترسیب کربن دارند (ضریب همبستگی ۰/۸۴ و ۰/۳۲ به ترتیب). همچنین، درصد سیلت نیز ارتباط مثبت معناداری با ترسیب کربن داشت (ضریب همبستگی ۰/۲۹). این یافته‌ها تأکید می‌کنند که حفظ تنوع پوشش گیاهی و مدیریت مناسب خاک می‌تواند به افزایش ترسیب کربن کمک کند. در کاربری اراضی زراعی، قوی‌ترین رابطه مثبت بین ماده آلی و ترسیب کربن مشاهده شد (ضریب همبستگی ۰/۷۷)، اما هدایت الکتریکی ارتباط منفی معناداری با ترسیب کربن داشت (ضریب همبستگی ۰/۲۲-). همچنین، درصد رس و سیلت تأثیرات ضعیفی بر ترسیب کربن داشتند. این نتایج نشان‌دهنده چالش‌های موجود در حفظ کیفیت خاک و ظرفیت ترسیب کربن در اراضی کشاورزی است. با توجه به نتایج مقایسه کاربری اراضی مرتعی و کشاورزی، مشخص است که کاربری اراضی مرتعی نقش بیشتری در ترسیب کربن دارد. این امر به دلیل وجود پوشش گیاهی پایدارتر و مدیریت بهتر مواد آلی در مراتع است. در کاربری‌های کشاورزی، معمولاً فعالیت‌های زراعی مانند شخم زدن و استفاده از کودهای شیمیایی می‌تواند منجر به کاهش محتوای کربن آلی خاک شود. در مقابل، کاربری اراضی مرتعی که معمولاً شامل پوشش گیاهی پایدارتر است، می‌تواند به حفظ و افزایش ترسیب کربن کمک کند. برای افزایش ظرفیت ترسیب کربن در هر دو نوع کاربری، ترویج شیوه‌های زراعی پایدار که به حفظ ساختار خاک و کاهش فشردگی آن کمک کند؛ حفظ و گسترش مراتع با جلوگیری از تبدیل آن‌ها به اراضی کشاورزی؛ ارائه آموزش‌های لازم به کشاورزان درباره اهمیت مواد آلی و روش‌های افزایش آن‌ها در خاک؛ و انجام تحقیقات بیشتر برای شناسایی بهترین شیوه‌ها برای افزایش ذخیره‌سازی کربن در هر دو نوع کاربری و در مناطق مختلف پیشنهاد می‌شود. چراکه این توصیه‌ها می‌توانند به سیاست‌های مدیریتی مؤثر برای کاهش اثرات منفی تغییرات اقلیمی کمک کنند و بر لزوم توجه به شیوه‌های زراعی پایدار تأکید نمایند.

منابع

Karkhe River. Journal of Wood and Forest Science and Technology. 29 (4), 1-21.

Amani Shalamzari, M., Naghipour, A.A., Ebrahimi, A., Heidari Ghahfarrokhi, Z. and 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.

References

Ahmadi, T., Tavakoli, B. and Kazemi Mazandarani, S. S. 2011. Investigating the Effect of exclosure on Physical and Chemical Soil Properties in the Kohna Lashk Kojur, Mazandaran. Plant Ecophysiology. 3(8), 89-100.

Alidadi, F., Hojjati, S.M., Purmajidian, M.R. and Kooch, Y. 2022. The effect of different types of landuse on the physical, chemical and carbon deposition characteristics of the soil along the

Asadollahi, Z. and Mahini, S. 2017. Investigating the effect of land use changes on the supply of ecosystem services using InVEST software. Environmental Science and Technology, 8(15), 214-203.

Asgari, H.R. and Alinejad, M. 2022. Spatial analysis of carbon sequestration potential of Atriplex plant in the Chaparqavimeh pastures (Case study: Gonbad County, Golestan Province). Research Project Report, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan. 68 pages.

