



Comparison of Soil Organic Carbon, Total Nitrogen, and Carbon to Nitrogen Ratio (C/N) in Rangeland and Desert Habitats of South Khorasan Province

Farhad Azarmi-Atajan^{1*}  and Moslem Rostampour² 

1- Department of Soil Science and Engineering and Research Group of Drought and Climate Change, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran

2- 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

* Corresponding author, Email: farhadazarmi@birjand.ac.ir

(Received: 12 February 2025; Revised: 17 May 2025; Accepted: 17 July 2025)

Abstract

Background and Objective: Evaluation of soil properties around plants in rangelands plays an important role in understanding the effect of vegetation on soil properties and consequently rangeland management. The carbon to nitrogen (C/N) ratio is a key factor in regulating the efficiency of nutrient use in plants. Besides, the C/N ratio has a direct effect on the rate of decomposition of organic compounds, and consequently the persistence of carbon in the soil. The aim of the present study is to determine and compare the soil organic carbon, total nitrogen, and C/N ratio in different habitats and different life forms of plants native to arid and desert areas and cultivated in the rehabilitated rangelands of South Khorasan province.

Methods: Soil samples were collected from the root zone at depth of 0–60 cm for five distinct habitats, and their organic carbon, total nitrogen, and C/N ratio were determined.

Results: The results showed that the soil organic carbon content in the studied habitats varied in the range of 0.07–0.97 %. The highest mean of soil organic carbon was obtained for the soil of *Nitraria schoberi* habitat and its lowest mean was obtained for the soil of *Hymenocrater calycinus* habitat. The total nitrogen content of the soil varied between 0.006 and 0.14 %. The soil C/N ratio varied from 3.61 to 71.50 with a mean of 15.02. The highest soil total nitrogen and organic carbon were observed in the habitat of shrub and bush species with the phanerophyte life form.

Conclusion: It seems that shrub species with a higher canopy cover and biomass percentage and, as a result, more litter fall, contribute more to the recycling of nutrients than herbaceous species. Cultivation of *Nitraria schoberi* in rehabilitated rangelands increased soil carbon and nitrogen, therefore, the cultivation of this species is recommended in rangeland restoration programs and carbon sequestration projects.

Keywords: Carbon sequestration, Life form, Organic matter, Rangeland restoration, Soil quality, Vegetation.

How to Cite: Azarmi-Atajan, F., Rostampour, M., 2025. Comparison of soil organic carbon, total nitrogen, and carbon to nitrogen ratio (C/N) in rangeland and desert habitats of South Khorasan province. J. Soil Plant Interact. 16(2), 21–38 (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.47176/jspi.16.2.21591>





مقایسه کربن آلی، نیتروژن کل و نسبت کربن به نیتروژن (C/N) خاک رویشگاه‌های مرتعی و بیابانی استان خراسان جنوبی

فرهاد آذر می آتاجان^{۱*} و مسلم رستم‌پور^۲

۱- گروه علوم و مهندسی خاک و گروه پژوهشی خشکسالی و تغییر اقلیم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
۲- گروه مرتع و آبخیزداری و گروه پژوهشی خشکسالی و تغییر اقلیم، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: farhadazarmi@birjand.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۲۴؛ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۲/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۴/۲۶)

چکیده

پیشینه پژوهش و هدف: ارزیابی ویژگی‌های خاک اطراف گیاهان، نقش مهمی در شناخت تأثیر پوشش گیاهی بر خاک و در نتیجه مدیریت مراتع دارد. نسبت کربن به نیتروژن (C/N) اثر مستقیمی بر سرعت تجزیه ترکیبات آلی و ماندگاری کربن در خاک دارد. هدف از پژوهش حاضر مقایسه مقدار کربن آلی، نیتروژن کل و نسبت C/N خاک در رویشگاه‌های مختلف و شکل‌های زیستی مختلف گیاهان بومی مناطق خشک و بیابانی و کشت‌شده در برخی از مراتع احیایی خراسان جنوبی بود.

روش‌ها: نمونه‌های خاک از پنج رویشگاه مختلف از پای (ناحیه ریشه) گیاه و عمق صفر تا ۶۰ سانتی‌متری برداشت شده و مقادیر کربن و نیتروژن و نسبت آن‌ها اندازه‌گیری شد.

نتایج: نتایج نشان داد که مقدار کربن آلی خاک در رویشگاه‌های مورد بررسی در دامنه ۰/۰۷-۰/۹۷ درصد متغیر بود. بیشترین میانگین کربن آلی خاک (۰/۸۲ درصد) از خاک مکان رویش گیاه قره‌داغ (*Nitraria schoberi*) و کمترین میانگین آن (۰/۱۵ درصد) از خاک مکان رویش گیاه گل آرونه (*Hymenocrater calycinus*) به دست آمد. مقدار نیتروژن کل خاک بین ۰/۰۰۶ تا ۰/۱۴ درصد متغیر بود. نسبت C/N خاک از ۳/۶۱ تا ۷۱/۵۰ متغیر بوده و میانگین آن برابر ۱۵/۰۲ بود. بیشترین مقادیر نیتروژن و کربن آلی خاک در رویشگاه گونه‌های گیاهی درختچه‌ای و بوته‌ای با فرم زیستی فانروفیت مشاهده شد.

نتیجه‌گیری کلی: به نظر می‌رسد گونه‌های درختچه‌ای با درصد تاج پوشش و زیست توده بیشتر و در نتیجه ریزش لاشبرگ بیشتر، نسبت به گونه‌های علفی، در بازچرخش عناصر غذایی کمک بیشتری می‌کنند. کشت گونه قره‌داغ (*Nitraria schoberi*) در مراتع احیایی موجب افزایش کربن و نیتروژن خاک شد؛ ازین رو کشت این گونه در برنامه‌های احیای مراتع و پروژه‌های ترسیب کربن پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: احیای مراتع، پوشش گیاهی، ترسیب کربن، فرم زیستی، کیفیت خاک، ماده آلی.



مقدمه

کربن (C) و نیتروژن (N) از مهم‌ترین و اولین عناصری هستند که ضرورت آنها برای رشد و نمو گیاهان مشخص شده و نسبت C/N به عنوان شاخص کارایی مصرف نیتروژن مورد توجه بوده و در ورودی بسیاری از مدل‌های اکوسیستمی و اکولوژیکی از آن استفاده می‌شود. کربن و نیتروژن به عنوان عناصر ضروری برای گیاهان و ریزجانداران، با فرایندهای بیولوژیک مانند تثبیت نیتروژن، تجزیه مواد آلی و فتوسنتز گیاهان مرتبط هستند (Heyburn et al., 2017). گیاهان با C/N بیشتر، کارایی مصرف نیتروژن را در شرایط کمبود شدید نیتروژن برای اطمینان از بقا، افزایش می‌دهند. از طرف دیگر گیاهانی که C/N کمی دارند، در محیط‌هایی که محدودیت نیتروژن کمتر است، از برتری رشدی برخوردار می‌شوند. در طبیعت، گونه‌هایی که C/N زیادی دارند، قادرند جوامع را برای زندگی در شرایط کمبود نیتروژن سازگار کنند (Zhang et al., 2020). نسبت C/N با تأثیر بر فرایندهای تولید و تجزیه اکوسیستم، بر چرخه‌های بیوژئوشیمیایی اثر می‌گذارد (Lanuzza et al., 2019) و مقدار این نسبت در گیاه می‌تواند به طور غیرمستقیم منعکس کننده جذب و استفاده عناصر غذایی توسط گیاهان باشد (Tang et al., 2020). تغذیه گیاه و سازوکارهای جذب عناصر غذایی بین گونه‌های گیاهی متفاوت است و بنابراین پاسخ‌های متفاوتی به تغییرات منابع خاک در طول دوره احیاء منابع نشان می‌دهند. از سوی دیگر، فرایندهای پاسخ اکوفیزیولوژیک گونه‌های غالب، نقش کلیدی در پاسخ‌های اکوسیستم به تغییرات محیطی دارند (Liu et al., 2018). همچنین، مقادیر نسبت C/N گونه‌های غالب مختلف، پاسخ‌های متفاوتی به استفاده از مراتع داشته و امکان همزیستی گونه‌های مختلف گیاهی را در مراتع فراهم می‌سازد (Wang et al., 2022). نسبت C/N در گیاهان مختلف علاوه بر تأثیر بر نوع کاربری مراتع، وضعیت تغذیه‌ای گیاه، تحمل و مقاومت در برابر تنش‌های زیست محیطی، تنوع گیاهی و میکروبی بر تجزیه بقایای این گیاهان در خاک و زمان ماندگاری کربن در خاک اثرگذار است.

مقدار کربن و نیتروژن و به‌ویژه نسبت این دو عنصر در گیاهان

بر سرعت تجزیه بقایای گونه‌های مختلف این گیاهان موثر است. حدود ۵۰ درصد ترکیب شیمیایی مواد آلی را کربن تشکیل داده و عناصر اکسیژن (۳۹ درصد)، نیتروژن و هیدروژن (۵ درصد) و فسفر و گوگرد (۵٪ درصد) از دیگر عناصر موجود در مواد آلی هستند (Khosravi, 2022). سرعت و مدت زمان تجزیه بقایای گیاهی و ترکیبات آلی و تأثیر آن‌ها بر حاصلخیزی و ویژگی‌های دیگر خاک به نسبت C/N آن‌ها ارتباط دارد. افزودن بقایای گیاهی با نسبت C/N زیاد موجب کاهش موقت مقدار نیتروژن خاک به دلیل جذب این عنصر توسط ریزجانداران تجزیه‌کننده ترکیبات آلی می‌گردد. از سوی دیگر، تجزیه بقایای گیاهی با نسبت C/N کمتر موجب افزوده شدن مازاد نیتروژن موجود در آن به خاک شده و حاصلخیزی خاک را افزایش می‌دهد (Khosravi, 2022). نسبت C/N کم در گیاهان موجب افزایش سرعت تجزیه بقایای این گیاهان در خاک می‌گردد. اما در نقطه مقابل، بقایای گیاهی با نسبت C/N زیاد به دلیل کندی سرعت تجزیه، مدت زمان بیشتری در خاک باقی مانده و این امر از منظر خروج کربن از خاک و ورود آن به صورت CO₂ به اتمسفر به دلیل تأثیر بر گرمایش جهانی و تغییر اقلیم اهمیت زیادی دارد. انتشار دی‌اکسید کربن از خاک‌های مرتعی سهم چشم‌گیری در چرخه کربن دارد. اقلیم، پوشش و نوع گونه گیاهی، تنوع زیستی و نوع کاربری از عوامل مؤثر بر ذخیره دی‌اکسید کربن در مراتع به‌شمار می‌روند (Janson and Olsson, 2003). گیاهان با تثبیت دی‌اکسید کربن در فرآیند فتوسنتز، مقدار زیادی کربن آلی را در اندام‌های خود ذخیره کرده و بدین ترتیب به کاهش غلظت دی‌اکسید کربن در اتمسفر کمک می‌کنند.

