Journal of Range & Watershed Management

https://jrwm.ut.ac.ir/ Volume 79 (1)

Investigating the Effects of Grazing Intensity on Soil Permeability and the Dimensions of Plant Patches in Semi-Arid Rangelands of Gomishan

Zohreh Azizzadeh[1] | Majid Mohammad Esmaili[1*] | Ali Sattarian[2] | Seyed Ali Hosseini[3] | Bahareh Bahmanesh[1]

1. Department of Rangeland and Watershed, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavos University, Gonbad Kavos, Iran.
2. Department of Biology, Faculty of Basic Sciences and Engineering, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran.
3. Research Group, Golestan Province Natural Resources and Agriculture Research Institute, Gorgan, Iran.

Correspond E-mail: ma_456@yahoo.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 17 Aug. 2024
Revised: 10 Nov. 2024
Accepted: 17 Nov. 2024
Published online: 01 April. 2025

Keywords:
Grazing management,
Long-term enclosure,
Rangeland ecosystems,
Rangeland management,
Soil conservation.

Abstract

Soil moisture in the upper soil layers plays a vital role in water and soil resource management, directly influencing infiltration, runoff, agricultural productivity, and flood regulation. Its spatial variability is controlled by multiple factors, including climate conditions, topography, vegetation, and soil characteristics. Neglecting these variations often leads to significant errors in hydrological and agricultural modeling. This study investigates the relationship between geomorphometric indices as a proxy of topography and topsoil moisture across five sub-basins of the Simineh and Zarrineh rivers in northwest Iran, using both field observations and satellite data. Soil moisture measurements from 287 points (2015–2017) were compared with Soil Moisture Active Passive (SMAP) satellite estimates to produce high-resolution spatial maps. Several geomorphometric indices were derived, including the Topographic Wetness Index (TWI), Topographic Position Index (TPI), Wind Exposure Index (WEI), flow direction (Flow_D), flow accumulation, and Analytical Hillshading (AH). The Random Forest (RF) model was applied to determine the importance of geomorphometric attributes. Validation results revealed a strong correspondence between SMAP data and field observations, with July showing the highest correlation ($r = 0.77$, soil moisture = 0.18 $cm^3 \cdot cm^{-3}$), and May the lowest ($r = 0.50$). The RF model achieved robust performance ($R^2 > 0.7$, RMSE = 0.04%). Among the indices, WEI and TWI exhibited the greatest importance (>16%), followed by AH (13%), while Flow_D had the lowest influence (8.9%). These findings confirm the significant role of topographic and hydrological features in controlling soil moisture distribution. The integration of SMAP data with machine learning and geomorphometric indices provides a reliable framework for soil moisture monitoring, offering valuable insights for agricultural management, hydrological modeling, and environmental planning in similar watersheds.

Cite this article: Azizzadeh, Z., Mohammad Esmaili, M., Sattarian, A., Hosseini, S.A., Bahmanesh, B. (2025). Investigating the Effects of Grazing Intensity on Soil Permeability and the Dimensions of Plant Patches in Semi-Arid Pastures of Gomishan. *Journal of Range & Watershed Management*, 79 (1), 93-104. DOI: http//doi.org/10.22059/jrwm.2025.400854.1848

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: Vegetation patches and their spatial patterns are fundamental elements of ecological stability in rangeland ecosystems and play an important role in regulating the water cycle, nutrient distribution, and soil stability. In semi-arid rangelands, the spatial heterogeneity of the land surface and the differences between patches and inter-patch distances determine the hydrological behavior of the soil, the degree of permeability, and ecosystem function. Studies have shown that the development of vegetation patches can reduce erosion and increase water infiltration capacity, while the expansion of bare soil spaces leads to increased runoff, reduced moisture, and intensified degradation. In recent decades, livestock grazing has been recognized as the most important factor in structural changes in rangeland ecosystems. Grazing intensity has a direct impact on soil physical properties, vegetation density, and patch stability, and overgrazing is associated with soil compaction, reduced porosity, and reduced permeability. On the other hand, the removal of grazing through the establishment of long-term enclosures can provide conditions for natural soil structure regeneration and hydrological restoration. Although several studies have investigated the effects of grazing on permeability or patch structure separately, the simultaneous analysis of grazing intensity, permeability, and the role of microtopography has received less attention. Given the sensitivity of Gomishan rangelands and their importance in ecological sustainability, the present study aimed to evaluate the effect of livestock grazing intensity on soil permeability and plant patch dimensions, as well as to investigate the moderating role of microtopography in these relationships, in order to provide a scientific basis for sustainable management of semi-arid rangelands.

