

Long-Term Enclosure Assessment on Stability of Soil Physical and Chemical Properties in Rangeland Ecosystems (Case Study: Khash County Rangelands)

Morteza Saberi¹ | Mahdiah Khodadoust²

1. Corresponding Author, Rangeland and Watershed Management Department, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran. E-mail: Mortezasaberi@uoz.ac.ir
2. M.Sc. in Rangeland Management, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran.

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received: 23 Jul 2025

Received in revised form:
10 Oct 2025

Accepted: 30 Oct 2025

Available online: 23 Sep 2026

Keywords:

rangeland enclosure,
soil stability,
soil organic carbon,
bulk density,
arid and semi-arid
rangelands.

ABSTRACT

This study aimed to investigate the effects of long-term (15-year) enclosure on the physical and chemical properties of soil in the arid and semi-arid rangelands of the Koteh region in Khash County. For this purpose, two sites were selected for comparison: an enclosed rangeland and a grazed rangeland with similar topography. Vegetation and soil samples were collected at two depths (0–15 cm and 15–30 cm), and parameters such as soil texture, pH, electrical conductivity, organic carbon, total nitrogen, phosphorus, potassium, and bulk density were measured. The results of data analysis showed that enclosure significantly increased canopy cover (32.3% vs. 10.9%), litter, and plant species diversity. At the 0–15 cm depth, organic carbon (0.48% vs. 0.24%) and total nitrogen (0.052% vs. 0.022%) were significantly higher in the enclosed area, while bulk density, available phosphorus, and potassium were higher in the grazed rangeland. At the 15–30 cm depth, organic carbon (0.33% vs. 0.23%) and total nitrogen were also higher in the enclosed area, with no observed differences in soil texture between the two sites. Additionally, pH and electrical conductivity values at both depths in the enclosed area were lower than or similar to those in the grazed rangeland, indicating a relative improvement in soil quality under long-term enclosure. These findings suggest that long-term enclosure can enhance the sustainability and ecological function of rangelands in arid and semi-arid environments by improving key soil indicators.

Cite this article: Saberi, M., & Khodadoust, M. (2026). Long-Term Enclosure Assessment on Stability of Soil Physical and Chemical Properties in Rangeland Ecosystems (Case Study: Khash County Rangelands). *Geography and Environmental Sustainability*, 16(3), 1-20. <https://doi.org/10.22126/ges.2025.12480.2898>



© The Author (s).

DOI: <https://doi.org/10.22126/ges.2025.12480.2898>

Publisher: Razi University

Introduction

Rangeland enclosure not only helps restore vegetation cover but also enhances the long-term sustainability and productivity of rangeland ecosystems by improving soil physical and chemical factors. Although ample evidence confirms the positive effects of enclosure, the results reported in some studies have been diverse and contradictory due to differences in climate, soil type, vegetation composition, and duration of enclosure. Considering the arid and semi-arid climatic conditions of the Koteh region in Khash County and the high vulnerability of its soils to overgrazing, a detailed study of the effects of long-term enclosure on the physical and chemical properties of the soil in this area is of great importance. Therefore, this study aims to scientifically assess the impact of enclosure on key soil indices in rangeland ecosystems in this region.

Materials and Methods

This study aimed to investigate the effect of long-term enclosure on the physical and chemical properties of soil in arid and semi-arid rangelands of Khash County. The Koteh rangeland was chosen as the enclosure site with a 15-year history of enclosure, and an adjacent rangeland with similar topographic conditions was chosen as the grazed site. Vegetation sampling was conducted in June by establishing six 100-meter transects at each site (three transects in the direction of the slope and three transects perpendicular to it) and sampling 10 one-meter plots in each transect using a random-systematic method. Data on canopy cover, litter, bare soil, and plant species were recorded. Soil sampling was performed from two depths of 0–15 and 15–30 cm at the beginning, middle, and end of the transects, and a total of 24 composite samples were prepared. Soil properties were measured, including texture, pH, electrical conductivity, total nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, sodium, organic carbon, and bulk density using standard methods. Data were analyzed using independent and paired t-tests in SPSS software. Correlation analysis was performed in R software.

Results and Discussion

The results showed that the vegetation of the area consisted of perennial and annual species with diverse growth forms. In the enclosure area, the canopy cover was significantly higher (32.3%) than in the grazed area (10.9%). More stable and diverse species were found in the enclosure area, and the amount of litter was also higher in this area (3.72%), indicating higher biological activity and reduced soil erosion. Regarding soil characteristics, the percentage of silt was higher in the grazed area, and the bulk density of the soil was also higher in the grazed area, indicating greater soil compaction due to livestock grazing. The amounts of organic carbon and total nitrogen at both depths (0–15 and 15–30 cm) in the enclosure area were significantly higher than in the grazed area, which could be due to the accumulation of plant residues, reduced erosion, increased biological activity, and improved microclimatic conditions. However, available phosphorus and potassium were higher in the grazed area. Also, soil acidity and electrical conductivity were lower in the enclosure area, indicating improved soil conditions. Soil texture composition was not significantly different at the depth of 15 to 30 cm, but bulk density and nutrients were still significantly different. These findings emphasize that livestock grazing management through enclosure improves vegetation cover and soil physical and chemical quality in semi-arid ecosystems.

Conclusion

According to the results of this study, long-term enclosure, as an effective management strategy, plays a significant role in restoring and improving the ecological conditions of arid and semi-arid rangelands. This method increases the percentage of vegetation cover and

litter, preserves native and valuable rangeland species, and improves ecosystem dynamics. The decrease in soil bulk density indicates an improvement in the physical structure of the soil and a decrease in compaction caused by livestock grazing. From the perspective of chemical properties, a significant increase in organic carbon and total nitrogen, along with a decrease in acidity and electrical conductivity, indicates an improvement in soil quality and a strengthening of the nutrient cycle. Although the accumulation of phosphorus, potassium, and calcium in grazed areas was observed due to livestock waste, these elements are not stably stabilized and cannot replace the positive effects of enclosure. Therefore, it is recommended that enclosures be developed as a sustainable method in rangeland management and, along with continuous monitoring of soil and vegetation, help maintain and improve the health of the rangeland ecosystem.

ارزیابی اثرات قرق بلندمدت بر پایداری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در اکوسیستم‌های مرتعی (مطالعه موردی: مراتع شهرستان خاش)

مرتضی صابری^۱ | مهدیه خدادوست^۲

۱. نویسنده مسئول، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران. رایانامه: Mortezasaberi@uoz.ac.ir
 ۲. کارشناس ارشد مدیریت مرتع، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخچه مقاله: تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۰۱ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۷/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۰۸ دسترسی آنلاین: ۱۴۰۵/۰۷/۰۱ کلیدواژه‌ها: قرق مراتع، پایداری خاک، کربن آلی خاک، جرم مخصوص ظاهری، مراتع خشک و نیمه‌خشک.	این پژوهش با هدف بررسی اثر قرق بلندمدت (۱۵ ساله) بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در مراتع خشک و نیمه‌خشک منطقه کوته شهرستان خاش انجام شد. برای این منظور، دو سایت شامل مرتع قرق‌شده و مرتع چراشده با شرایط توپوگرافی مشابه انتخاب شدند. نمونه‌برداری پوشش گیاهی و خاک از دو عمق ۰ تا ۱۵ و ۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متر انجام شد و پارامترهایی نظیر بافت خاک، اسیدیته، هدایت الکتریکی، کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر، پتاسیم و جرم مخصوص ظاهری خاک مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان داد که قرق موجب افزایش معنی‌دار پوشش تاجی (۳۲/۳٪ در مقابل ۱۰/۹٪)، لاشبرگ و تنوع گونه‌های گیاهی شده است. همچنین در عمق ۰ تا ۱۵ سانتی‌متر، میزان کربن آلی (۰/۴۸٪ در برابر ۰/۲۴٪) و نیتروژن کل (۰/۵۲٪ در برابر ۰/۰۲۲٪) در منطقه قرق به‌طور معنی‌داری بیشتر بود، در حالی که وزن مخصوص ظاهری، فسفر و پتاسیم قابل دسترس در مرتع چراشده بالاتر گزارش شد. در عمق ۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متر نیز کربن آلی (۰/۳۳٪ در برابر ۰/۰۲۳٪) و نیتروژن کل در قرق بیشتر بود، اما تفاوتی در ترکیب بافت خاک میان دو منطقه مشاهده نشد. همچنین مقادیر pH و هدایت الکتریکی در هر دو عمق در منطقه قرق کمتر یا مشابه مراتع چراشده بود که بیانگر بهبود نسبی کیفیت خاک تحت تأثیر قرق بلندمدت است. این نتایج نشان می‌دهد که قرق بلندمدت با بهبود شاخص‌های کلیدی خاک می‌تواند زمینه‌ساز افزایش پایداری و کارکرد اکولوژیکی مراتع در شرایط خشک و نیمه‌خشک باشد.

استناد: صابری، مرتضی؛ خدادوست، مهدیه (۱۴۰۵). ارزیابی اثرات قرق بلندمدت بر پایداری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در اکوسیستم‌های مرتعی (مطالعه موردی: مراتع شهرستان خاش). *جغرافیا و پایداری محیط*، ۱۶ (۳)، ۲۰-۱. <https://doi.org/10.22126/ges.2025.12480.2898>

12480.2898

© نویسندگان.

DOI: <https://doi.org/10.22126/ges.2025.12480.2898>

ناشر: دانشگاه رازی



مقدمه

یکی از شاخص‌های بنیادی در سنجش سلامت و پایداری اکوسیستم‌های طبیعی، وضعیت و پویایی مواد مغذی خاک است. تغییرات در ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک که معمولاً تحت تأثیر مدیریت و بهره‌برداری‌های انسانی رخ می‌دهد، نقش مهمی در چرخه‌های زیست‌ژئوشیمیایی، حاصلخیزی خاک، ظرفیت نگهداری آب و عملکرد کلی اکوسیستم ایفا می‌کند (Ai et al., 2018). مراتع با پوشش حدود ۴۰٪ از اراضی غیر یخی زمین، نقشی حیاتی در پایداری اکوسیستم‌های جهانی دارند (Petermann & Buzhdygan, 2021). این اکوسیستم‌ها مجموعه گسترده‌ای از خدمات زیست‌محیطی از جمله حفاظت از تنوع زیستی، تشکیل و حفاظت خاک، تنظیم آب و چرخه مواد مغذی را فراهم می‌سازند (Wang et al., 2022; Sollenberger et al., 2019).