خاک و گیاه به یکدیگر وابسته بوده و گونه‌های مختلف گیاهی می‌تواند تأثیر متفاوتی بر ویژگی‌های خاک (از جمله مقدار کربن و نیتروژن و نسبت آن‌ها) داشته باشد. پوشش گیاهی پراکنده و کربن آلی کم خاک از مشخصه‌های بارز مناطق خشک و نیمه‌خشک است. از این رو، در این مناطق توجه کمتری به مقدار کربن در گیاهان و خاک نسبت به سایر مناطق شده است. با این وجود بر اساس برخی پژوهش‌ها، در اکوسیستم‌های خشک و نیمه‌خشک زیست‌توده زیرزمینی چند برابر زیست‌توده روی

در اندام‌های مختلف گیاهان را می‌توان با فرآیندهای تکاملی گیاه، تغییرات و اصلاحات زیست‌محیطی و خودتنظیمی جوامع تشریح کرد (Zhang et al., 2020). در بررسی مقادیر کربن و نیتروژن در گیاهان و خاک مشخص شد که مقدار کربن و نیتروژن در خاک‌های کشاورزی به‌طور معنی‌داری بیشتر از خاک‌های بکر بود. نسبت کربن به نیتروژن نیز در خاک‌های بکر تا حدودی کمتر از خاک‌های کشاورزی بود. همبستگی کربن و نیتروژن بین گونه‌های بومی و خاک نیز بیشتر در لایه رویی خاک مشاهده شد (Zhang et al., 2014).

خراسان جنوبی یکی از پهناورترین استان‌های کشور است که بیشتر زمین‌های آن را مناطق بیابانی و مراتع تشکیل داده‌اند و پوشش گیاهی ضعیف و پراکنده از ویژگی‌های بارز این مناطق است. در سال‌های اخیر کارهای حفاظتی مختلفی در برخی از مناطق بیابانی این استان برای احیا مراتع و کاهش سرعت بیابان‌زایی انجام شده است. پژوهش‌های بسیار محدود و پراکنده‌ای در رابطه با تأثیر نوع پوشش گیاهی بر ویژگی‌های مختلف خاک از جمله ماده آلی و نسبت کربن به نیتروژن در مراتع طبیعی و احیایی این منطقه انجام شده است. در سال‌های اخیر، در پروژه‌های ترسیب کربن و اصلاح و احیای مراتع و بیابان‌های استان خراسان جنوبی، عموماً از گونه‌های غیربومی درختچه‌ای (*Atriplex* *canescens* و *Atriplex lentiformis*) و بومی (*Nitraria schoberi* و *Seidlitzia rosmarinus*) در قالب طرح‌های نهال‌کاری استفاده شده است، اما تأثیر آنها بر میزان کربن خاک بررسی نشده است. همچنین در طرح‌های نهال‌کاری، تأکید بیشتری بر گونه‌های درختچه‌ای، و سایر فرم‌های رویشی مانند بوته‌ای و علفی نادیده گرفته شده است. از این‌رو، با توجه به تأثیر گونه‌های گیاهی بر ویژگی‌های خاک رویشگاه به‌ویژه در مناطق خشک و بیابانی، هدف از پژوهش حاضر، تعیین و مقایسه میزان کربن آلی خاک، نیتروژن کل و نسبت C/N خاک در ۱۸ رویشگاه گیاهان شاخص مراتع و بیابان‌های استان اعم از بومی و غیربومی کشت‌شده در مراتع طبیعی و احیایی برخی از شهرستان‌های استان خراسان جنوبی بود.

زمین است (Li et al., 2010). ارتباط مستقیمی بین وضعیت پوشش گیاهی (مانند نوع گیاه و تراکم) و مقدار ماده آلی خاک در کاربری‌های مختلف از جمله مراتع وجود دارد. شاخ و برگ و ترشحات ریشه‌ای گیاهان منبع تجمع کربن و نیتروژن در خاک می‌باشند. پوشش گیاهی می‌تواند تعیین‌کننده مقدار و تغییرات کربن آلی خاک به‌ویژه در مناطق خشک باشد (White et al., 2009). از طرفی، تجزیه مواد آلی خاک توسط ریزجانداران خاکریزی، از مهم‌ترین روش‌های تامین عناصر غذایی از جمله نیتروژن برای گیاه است. نسبت کربن به نیتروژن خاک از شاخص‌های اصلی حاصلخیزی و کیفیت خاک محسوب می‌شود که تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله پوشش گیاهی قرار دارد (Diekov et al., 2005). با این وجود برهمکنش و ارتباط بین چرخه کربن و نیتروژن و سرنوشت این دو عنصر در خاک پیچیده است. به‌هرحال، شناخت توزیع کربن و نیتروژن در اجزای مختلف اکوسیستم از جمله خاک در مناطق خشک ضرورت دارد. در پژوهشی (Gao and Zeng, 2023) با بررسی الگوهای استوکیومتری کربن، نیتروژن و فسفر سه گیاه بیابانی در یک اکوسیستم بیابانی خیلی خشک بیان داشتند که غلظت نیتروژن و فسفر در برگ، ساقه و ریشه *Alhagi sparsifolia* به‌طور معنی‌داری بیشتر از گیاهان *Karelinia caspica* و *Tamarix ramosissima* بود، در حالی که مقدار کربن گیاه و کربن خاک در گیاه *Tamarix ramosissima* بیشتر از دو گیاه دیگر بود. آنها نتیجه گرفتند که در یک اکوسیستم بیابانی خیلی خشک، سیستم زیست‌توده گیاهی-خاک-میکروب و تعادل C، N و P ارتباط نزدیکی با هم داشته و نقش زیست‌توده میکروبی خاک در تأثیر بر تعادل عناصر غذایی گیاه باید بیشتر مورد توجه قرار گیرد (Gao and Zeng, 2023). همچنین (Zhang et al., 2020) بیان داشتند که تنوع و تکامل نسبت C/N در بین اندام‌های مختلف، گیاهان را قادر می‌سازد تا با محیط‌های با نیتروژن کم سازگار شوند. به‌طوری‌که گیاهان به سمت نسبت‌های کمتر C/N در برگ و شاخه تکامل یافته و نیتروژن نقش مهم‌تری نسبت به کربن در برگ‌ها دارد. بر اساس نتایج پژوهش آن‌ها، تغییرات نسبت C/N

جدول ۱. خانواده، گونه، شکل زیستی و پراکندگی جغرافیایی گیاهان در منطقه مورد بررسی

Table 1. List of family, species, life form and chorotype in the study area

Abbreviation اختصار	Species گونه گیاهی	Family خانواده	Life form شکل زیستی	Chorotype پراکندگی جغرافیایی	Habitat زیستگاه
Ac.sa	<i>Achillea santolinoides</i> Lag. subsp. <i>wilhelmsii</i> (K.Koch) Greuter	Asteraceae	He	IT-ES-SS	Protected area
Ae.su	<i>Aellenia subaphylla</i> (C.Meyer)	Chenopodiaceae	Ph	IT	Halophyte habitats
Am.sc	<i>Amygdalus scoparia</i> Spach	Rosaceae	Ph	IT	Protected area
Ar.si	<i>Artemisia sieberi</i> Besser	Asteraceae	Ch	IT	Protected area
At.ca	<i>Atriplex canescens</i> L.	Chenopodiaceae	Ch	PL	Rehabilitated rangelands
At.le	<i>Atriplex lentiformis</i> S.wats.	Chenopodiaceae	Ch	IT	Rehabilitated rangelands
Ca.po	<i>Calligonum polygonoides</i> L.	Polygonaceae	Ph	IT,SS	Psammophyte habitats
Hy.ca	<i>Hymenocrater calycinus</i> (Boiss) Benth.	Lamiaceae	He	IT	Protected area
Ni.sc	<i>Nitraria schoberi</i> L.	Nitrariaceae	Ph	IT	Rehabilitated rangelands
Rh.co	<i>Rhus coriaria</i> L.	Anacardiaceae	Ph	IT	Petropyhte habitats
Sa.ya	<i>Salsola yazdianus</i> Assadi	Chenopodiaceae	Ch	IT	Halophyte habitats
Sc.or	<i>Scariola orientalis</i> (Boiss.) Sojak.	Asteraceae	Ch	IT	Protected area
Sc.le	<i>Sclerorhachis leptoclada</i> Rech. f.	Asteraceae	He	En	Protected area
Se.ro	<i>Seidlitzia rosmarinus</i> (Ehrh.) Bge. ex Boiss.	Chenopodiaceae	Ch	IT,SS	Rehabilitated rangelands
St.ba	<i>Stipa barbata</i> Desf.	Poaceae	He	IT	Protected area
St.pe	<i>Stipagrostis pennata</i> (Trin.) De Winter	Poaceae	He	IT,M,SS	Psammophyte habitats
Ta.st	<i>Tamarix stricta</i> Boiss.	Tamaricaceae	Ph	SS	Halophyte habitats
Zy.at	<i>Zygophyllum atriplicoides</i> Fisch. & C. A.Meyer	Zygophyllaceae	Ph	IT,SS	Petropyhte habitats