Materials and Methods: This study was conducted in a 300-hectare area fenced since 1989 and two areas outside the fence in the Gomishan region of Golestan province. Based on the number of livestock, field observations, and vegetation harvesting intensity, grazing intensity was determined at three levels of fencing (no grazing), moderate grazing, and heavy grazing. Then, an experimental design was considered as a factorial in a completely randomized design with three replications. In each treatment, three 50-meter transects were established in three geographical directions. The dimensions of plant patches (length, width, height) and the dimensions of inter-patch spaces were measured along the transects. The instantaneous and cumulative soil permeability in patches and inter-patch spaces was measured using paired rings. The Kostyakov–Lewis infiltration equation was used to estimate cumulative infiltration. The difference in ground surface elevation at one-meter intervals was measured for microtopographic classification. Based on the modified method, microtopography was divided into three classes of 1–3, 4–6, and 7–9 cm. After quality control, the data were analyzed in SPSS software. To examine the effect of grazing intensity, surface type (patch or bare soil), and their interaction on permeability, one-way analysis of variance and a test for comparing means at the 5% level were used.

Results and Discussion: The results of the study showed that grazing intensity has a significant effect on soil permeability. The highest permeability was recorded in the fenced area, especially in plant patches, which indicates the effect of natural soil regeneration in the absence of livestock trampling. The absence of grazing pressure reduced compaction, increased porosity, and improved hydraulic conductivity. Even the bare soil in the fenced area had significant permeability, indicating that the removal of grazing not only improves hydrological quality through vegetation cover but also through reducing physical pressure on the soil. With increasing grazing intensity, permeability decreased significantly; such that the lowest values were observed in heavy grazing. In moderate and heavy grazing treatments, the difference between the permeability of patches and bare soil decreased and both were subjected to severe compaction. This indicates that the protective function of plant patches decreases at high intensities and livestock pressure dominates the surface structure of the soil. The study of the effect of microtopography showed that in the Qarq region, micro-elevations play an important role in increasing the length, width, and height of patches. Higher elevations increase the accumulation of moisture, organic matter, and mechanical protection, and provide a better environment for plant growth. However, with increasing grazing intensity, the role of microtopography was significantly weakened. In moderate grazing, the difference between elevation classes became less, and in heavy grazing, only the length of patches increased in higher slopes; which is probably due to higher humidity or relative shelter in these areas. The results of the analysis of variance showed that the factor of grazing intensity has a significant effect on permeability, but the effect of the type of surface cover and their interaction was not significant. This emphasizes that grazing intensity is the main factor in changing the hydrological behavior of the soil and the role of other factors is less important. The combined results show that long-term enclosure is an effective tool in restoring soil functions and restoring the positive role of microtopography, while intensive grazing eliminates the destructive ecological effects and reduces the coherence of the patch pattern. This pattern is consistent with global studies on the effects of grazing pressure in semi-arid regions.

Conclusion: The results of this study showed that grazing intensity is a determining factor in changing soil permeability and plant patch structure in semi-arid rangelands of Gomishan. Removing grazing through long-term enclosure

significantly increased permeability and enhanced the response of patches to microtopography, providing more suitable conditions for plant growth. In contrast, moderate and especially heavy grazing caused a sharp decrease in permeability, a decrease in the protective function of plant patches, and the loss of the moderating role of microtopography. Some limitations, including measuring permeability in only one season and not recording initial soil moisture, could affect the results, so it is suggested that future studies be conducted with multi-season sampling and measuring additional hydraulic parameters. Despite these limitations, the findings have important management implications. The results emphasize that controlling grazing intensity, using grazing rotation programs, establishing periodic enclosures, and protecting plant patches can play an important role in maintaining the ecological and hydrological stability of rangelands. Also, paying more attention to natural microtopography and utilizing it in management planning can help increase soil efficiency and reduce the process of degradation.

Keywords: Grazing management, Long-term enclosure, Rangeland ecosystems, Rangeland management, Soil conservation

Article Type: Research Article

Conflicts of interest: The authors of this article declare that they have no conflicts of interest regarding the authorship or publication of this article.

نشریه مرتع و آبخیزداری

دوره ۷۹ (۱)

شاپا الکترونیکی: ۲۴۲۳-۷۷۹۵

بررسی اثرات شدت چرا در نفوذپذیری خاک و ابعاد لکه‌های گیاهی در مراتع نیمه خشک گمیشان

زهره عزیززاده[۱] | مجید محمد اسمعیلی[۱*] | علی ستاریان[۲] | سید علی حسینی[۳] | بهاره بهمنش[۱]

۱. گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس، گنبد کاووس، ایران.
۲. گروه زیست شناسی، دانشکده علوم پایه و فنی مهندسی، دانشگاه گنبدکاووس، گنبد کاووس، ایران.
۳. گروه پژوهشی مؤسسه تحقیقات منابع طبیعی و کشاورزی استان گلستان، گرگان، ایران.
رایانامه نویسنده مسئول: ma_456@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۲۶
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۸/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۲۶
تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۱/۱۲

کلیدواژه‌ها:
اکوسیستم‌های مرتعی،
حفاظت خاک،
قرق بلندمدت،
مدیریت مراتع،
مدیریت چرا.