افزون بر این، اکوسیستم‌های مرتعی سهمی معادل ۳۴٪ از ذخایر کربن خشکی را به خود اختصاص داده و در کاهش اثرات تغییر اقلیم نقش مؤثری ایفا می‌کنند (Liu et al., 2023; Bai & Cotrufo, 2022). با وجود مزایای اکوسیستم‌های مرتعی، تخریب مراتع یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی در سطح جهانی محسوب می‌شود. برآوردها نشان می‌دهد که حدود ۴۹٪ از مراتع جهان درگیر درجاتی از تخریب شدید هستند. این وضعیت منجر به کاهش عملکرد اکوسیستم و کاهش تنوع زیستی می‌شود (Bardgett et al., 2021). در ایران، مراتع تقریباً ۸۴ میلیون هکتار وسعت دارند و زیستگاه بیش از ۷۰۰۰ گونه گیاهی به شمار می‌روند (کریمیان و بارانی، ۱۴۰۳). در دهه‌های اخیر، عوامل متعددی از جمله تغییر کاربری اراضی، خشک‌سالی، مالکیت‌های غیرمتمرکز و چرای بی‌رویه دام، موجب تخریب گسترده پوشش گیاهی و خاک مراتع کشور شده‌اند (اکبرزاده و نیکو، ۱۴۰۲؛ جنیدی و همکاران، ۱۴۰۴). از میان روش‌های مدیریتی، قرق مراتع به‌عنوان راهکاری مؤثر، اقتصادی و قابل اجرا در مقیاس وسیع شناخته شده است. این روش می‌تواند ساختار و کیفیت خاک را بهبود بخشد، پوشش گیاهی را افزایش دهد و شاخص‌های پایداری زیستی و اکولوژیکی را ارتقا دهد (خطیبی و فراهی، ۱۴۰۳؛ شریفی و اکبرزاده، ۱۳۹۵).

مطالعات متعدد از جمله پژوهش‌های ژو و همکاران (۲۰۲۴) و جنیدی و همکاران (۱۴۰۴) نشان داده‌اند که قرق می‌تواند غلظت کربن آلی، نیتروژن کل، نسبت کربن به نیتروژن و عناصر مغذی مانند فسفر و پتاسیم را افزایش داده و از طرف دیگر، ویژگی‌هایی مانند چگالی ظاهری و اسیدیته خاک را کاهش دهد. این نتایج همگی نشان‌دهنده ارتقاء وضعیت فیزیکی و شیمیایی خاک هستند (Zhou et al., 2024). همچنین اثر قرق بر ویژگی‌های خاک در دو اقلیم مختلف بررسی شد. نتایج نشان داد اقلیم گرم‌تر باعث بهبود بیشتر کربن آلی و نیتروژن شد، در حالی که اقلیم سردتر تغییرات بیشتری در هدایت الکتریکی، آهک و رس ایجاد کرد. این تفاوت‌ها بیانگر نقش تعیین‌کننده اقلیم در اثرگذاری قرق هستند (شیدای کرکچ و همکاران، ۱۳۹۵).

از سوی دیگر، چرای دام، به‌ویژه هنگامی که بیش از ظرفیت مرتع صورت گیرد، یکی از مهم‌ترین اختلالات اکولوژیکی در اکوسیستم‌های مرتعی است. این پدیده می‌تواند موجب تخریب ساختار خاک، فشردگی سطحی، کاهش نفوذپذیری آب، افزایش فرسایش، کاهش ماده آلی و افت حاصلخیزی شود (Wang et al., 2025). مطالعه سون و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که شدت و طول مدت چرای دام با ایجاد تغییرات در pH، نیتروژن و فسفر خاک، موجب اختلال در جامعه میکروبی خاک شده و پایداری عملکرد خاک را کاهش می‌دهد (Xun et al., 2018).

نتایج یک فراتحلیل جامع بر ۹۵ مطالعه علمی توسط شو و همکاران (۲۰۲۳) نیز مؤید آن است که چرای شدید با کاهش کربن آلی، زی‌توده میکروبی و فعالیت آنزیم‌های کلیدی خاک ارتباط نزدیکی دارد. همچنین مشخص شد که تأثیر چرای دام بر چرخه کربن، به مراتب قوی‌تر از چرخه نیتروژن و فسفر است (Xu et al., 2023).

وانگ و همکاران (۲۰۲۵) اثر شدت چرای دام بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در اعماق مختلف اکوسیستم استپی بیابانی را بررسی کردند. نتایج نشان داد که چرای شدید باعث افزایش فشردگی خاک، کاهش تخلخل و ماده آلی

و همچنین افزایش شوری و اسیدیته می‌شود که در نهایت منجر به تخریب ساختار خاک و کاهش حاصلخیزی و پایداری اکوسیستم می‌گردد. این مطالعه بر اهمیت مدیریت پایدار چرای دام برای حفظ ویژگی‌های کلیدی خاک در اکوسیستم‌های شکننده بیابانی تأکید دارد (Wang et al., 2025).

افزون بر این، مطالعه معمري و همکاران (۲۰۲۴) نشان داد که قرق بلندمدت ۲۰ ساله در مراتع نیمه‌خشک ایران باعث افزایش معنی‌دار کربن آلی، نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاک شد. شاخص‌های پوشش گیاهی شامل تراکم، پوشش تاجی، تنوع و غنای گونه‌ای نیز در مناطق قرق بالاتر بود، در حالی که سایر ویژگی‌های خاک تفاوت معنی‌داری نشان ندادند. این نتایج نقش مؤثر قرق در بهبود کیفیت خاک و پوشش گیاهی را تأیید می‌کند (Moameri et al., 2024).

در زمینه قرق مراتع، مطالعات ملی نیز یافته‌های مشابهی را گزارش کرده‌اند. خطیبی و فراهی (۱۴۰۳) در مطالعه‌ای نشان دادند که قرق مراتع تأثیر قابل توجهی بر بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، از جمله افزایش ماده آلی، پایداری خاکدانه و بهبود ساختار خاک دارد. این مدیریت، با کاهش فرسایش و افزایش پوشش گیاهی، به بازسازی اکوسیستم‌های مرتعی کمک می‌کند. همچنین، ترکیب قرق با اقدامات اصلاحی مانند کاشت گونه‌های مناسب می‌تواند حاصلخیزی خاک را افزایش دهد؛ بنابراین، قرق به عنوان روشی مؤثر و کم‌هزینه در حفاظت و احیای مراتع شناخته می‌شود. نیک‌نهاد و همکاران (۱۳۹۶) نیز نشان دادند که قرق به طور معنی‌داری شاخص فرسایش‌پذیری خاک را کاهش داده و میزان ترسیب کربن را افزایش داده است.

جنیدی و همکاران (۱۴۰۴) در پژوهشی نشان داده‌اند که قرق مراتع تأثیر قابل توجهی بر بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک دارد، به طوری که شاخص‌هایی مانند درصد سیلت، رس، وزن مخصوص ظاهری، تخلخل، کربن آلی، فسفر و نسبت کربن به نیتروژن خاک در مناطق قرق شده به طور معنی‌داری بهبود یافته‌اند. این تغییرات نشان‌دهنده تقویت ساختار خاک و افزایش حاصلخیزی آن است. همچنین، در مقایسه با مناطق تحت چرای دام، خاک مناطق قرق شده دارای وزن مخصوص ظاهری کمتر و نسبت کربن به نیتروژن بالاتر است که بیانگر بهبود کیفیت خاک است. در نتیجه، قرق به عنوان یک راهکار مدیریتی مؤثر در حفظ و بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مراتع توصیه می‌شود.

قرق مراتع نه تنها به احیای پوشش گیاهی کمک می‌کند، بلکه از طریق ارتقاء شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، به افزایش پایداری و بهره‌وری بلندمدت اکوسیستم‌های مرتعی منجر می‌شود. با وجود شواهد فراوان در تأیید این رویکرد، نتایج برخی مطالعات به دلیل تفاوت در اقلیم، نوع خاک، نوع پوشش گیاهی و مدت زمان قرق، با یکدیگر تفاوت دارند. این مسئله نشان می‌دهد که هنوز درک روشنی از تأثیرات قرق بلندمدت بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک وجود ندارد و شکاف دانشی در این حوزه باقی مانده است.

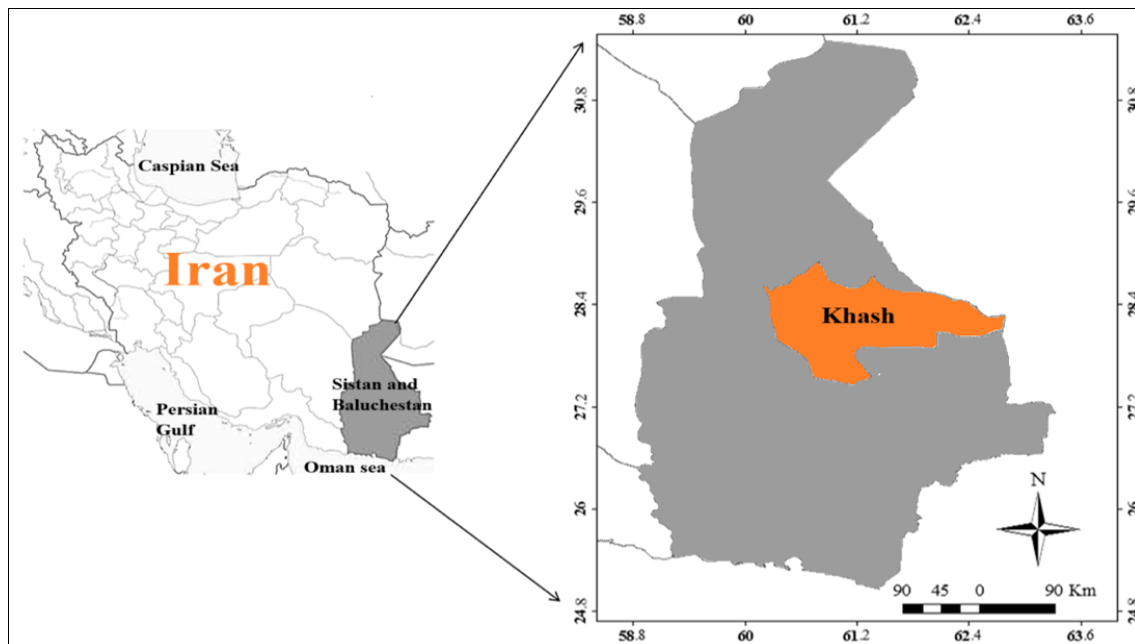
در این راستا و با توجه به اقلیم خشک منطقه کوته در شهرستان خاش و آسیب‌پذیری بالای خاک‌های این ناحیه نسبت به چرای بی‌رویه، بررسی علمی اثرات قرق بلندمدت اهمیت ویژه‌ای دارد. نوآوری این پژوهش در آن است که برای نخستین بار اثرات قرق ۱۵ ساله بر خاک و پوشش گیاهی در مراتع شهرستان خاش ارزیابی می‌شود؛ منطقه‌ای که به دلیل فرسایش‌پذیری بالا و کمبود داده‌های تجربی تاکنون کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است. همچنین، این مطالعه با تمرکز هم‌زمان بر ویژگی‌های فیزیکی (مانند وزن مخصوص ظاهری و بافت خاک) و شاخص‌های شیمیایی (کربن آلی، نیتروژن، فسفر و پتاسیم) در دو عمق خاک، تصویری جامع از پایداری اکوسیستم‌های مرتعی در شرایط بحرانی این منطقه ارائه می‌دهد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