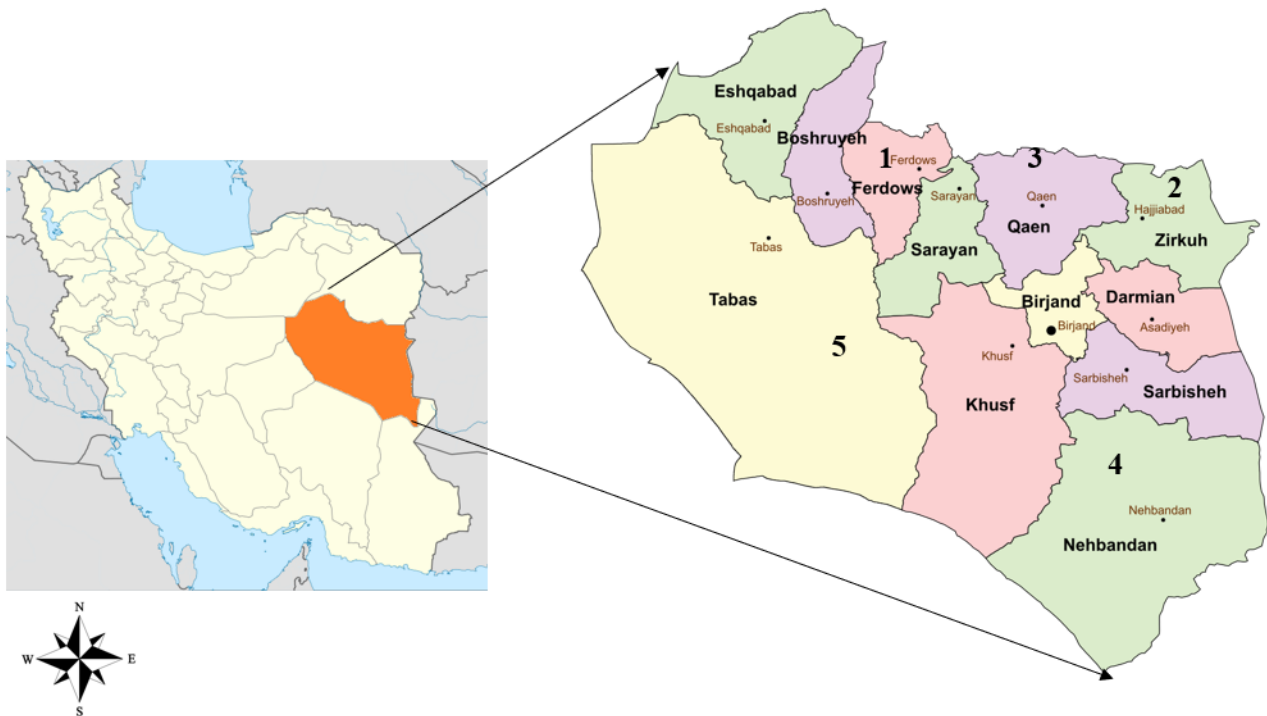
IT: ایرانی-تورانی، EU: اروپا-سیبری، SS: صحرا-سندی، M: مدیترانه‌ای، En: بوم‌زاد ایران، Ch: کامه‌فیت‌ها، He: همی کریپتوفیت‌ها، Ph: فانروفیت‌ها، Th: تروفیت‌ها

He: Hemicryptophytes, Ch: Chamaephytes, Ph: Phanerophytes, ES: Euro-Siberian, IT: Irano-Turanian, M: Mediterranean, En: Endemic, SS: Sahara Sindian

مواد و روش‌ها

بر اساس طبقه‌بندی ران کیائر تعیین شد. در این رده‌بندی گیاهان بر اساس موقعیت جوانه‌های تجدیدکننده‌ی حیات به گروه‌های فانروفیت‌ها، کامه‌فیت‌ها، همی کریپتوفیت‌ها و تروفیت‌ها تقسیم شدند (Jafari and Rostampour, 2019). سپس از منطقه معرف هر رویشگاه، بسته به وسعت و تغییرات پوشش گیاهی، بین ۳ تا ۱۵ نمونه خاک (مجموعاً ۱۱۴ نمونه خاک) از زیر تاج‌پوشش گونه غالب برداشت شد. به دلیل اینکه عمق ریشه‌دوانی گونه‌های رویشگاه‌های ساموفیت و هالوفیت تا ۶۰ سانتی‌متر بود، تمام نمونه‌های خاک به صورت تصادفی از زیر تاج‌پوشش گیاه و از لایه ۰ تا ۶۰ سانتی متر برداشت شد. پس از آماده‌سازی اولیه

در پژوهش حاضر، رویشگاه ۱۸ گونه گیاهی از سه فرم رویشی علفی، بوته‌ای و درختچه‌ای شامل شکل‌های زیستی همی کریپتوفیت، کامه‌فیت و فانروفیت از ۱۰ تیره گیاهی (جدول ۱) در پنج رویشگاه شورپسند (هالوفیت)، شن‌دوست (ساموفیت)، صخره‌دوست (پتروفیت)، منطقه حفاظت‌شده و مراتع احیایی در چهار شهرستان طبس، نهبندان، زیرکوه، قاین و فردوس واقع در استان خراسان جنوبی مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۱). در هر رویشگاه، گونه غالب با بیشترین فراوانی، انتخاب شد و شکل‌های زیستی گونه‌های گیاهی مورد بررسی،



شکل ۱. نقشه جغرافیایی استان خراسان جنوبی و رویشگاه‌های مورد بررسی.

۱: مراتع احیایی، ۲: منطقه حفاظت‌شده، ۳: پتروفیت‌ها، ۴: ساموفیت‌ها و ۵: هالوفیت‌ها

Fig. 1. Geographical map of South Khorasan province and the studied habitats.

1: Rehabilitated rangelands, 2: Protected area, 3: Petrophytes habitats, 4: Psammophyte habitats, and 5: Halophyte

کربن آلی و نیتروژن کل خاک از تحلیل رگرسیون چندجمله‌ای (خطی، درجه دو و درجه سه) استفاده شد. کلیه تحلیل‌های آماری توسط نرم-افزار R انجام شد (R Core Team, 2021).

نتایج

نتایج آمار توصیفی (جدول ۲) نشان می‌دهد که مقدار کربن آلی خاک بین ۰/۰۷ تا ۰/۹۷ درصد تغییر می‌کند. میانگین مقادیر کربن آلی خاک در مناطق مورد بررسی برابر ۰/۳۵ درصد (± 0.20) است. بیشترین تغییرات کربن آلی خاک، مربوط به رویشگاه گز (Ta.st) در اطراف کال شور با ضریب تغییرات ۴۳/۳۶ درصد و کمترین تغییرات آن، مربوط به رویشگاه آتریپلکس (At.ca) در مراتع احیایی با ضریب تغییرات ۲/۰۹ درصد است. نتیجه آزمون شاپیرو-ویلک نشان می‌دهد که توزیع آماری کربن آلی خاک رویشگاه‌های احیایی (At.ca و At.le) و رویشگاه St.ba در منطقه حفاظت‌شده نرمال نیستند ($p \leq 0.05$).

نمونه‌های خاک و عبور از الک ۲ میلی‌متری، مقادیر کربن آلی خاک به روش اکسیداسیون تر (Walkley and Black, 1934) و نیتروژن کل خاک با روش کج‌دال (Bremner, 1965) تعیین شد.

تجزیه و تحلیل آماری

آمار توصیفی شامل میانگین، میانه، کمینه، بیشینه، واریانس، انحراف معیار و ضریب تغییرات برای کربن، نیتروژن و نسبت کربن به نیتروژن در ۱۸ رویشگاه محاسبه شد. همچنین آزمون نرمال بودن شاپیرو-ویلک برای داده‌ها انجام شد. به دلیل نرمال نبودن داده‌های برخی از رویشگاه‌ها، ابتدا تبدیل جذری داده‌ها انجام شده، سپس به منظور بررسی اثر رویشگاه و شکل زیستی بر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده (جذری) از آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه (ANOVA) و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون توکی در سطح احتمال ۰/۰۵ استفاده شد. اندازه اثر بر اساس مجذور اتا مشخص شد (اثر کم: $\eta^2 = 0.01$ ، اثر متوسط: $\eta^2 = 0.06$ و اثر زیاد: $\eta^2 = 0.14$). به منظور بررسی رابطه بین

جدول ۲. آمار توصیفی مقدار کربن آلی خاک در ۱۸ رویشگاه مورد بررسی

Table 2. Descriptive statistics of soil organic carbon content in the 18 studied habitats

Shapiro-Wilk		Coefficient of variation (CV, %)	Standard deviation (SD)	Variance	Max	Min	Species
P	W						
سطح معنی داری	آماره	ضریب تغییرات	انحراف معیار	واریانس	بیشینه	کمینه	گونه گیاهی
0.99	1.00	15.00	0.03	0.001	0.23	0.17	Ac.sa
0.31	0.88	20.01	0.10	0.010	0.60	0.38	Ae.su
0.81	0.96	5.26	0.01	0.000	0.20	0.18	Am.sc
0.17	0.82	17.91	0.06	0.003	0.44	0.27	Ar.si
0.04*	0.76	10.59	0.06	0.003	0.61	0.46	At.le
0.03*	0.80	2.09	0.01	0.000	0.47	0.45	At.ca
0.27	0.86	22.33	0.05	0.002	0.26	0.16	Ca.po
0.24	0.90	33.03	0.05	0.003	0.23	0.11	Hy.ca
0.39	0.92	14.31	0.12	0.014	0.90	0.60	Ni.sc
0.30	0.91	2.44	0.01	0.000	0.42	0.40	Rh.co
0.30	0.89	9.41	0.05	0.003	0.61	0.46	Sa.ya
0.18	0.86	18.19	0.03	0.001	0.23	0.14	Sc.le
0.99	1.00	8.98	0.02	0.000	0.25	0.19	Sc.or
0.05	0.78	22.94	0.05	0.002	0.27	0.16	Se.ro
0.03*	0.77	24.66	0.06	0.003	0.26	0.16	St.ba
0.99	1.00	14.73	0.04	0.001	0.27	0.18	St.pe
0.47	0.92	43.36	0.23	0.054	0.97	0.23	Ta.st
0.41	0.94	32.41	0.06	0.003	0.28	0.07	Zy.at
<0.001***	0.89	56.79	0.20	0.039	0.97	0.07	General

*: $p \leq 0.05$, **: $p \leq 0.01$, ***: $p \leq 0.001$

نشان می‌دهد که مقدار نسبت C/N در دامنه ۳/۶۱ تا ۷۱/۵۰ تغییر می‌کند. میانگین نسبت C/N در مناطق مورد بررسی برابر ۱۵/۰۲ ($\pm ۵۲/۹$) است. بیشترین تغییرات نسبت C/N، مربوط به رویشگاه قیچ (Zy.at) در رویشگاه پتروفیت با ضریب تغییرات ۴۰/۶۸ درصد و کمترین تغییرات مربوط به رویشگاه سبط پابلند (St.pe) در رویشگاه ساموفیت با ضریب تغییرات ۲/۱۷ درصد مشاهده شد. نتیجه آزمون شاپیرو-ویلک نشان می‌دهد که توزیع آماری این ویژگی خاک در رویشگاه‌های Ar.si، At.l و Se.ro نرمال نیست ($p \leq 0.05$).