Asgari, H.R. 2014. Effect of agronomic practices on the aggregate stability and organic carbon of soil (case study: the northern of Aq Qala). Environmental Resources Research. 2(2), 95-106.

Babur, E. and Dindaroglu, T. 2020. Seasonal changes of soil organic carbon and microbial biomass carbon in different forest ecosystems. Environmental factors affecting human health. 1, 1-21.

Blake, G.R. and Hartge, K.H. 2003 Bulk density. Methods of soil analysis. 363-375.

Boon, A.R., Duineveld, G.C.A., and Kok, A., 1999. Benthic organic matter supply and metabolism at depositional and non-depositional areas in the North Sea. Estuarine, Coastal and Shelf Science. 49(5), 747-761.

Challenge, S., Egeru, A., and Nyombi, K. 2022. Soil carbon and nitrogen stocks in traditionally managed rangeland biomes in Karamoja sub-region, Uganda. African Crop Science Journal, 30(1): 127-140.

Faraji, A., Joneidi Jafari, H., and Gholinejad, B. 2018. Effects of ecological factors on the canopy cover percentage of Astragalus gossypinus in a part of semi-steppe rangelands of Kurdistan. Iranian Journal of Range and Desert Research. 25(2), 427-437.

Fatehi Tepe Rasht, A., Shafieizadeh Moghadam, H., and Koochikzadeh, M. 2021. Spatio-temporal analysis of Iran's climatic classification based on the De Martonne method and Mann-Kendall test during the statistical period of 1995 to 2019. Environmental Sciences. 20(3), 137-154

Gentleman, R. and Ihaka, R. 1995. The statistics department of the university of Auckland, New Zealand.

Hasanvand, H., Azimi, M., Nik Nahaq Qormakhar, H., and Rahbar, G.R. 2020. Estimation of ecosystem service of carbon sequestration by dominant species in the Tilabad pastures, Golestan Province. Journal of Rangeland. 14(4), 673-684.

Hewins, D.B., Lyseng, M.P., Schoderbek, D.F., Alexander, M., Willms, W.D., Carlyle, C.N., Chang, S.X. and Bork, E.W. 2018. Grazing and climate effects on soil organic carbon concentration and particle-size association in northern grasslands. Scientific Reports. 8(1), p.1336.

Hosseinzadeh, G., Jalilvand, H., and Tamartash, R. 2007. Changes in vegetation cover and some soil chemical properties in pastures with different grazing intensities. Journal Range Managemen. 14(4), 500-512.

Jafari, S., Ghorbani, A., Hashemi Majd, K., and Ghaffari, S. 2018. Changes in Physical and Chemical Soil Properties under the Influence of Grazing Intensity in Mogan Rangelands. Water and Soil. 32(4), 751-762.

Khatibi, R. and Farahi, M. 2024. Study on the Impact of Exclosures on the Physicochemical Properties of Rangeland Soil (Case Study: Northern Golestan Province, Sufikam Rangelands). Quarterly Scientific Research Journal of Environmental Sciences. 22(3), 483-494.

Klute, A. 1986. Methods of Soil Analysis: Part 1-Physical and Mineralogical Methods. 2nd ED. Soil science society of America. 1188p.

Kooch, Y. and Noghre, N. 2019. The effect of forest, rangeland and agriculture covers on soil microbial characters and enzyme activities. Water and Soil Conservation. 26(3), 127-143.

Maghsoudi, M. and Maghsoudi, M. 2021. Introduction to Landscapes and Landforms of Iran. Desert Landscapes and Landforms of Iran. 1-43.

Mahdavi, A., Razavinia, Z., Bazgir, M., and Rostaminia, M. 2019. The impact of land use changes on soil quality indicators and carbon sequestration in semi-arid regions. Desert Ecosystem Engineering. 8(22), 101-113.

Meftahi, M., Monavari, M., Kheirkhah Zarkesh, M., Vafaeinejad, A., and Jozi, A. 2022. February. Achieving sustainable development goals through the study of urban heat island changes and its effective factors using spatio-temporal techniques: the case study (Tehran city). In Natural Resources Forum. 46(1), 88-115.