چکیده

چرای بی‌رویه یکی از مهم‌ترین عوامل تخریب مراتع نیمه‌خشک است که با تغییر ویژگی‌های لکه‌های گیاهی و کاهش نفوذپذیری خاک، فرآیندهای هیدرولوژیکی و پایداری اکوسیستم را مختل می‌کند. اگرچه در مطالعات پیشین اثر چرای دام بر نفوذپذیری یا ساختار لکه‌ها به‌طور جداگانه بررسی شده است، اما ارتباط همزمان این دو مؤلفه، به‌ویژه در شرایط نیمه‌خشک، کمتر مورد توجه قرار گرفته است. هدف این پژوهش، ارزیابی اثر شدت‌های مختلف چرای دام بر نفوذپذیری خاک و ابعاد لکه‌های گیاهی در مراتع گمیشان است. این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار و در سه تیمار قرق بلندمدت (۲۴ ساله)، چرای متوسط و چرای شدید انجام شد. در هر تیمار، سه ترانسکت ۵۰ متری در جهت‌های مختلف پیاده‌سازی و طول، عرض و ارتفاع لکه‌های گیاهی و فواصل بین آن‌ها اندازه‌گیری گردید. نفوذپذیری خاک در لکه‌های گیاهی و فضاهای بین لکه‌ای با استفاده از حلقه‌های زوجی سنجیده و با مدل کوستیاکف برآورد شد. نتایج نشان داد که قرق بلندمدت به‌طور معنی‌داری موجب افزایش نفوذپذیری خاک و ابعاد لکه‌های گیاهی می‌شود، در حالی که تفاوت معنی‌داری بین چرای متوسط و شدید مشاهده نشد. همچنین با افزایش شدت چرا، پاسخ لکه‌های گیاهی به میکروتوپوگرافی کاهش یافت و این اثر تنها در برخی شاخص‌ها (مانند طول لکه‌ها) و در دامنه‌های مرتفع‌تر حفظ شد. یافته‌های این تحقیق بر اهمیت قرق‌های بلندمدت در بازسازی پوشش گیاهی و بهبود نفوذپذیری خاک تأکید دارد و می‌تواند به‌عنوان مبنایی برای برنامه‌ریزی مدیریت پایدار چرای دام در مناطق نیمه‌خشک مورد استفاده قرار گیرد. همچنین با اجرای برنامه‌های تناوب چرا، ایجاد قرق‌های دوره‌ای و پایش منظم شاخص‌های فیزیکی خاک می‌توان به کاهش روند تخریب و افزایش کارایی اکوسیستم در این مناطق کمک کرد.

استناد: عزیززاده؛ زهره، محمد اسمعیلی؛ مجید، ستاریان؛ علی، حسینی؛ سید علی، بهمنش؛ بهاره (۱۴۰۵). بررسی اثرات شدت چرا در نفوذپذیری خاک و ابعاد لکه‌های گیاهی در مراتع نیمه خشک گمیشان. *نشریه مرتع و آبخیزداری*، ۷۹ (۱)، ۱۰۴-۹۳.

DOI: http//doi.org/10.22059/jrwm.2025.400854.1848

ناشر : انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

۱. مقدمه

ساختار و الگوی توزیع لکه‌های گیاهی در اکوسیستم‌های مرتعی نقش حیاتی در حفظ تنوع زیستی و پایداری اکولوژیکی دارد. تحقیقات نشان داده‌اند که الگوهای فضایی لکه‌ها و میکروتوپوگرافی می‌توانند تأثیرات چشمگیری بر فرآیندهای هیدرولوژیکی، به‌ویژه نفوذپذیری خاک و ذخیره رطوبت، داشته باشند. لکه‌های گیاهی با تراکم بالا به تثبیت خاک کمک می‌کنند و از فرسایش آن جلوگیری می‌نمایند (Wu et al., 2022 ؛Li et al., 2024).