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۵) نشان می‌دهد که اثر رویشگاه بر میزان کربن آلی، نیتروژن کل و نسبت کربن به نیتروژن خاک در منطقه مورد بررسی معنی‌دار بوده ($p = 0.00$)، و میزان تاثیر نیز بسیار زیاد است ($\eta^2 > 0.14$).

نتایج آمار توصیفی نیتروژن کل خاک (جدول ۳) نشان می‌دهد که مقدار نیتروژن کل خاک بین ۰/۰۰۶ تا ۰/۱۴ درصد تغییر می‌کند. میانگین مقادیر نیتروژن کل خاک در مناطق مورد بررسی برابر ۰/۰۳ درصد ($\pm ۰/۰۲۶$) است. بیشترین تغییرات مقدار نیتروژن خاک، مربوط به رویشگاه گز (Ta.st) در اطراف کال شور با ضریب تغییرات ۴۶/۶۶ درصد و کمترین تغییرات آن، مربوط به رویشگاه بومادران (Ac.sa)، بادامشک (Am.sc)، سماق (Rh.co)، گل ارونه (Hy.ca) و مستار (Sc.le) با ضریب تغییرات صفر درصد است. نتیجه آزمون شاپیرو-ویلک نشان می‌دهد که نیتروژن کل خاک رویشگاه‌های احیایی (At.le و At.ca) و رویشگاه پتروفیت (Zy.at و Rh.co) و گز (Ta.st) در رویشگاه هالوفیت‌ها نرمال نیستند ($p \leq 0.05$).

نتایج آمار توصیفی نسبت کربن به نیتروژن خاک (جدول ۴)

جدول ۳. آمار توصیفی مقدار نیتروژن کل خاک در ۱۸ رویشگاه مورد بررسی

Table 3. Descriptive statistics of soil total nitrogen content in the 18 studied habitats

Shapiro-Wilk		Coefficient of variation (CV, %)	Standard deviation (SD)	Variance	Max	Min	Species
P	W						
سطح معنی‌داری	آماره	ضریب تغییرات	انحراف معیار	واریانس	بیشینه	کمینه	گونه گیاهی
0.99	1.00	0.000	0.000	0.000	0.010	0.010	Ac.sa
0.99	1.00	25.227	0.014	0.000	0.076	0.039	Ae.su
0.99	1.00	0.000	0.000	0.000	0.020	0.020	Am.sc
0.36	0.89	43.398	0.014	0.000	0.060	0.020	Ar.si
0.05	0.78	15.467	0.007	0.000	0.061	0.040	At.le
0.04*	0.81	24.490	0.002	0.000	0.011	0.006	At.ca
0.99	1.00	23.472	0.003	0.000	0.016	0.008	Ca.po
0.06	0.85	0.000	0.000	0.000	0.010	0.010	Hy.ca
0.02*	0.80	7.930	0.008	0.000	0.108	0.087	Ni.sc
<0.001***	0.59	0.000	0.000	0.000	0.020	0.020	Rh.co
0.10	0.83	14.361	0.007	0.000	0.060	0.040	Sa.ya
0.82	0.96	0.000	0.000	0.000	0.010	0.010	Sc.le
0.99	1.00	17.891	0.005	0.000	0.030	0.020	Sc.or
0.68	0.94	22.786	0.002	0.000	0.013	0.008	Se.ro
0.97	0.98	24.052	0.003	0.000	0.013	0.008	St.ba
0.99	1.00	13.925	0.002	0.000	0.013	0.009	St.pe
0.02*	0.76	46.657	0.033	0.001	0.140	0.040	Ta.st
<0.001***	0.70	41.571	0.005	0.000	0.020	0.008	Zy.at
<0.001***	0.82	83.676	0.026	0.001	0.140	0.006	General

*: $p \leq 0.05$, **: $p \leq 0.01$, ***: $p \leq 0.001$

جدول ۴. آمار توصیفی نسبت کربن آلی به نیتروژن کل (C/N) خاک در ۱۸ رویشگاه مورد بررسی

Table 4. Descriptive statistics of soil organic carbon to total nitrogen (C/N) ratio in the 18 studied habitats

Shapiro-Wilk		Coefficient of variation (CV, %)	Standard deviation (SD)	Variance	Max	Min	Species
P	W						
سطح معنی‌داری	آماره	ضریب تغییرات	انحراف معیار	واریانس	بیشینه	کمینه	گونه گیاهی
0.99	1.00	15.00	3.00	9.00	23.00	17.00	Ac.sa
0.31	0.88	33.58	3.24	10.52	13.95	5.00	Ae.su
0.81	0.96	5.26	0.50	0.25	10.00	9.00	Am.sc
<0.001***	0.75	27.49	3.08	9.49	15.41	7.17	Ar.si
0.01**	0.72	11.04	1.27	1.61	14.00	10.00	At.le
0.53	0.93	22.41	12.33	152.06	71.50	42.58	At.ca
0.81	0.96	23.81	4.40	19.32	20.83	10.63	Ca.po
0.24	0.90	33.03	5.02	25.20	23.00	11.00	Hy.ca
0.26	0.91	20.74	1.77	3.14	10.34	5.56	Ni.sc
0.02	0.82	2.44	0.50	0.25	21.00	20.00	Rh.co
0.12	0.84	14.69	1.69	2.85	14.50	9.33	Sa.ya
0.98	0.99	18.19	3.42	11.70	23.00	14.00	Sc.le
0.99	1.00	12.14	1.02	1.04	10.00	7.33	Sc.or
0.00**	0.63	3.94	0.81	0.66	22.00	20.00	Se.ro
0.44	0.91	2.36	0.48	0.23	20.83	20.00	St.ba
0.99	1.00	2.17	0.44	0.20	20.83	20.00	St.pe
0.46	0.92	18.81	1.45	2.11	9.69	5.75	Ta.st
0.09	0.90	40.68	6.14	37.66	23.00	3.61	Zy.at
<0.001***	0.69	63.36	9.52	90.62	71.50	3.61	General

*: $p \leq 0.05$, **: $p \leq 0.01$, ***: $p \leq 0.001$

جدول ۵. تجزیه واریانس اثر رویشگاه بر مقادیر کربن آلی (C)، نیتروژن کل (N) و نسبت C/N در ۱۸ رویشگاه مورد بررسی (داده‌های تبدیل شده)
Table 5. Analysis of variance of the effect of habitat on soil organic carbon (C), total nitrogen (N) and C/N ratio in the 18 studied habitats (transformed data)

ویژگی Property	Sum of squares مجموع مربعات	df درجه آزادی	Mean square میانگین مربعات	F	P سطح معنی داری	Eta-squared مجذور اتا
C	Between groups بین گروه‌ها	17	0.15	37.75	0	0.87
	Within groups درون گروه‌ها	96	0.00			
	Total کل	113				
N	Between groups بین گروه‌ها	17	0.03	54.25	0	0.91
	Within groups درون گروه‌ها	96	0.00			
	Total کل	113				
C/N	Between groups بین گروه‌ها	17	5.55	24.76	0	0.81
	Within groups درون گروه‌ها	96	0.22			
	Total کل	113				

(Ta.st) (کمتر از ۸) مشاهده شد.

نتیجه تجزیه واریانس (جدول ۶) نشان داد که اثر شکل زیستی بر میزان کربن آلی، نیتروژن کل و نسبت نیتروژن به کربن خاک در منطقه مورد بررسی معنی دار است ($p = 0.00$). میزان تاثیر شکل زیستی بر کربن آلی و نیتروژن کل بسیار زیاد ($\eta^2 > 0.14$) و بر نسبت C/N متوسط است ($\eta^2 > 0.06$).

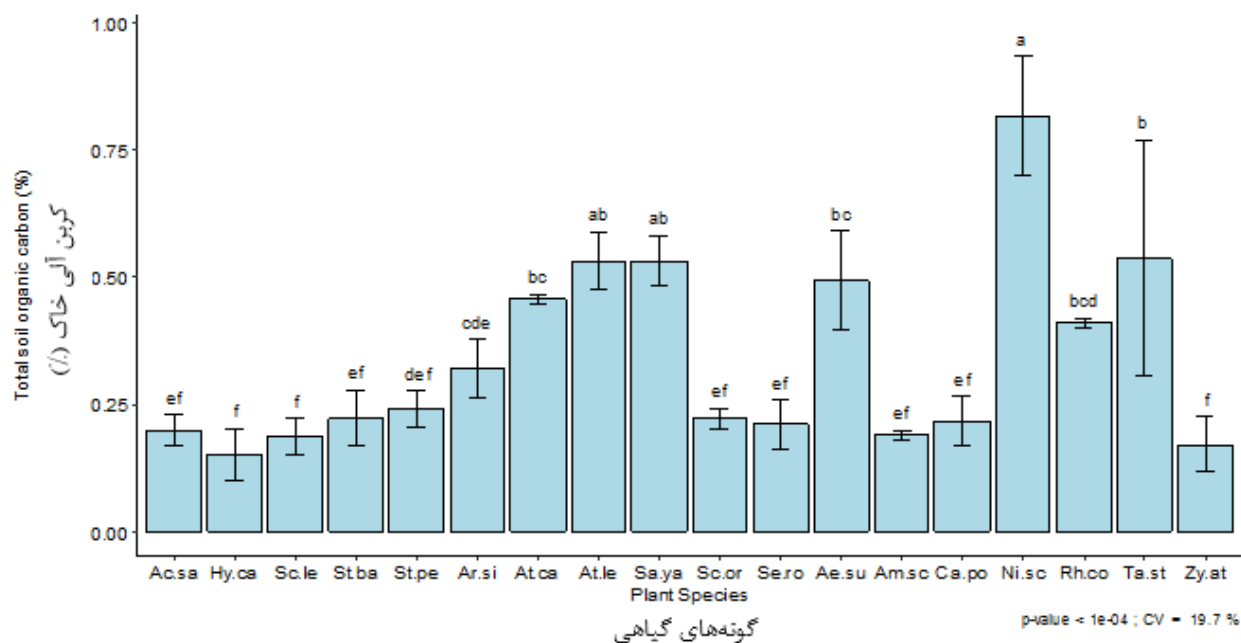
با توجه به نتیجه مقایسه میانگین در آزمون توکی (شکل ۵-۵)، بیشترین میزان کربن آلی و نیتروژن کل خاک مربوط به رویشگاه گیاهان فانروفیت و کامه‌فیت (درختچه‌ای و بوته‌ای) و کمترین میزان کربن آلی و نیتروژن کل خاک (B-۵) مربوط به رویشگاه گیاهان همی کریپتوفیت (علفی) است. همچنین نسبت C/N در خاک رویشگاه گیاهان همی کریپتوفیت (علفی) بیشتر از خاک رویشگاه گیاهان فانروفیت و کامه‌فیت (درختچه‌ای و بوته‌ای) است (C-۵).