مراتع تحت عملیات مدیریتی قرق به صورت طرح اصلاح و توسعه در شهرستان خاش اجرا گردیده است. مراتع کوته با

وسعت تقریبی ۳۸۰۳ هکتار در بخش نوک‌آباد شهرستان خاش و در فاصله ۴۷ کیلومتری آن با مختصات جغرافیایی طول $28^{\circ} 32' 40''$ و عرض $61^{\circ} 58' 1''$ واقع شده است (شکل ۱). میانگین بارندگی سالانه مرتع مورد مطالعه ۱۴۸ میلی‌متر، ارتفاع از سطح دریا ۱۷۸۰ متر و میانگین دمای سالانه $21/2$ درجه سانتی‌گراد است (Tavousi & Armesh, 2012). نرخ دام‌گذاری در این مرتع بستگی به علوفه قابل دسترس دام در فصول متفاوت، متغیر است. میانگین تراکم دام در مراتع تحت چرای مطالعه، بین ۷۰ تا ۸۰ واحد دامی در هکتار در ماه‌های اردیبهشت تا شهریور و ۶۰ تا ۷۰ واحد دامی در هکتار در ماه‌های مهر تا اسفند گزارش شد. با توجه به شرایط اقلیمی، وضعیت خاک و پوشش گیاهی منطقه، این میزان دام‌گذاری باعث فشار چرای شدید بر مراتع می‌شود (Ebrahimi et al., 2016).



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان سیستان و بلوچستان و ایران

نمونه‌برداری خاک

برای مطالعه اثر قرق بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، سایت قرق ۱۵ ساله مرتع کوتاه واقع در شهرستان خاش در نظر گرفته شد. سپس برای مقایسه با مراجعه به مراتع مناطق مجاور قرق، سعی شد منطقه‌ای مشابه به‌عنوان سایت چراشده در نظر گرفته شود که از نظر شرایط کلی توپوگرافی دارای تشابه زیادی با سایت قرق باشد (شکل ۲). پس از انتخاب سایت قرق و چراشده، نمونه‌برداری به روش تصادفی-سیستماتیک در خرداد ماه از این مناطق انجام شد. از روش آماری برای تعیین تعداد پلات و از روش تجربی برای تعیین اندازه پلات استفاده شد (Dashti et al., 2021). سپس با توجه به وضعیت توپوگرافی منطقه، برای هر منطقه قرق و چراشده ۶ ترانسکت ۱۰۰ متری (سه تا در جهت شیب و سه تا عمود بر جهت شیب) با فواصل تقریبی ۵۰ متر، استقرار گردید و در طول هر ترانسکت ۱۰ پلات ۱ در ۱ متری با فواصل ۱۰ متر، برداشت شد.

داخل هر پلات فهرست همه گونه‌های موجود، درصد تاج پوشش، لاشبرگ، سنگ و سنگریزه، خاک لخت ثبت گردید. در این تحقیق، برای نمونه‌برداری خاک به‌منظور تعیین میزان خصوصیات فیزیکی و شیمیایی در خاک برای هر منطقه (قرق و چراشده)، از ابتدا، وسط و انتهای هر ترانسکت بعد از کنار زدن لاشبرگ‌ها، با حفر پروفیل از عمق ۰ تا ۱۵ و ۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متر نمونه خاک برداشت گردید. سپس ۳ نمونه برداشت‌شده از هر ترانسکت (۶ ترانسکت و در نهایت ۶ نمونه برای هر منطقه و عمق مشخص) باهم مخلوط و یک نمونه مرکب تهیه شد. در مجموع تعداد ۲۴ نمونه خاک جهت اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه انتقال یافت.



ب: منطقه چراشده



الف: منطقه قرق

شکل ۲. تصویری از منطقه قرق و چراشده

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

در این مطالعه، ۱۳ شاخص به‌عنوان ویژگی‌های چندعملکردی خاک مورد ارزیابی قرار گرفت. پس از آماده‌سازی نمونه‌ها و عبور آن‌ها از الک با قطر چشمه ۲ میلی‌متر، پارامترهای مورد بررسی شامل بافت خاک (درصد شن، سیلت و رس)، کربن آلی، اسیدیته، هدایت الکتریکی، نیتروژن کل، فسفر کل، پتاسیم قابل جذب، سدیم، کلسیم، منیزیم و جرم مخصوص ظاهری اندازه‌گیری شدند. بافت خاک (درصد ذرات شن، سیلت، رس) به روش آنالیز پراش لیزر (Wang et al., 2022) تعیین شد. اسیدیته خاک در عصاره خاک: آب (۱:۵) با pH متر اندازه‌گیری شد، برای سنجش میزان هدایت الکتریکی عصاره اشباع از دستگاه هدایت سنج الکتریکی (Ec متر) استفاده گردید. جهت اندازه‌گیری کربن آلی خاک، از روش احتراق خشک خودکار^۱ استفاده شد که امکان اندازه‌گیری سریع و دقیق SOC را فراهم می‌کند (Ng et al., 2025).

نیتروژن کل به روش کج‌لدال تعیین شد. فسفر کل خاک پس از هضم با اسیدسولفوریک و اسید پرکلریک با آنالیز رنگ‌سنجی اندازه‌گیری شد (Qu et al., 2020). پتاسیم قابل دسترس با استات آمونیوم خنثی استخراج شد و توسط طیف‌سنجی جذب اتمی اندازه‌گیری شد (Kaur et al., 2024). مقدار کلسیم، سدیم و منیزیم خاک با استفاده از روش تیتراسیون محاسبه گردید (Shyichuk et al., 2025). جرم مخصوص ظاهری خاک به‌عنوان پارامتر مؤثر در توزیع محتوای کربن با استفاده از مغزه‌های خاک دست‌نخورده با به‌کارگیری سیلندرهایی با قطر و ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد (Barnard et al., 2025).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

پس از انجام مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی، نرمال بودن داده‌ها با آزمون Kolmogorov-Smirnov و همگنی واریانس‌ها با آزمون Levene مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس داده‌های حاصل با استفاده از نرم‌افزار SPSS و آزمون t مستقل تحلیل شدند. همچنین، به‌منظور بررسی روابط بین پارامترهای مورد مطالعه و محاسبه ضریب همبستگی از نرم‌افزار R بهره گرفته شد.

نتایج

اثر قرق و چرای دام بر پوشش سطحی منطقه

پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه شامل طیفی از گونه‌های چندساله، یک‌ساله و فرم‌های رویشی متنوع مانند گونه‌های علفی، بوته‌ای و درختچه‌ای است که اغلب متعلق به خانواده‌های غالبی نظیر Compositae، Papilionaceae و Chenopodiaceae هستند (جدول ۱). نتایج بررسی پوشش گیاهی در دو منطقه قرق‌شده و چراشده نشان داد که اعمال قرق تأثیر مثبتی بر بهبود وضعیت پوشش گیاهی داشته است (جدول ۲). میانگین پوشش تاجی در منطقه قرق‌شده برابر با ۳۲/۲٪ بود، در حالی که این مقدار در منطقه چراشده ۱۰/۹٪ برآورد شد. این اختلاف نشان‌دهنده تأثیر مثبت اعمال قرق بر

افزایش تراکم و بهبود وضعیت پوشش گیاهی است. همچنین در سایت قرق شده گونه‌های چندساله با فرم‌های رویشی پایدارتر مانند بوته‌ای و درختچه‌ای حضور پررنگ‌تری داشتند، در مقابل در سایت چرا شده به دلیل فشار چرای دام، تنوع و تراکم گونه‌های کاهش یافته و اغلب گونه‌های مقاوم و کم‌تراکم مشاهده شدند.

این یافته‌ها گویای نقش کلیدی مدیریت چرای دام در حفظ و بازسازی اکوسیستم‌های گیاهی نیمه‌خشک هستند. میزان لاشبرگ به عنوان شاخصی از عملکرد اکوسیستمی و چرخه مواد آلی، در منطقه قرق شده به طور میانگین ۳/۷۲٪ و در چرا شده ۱/۳۷٪ بود که خود نشانه‌ای از فعالیت زیستی بیشتر و کاهش فرسایش در مناطق فاقد چرای دام خواهد بود. اگرچه اختلافاتی در مقادیر سنگ و سنگریزه و خاک لخت نیز میان دو منطقه مشاهده شد، اما تأثیر این عوامل در مقایسه با شاخص‌های گیاهی کم‌اهمیت‌تر است. این یافته‌ها تأکید می‌کنند که قرق می‌تواند به طور مؤثر ساختار پوشش گیاهی را بازسازی کرده و شرایط زیستی اکوسیستم‌های خشک و نیمه‌خشک را بهبود بخشد.