Panagos, P., De Rosa, D., Liakos, L., Labouyrie, M., Borrelli, P., and Ballabio, C. 2024. Soil bulk density assessment in Europe. Agriculture, Ecosystems and Environment. 364, p.108907.

Puladi, N., Delavar, M. a., Golchin, A., and Mosavi Koper, A., 2013. Effect of alder and poplar plantation on soil quality and carbon sequestration (A case study: Safrabasteh Poplar Experimental Station). Iranian Journal of Forest and Poplar Research. 21(2), 286-299.

Sadeghi, A., Salehi, A., A, Pourbabaei, H., and Kooch, Y. 2023. Investigation of changes in soil properties in pure and mixed beech type in the western forests of Guilan. Forest Research and Development. 9(4), 571-591.

Saeedifar, Z. and Asgari, H.R. 2014. Effects of soil compaction on soil carbon and nitrogen sequestration and some physico-chemical features (case study: north of Aq Qala). Ecopersia. 2(4), 743-755.

Saeidifar, Z., Asgari, H. R., and Akram Ghaderi, F. 2015. The effect of soil compaction on carbon and nitrogen sequestration in soil and wheat plant and physical properties of soil (Case study: Rainfed lands in northern Aq Qala, Golestan Province). Water and Soil. 29(6), 1533-1553.

Sedaghati, N., Hasanzadeh, M., and Madani, A. 2022. Impact of crop type (Wheat and Pistachio) and soil properties (Depth, texture and nitrogen content) on the amount of carbon sequestration. Iranian Plant and Biotechnology Quarterly Journal. 11(1), 65-73.

Seneviratne, H.T.J., Sumanasekara, V.D.W., and Dissanayake, D.M.M.R.,2015. Role of agroforestry in achieving food and nutritional security, climate change mitigation and environmental resilience: a review. In NBRO Symposium.

Shivangi, S., Singh, O., Shahi, U.P., Singh, P.K., Singh, A., Rajput, V.D., Minkina, T., El-Ramady, H., and Ghazaryan, K. 2024. Carbon Sequestration through Organic Amendments, Clay Mineralogy and Agronomic Practices: A Review. Egyptian Journal of Soil Science. 64(2), 581-598.

Souri, L., Akhgari, D., and Omidvari, Sh. 2017. Investigating the Effect of Gharegh on Some Physicochemical Properties of Rangeland Soils (Case Study: Zagheh Rangelands, Lorestan Province). Journal of Rangeland Science. 3(1), 19-32.

Van Bavel, C.H.M. 1950. Mean weight-diameter of soil aggregates as a statistical index of aggregation 1. Soil Science Society of America Journal. 14(C), 20-23.

Walkly, A. and Black, I. A. 1934. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science. 37, 29-38.

Wang, C. and Kuzyakov, Y. 2024. Soil organic matter priming: The pH effects. Global Change Biology. 30(6), p.e17349.

Yeasmin, S., Jahan, E., Islam, A.M., Anwar, M.P., and Hoque, T.S. 2023. Impact of land use on carbon sequestration potential of soils in Agroecological Zone-9 of Bangladesh. Fundamental and Applied Agriculture. 8(1 & 2), 483-489.

Zahirnia, A., Matinfar, H.R., and Bahrami, H. 2022. Evaluation of Soil Organic Carbon Storage in Different Land Uses Using Partial Least Squares, Geostatistics, M5 Tree Model and Landsat 8 Statistical Methods. Iranian Journal of Remote Sensing & GIS. 14(2), 1-18.

Zhang, B., Jia, Y., Fan, H., Guo, C., Fu, J., Li, S., Li, M., Liu, B., and Ma, R. 2024. Soil compaction due to agricultural machinery impact: A systematic review. Land Degradation & Development. 35(10), 3256-3273.

This page is intentionally left blank.