نتیجه تحلیل رگرسیون چندجمله‌ای رابطه نیتروژن کل و

نتیجه مقایسه میانگین‌های توکی (شکل ۲) نشان می‌دهد که بیشترین میزان کربن آلی خاک در رویشگاه قره داغ (Ni.sc) در مراتع احیایی و کمترین میزان کربن آلی خاک در رویشگاه‌های گل اروانه (Hy.ca)، مستار (Sc.le) در منطقه حفاظت‌شده و قیچ (Zy.at) مشاهده شد.

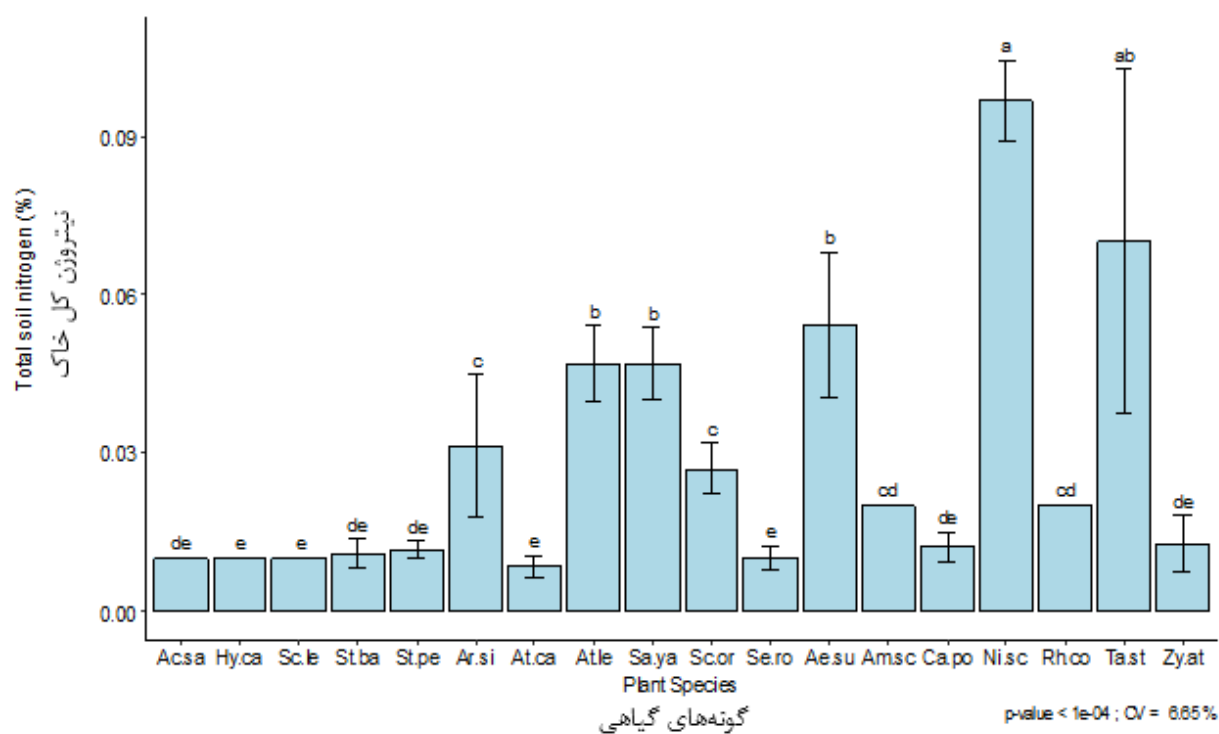
بر اساس نتیجه مقایسه میانگین توکی (شکل ۳)، بیشترین میزان نیتروژن خاک در رویشگاه قره داغ (Ni.sc) در مراتع احیایی (۰/۰۹۷) و کمترین میزان نیتروژن خاک در رویشگاه‌های آتریپلکس (At.ca) در مراتع احیایی، گل اروانه (Hy.ca)، مستار (Hy.le) در منطقه حفاظت‌شده و اشنان (Se.ro) در خاک‌های شور حاشیه کویر (کمتر از ۰/۰۱ درصد) مشاهده شد.

نتیجه مقایسه میانگین بر اساس آزمون توکی (شکل ۴) نشان می‌دهد که بیشترین میزان نسبت C/N خاک در رویشگاه آتریپلکس (At.ca) در مراتع احیایی (۵۵/۰۴) و کمترین نسبت C/N خاک در رویشگاه‌های کاهوی وحشی (Sc.or) و گز



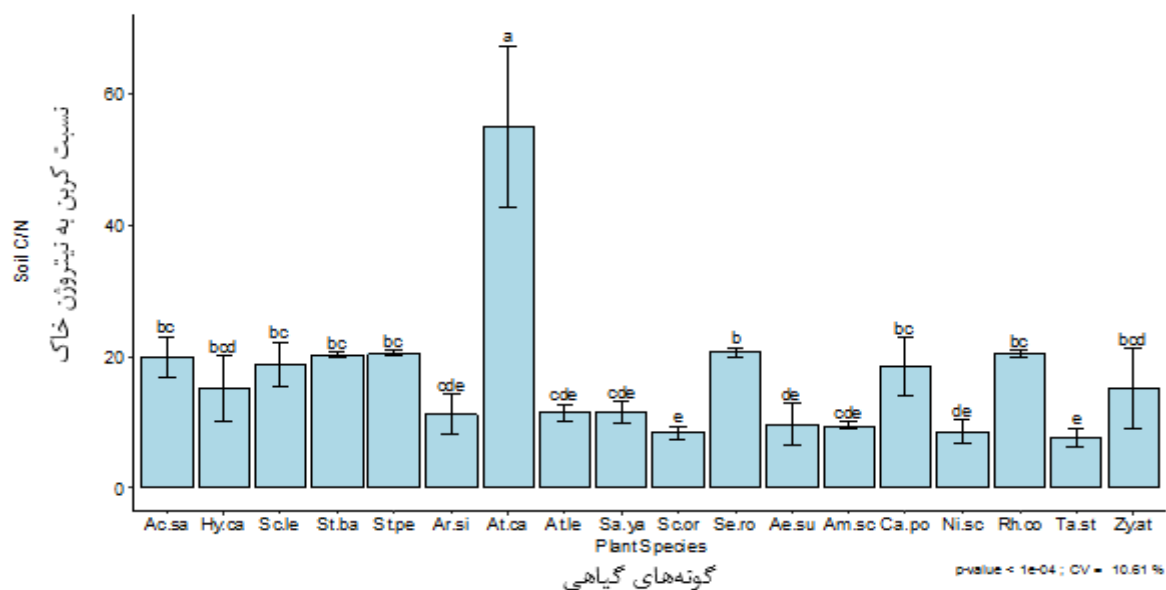
شکل ۲. مقایسه میانگین مقادیر کربن آلی خاک در رویشگاه‌های مورد بررسی (داده‌های اصلی). ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Fig. 2. Mean comparison of soil organic carbon contents in the studied habitats (original data). The bars with at least one similar letter are not significantly different ($p \leq 0.05$).



شکل ۳. مقایسه میانگین مقادیر نیتروژن کل خاک در رویشگاه‌های مورد بررسی (داده‌های اصلی). ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Fig. 3. Mean comparison of soil nitrogen contents in the studied habitats (original data). The bars with at least one similar letter are not significantly different ($p \leq 0.05$).



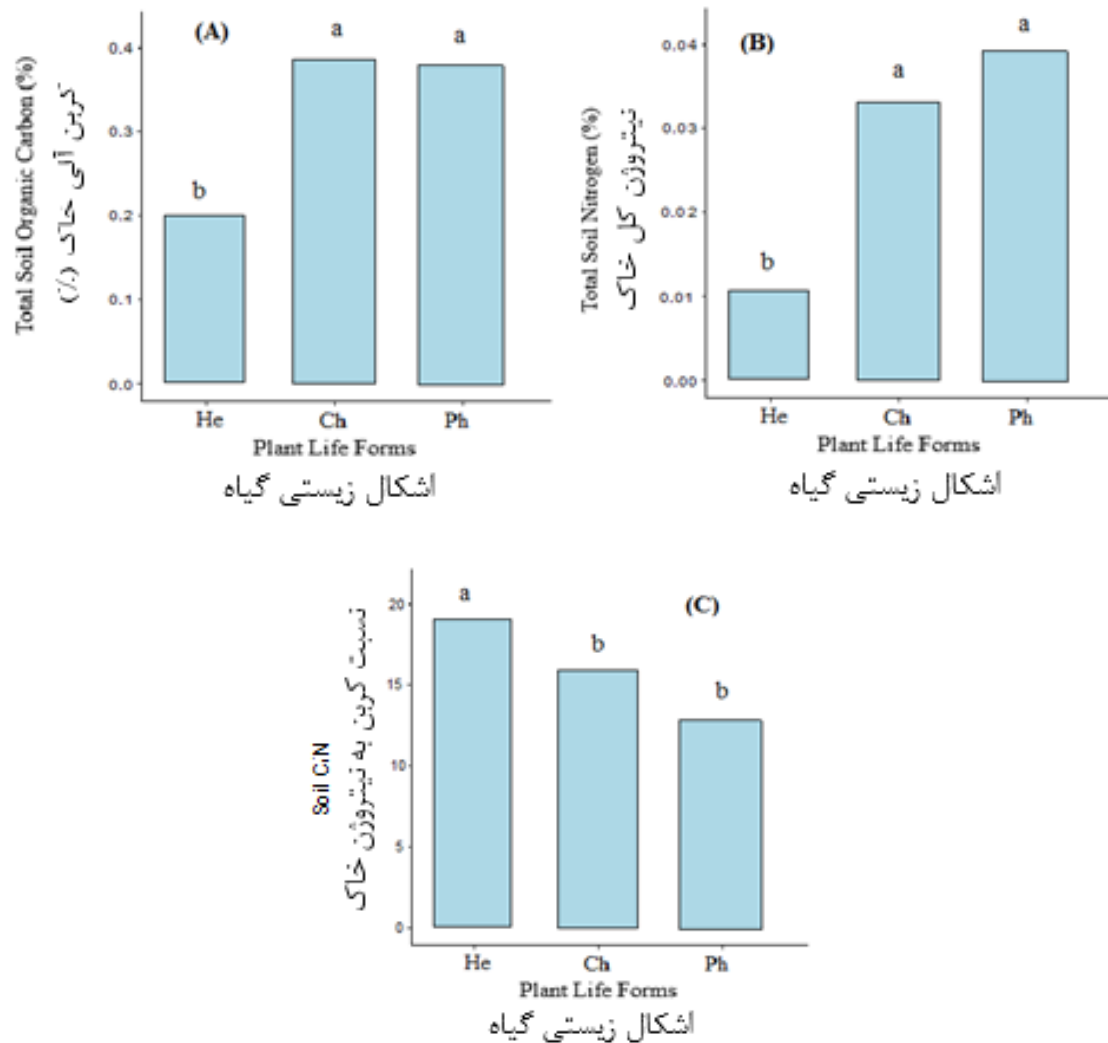
شکل ۴. مقایسه میانگین نسبت کربن به نیتروژن خاک در رویشگاه‌های مورد مطالعه (داده‌های اصلی). ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Fig. 4. Mean comparison of soil C/N ratio in the studied habitats (original data). The bars with at least one similar letter are not significantly different ($p \leq 0.05$).