جدول ۱. نام علمی، خانواده، فرم رویشی (F: پهن برگ علفی، Sh: درختچه، B: بوته)، دوره زندگی (A: یک ساله، P: چندساله) و درصد پوشش گونه‌های گیاهی موجود در منطقه قرق و چرا شده در مرتع کوتاه شهرستان خاش

ردیف	نام علمی	خانواده	فرم رویشی	دوره زندگی	درصد پوشش گیاهی قرق	چرا شده
۱	<i>Zygophyllum eurypterum</i>	Zygophyllaceae	Sh	P	۸/۵	۱/۳۱
۲	<i>Alhagi camelorum</i>	Papilionaceae	F	P	۱/۸	۱/۶
۳	<i>Artemisia sieberi</i>	Compositae	B	P	۲	۰
۴	<i>Astragalus semnanica</i>	Papilionaceae	F	P	۰/۲	۰/۰۹
۵	<i>Cousinia stocksii</i>	Poaceae	B	P	۰/۵	۰
۶	<i>Scariola orientalis</i>	Compositae	F	P	۴/۱	۱/۴۳
۷	<i>Euphorbia helioscopia</i>	Euphorbiaceae	F	A	۰/۹	۰/۶
۸	<i>Hammada salicornia</i>	Chenopodiaceae	Sh	P	۰	۲
۹	<i>Artemisia santolina</i>	Compositae	B	P	۱/۲	۰
۱۰	<i>Artemisia lehmanniana</i>	Compositae	B	P	۰/۴	۰/۳۵
۱۱	<i>Amygdalus scoparia</i>	Papilionaceae	Sh	P	۰/۶۵	۰/۴
۱۲	<i>Astragalus semnanica</i>	Papilionaceae	F	P	۰/۶	۰/۲۳
۱۳	<i>Cymbopogon olivieri</i>	Graminae	F	P	۰/۰۵	۰
۱۴	<i>Astragalus mucronifolius</i>	Papilionaceae	Sh	P	۲/۳	۰/۲
۱۵	<i>Astragalus squarrosus</i>	Papilionaceae	Sh	P	۰/۷۶	۰
۱۶	<i>Ephedra intermedia</i>	Ephedraceae	Sh	P	۰/۱۷	۰/۰۶
۱۷	<i>Amygdalus lycioides</i>	Papilionaceae	Sh	P	۰/۲۳	۰/۳۳
۱۸	<i>Amygdalus wendelboii</i>	Papilionaceae	Sh	P	۰/۲۸	۰/۱
۱۹	<i>Salsola tomentosa</i>	Chenopodiaceae	F	P	۶/۱۱	۲
۲۰	<i>Tribohus terrestris</i>	Zygophyllaceae	F	A	۰/۵۵	۰
جمع کل پوشش تاجی					۳۲/۲	۱۰/۹

جدول ۲. مقایسه میانگین فاکتورهای پوشش سطحی خاک در منطقه قرق و چرا شده

فاکتورهای پوشش	منطقه	میانگین	انحراف معیار	درجه آزادی	مقدار t	نتیجه آزمون
پوشش تاجی	قرق	۳۲/۲	۲/۳۸	۵۸	۶/۹۵	۰/۰۰**
	چرا شده	۱۰/۹	۲/۴۴			
لاشبرگ	قرق	۳/۷۲	۰/۵۵	۵۸	۸/۰۰	۰/۰۰**
	چرا شده	۱/۳۷	۰/۱۸			
سنگ و سنگریزه	قرق	۴۱/۴	۳/۲۶	۵۸	۳/۷۳	۰/۰۱**
	چرا شده	۵۶/۸	۳/۱۱			
خاک لخت	قرق	۲۱/۴	۴/۷۲	۵۸	۱/۸۴	۰/۱۱ ^{ns}
	چرا شده	۳۲/۸	۷/۱۸			

** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و ^{ns} اختلاف معنی‌دار وجود ندارد.

مقایسه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بین منطقه قرق و چراشده در عمق اول

مقایسه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در عمق ۰ تا ۱۵ سانتی‌متر نشان داد که میانگین درصد سیلت در منطقه قرق به‌طور معنی‌داری بالاتر از منطقه چراشده است که بیانگر افزایش ظرفیت نگهداری آب و بهبود ساختار خاک در اثر کاهش فشار چرای دام است. در مقابل، میانگین جرم مخصوص ظاهری خاک در منطقه چراشده (۱/۶۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب) بیشتر از قرق (۱/۲۹ گرم بر سانتی‌متر مکعب) بود که نشان‌دهنده افزایش فشردگی خاک و کاهش تخلخل ناشی از فعالیت دام‌ها است. همچنین میانگین کربن آلی در قرق (۰/۰۴۸٪) بیش از دو برابر چراشده (۰/۰۲۴٪) بود و میانگین نیتروژن کل در قرق (۰/۰۵۲٪) نیز نسبت به چراشده (۰/۰۲۲٪) بیشتر گزارش شد. در مقابل، میانگین فسفر قابل دسترس در چراشده (۲۷/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بالاتر از قرق (۴۶/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود و پتاسیم قابل دسترس نیز در چراشده (۲۴۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بیشتر از قرق (۲۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) به دست آمد.

این الگو احتمالاً ناشی از تجمع فضولات دامی به‌عنوان منبع مستقیم این عناصر و کاهش جذب گیاهی به‌دلیل پوشش گیاهی کم است. با این حال، این افزایش موقت عناصر مغذی، برخلاف اثرات پایدار قرق بر کربن و نیتروژن، کمتر با پایداری اکوسیستم همسو است. میانگین کلسیم در قرق نسبت به چراشده بیشتر بود، در حالی که میانگین اسیدیته در منطقه قرق (۷/۹) کمتر از چراشده (۸/۱) و میانگین هدایت الکتریکی نیز در منطقه قرق کمتر از چراشده گزارش شد. در مجموع، این تحلیل نشان می‌دهد که قرق منجر به افزایش عناصر کلیدی خاک و کاهش اثرات مخرب چرای دام می‌شود، در حالی که چرای شدید ممکن است باعث تجمع موقت عناصر مغذی ولی کاهش پایداری اکوسیستم گردد؛ بنابراین، این یافته‌ها اهمیت مدیریت هوشمندانه و پایدار چرای دام برای حفظ کیفیت خاک و اکوسیستم‌های مرتعی را برجسته می‌کنند (جدول ۳).

جدول ۳. مقایسه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بین منطقه قرق و چراشده در عمق ۰ تا ۱۵ سانتی‌متر

خصوصیات خاک	منطقه	میانگین	انحراف معیار	درجه آزادی	t مستقل	نتیجه آزمون
درصد شن	قرق	۵۵/۰	۳/۳	۱۰	۲/۱۵	۰/۰۷۵ ^{ns}
	چراشده	۶۰/۰	۲/۱			
درصد رس	قرق	۱۰/۰	۰/۰	۱۰	۰/۰	۱/۰۰ ^{ns}
	چراشده	۱۰/۰	۱/۶			
درصد سیلت	قرق	۳۴/۰	۳/۳	۱۰	۲/۴۷	۰/۰۴۸ [*]
	چراشده	۳۰/۰	۰/۸۱			
جرم مخصوص ظاهری (gr/c ³)	قرق	۱/۲۹	۰/۰۷	۱۰	۶/۸۴	۰/۰۰ ^{**}
	چراشده	۱/۶۱	۰/۰۵			
کربن آلی	قرق	۰/۴۸	۰/۰۶	۱۰	۳/۴۱	۰/۰۱۴ ^{**}
	چراشده	۰/۲۴	۰/۰۱			
نیتروژن کل	قرق	۰/۰۵۲	۰/۰۰۵	۱۰	۲/۸۲	۰/۰۳ ^{**}
	چراشده	۰/۰۲۲	۰/۰۰۵			
فسفر قابل دسترس	قرق	۵/۴۶	۲/۲	۱۰	۲/۷۷	۰/۰۳۲ [*]
	چراشده	۷/۷۷	۰/۴۹			
پتاسیم قابل دسترس	قرق	۲۳۰/۰	۱۴/۲	۱۰	۲/۷	۰/۰۳۲ [*]
	چراشده	۲۴۷/۸	۴/۷۱			
سدیم	قرق	۱/۵۲	۰/۳۷	۱۰	۱/۸۶	۰/۱۱ ^{ns}
	چراشده	۱/۹	۰/۱۴			
کلسیم	قرق	۱/۳۳	۰/۴۷	۱۰	۲/۸۳	۰/۰۳۰ [*]
	چراشده	۲/۰	۰/۰			
منیزیم	قرق	۱/۶۶	۰/۹۴	۱۰	۰/۰	۱/۰۰ ^{ns}
	چراشده	۱/۶۶	۰/۴۷			
PH	قرق	۷/۹	۱/۰	۱۰	۴/۱۳	۰/۰۰ ^{**}
	چراشده	۸/۱	۰/۰۳			
EC	قرق	۰/۴۱	۰/۰۱	۱۰	۹/۶	۰/۰۰ ^{**}
	چراشده	۰/۵۴	۰/۰۲			

^{**} و ^{*} به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪، ns اختلاف معنی‌دار وجود ندارد.

مقایسه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بین منطقه قرق و چراشده در عمق دوم

در بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در عمق ۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متری بین مناطق قرق و چراشده، مشاهده شد که ترکیب بافت خاک از نظر درصد شن، رس و سیلت تفاوت معنی‌داری نداشت و ساختار کلی خاک در هر دو منطقه مشابه باقی مانده است. با این حال، جرم مخصوص ظاهری خاک در منطقه چراشده به‌طور قابل توجهی بالاتر بود که ممکن است نشان‌دهنده تراکم بیشتر خاک و کاهش نفوذپذیری آن نسبت به منطقه قرق باشد. از نظر مواد مغذی، کربن آلی در خاک قرق با میانگین ۰/۳۳٪ نسبت به ۰/۲۳٪ در منطقه چراشده بیشتر بود که بیانگر فعالیت زیستی و ذخیره بهتر مواد آلی در این منطقه است. همچنین نیتروژن کل در قرق به‌طور معنی‌داری بالاتر بود.