جدول ۶. تجزیه واریانس اثر شکل زیستی بر مقادیر کربن آلی (C)، نیتروژن کل (N) و نسبت C/N در ۱۸ رویشگاه مورد بررسی (داده‌های تبدیل شده)

Table 6. Analysis of variance of the effect of life form on soil organic carbon (C), total nitrogen (N) and C/N ratio in the 18 studied habitats (transformed data)

ویژگی Property	Sum of squares مجموع مربعات	df درجه آزادی	Mean square میانگین مربعات	F	P سطح معنی‌داری	Eta-squared مجذور اتا
logC	Between groups بین گروه‌ها	2	0.21	9.61	0.00	0.15
	Within groups درون گروه‌ها	111	0.02			
	Total کل	113				
logN	Between groups بین گروه‌ها	2	0.05	12.80	0.00	0.19
	Within groups درون گروه‌ها	111	0.00			
	Total کل	113				
logC/N	Between groups بین گروه‌ها	2	4.97	5.21	0.01	0.09
	Within groups درون گروه‌ها	111	0.95			
	Total کل	113				



شکل ۵. مقایسه میانگین میزان کربن آلی (A)، نیتروژن کل (B) و نسبت کربن به نیتروژن (C) خاک در شکل‌های زیستی مورد بررسی (داده‌های اصلی). Ch: کامه‌فیت‌ها، He: همی کریپتوفیت‌ها، Ph: فانروفیت‌ها؛ ستون‌های دارای حرف مشترک، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Fig. 5. Mean comparison of soil organic carbon content (A), total nitrogen (b) and C/N ratio (C) in the studied life forms (original data). He: Hemicryptophytes, Ch: Chamaephytes, Ph: Phanerophytes; The bars with similar letter are not significantly different ($p \leq 0.05$).

زمین را در بر می‌گیرند، مکان ذخیره بیش از یک سوم ذخایر کربن در کره زمین هستند. شرایط اقلیمی (دما و مقدار رطوبت)، ویژگی‌های خاک (ساختمان، بافت، درصد رس و اسیدیته) و عوامل زیستی (جمعیت گیاهی، ترکیب گیاهی و تولید بقایای گیاهان) از عوامل اصلی کنترل‌کننده کربن آلی خاک محسوب می‌شوند (Sheidai Karkaj and Motamedi, 2020). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که مقدار کربن آلی خاک در رویشگاه‌های مورد بررسی در دامنه ۰/۷-۰/۹۷ درصد متغیر

کربن آلی خاک (جدول ۷) نشان می‌دهد که از بین سه مدل درجه یک (خطی)، درجه دو و درجه سه، تنها مدل رگرسیون درجه یک (خطی) معنی‌دار شده است (شکل ۶) ($R^2 = 0/75$ و $p = 0/00$). ضرایب رگرسیون و معنی‌داری ضرایب با استفاده از آزمون تی در جدول ۸ ارائه شده است.

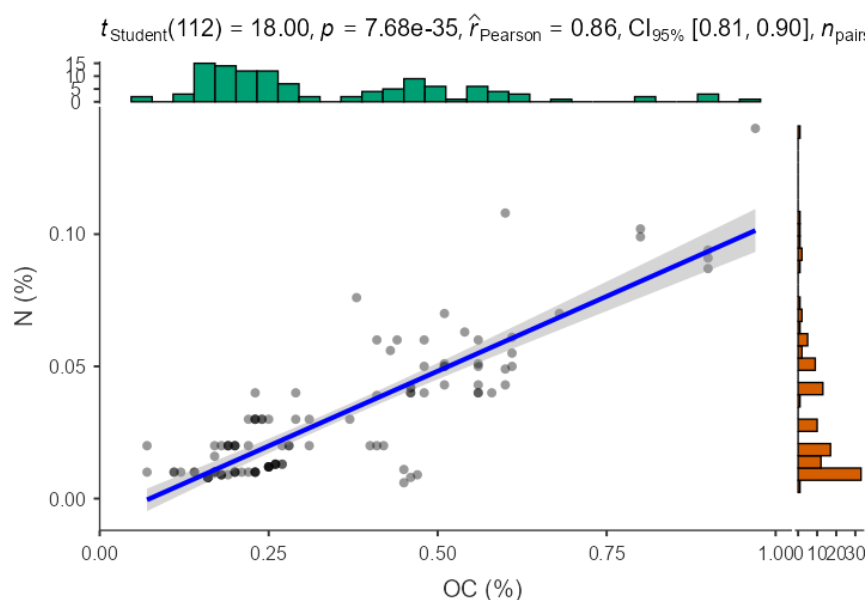
بحث

مراتع به دلیل وسعت نسبتاً زیاد که حدود نیمی از خشکی‌های

جدول ۷. نتایج تحلیل رگرسیون چندجمله‌ای برای پیش‌بینی میزان کربن آلی خاک با استفاده از میزان نیتروژن کل خاک

Table 7. Results of multinomial regression analysis for predicting soil organic carbon content through total nitrogen content

P	F	MSQ	SSQ	df	
سطح معنی‌داری		میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	
0.00	533.47	3.30	3.30	1	Linear خطی
0.11	2.58	0.02	0.02	1	Quadratic درجه دوم
0.15	2.10	0.01	0.01	1	Cubic درجه سوم
0.00	3.58	0.02	0.60	27	Deviation انحراف
		0.01	0.51	83	Residual باقیمانده



شکل ۶. نمودار پراکنش مقادیر نیتروژن کل (N) در برابر کربن آلی (OC) خاک در منطقه مورد بررسی

Fig. 6. Scatter diagram of total soil nitrogen (N) vs. soil organic carbon (OC) in the study area

جدول ۸. ضرایب رگرسیون رابطه خطی بین نیتروژن کل و کربن آلی خاک

Table 8. Regression coefficients of the linear relationship between total soil nitrogen and soil organic carbon contents

Pr(> t)	t value	Standard error	Estimate	
سطح معنی‌داری	مقدار t	خطای استاندارد	ضرایب	
0.00	9.81	0.01	0.14	Intercept عرض از مبدا
0.00	18.00	0.36	6.57	N نیتروژن کل

جانوری و میکروبی و یا فعالیت‌های زیستی جانداران حاصل می‌شود. در این بین نقش گیاهان در تعیین مقدار و نوع نیتروژن در خاک بیشتر است. نیتروژن در خاک به شکل‌های هوموس، اسید نوکلئیک و پروتئین با درجه اکسیداسیون متفاوت وجود دارد. افزودن بقایای گیاهی به خاک نقش مهمی در بهبود کیفیت و حاصلخیزی خاک، کاهش تخریب خاک و در نتیجه استقرار، رشد و نمو گیاهان دارد (Zeng et al., 2020). نتایج بررسی اثر افزودن بقایای گیاهی بر تغییرات نیتروژن کل خاک نشان داد که افزودن بقایای گیاهی موجب افزایش ۱۱/۱ درصدی نیتروژن خاک در لایه ۰-۲۰ سانتی‌متری خاک گردید. ویژگی‌های خاک، مدیریت بقایا، شرایط اقلیمی و افزودن کود تاثیر مهمی بر مقدار نیتروژن خاک پس از افزوده شدن بقایای گیاهی داشت (Lou et al., 2023).

با توجه به نتایج این پژوهش، نسبت C/N خاک از ۳/۶۱ تا ۷۱/۵۰ متغیر بوده و میانگین نسبت C/N در مناطق مورد بررسی برابر ۱۵/۰۲ بود. تجزیه بقایای گیاهی در خاک ارتباط مستقیمی با نسبت C/N دارد. با افزایش این نسبت، سرعت تجزیه بقایا در خاک کاهش یافته و نه تنها نیتروژن، معدنی نمی‌شود بلکه ریزجانداران از نیتروژن خاک نیز استفاده می‌کنند. برعکس با افزودن بقایای گیاهی علفی با نسبت C/N کم به خاک، سرعت تجزیه افزایش یافته و بسته به مقدار این نسبت، نیتروژن معدنی به خاک افزوده می‌شود که می‌تواند به مصرف گیاه برسد (Khosravi, 2022). این پدیده نقش مهمی در استقرار و توسعه گیاهان در مراتع دارد. ذخیره و توزیع عناصر غذایی از جمله کربن و نیتروژن در اکوسیستم‌های زمینی می‌تواند به‌طور قابل توجهی بر عملکرد اکوسیستم تأثیر بگذارد. معمولاً پویایی کربن و نیتروژن در خاک به‌دلیل نسبت‌های دقیق آنها در بدن جانداران از نظر زیستی همراه هم است (Han et al., 2023). در پژوهش حاضر همبستگی مثبت و معنی‌داری بین کربن آلی و نیتروژن کل خاک مشاهده شد.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین نیتروژن و کربن آلی خاک در زمین‌های مرتعی و بیابانی

بوده و میانگین آن برابر ۰/۳۵ درصد بود. بیشترین میانگین درصد کربن آلی خاک در خاک مکان رویش گیاه قره‌داغ (N.sc) و کمترین میانگین درصد آن در خاک مکان رویش گیاه گل آرونه (Hy.ca) به‌دست آمد. کربن آلی خاک از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده کیفیت خاک در کاربری‌های مختلف از جمله زمین‌های کشاورزی و مراتع بوده که اهمیت آن در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌دلیل ورودی کم کربن به خاک بیشتر است (Homann et al., 2007). مقدار کربن آلی خاک ارتباط مستقیمی با ورود منابع گیاهی به خاک دارد. به‌طور کلی، تجمع کربن آلی در خاک رویی به‌طور عمده از بقایای گیاه که شامل شاخساره گیاه و زیست‌توده ریشه‌ای است، حاصل می‌شود (Rasmussen, 2006). Jafariyan et al. (2012) با بررسی توان ذخیره کربن در سه گیاه آگروپیرون، استیپا و درمنه کوهی نشان دادند که خاک مکان رویش درمنه کوهی با داشتن ۲۹/۴۵ تن در هکتار کربن، کربن بیشتری نسبت به دو گونه دیگر در خود ذخیره کرده است. همچنین در پژوهشی در رابطه با وضعیت کربن در خاک مراتع و ارتباط آن با عوامل مختلف مشخص شد که بیشترین کربن آلی خاک در خاک رویی (۵-۰ سانتی‌متر) غنی از رس به‌دست آمد. بر اساس نتایج آن پژوهش، همبستگی مثبتی بین مقدار رس و کربن آلی مشاهده شد (Mckenna et al., 2022).