فسفر قابل دسترس در منطقه چراشده کمی بیشتر و برابر با ۷۳/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود، در مقابل ۶۶/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم در قرق مشاهده شد. پتاسیم قابل دسترس در قرق با میانگین ۲۲۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌طور قابل توجهی بیشتر از ۲۴۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم در چراشده بود که این تفاوت می‌تواند بر رشد گیاهان و فعالیت میکروبی تأثیرگذار باشد. سدیم در منطقه قرق بالاتر و کلسیم در چراشده بیشتر بود که احتمالاً نشان‌دهنده توزیع نامتعادل عناصر ناشی از چرای دام و تغییرات در منابع مواد معدنی است. منیزیم، اسیدیته و هدایت الکتریکی تفاوت معنی‌داری نداشتند که بیانگر این است که شرایط قلیائیت و شوری خاک در این عمق نسبتاً پایدار بوده و تحت تأثیر مستقیم مدیریت چرای دام قرار نگرفته است. به‌طور کلی، نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که مدیریت چرای دام و اعمال قرق اثرات مهمی بر برخی شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی خاک دارند، به‌ویژه در تراکم، مواد آلی و عناصر غذایی کلیدی. این یافته‌ها تأکید می‌کنند که تفاوت‌های عملکردی در خاک‌های مرتعی بیش از آنکه به تغییرات بافت خاک در این عمق مربوط باشند، ناشی از فشار چرای دام و بازسازی پوشش گیاهی است و می‌تواند اثر مستقیمی بر حاصلخیزی و پایداری اکوسیستم مراتع داشته باشند.

جدول ۴. مقایسه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بین منطقه قرق و چراشده در عمق ۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متر

خصوصیات خاک	منطقه	میانگین	انحراف معیار	درجه آزادی	t مستقل	نتیجه آزمون
درصد شن	قرق	۵۳/۶	۲/۴۹	۱۰	۳/۴۷	۰/۱۷ ^{ns}
	چراشده	۵۶/۰	۰/۰			
درصد رس	قرق	۸/۳	۰/۹۴	۱۰	۲/۸۲	۰/۰۳ ^{ns}
	چراشده	۸/۰	۰/۰			
درصد سیلت	قرق	۳۷/۰	۱/۶	۱۰	۳/۶۷	۰/۱۰ ^{ns}
	چراشده	۳۵/۰	۰/۰			
جرم مخصوص ظاهری (gr/c ³)	قرق	۱/۱۲	۰/۰۱۷	۱۰	۸/۸۹	۰/۰۰ ^{**}
	چراشده	۱/۴۱	۰/۰۶۲			
کربن آلی	قرق	۰/۳۳	۰/۰۴	۱۰	۷/۱۸	۰/۰۰ ^{**}
	چراشده	۰/۲۳	۰/۰۳			
نیتروژن کل	قرق	۰/۰۲۳	۰/۰۰۵	۱۰	۸/۴۸	۰/۰۰ ^{**}
	چراشده	۰/۰۲۲	۰/۰۰۵			
فسفر قابل دسترس	قرق	۳/۶۶	۱/۶۱	۱۰	۲/۴۶	۰/۰۴۹ [*]
	چراشده	۶/۷۳	۰/۷۷			
پتاسیم قابل دسترس	قرق	۲۲۳/۳	۰/۰	۱۰	۱۱/۳	۰/۰۰ ^{**}
	چراشده	۲۴۴/۱	۳/۱۴			
سدیم	قرق	۱/۵۰	۰/۲۲	۱۰	۲/۳۶	۰/۰۴۹ [*]
	چراشده	۲/۰	۰/۲۸			
کلسیم	قرق	۱/۰	۰/۰	۱۰	۲/۸۳	۰/۰۳۰ [*]
	چراشده	۱/۶۶	۰/۴۷			
منیزیم	قرق	۲/۰	۰/۸۱	۱۰	۰/۷۰	۰/۵۰ ^{ns}
	چراشده	۲/۳۳	۰/۴۷			

ادامه جدول ۴.

خصوصیات خاک	منطقه	میانگین	انحراف معیار	درجه آزادی	t مستقل	نتیجه آزمون
PH	قرق	۸/۰۳	۰/۰۸۱	۱۰	۰/۸۳	۰/۴۳ ^{ns}
	چراشده	۸/۰	۰/۰۱۷			
EC	قرق	۰/۴۸	۰/۰۳۴	۱۰	۰/۹۹	۰/۳۵ ^{ns}
	چراشده	۰/۵۴	۰/۰۹۹			

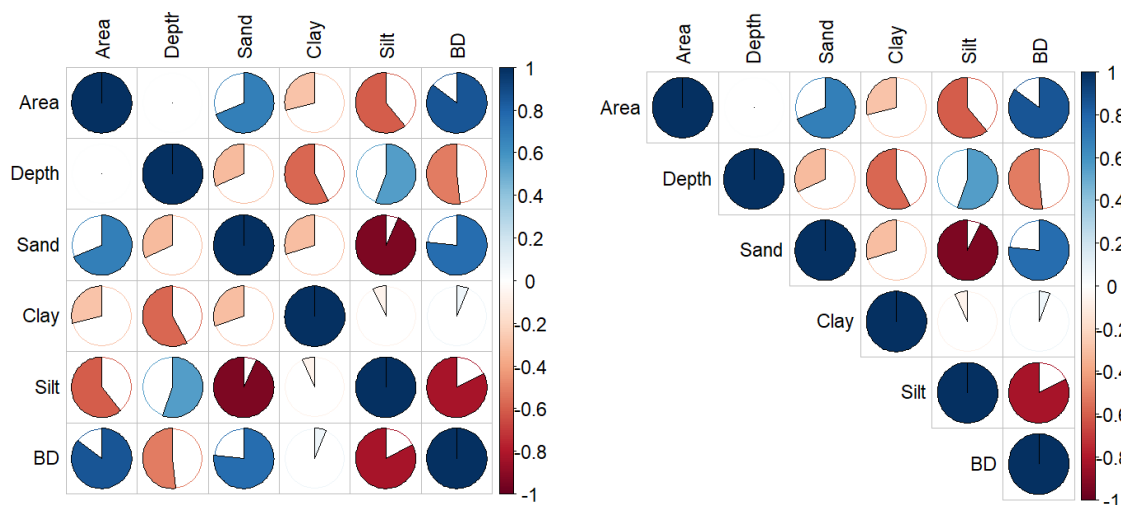
** و * به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪، ns اختلاف معنی دار وجود ندارد.

همبستگی متغیرهای فیزیکی خاک

تحلیل همبستگی بین ویژگی‌های فیزیکی خاک نشان می‌دهد که بافت خاک (نسبت شن، سیلت و رس) و جرم مخصوص ظاهری ارتباط نزدیکی با عمق خاک دارند. درصد شن همبستگی منفی بسیار شدید با سیلت دارد (۰/۹۳-) که نشان‌دهنده رابطه معکوس طبیعی میان این دو جزء بافتی است. سیلت با عمق خاک همبستگی مثبت (۰/۵۵) و با جرم مخصوص ظاهری همبستگی منفی بالا (۰/۸۲-) دارد. به عبارت دیگر، افزایش درصد سیلت منجر به کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک می‌شود که این موضوع نشان‌دهنده بهبود وضعیت فیزیکی خاک است. در مقابل، جرم مخصوص ظاهری با درصد شن (۰/۷۶) همبستگی مثبت دارد که ممکن است بیانگر فشردگی بیشتر خاک در مناطقی با درصد شن بالا باشد. عمق خاک نیز همبستگی منفی با چگالی و درصد شن دارد و همبستگی منفی متوسطی با رس نشان می‌دهد (۰/۵۷-) که احتمالاً ناشی از کاهش تدریجی مواد سنگین‌تر و متراکم‌تر مانند رس در لایه‌های زیرین خاک است. این نتایج نشان می‌دهند که ویژگی‌های فیزیکی خاک به شدت تحت تأثیر بافت و عمق هستند و این عوامل می‌توانند در تفسیر پایداری فیزیکی خاک در مدیریت بلندمدت مراتع نقش تعیین‌کننده‌ای داشته باشند (جدول ۵ و شکل ۳).

جدول ۵. نتایج تجزیه ضریب همبستگی بین خصوصیات فیزیکی خاک

	Area	Depth	Sand	Clay	Silt	BD
Area	1					
Depth	0	1				
Sand	0.68	-0.31	1			
Clay	-0.28	-0.57	-0.30	1		
Silt	-0.60	0.55	-0.93	-0.06	1	
BD	0.85	-0.51	0.76	0.06	-0.82	1



شکل ۳. همبستگی پیرسون بین متغیرهای فیزیکی خاک

همبستگی متغیرهای شیمیایی خاک

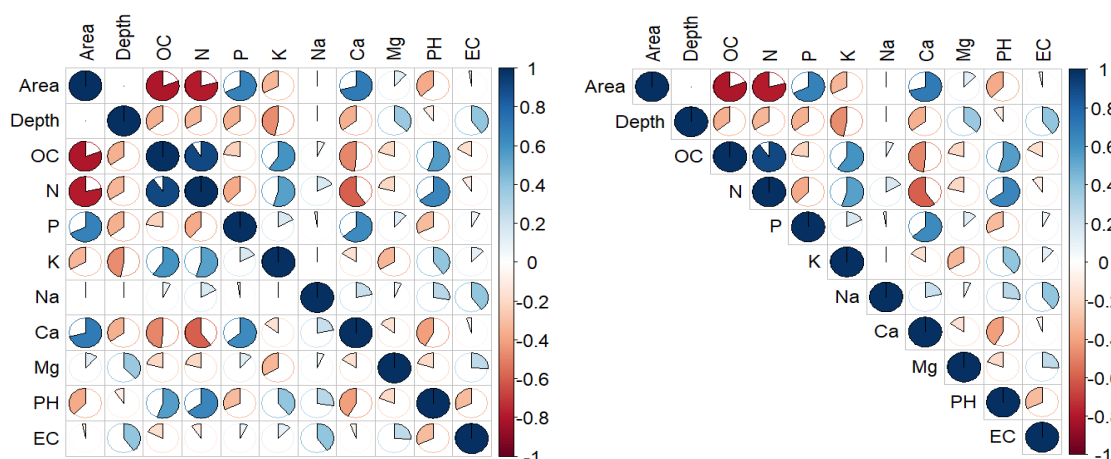
تحلیل ضرایب همبستگی بین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در سایت‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که کربن آلی

رابطه‌ای مثبت و بسیار قوی با نیتروژن کل دارد (۰/۹۰) که نشان‌دهنده هم‌زمانی تجمع این دو عنصر و نقش مواد آلی در چرخه نیتروژن در خاک‌های مرتعی است. هر دو عنصر کربن آلی و نیتروژن همبستگی منفی با عمق خاک دارند. فسفر همبستگی مثبت متوسطی با کلسیم (۰/۶۳) نشان می‌دهد که احتمالاً بیانگر تأثیر کلسیم بر قابلیت جذب فسفر در خاک است. پتاسیم نیز همبستگی مثبت با کربن آلی و نیتروژن دارد که نقش مواد آلی در نگهداری این عنصر را تأیید می‌کند. در مقابل، اسیدیته خاک همبستگی مثبت با نیتروژن (۰/۶۵) و کربن آلی (۰/۵۵) دارد که نشان می‌دهد شرایط خنثی‌تر خاک ممکن است به حفظ مواد آلی و عناصر غذایی کمک کند. از سوی دیگر، هدایت الکتریکی با اکثر متغیرها همبستگی ضعیفی دارد، اما رابطه مثبت آن با عمق (۰/۳۹) می‌تواند ناشی از تجمع نمک‌ها در لایه‌های زیرین خاک باشد. در مجموع، این نتایج نشان می‌دهد که قرق بلندمدت می‌تواند از طریق بهبود شرایط زیستی خاک، موجب افزایش پایداری عناصر غذایی کلیدی شود (جدول ۶ و شکل ۴).

جدول ۶. نتایج تجزیه ضرایب همبستگی خصوصیات شیمیایی خاک

	Area	Depth	OC	N	P	K	Na	Ca	Mg	PH	Ec
Area	1										
Depth	0	1									
OC	-0.80	-0.35	1								
N	-0.78	-0.33	0.90	1							
P	0.60	-0.35	-0.22	-0.37	1						
K	-0.33	-0.46	0.59	0.54	0.16	1					
Na	-6.93	-6.93	0.07	0.16	0.02	0.07	1				
Ca	0.70	-0.35	-0.48	-0.59	0.63	-0.15	0.22	1			
Mg	0.12	0.37	-0.20	-0.20	0.12	-0.30	0.06	-0.15	1		
PH	-0.37	-0.09	0.55	0.65	-0.31	0.39	0.27	-0.41	-0.19	1	
EC	-0.03	0.39	-0.17	-0.09	0.07	0.11	0.39	-0.05	0.25	-0.31	1

منطقه (Area)، عمق (Depth)، کربن آلی (OC)، نیتروژن کل (TN)، پتاسیم قابل جذب (AK)، فسفر قابل جذب (AP)، سدیم (Na)، کلسیم (Ca)، منیزیم (Mg)، اسیدیته (PH)، هدایت الکتریکی (EC)



شکل ۴. همبستگی پیرسون بین متغیرهای شیمیایی خاک (منطقه (Area)، عمق (Depth)، کربن آلی (OC)، نیتروژن کل (TN)، پتاسیم قابل جذب (AK)، فسفر قابل جذب (AP)، سدیم (Na)، کلسیم (Ca)، منیزیم (Mg)، اسیدیته (PH)، هدایت الکتریکی (EC))

بحث

قرق به‌عنوان روشی مؤثر برای بهبود مراتع در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان به کار می‌رود و بررسی اثرات آن بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و پوشش گیاهی اهمیت بالایی دارد (Dastgheyb Shirazi et al., 2021). نتایج این مطالعه نشان داد که اعمال قرق بلندمدت باعث افزایش معنی‌دار پوشش تاجی، غنای گونه‌ای و بازسازی گونه‌های ارزشمند

مرتعی در شهرستان خاش شد. حضور گونه‌های بومی مانند *Artemisia sieberi*، *Astragalus semnanica* و *Astragalus squarosus* و درختچه‌های بومی *Amygdalus scoparia* و *Amygdalus wendelboii* تنها در مناطق قرق مشاهده شد که نشان‌دهنده کاهش شدید فشار چرای دام و بازگشت پویایی اکولوژیکی است. افزایش میزان لاشبرگ نیز نشانه‌ای از رشد پوشش گیاهی و بازگشت مواد آلی به خاک و کاهش فرسایش‌پذیری است. این یافته‌ها با نتایج سایر مطالعات همخوانی دارد؛ به‌عنوان مثال، غنچه‌پور و همکاران (۱۴۰۲) گزارش کردند که قرق موجب افزایش تعداد پایه‌های گونه‌های بومی و غلبه *Stipa arabica* شده است. همچنین، مطالعه‌ای در سال ۲۰۲۳ نشان داد که قرق بلندمدت موجب افزایش تنوع گیاهی و بهبود ساختار پوشش گیاهی در مراتع خشک و نیمه‌خشک می‌شود (Tulloch et al., 2023). این تطابق نتایج، مؤید تأثیر مثبت قرق بر کیفیت پوشش گیاهی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است.

در بررسی ویژگی‌های فیزیکی خاک، کاهش جرم مخصوص ظاهری در عمق‌های ۰ تا ۱۵ و ۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متر در مناطق قرق مشاهده شد که نشان‌دهنده بهبود ساختار خاک و کاهش فشردگی ناشی از چرای دام است (غنچه‌پور و همکاران، ۱۴۰۲). در حالی که ترکیب بافت خاک از نظر درصد شن، رس و سیلت در هر دو عمق مورد بررسی (در منطقه قرق‌شده) نسبتاً یکنواخت باقی ماند و تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در منطقه چراشده، با وجود ثبات نسبی در درصد شن و رس، افزایش معنی‌دار درصد سیلت در عمق دوم بیانگر تغییرات ظریف در بافت خاک است که می‌تواند در نگهداری آب و پایداری فیزیکی خاک مؤثر باشد.

مطالعه شیدای کرکج و همکاران (۱۳۹۸) نشان داد که پایداری خاکدانه در لایه سطحی بیشتر از لایه‌های عمقی است. مطالعات مختلف، اثرات مستقیم و غیرمستقیم شدت چرای دام بر ویژگی‌های خاک را آشکار کرده‌اند (Zhang et al., 2023). لگدمال شدن ناشی از فعالیت دام در طول دوره چرا می‌تواند منجر به فشردگی خاک شده (Qu et al., 2024) و در نتیجه، ظرفیت نگهداری آب، میزان هوادهی و شرایط اکسایش-کاهش خاک را به‌طور قابل‌توجهی تغییر دهد (Liu et al., 2015). چرای دام می‌تواند اثرات مخربی از جمله فشردگی بیش‌ازحد سطح خاک، کاهش نفوذپذیری، ایجاد شرایط نامناسب برای رشد ریشه گیاهان، اختلال در تبادلات گازی، کاهش فعالیت زیستی موجودات خاکزی، افزایش فرسایش آبی و بادی و در نهایت، از بین رفتن تدریجی خاک شود (خطیبی و فراهی، ۱۴۰۳).

در حوزه شیمیایی، کربن آلی و نیتروژن کل در مناطق قرق به‌طور معنی‌داری بالاتر از مناطق چراشده بود. این افزایش احتمالاً ناشی از انباشت بقایای گیاهی، کاهش فرسایش خاک، فعالیت میکروبی و بهبود شرایط میکروکلیمات است (Moameri et al., 2022; Chen et al., 2024). نتایج مشابهی در پژوهش محمدی سامانی و همکاران (۱۴۰۱) مشاهده شد که نشان‌دهنده اهمیت بازسازی پوشش گیاهی در افزایش ذخایر آلی و نیتروژنی خاک است. این الگو با یافته‌های مطالعات بین‌المللی هم‌راستا است، به‌ویژه آن دسته که تأکید دارند بازسازی پوشش گیاهی در مناطق قرق، از طریق افزایش زیست‌توده و ورود بقایای گیاهی بیشتر به خاک، منجر به غنای منابع آلی و نیتروژنی می‌شود (Qiu et al., 2013). افزایش کربن آلی نه تنها به بهبود ساختار خاک و ظرفیت نگهداری رطوبت کمک می‌کند، بلکه با تغذیه میکروارگانیسم‌ها، چرخه عناصر غذایی را تقویت می‌کند (Wu et al., 2014). افزایش نیتروژن کل نیز ناشی از کاهش فشار چرای دام و تثبیت بیشتر آن در زیست‌توده گیاهی است (Chen et al., 2022).

مقادیر فسفر و پتاسیم در مناطق چراشده بیشتر بود، اما این افزایش عمدتاً به دلیل تجمع فضولات دامی بوده و از پایداری کمتری برخوردار است. تراکم پایین پوشش گیاهی در مناطق چراشده، موجب کاهش جذب این عناصر توسط گیاهان و باقی ماندن آن‌ها در خاک می‌شود. چرای مکرر و شدید می‌تواند باعث تخریب مواد آلی و اختلال در چرخه مواد غذایی شود (Bardgett & Wardle, 2010). در بین عناصر بازی، کلسیم در مناطق چراشده بالاتر بود که احتمالاً ناشی از کاهش جذب گیاهی یا ورود فضولات دامی است، در حالی که سدیم و منیزیم تفاوت معنی‌داری نشان ندادند (Moameri et al., 2024). غنچه‌پور و همکاران، ۱۴۰۲).