در بین عناصر غذایی ضروری مورد نیاز گیاهان و ریزجانداران، نیتروژن جایگاه ویژه‌ای داشته و کمبود آن در بیشتر گیاهان (به‌ویژه در گیاهان مناطق خشک و نیمه‌خشک) مشاهده می‌شود. گیاهان نیاز خود به نیتروژن را از شکل‌های معدنی آن (آمونیم و نیترات) به‌دست می‌آورند (Khosravi, 2022). بر اساس نتایج این پژوهش، مقدار نیتروژن کل خاک بین ۰/۰۶ تا ۰/۱۴ درصد متغیر بوده و میانگین آن در مناطق مورد بررسی برابر ۰/۰۳ درصد بود. بیشترین میانگین مقدار نیتروژن خاک برابر ۰/۰۹۷ درصد بود که از مکان خاک گیاه قره‌داغ (Ni.sc) به‌دست آمد. همچنین کمترین مقدار این فاکتور برابر ۰/۰۰۹ درصد بود که از محیط خاک گیاه آتریپلکس (At.ca) حاصل شد. منشا عمده نیتروژن در خاک به شکل آلی بوده و از بقایای گیاهی،

معنی‌داری دارند. علاوه بر این، معدنی‌شدن کربن خاک، که عامل کلیدی در تثبیت و ترسیب کربن خاک محسوب می‌شود (Gadikota, 2021)، به شدت تحت تاثیر در فراهمی کربن خاک مراتع قرار دارد (Jiang et al., 2024) و این به احتمال زیاد دلیل اصلی مقادیر اندک کربن و نیتروژن در رویشگاه‌های شن‌زار با تپه‌های ماسه‌ای نیمه‌تثبیت‌شده در منطقه مورد بررسی است.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که در رویشگاه‌های درختچه-ای و بوته‌ای (فانروفیت‌ها و کامه‌فیت‌ها)، میزان کربن و نیتروژن خاک بیشتر از خاک رویشگاه‌های علفی (همی‌کریپتوفیت‌ها) است. بنابراین نوع پوشش گیاهی بر نسبت کربن به نیتروژن خاک تاثیرگذار است که این یافته با نتایج Rodríguez et al. (2020) در مراتع اسپانیا همخوانی دارد. Blanco et al. (2023) در فراتحلیل خود در مطالعه ۱۶ اکوسیستم جنگلی و مرتعی در جنوب اروپا، با تایید تاثیر نوع پوشش گیاهی بر نسبت کربن به نیتروژن خاک گزارش کردند که در جنگل‌ها، افزایش این نسبت، سرعت تجزیه و عامل تثبیت لاشبرگ را افزایش داد. در حالی که در مراتع، نسبت‌های بیشتر کربن به نیتروژن آثار معکوسی ایجاد کرد. علاوه بر این، نیتروژن نیز بر سرعت تجزیه تأثیر مثبت گذاشت (Blanco et al., 2023). در زمین‌های مرتعی و بیابانی کشور، رابطه معنی‌داری بین میزان کربن آلی خاک و درصد پوشش گیاهی گونه‌های درختچه‌ای در کویر میغان اراک مشاهده شد (Mirdavoudi et al., 2021). از این رو به‌نظر می‌رسد گونه-های درختچه‌ای با درصد تاج پوشش و زیست‌توده بیشتر و در نتیجه ریزش لاشبرگ بیشتر، نسبت به گونه‌های علفی، در بازچرخش عناصر غذایی کمک بیشتری می‌کنند.

در پژوهش حاضر، بیشترین میزان نسبت C/N خاک در رویشگاه آتریپلکس (At.ca) در مراتع احیایی (۵۵/۰۴) مشاهده شد. کشت گیاهان چوبی و درختچه‌ای در مراتع احیایی منجر به افزایش نسبت کربن به نیتروژن خاک، افزایش سرعت تجزیه و نسبت بیشتر لاشبرگ تثبیت‌شده در خاک می‌شود (Bohner et al., 2019). از آنجایی که کلیه رویشگاه‌های مورد بررسی، حتی مراتع حفاظت‌شده نیز مورد چرای دام قرار می‌گیرند، علاوه بر

خراسان جنوبی وجود دارد ($R^2 = 0.750, p < 0.001$). بر این اساس می‌توان گفت که حدود ۷۵ درصد تغییرات کربن آلی خاک مربوط به نیتروژن است. نتایج Wu et al. (2022) نیز نشان داد که در کلیه کاربری‌های زمین شامل مرتع، نهالستان، جنگل و زمین-های بایر، همبستگی و رگرسیون معنی‌داری بین کربن آلی (OC) و نیتروژن کل (TN) خاک وجود دارد (برای مرتع: $R^2 = 0.730, p < 0.001$). آنها به این نتیجه رسیدند که مقدار TN خاک برای تثبیت و بهبود OC مفید است (Wu et al., 2022). مشابه پژوهش حاضر، نتایج Mba et al. (2024) نیز نشان داد که همبستگی مثبت و معنی‌داری ($r = 0.967, p < 0.001$) بین نیتروژن و کربن آلی خاک در نیجریه وجود دارد.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که رویشگاه‌های زمین‌های شنی، میزان کربن آلی کمتری نسبت به رویشگاه‌های زمین‌های رسی (منطقه احیایی) دارد. در خاک‌های شنی با ساختمان ضعیف، به دلیل حرکت سریع‌تر آب در خاک، تلفات نیتروژن و کربن در اثر آبشویی، زیاد است (Kuśmierz et al., 2023). پژوهشگران معتقدند که خاک‌های غنی از ذرات رس دارای زمان گردش طولانی‌تر و تجزیه آهسته‌تر کربن آلی خاک نسبت به خاک‌های شنی هستند (Kögel-Knabner and Amelung, 2021; Chowdhury et al., 2021; Wang et al., 2022).

در پژوهش Mba et al. (2024) نیز رابطه منفی معنی‌داری بین درصد شن و OC ($r = -0.681, p < 0.001$) و رابطه مثبت معنی‌داری بین درصد رس و OC ($r = 0.930, p < 0.001$) در خاک‌های نیجریه مشاهده شد. در مراتع کشور، Attaeian et al. (2023) ارتباط خطی معنی‌داری بین کربن آلی و نیتروژن کل ($r = 0.80, p < 0.001$) در خاک‌های مراتع همدان و Torkamani et al. (2020) ارتباط غیرمعنی‌دار ($r = 0.03, p > 0.05$) در خاک-های مراتع میناب گزارش کردند.

در پژوهشی، Kuśmierz et al. (2023) ضمن تایید رابطه معنی‌داری بین بافت خاک و کربن آلی، گزارش کردند با افزایش ذرات کوچکتر از ۰/۰۲ میلی‌متر از ۱۰ درصد تا بیشتر از ۳۵ درصد در ترکیب خاک، میزان کربن و نیتروژن خاک افزایش

ترسیب کربن پیشنهاد می‌شود.

شرایط محیطی، احتمالاً چرای دام و مدیریت مرتع نیز بر کربن آلی خاک و نسبت C/N تاثیرگذار است (Attaeian et al., 2024; Hossein Jafari and Sadeghinia, 2024).

تشکر و سپاسگزاری

این پژوهش در قالب طرح پژوهشی به شماره ابلاغیه ۱۴۰۲/د/۲۱۰۸۵ مورخ ۱۴۰۲/۱۱/۱۱ و با استفاده از اعتبارات پژوهشی دانشگاه بیرجند انجام شده است که بدین وسیله تشکر و قدردانی می‌شود.

تضاد منافع

نویسندگان مقاله اذعان دارند هیچ‌گونه تضاد منفعی با شخص، شرکت یا سازمانی برای این پژوهش ندارند.

نتیجه‌گیری

نتیجه مهم پژوهش حاضر این است که مقادیر کربن آلی و نیتروژن کل خاک در رویشگاه‌های مراتع احیایی بیشتر از مراتع قرق است و این نشان می‌دهد که در دوران خشکسالی، نهال‌کاری در مناطق خشک و بیابانی و مدیریت چرای پس از آن، از این حیث، تاثیر بیشتری نسبت به قرق درازمدت مرتع دارد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که کشت گونه قره داغ (Ni.sc) در مراتع احیایی موجب افزایش کربن و نیتروژن خاک شد؛ بنابراین کشت این گونه در برنامه‌های اصلاح و احیای مراتع و پروژه‌های