در این مطالعه، اسیدپتیه و هدایت الکتریکی خاک در مناطق تحت چرای دام به‌طور معنی‌داری بالاتر از مناطق قرق مشاهده شد که احتمالاً ناشی از ورود مستمر فضولات دامی قلیایی و افزایش تبخیر و تجمع املاح در سطح خاک است. خاک

مناطق قرق به دلیل پوشش گیاهی بیشتر، تعادل بهتری در چرخه مواد غذایی دارد و تجزیه مواد آلی منجر به تولید اسیدهای آلی و کاهش نسبی اسیدیته می شود (Wang et al., 2024). مطالعات پیشین نیز نشان داده اند که چرای دام موجب افزایش قابل توجه اسیدیته خاک در اکوسیستم های استپی می شود (Qu et al., 2016) و این افزایش می تواند ناشی از بازگشت فضولات دامی به خاک باشد (Belteben et al., 2020). مطالعه محمدی سامانی و همکاران (۱۴۰۱) نیز گزارش کرده است که در مناطق قرق، به ویژه در اقلیم های خشک و نیمه خشک، اسیدیته خاک به طور قابل توجهی کمتر و هدایت الکتریکی پایین تر است که ناشی از کاهش فرسایش و تبخیر است. افزون بر این، حشمتی و قیطوری (۱۴۰۰) نشان دادند که اجرای پنج سال قرق مستمر در مراتع ییلاقی موجب بهبود قابل توجه کیفیت و پایداری ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک می شود.

تفاوت های مشاهده شده میان مطالعات مختلف را می توان به عوامل محیطی، مدت زمان اعمال قرق، شدت چرای پیشین و تنوع پوشش گیاهی نسبت داد. این امر بر اهمیت تحلیل های چندبعدی و بررسی مکانیسم های اکولوژیکی در مدیریت مراتع تأکید دارد.

نتیجه گیری

یافته های این پژوهش نشان داد که قرق بلندمدت می تواند به عنوان یک راهبرد مدیریتی مؤثر، نقش بسزایی در بازسازی و ارتقای شرایط اکولوژیکی مراتع خشک و نیمه خشک ایفا کند. قرق موجب افزایش پوشش گیاهی، بهبود کیفیت گونه ها و افزایش تولید لاشبرگ شد که بیانگر ارتقای پویایی اکوسیستم است. کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک در منطقه قرق نیز نشان دهنده بهبود ساختار فیزیکی و کاهش فشردگی ناشی از چرای دام بود. از نظر شیمیایی، افزایش معنی دار کربن آلی و نیترژن کل همراه با کاهش pH و هدایت الکتریکی، ارتقای کیفیت خاک و بهبود چرخه مواد غذایی را تأیید کرد. هرچند مقادیر فسفر، پتاسیم و کلسیم در مراتع چرا شده بالاتر گزارش شد، این افزایش عمدتاً ناشی از ورود فضولات دامی بوده و از پایداری کمتری برخوردار است. با وجود این دستاوردها، محدودیت هایی مانند یک ساله بودن دوره نمونه برداری، تعداد محدود نمونه ها و تأثیر پذیری نتایج از شرایط اقلیمی خاص منطقه خاش، باید در تفسیر نتایج مدنظر قرار گیرد؛ بنابراین پیشنهاد می شود در تحقیقات آینده، مطالعات بلندمدت تر با نمونه برداری گسترده تر و به کارگیری روش های آماری پیشرفته انجام گیرد تا ابعاد پیچیده تر روابط میان پوشش گیاهی و ویژگی های خاک آشکار شود. بر این اساس، می توان قرق را به عنوان یک رویکرد پایدار و علمی در مدیریت مراتع مناطق خشک و نیمه خشک کشور توسعه داد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از حمایت مالی دانشگاه زابل (Grant code: IR-UOZ-GR-8721) برای انجام این پژوهش تشکر و قدردانی می گردد.

منابع

- اکبرزاده، پیمان؛ نیکو، شیمیا (۱۴۰۱). اثر تغییر کاربری اراضی بر کیفیت آب زیرزمینی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز دامغان). *مجله اکوهیدرولوژی*، ۹(۲)، ۴۳۷-۴۵۹. doi: 10.22059/ije.2022.340711.1622
- جنیدی، حامد؛ بازگیر، الهام؛ کمالی، نادیا (۱۴۰۴). اثرپذیری ویژگی های بیولوژیک خاک مرتع در مواجهه با تغییر کاربری به دیمزار (مطالعه موردی: مراتع کرمانشاه). *پژوهش های فرسایش محیطی*، ۱۵(۱)، ۲۵-۴۴. doi: 10.61186/jeer.15.1.25
- حشمتی، مسیب؛ قیطوری، محمد (۱۴۰۰). نقش قرق طولانی مدت مرتع بر بهبود برخی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک و پایداری آن. *پژوهش های خاک*، ۳۵(۱)، ۱۵-۲۶. doi: 10.22092/ijsr.2021.352965.573
- خطیبی، رسول؛ فراهی، محسن (۱۴۰۳). بررسی اثر قرق بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مراتع (مطالعه موردی: شمال استان گلستان، مراتع صوفیکم). *فصلنامه علوم محیطی*، ۲۲(۳)، ۴۸۳-۴۹۴. doi: 10.48308/envs.2024.1360
- شریفی جابر؛ اکبرزاده، مرتضی (۱۳۹۵). بررسی تأثیر قرق در تغییرات پوشش گیاهی و احیاء گونه های شاخص مطلوبیت مرتع در استان اردبیل. *مرتع*، ۱۰(۴)، ۳۶۷-۳۸۶. dor: 20.1001.1.20080891.1395.10.4.1.7

شیدای کرکج، اسماعیل؛ جعفری فوتمی، عیسی؛ نیک‌نهاد قره‌ماخر، حمید (۱۳۹۵). بررسی اهمیت اقلیم در تعیین میزان اثرگذاری قرق بر خصوصیات مختلف خاک مراتع. *مهندسی اکوسیستم بیابان*، ۵(۱۳)، ۳۹-۵۶. https://deej.kashanu.ac.ir/article_112591

_en

شیدای کرکج، اسماعیل؛ رضائی، حسین؛ نیک‌نهاد قره‌ماخر، حمید؛ جعفری فوتمی، عیسی؛ شریفیان، ابوالفضل (۱۳۹۸). نقش قرق در تغییر پایداری خاکدانه و ساختمان خاک‌های مرتعی استان گلستان. *تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، ۲۶(۴)، ۹۰۴-۹۱۷. doi: 10.22092/ijrdr.2019.120682

غنچه‌پور، ماشالله؛ صادقی‌نیا، مجید؛ باغستانی، ناصر؛ پورمیرزایی، احمد؛ کدوری، محمدرضا (۱۴۰۲). مقایسه تنوع پوشش گیاهی و خاک در دو عرصه قرق و چرا (مطالعه موردی: درمنه‌زارهای منطقه دهنو، بردسیر، کرمان). *تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، ۳۰(۱)، ۱۵۲-۱۶۳. doi: 10.22092/ijrdr.2023.128952

کریمیان، وحید؛ بارانی، حسین (۱۴۰۳). شناسایی گیاهان دارویی-صنعتی پرکاربرد مراتع بیابانی و بررسی میزان آگاهی جامعه محلی نسبت به آن‌ها (مطالعه موردی: شهرستان خواف، خراسان رضوی). *مدیریت بیابان*، ۱۲(۴)، ۴۱-۶۲. doi: 10.22034/jdmal.2025.2045459.1490

محمدرضا سامانی، کیومرث؛ جنیدی جعفری، حامد؛ مرادی، پریا (۱۴۰۱). تغییرپذیری برخی خصوصیات شیمیایی خاک در شرایط مختلف مدیریتی مرتع. *تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، ۲۹(۲)، ۱۲۶-۱۳۰. doi: 10.22092/ijrdr.2022.126760

نیک‌نهاد، حمید؛ آقایی، علی؛ اکبرلو، محمد (۱۳۹۶). اثرات حذف چرای دام بر برخی خصوصیات فیزیکی خاک، قابلیت فرسایش و ذخیره‌سازی کربن (مطالعه موردی: مراتع بزداغین، شمال خراسان، ایران). *تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، ۲۴(۴)، ۷۰۸-۷۱۸. doi: 10.22092/ijrdr.2017.114058

References

- Ai, M., Sun, Y., Yan, B., & Wei, Y. (2018). A summary of the impact of land degradation on soil carbon sequestration. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 394, 052028. doi:10.1088/1757-899X/394/5/052028
- Akbarzadeh, P., & Nikoo, S. (2022). Effects of Land Use Change on Groundwater Quality (Case Study: Damghan Watershed). *Journal of Ecohydrology*, 9(2), 437-459. doi: 10.22059/ije.2022.340711.1622. (In Persian).
- Bagherian, R., Sefidi, K., Keivan Behjou, F., Soltani, A. A., & Behtari, B. (2018). The influence of changes in grazing intensity on soil properties in the southeastern alpine rangelands of Sabalan. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 25(1), 183-190. doi:10.22092/ijrdr.2018.116236
- Bai, Y., & Cotrufo, M. F. (2022). Grassland soil carbon sequestration: Current understanding, challenges, and solutions. *Science*, 377, 603-608. doi: 10.1126/science.abo2380
- Bardgett, R. D., & Wardle, D. A. (2010). *Aboveground-belowground linkages: Biotic interactions, ecosystem processes, and global change*. Oxford University Press. <https://books.google.com/books>
- Bardgett, R. D., Bullock, J. M., Lavorel, S., Manning, P., Schaffner, U., Ostle, N., & Shi, H. (2021). Combatting global grassland degradation. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2(10), 720-735. doi: 10.1038/s43017-021-00207-2
- Barnard, J. H., Edeh, J. A., van Rensburg, L. D., & du Preez, C. C. (2025). Calibration of an apparent electrical conductivity sensor using capacitance probes for determining soil water content. *Soil Science Society of America Journal*, 89(1), e20799. doi: 10.1002/saj2.20799
- Belteben, A. A., Gharaibeh, M. A., & Albalasmeh, A. A. (2020). Grazing effects on soil physical and chemical properties. *Journal of Modern Urban and Agricultural Studies (JMUAS)*, 2, 29-47. doi: 10.36602/jmuas.2020.v02.01.03
- Chen, L., Baoyin, T., & Xia, F. (2022). Grassland management strategies influence soil C, N, and P sequestration through shifting plant community composition in semi-arid grasslands of northern China. *Ecological Indicators*, 34, 1-12. doi: 10.1016/j.ecolind.2021.108470
- Dashti, M., Mirdavoudi, H., Ghasemi Arian, A., & Azizi, N. (2021). Effects of Topography and Soil Variables on Abundance of *Onobrychis chorassanica* Bunge. in Kardeh and Kurtian Rangelands, Mashhad, Iran. *Journal of Rangeland Science*, 11(3), 283-299.

https://journals.iau.ir/article_678922.html

- Dastgheyb Shirazi, S. S., Ahmadi, A., Abdi, N., Toranj, H., & Khaleghi, M. R. (2021). Long-term grazing exclosure: implications on water erosion and soil physicochemical properties (case study: Bozdaghin rangelands, North Khorasan, Iran). *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(1), 51. doi: 10.1007/s10661-020-08819-9
- Ebrahimi, M., Khosravi, H., & Rigi, M. (2016). Short-term grazing exclusion from heavy livestock rangelands affects vegetation cover and soil properties in natural ecosystems of southeastern Iran. *Ecological Engineering*, 95, 10–18. doi: 10.1016/j.ecoleng.2016.06.069
- Ghonchehpour, M., Sadeghinia, M., Baghestani, N., Pourmirazee, A., & Kodouri, M. (2023). Comparison of vegetation and soil diversity inside and outside the enclosure (Case study: Artemisia habitats of Dehno, Bardsir, Kerman). *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 30(1), 152-163. doi: 10.22092/ijrdr.2023.128952.
- Heshmati, M., & Gheitury, M. (2021). Effects of Long Term Grazing Exclusion on Some Soil Physicochemical Characteristics and Sustainability. *Iranian Journal of Soil Research*, 35(1), 15-26. doi: 10.22092/ijsr.2021.352965.573. (In Persian).
- Joneidi, H., Bazgir, E., & Kamali, N. (2025). Effectiveness of biological characteristics of rangeland soil in the face of land use change to dryland (Case study: Rangelands in Kermanshah). *Journal of Environmental Erosion Research*. 2025; 15 (1):25-44. doi: 10.61186/jeer.15.1.25. (In Persian).
- Karimian, V., & Barani, H. (2025). Identification of Common Medicinal-Industrial Plants in Desert Rangelands and Examination of Local Community Awareness (Case Study: Khaf County, Khorasan Razavi Province). *Desert Management*, 12(4), 41-62. doi: 10.22034/jdml.2025.2045459.1490. (In Persian).
- Kaur, S., Chandel, S., Singh, K., Singh, D., & Singh, V. K. (2024). Comparative Assessment of Extractants for Available Potassium in Calcareous Soil of Punjab. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 55(13), 2009-2027. doi: 10.1080/00103624.2024.2336577
- Khatibi, R., & Farahi, M. (2024). Study on the Impact of Exclosures on the Physicochemical Properties of Rangeland Soil (Case Study: Northern Golestan Province, Sufikam Rangelands). *Advanced Environmental Sciences*, 22(3), 483-494. doi: 10.48308/envs.2024.1360. (In Persian).
- Liu, L., Sayer, E. J., Deng, M., Li, P., Liu, W., Wang, X., & Piao, S. (2023). The grassland carbon cycle: Mechanisms, responses to global changes, and potential contribution to carbon neutrality. *Fundamental Research*, 3(2), 209-218. doi: 10.1016/j.fmre.2022.09.028
- Liu, N., Kan, H. M., Yang, G. W., & Zhang, Y. J. (2015). Changes in plant, soil, and microbes in a typical steppe from simulated grazing: Explaining potential change in soil C. *Ecological Monographs*, 85, 269–286. doi: 10.1890/14-1368.1
- Moameri, M., Ghorbani, A., Dadjou, F., Biswas, A., & Varasteh, F. (2024). Soil and plant attributes under grazing exclusion in semi-steppic semi-arid rangelands, Iran. *Arid Land Research and Management*, 38(3), 343–361. doi: 10.1080/15324982.2023.2299017
- Mohammadi-Samani, K., Joneidi Jafari, H., & Moradi, P. (2022). Variability of some chemical soil properties under different rangelands management. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 29(2), 126-130. doi: 10.22092/ijrdr.2022.126760. (In Persian).
- Ng, W. K., Maxfield, P. J., Crew, A. P., Teixeira, D. L., Bevan, T., & Bell, M. J. (2025). Comparison of soil organic carbon measurement methods. *Agronomy*, 15(8), 1826. doi: 10.3390/agronomy15081826
- Ng, W. K., Maxfield, P. J., Crew, A. P., Teixeira, D. L., Bevan, T., & Bell, M. J. (2025). Comparison of soil organic carbon measurement methods. *Agronomy*, 15(8), 1826. doi: 10.3390/agronomy15081826
- Petermann, J. S., & Buzhdygan, O. Y. (2021). Grassland biodiversity. *Current Biology*, 31, R1195–R1201. doi: 10.1016/j.cub.2021.06.060
- Qiu, L., Wei, X., Zhang, X., & Cheng, J. (2013). Ecosystem carbon and nitrogen accumulation after grazing exclusion in semiarid grassland. *PLoS ONE*, 8(1), e55433. doi: 10.1371/journal.pone.0055433

- Qu, Q., Deng, L., Shangguan, Z., Sun, J., He, J., Wang, K., & Peñuelas, J. (2024). Belowground C sequestrations response to grazing exclusion in global grasslands: Dynamics and mechanisms. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 360, 108771. doi: 10.1016/j.agee.2023.108771
- Qu, T. B., Du, W. C., Yuan, X., Yang, Z. M., Liu, D. B., Wang, D. L., & Yu, L. J. (2016). Impacts of grazing intensity and plant community composition on soil bacterial community diversity in a steppe grassland. *PLoS ONE*, 11(7), e0159680. doi: 10.1371/journal.pone.0159680
- Qu, Y., Tang, J., Li, Z., Zhou, Z., Wang, J., Wang, S., & Cao, Y. (2020). Soil enzyme activity and microbial metabolic function diversity in soda saline-alkali rice paddy fields of northeast China. *Sustainability*, 12(23), 10095. doi: 10.3390/su122310095
- Sharifi, J., & Akbarzadeh, M. (2016). Investigating the impact of enclosure on vegetation changes and restoration of rangeland utility indicator species in Ardabil Province. *Journal of Rangeland*, 4(10), 376–386. doi: 10.1001.1.20080891.1395.10.4.1.7. (In Persian).
- Sheidai Karkaj, E., Rezaei, H., Niknahad Gharemakher, H., Jafari Footami, I., & Sharifian, A. (2019). The role of Enclosure in the change of aggregate stability and soil structure of rangelands in Golestan province. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 26(4), 904–917. doi: 10.22092/ijrdr.2019.120682. (In Persian).
- Sheidaye Karkaj, E., Jafari Footami I., & Niknahad Gharmakher, H. 2017. The importance of climate in determining the effect of rangeland enclosure on change some soil characteristics of rangelands. *Desert Ecosystem Engineering*, 5(13): 39–56. https://deej.kashanu.ac.ir/article_112591_en. (In Persian).
- Shyichuk, A., Ziolkowska, D., Lamkiewicz, J., & Kowalska, M. (2025). Calcium Determination by Complexometric Titration with Calcein Indicator Using Webcam for Endpoint Detection. *Water*, 17(12), 1757. doi: 10.3390/w17121757
- Sollenberger, L. E., Kohmann, M. M., Dubeux, J. C. B., & Silveira, M. L. (2019). Grassland management affects delivery of regulating and supporting ecosystem services. *Crop Science*, 59, 441–459. doi: 10.2135/cropsci2018.09.0594
- Tavousi, T., & Armesh, M. (2012). Statistical analysis and forecast of early frosts in Khash city during the statistical period of 1365–1387. *Sepehr*, 21(84), 28–30.
- Tulloch, A. I., Healy, A., Silcock, J., Wardle, G. M., Dickman, C. R., Frank, A. S., ... & Greenville, A. C. (2023). Long-term livestock exclusion increases plant richness and reproductive capacity in arid woodlands. *Ecological Applications*, 33(8), e2909. doi: 10.1002/eap.2909
- Wang, X., Zhou, C., Zuo, S., Ji, Y., Liu, W., & Huang, D. (2024). Heavy grazing reduces soil bacterial diversity by increasing soil pH in a semi-arid steppe. *PeerJ*, 12, e17031. doi: 10.7717/peerj.17031
- Wang, Y., Ju, X., Wu, Q., & Han, G. (2025). Effects of grazing intensity on microbial diversity at different soil depths in desert steppe soils. *Agronomy*, 15(1), 124. doi: 10.3390/agronomy15010124
- Wang, Y., Lv, W., Xue, K., Wang, S., Zhang, L., Hu, R., ... & Niu, H. (2022). Grassland changes and adaptive management on the Qinghai–Tibetan Plateau. *Nature Reviews Earth & Environment*, 3(10), 668–683. doi: 10.1038/s43017-022-00330-8
- Wu, X., Li, Z., Fu, B., Lu, F., Wang, D., Liu, H., & Liu, G. (2014). Effects of grazing exclusion on soil carbon and nitrogen storage in semi-arid grassland in Inner Mongolia, China. *Chinese Geographical Science*, 24(4), 479–487. doi: 10.1007/s11769-014-0694-1
- Xu, H., You, C., Tan, B., Xu, L., Liu, Y., Wang, M., Xu, Z., Sardans, J., & Peñuelas, J. (2023). Effects of livestock grazing on the relationships between soil microbial community and soil carbon in grassland ecosystems. *Science of The Total Environment*, 881, 163416. doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.163416
- Xun, W., Yan, R., Ren, Y., Jin, D., Xiong, W., Zhang, G., Cui, Z., Xin, X., & Zhang, R. (2018). Grazing induced microbiome alterations drive soil organic carbon turnover and productivity in meadow steppe. *Microbiome*, 6, 170. doi: 10.1186/s40168-018-0544-y
- Zhang, M., Delgado Baquerizo, M., Li, G., Isbell, F., Wang, Y., Hautier, Y., Wang, Y., Xiao, Y., Cai, J., Pan, X., & Wang, L. (2023). Experimental impacts of grazing on grassland biodiversity and function are explained by aridity. *Nature Communications*, 14, 5040. doi:

10.1038/s41467-023-40809-6

Zhou, S., Dong, Y., Yang, H., Yang, S., Julihaiti, A., Liu, Z., Li, H., Zhang, Y., & Wang, Y. (2024). Effects of grazing exclusion on soil properties, fungal community structure, and diversity in different grassland types. *Ecology and Evolution*, 14(3), e11056. doi: 10.1002/ece3.11056