References

منابع مورد استفاده

1. Attaeian, B., Karami, F., Akhzari, D., Kiani, G., 2023. A 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. *J. Rangeland*. 17(2), 247–262. (In Persian with English abstract)
2. Attaeian, B., Zandi Manesh, S., Joneidi Jafari, H., 2024. Organic carbon storage in mountain rangelands under different conditions of range management (Case study: Khamesan, Sanandaj). *Manag. Nat. Ecosys.* 3(2), 63–81. <https://doi.org/10.22034/emj.2024.719112>. (In Persian with English abstract)
3. Blanco, J.A., Durán, M., Luquin, J., San Emeterio, L., Yeste, A., Canals, R.M., 2023. Soil C/N ratios cause opposing effects in forests compared to grasslands on decomposition rates and stabilization factors in southern European ecosystems. *Sci. Total Environ.* 888, 164118. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164118>.
4. Böhner, A., Karrer, J., Walcher, R., Brandl, D., Michel, K., Arnberger, A., Frank, Th., Zaller, J. G., 2019. Ecological responses of semi-natural grasslands to abandonment: case studies in three mountain regions in the Eastern Alps. *Folia Geobot* 54, 211–225. <https://doi.org/10.1007/s12224-019-09355-2>.
5. Bremner, J.M., 1965. Total nitrogen, In: Black, C.A., (Eds.). *Methods of Soil Analysis, Part II. Chemical Methods*. American Society of Agronomy, Madison, WI, pp. 1149–1178.
6. Chowdhury, S., Bolan, N., Farrell, M., Sarkar, B., Sarkar, J.R., Kirkham, M.B., Hossain, M.Z., Kim, G.-H., 2021. Role of cultural and nutrient management practices in carbon sequestration in agricultural soil. *Adv. Agron.* 166, 131–196. <https://doi.org/doi.org/10.1016/bs.agron.2020.10.001>.
7. Diekow, J., Mielniczuk, J., Knicker, H., Bayer, C., Dick, D.P., Kogel-Knabne, I., 2005. Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilisation in a southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 years. *Soil Tillage Res.* 81, 87–95. <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.05.003>
8. Gadikota, G., 2021. Carbon mineralization pathways for carbon capture, storage and utilization. *Commun. Chem.* 4(1), 23. <https://doi.org/10.1038/s42004-021-00461-x>.
9. Gao, Y., Zeng, F., 2023. Patterns of carbon, nitrogen, and phosphorus stoichiometry of three life-form desert plants and responses to soil and microbial biomass factors in a hyper-arid desert ecosystem. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 30, 43962–43974. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-25445-3>.
10. Han, Y., Jia, Y., Wang, G., Tan, Q., Liu, X., Chen, Ch., 2023. Coupling of soil carbon and nitrogen dynamics in drylands under climate change, *Catena* 221, 106735. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106735>.
11. Heyburn, J., McKenzie, P., Crawley, M.J., Fornara, D.A., 2017. Effects of grassland management on plant C:N:P stoichiometry: Implications for soil element cycling and storage. *Ecosphere* 8, 1963. <https://doi.org/10.1002/ecs2.1963>.
12. Homann, P.S., Kapchinske, J.S., Boyce, A., 2007. Relations of mineral-soil C and N to climate and texture: regional

- differences within the conterminous USA. Biogeochemistry 85, 303–316. <https://doi.org/10.1007/s10533-007-9139-6>
13. Hossein Jafari, S., Sadeghinia, M., 2024. Investigation of carbon sequestration in dominant plant and soil in two regions under livestock and wildlife grazing in Artemisia plain of Mehriz in Yazd province. Manag. Nat. Ecosys. 3(2), 53–62. <https://doi.org/10.22034/emj.2024.717349>. (In Persian with English abstract)
14. Jafari, M., Rostampour, M., 2019. Soil-Plant Relationships: Ecology, Statistics and Analysis. Volume 1, University of Tehran Press, 486 p.
15. Jafariyan, Z., Tayefeh Seyyed Alikhani, L., 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). J. Range Watershed Manag. 65, 191–202. <https://doi.org/10.22059/jrwm.2012.30011>. (In Persian with English abstract)
16. Janson, A., Olsson, I., 2003. Assessment of soil organic carbon in semi-arid Sudan using GIS and the CENTURY model. J. Arid Environ. 54, 633–651. <https://doi.org/10.1006/jare.2002.1105>
17. Jiang, L., Cheng, H., Peng, Y., Sun, T., Gao, Y., Wang, R., Ma, Y., Yang, J., Yu, Q., Zhang, H., Han, X., Ning, Q., 2024. Relative role of soil nutrients vs. carbon availability on soil carbon mineralization in grassland receiving long-term N addition. Soil Tillage Res. 235, 105864. <https://doi.org/10.1016/j.still.2023.105864>.
18. Khosravi, H., 2022. The role of biomineralization of nitrogen in organic matter in the decomposition of crop residues. Iran. J. Biol. 6, 84–91. <https://sid.ir/paper/1043278/en>. (In Persian with English abstract)
19. Kögel-Knabner, I., Amelung, W., 2021. Soil organic matter in major pedogenic soil groups. Geoderma 384, 114785. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114785>
20. Kuśmierczak, S., Skowrońska, M., Tkaczyk, P., Lipiński, W., Mielniczuk, J., 2023. Soil organic carbon and mineral nitrogen contents in soils as affected by their pH, texture and fertilization. Agronomy 13(1), 267. <https://doi.org/10.3390/agronomy13010267>.
21. Lanuza, O., Casanoves, F., Delgado, D., Van den Meersche, K., 2019. Leaf litter stoichiometry affects decomposition rates and nutrient dynamics in tropical forests under restoration in Costa Rica. Restor. Ecol. 27, 549–558. <https://doi.org/10.1111/rec.12893>.
22. Li, C., Li, Y., Tang, L., 2010. Soil organic carbon stock and carbon efflux in deep soils of desert and oasis. Environ. Earth Sci. 60, 549–557. <https://doi.org/10.1007/s12665-009-0195-1>
23. Liu, M., Gong, J.R., Pan, Y., Luo, Q.P., Zhai, Z.W., Yang, L.L., Xu, S., 2018. Response of dominant grassland species in the temperate steppe of Inner Mongolia to different land uses at leaf and ecosystem levels. Photosynthetica 56, 921–931. <https://doi.org/10.1007/s11099-017-0711-6>.
24. Lou, Ch., Zhang, Y., McLaughlin, N.B., Gao, Y., Zhou, R., Zhang, Y., Liu, H., Huang, D., Chen, X., Zhang, Sh., Chen, W., Liang, A., 2023. Changes in soil total nitrogen induced by crop residue return: A meta-analysis. Soil Tillage Res. 230, 105712. <https://doi.org/10.1016/j.still.2023.105712>.
25. Mba, P.C., Busoye, O.M., Ajayi, J.T., Njoku, J.N., Nwakanma, C.I., Asem-Hiablie, S., Mallipeddi, R., Park, T., Uyeh, D.D., 2024. Estimation of physico-chemical properties of soil using machine learning. Smart Agr. Technol. 9, 100679. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100679>
26. McKenna, M.D., Grams, S.E., Barasha, M., Antoninka, A.J., Johnson, N.C., 2022. Organic and inorganic soil carbon in a semi-arid rangeland is primarily related to abiotic factors and not livestock grazing. Geoderma 419, 115844. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.115844>.
27. Mirdavoudi, H., Zandi Esfahan, E., Goudarzi, G., Famaheini, A., 2021. Carbon storage capacity of *Lycium depressum* Stocks and *Zygophyllum fabago* L. and soil (rooting depth) of their habitats in Meyghan playa, Arak. Iran. J. Range Desert Res. 28, 328–340. <https://doi.org/10.22092/ijdr.2021.124169>. (In Persian with English abstract)
28. R Core Team (2021) R: A language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing, Vienna, Austria. <https://www.r-project.org>.
29. Rasmussen, C., 2006. Distribution of soil organic and inorganic carbon pools by biome and soil taxa in Arizona. Soil Sci. Soc. Am. J. 70, 256–265. <https://doi.org/10.2136/sssaj2005.0118>.
30. Rodríguez, A., Canals, R. M., Plaixats, J., Albanell, E., Debouk, H., Garcia-Pausas, J., San Emeterio, L., Ribas, À., Jimenez, J. J., Sebastia, M., 2020. Interactions between biogeochemical and management factors explain soil organic carbon in Pyrenean grasslands. Biogeosciences 17(23), 6033–6050. <https://doi.org/10.5194/bg-17-6033-2020>.
31. Sheidai Karkaj, E., Motamedi, J., 2020. Relationship between plant functional and taxonomic diversity with soil carbon storage in Nazluchay mountain rangelands, West Azerbaijan. J. Rangeland. 14, 715–730. (In Persian with English abstract)
32. Tang, B., Man, J., Bai, Y., 2020. Leaf nitrogen acquisition of *Leymus chinensis* varies with leaf age and land use change in a semiarid grassland. Environ. Exp. Bot. 175, 104051. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104051>.
33. Torkamani, F., Piri Sahragard, H., Pahlavan Rad, M., Nohtani, M., 2020. Determination of soil organic carbon distribution along with affecting factors using random forest model in Ravang Minab watershed. Agr. Eng. 42(4), 89–104. <https://doi.org/10.22055/agen.2020.29872>.
34. Walkley, A., 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 Sci.* 37, 29–38. <http://dx.doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003>
35. Wang, L., He, Z., Zhao, W., Wang, C., Ma, D., 2022. Fine soil texture is conducive to crop productivity and nitrogen retention in irrigated cropland in a desert-oasis ecotone, Northwest China. *Agronomy* 12(7), 1509. <https://doi.org/10.3390/agronomy12071509>.
36. Wang, L., Xu, H., Zhang, H., Zhang, Y., 2022. Grazing and mowing affect the carbon-to-nitrogen ratio of plants by changing the soil available nitrogen content and soil moisture on the meadow steppe, China. *Plants* 11, 286. <https://doi.org/10.3390/plants11030286>.
37. White I, Welty-Bernard A, Rasmussen C, Schwartz E. 2009. Vegetation controls on soil organic carbon dynamics in an arid, hyperthermic ecosystem. *Geoderma* 150, 214–223. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.02.011>
38. William, K.C., James, T.W., 2014. Decomposition trajectories of diverse litter types: a model selection analysis. *Methods Ecol. Evol.* 5, 173–182. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12138>.
39. Wu, X., Wang, L., An, J., Wang, Y., Song, H., Wu, Y., Liu, Q., 2022. Relationship between soil organic carbon, soil nutrients, and land use in Linyi city (East China). *Sustainability* 14(20), 13585. <https://doi.org/10.3390/su142013585>.
40. Zeng, Zh., Ma, X., Chen, Y., Qi, L., 2020. Modelling residue incorporation of selected chisel ploughing tools using the discrete element method (DEM). *Soil Tillage Res.* 197, 104505, <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104505>.
41. Zhang, J., He, N., Liu, C., Xu, L., Chen, Zh., Li, Y., Wang, R., Yu, G., Sun, W., Xiao, Ch., Chen, H.Y.H., Reich, P.B., 2020. Variation and evaluation of C:N ratio among different organs enable plants to adapt to N-limited environments. *Glob. Change Biol.* 26, 2534–2543. <https://doi.org/10.1111/gcb.14973>.
42. Zhang, J., Wang, X., Wang, J., Wang, W., 2014. Carbon and nitrogen contents in typical plants and soil profiles in Yanqi basin of northwest China. *J. Integr. Agric.* 13, 648–656. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(13\)60723-6](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(13)60723-6).