با این حال، چرای بیش از ظرفیت مراتع در دهه‌های اخیر به یکی از چالش‌های اصلی مدیریت پایدار این منابع تبدیل شده است. شدت چرا به عنوان عامل کلیدی در تغییر ساختار و عملکرد اکوسیستم مرتعی شناخته می‌شود؛ این تغییرات می‌توانند ویژگی‌های فیزیکی خاک، پوشش گیاهی و الگوهای فضایی سطح زمین را تحت تأثیر قرار دهند (Abdalla et al., 2023). از مهم‌ترین اثرات شدت بالای چرا می‌توان به کاهش نفوذپذیری خاک اشاره کرد؛ تردد مکرر دام‌ها باعث فشردگی خاک، کاهش خلل و فرج و در نتیجه کاهش توانایی خاک در جذب و نگهداری آب می‌شود (Wang et al., 2024).

مطالعات متعددی نشان داده‌اند که فشار چرای بالا موجب تخریب تدریجی لکه‌های گیاهی می‌شود. حذف یا کاهش تراکم این لکه‌ها، به‌همراه گسترش فضاهای بین‌لکه‌ای که معمولاً از خاک عریان یا پوشش نامرغوب تشکیل شده‌اند، منجر به ناهمگونی بیشتر سطح مراتع و کاهش بهره‌وری اکولوژیکی می‌گردد. این فرآیند تنوع گونه‌ای را کاهش داده و به گسترش گیاهان کم‌ارزش و مقاوم منجر می‌شود؛ در نهایت، چرخه‌های طبیعی مانند چرخه آب و مواد غذایی مختل شده و خطر بیابان‌زایی افزایش می‌یابد (Liu et al., 2023; Zhao rt al., 2024).

به‌منظور توسعه راهبردهای حفاظتی و مدیریتی، شناخت دقیق ارتباط میان شدت چرا، نفوذپذیری خاک و ساختار لکه‌ای مراتع الزامی است. پژوهش حاضر با هدف تحلیل کمی و کیفی اثرات شدت چرای دام بر ساختار لکه‌ای پوشش گیاهی و نسبت لکه به بین‌لکه، به‌عنوان شاخص عملکرد اکولوژیکی مراتع، و بررسی ارتباط آن با نفوذپذیری خاک در شرایط اقلیمی نیمه‌خشک منطقه گمیشان انجام می‌شود. این مطالعه با رویکرد اکولوژیکی-کاربردی سعی دارد شاخص‌های حساس به فشار چرا را شناسایی کرده و مبنای علمی برای تدوین راهبردهای مدیریت پایدار مراتع فراهم آورد.

۲. مواد و روش‌ها

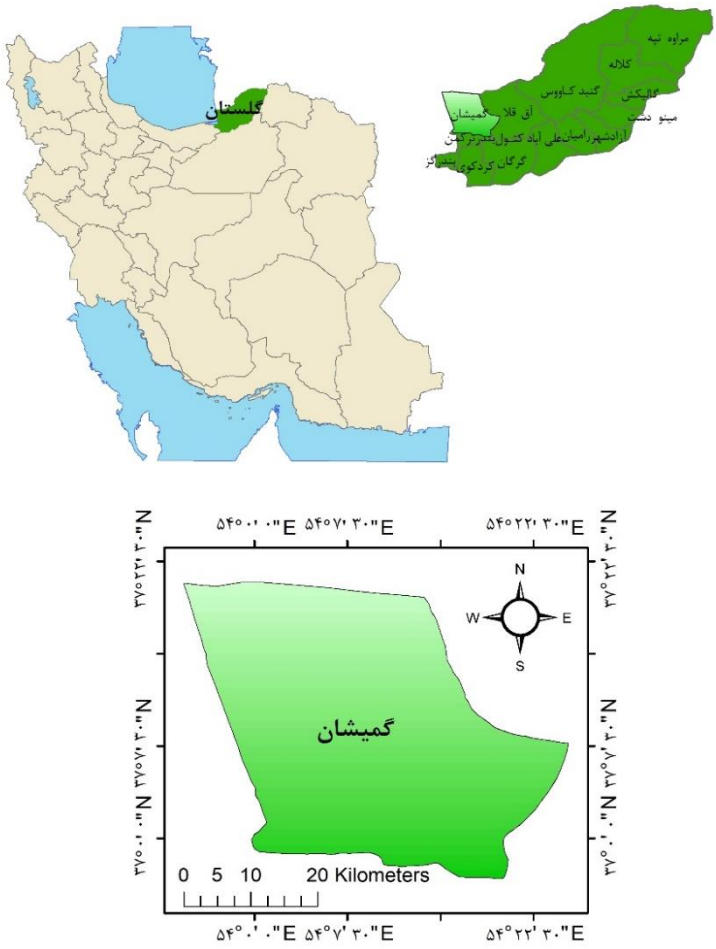
۲-۱. منطقه مورد مطالعه

این تحقیق در یک قرق ۳۰۰ هکتاری که از سال ۱۳۶۸ تا کنون ادامه دارد در منطقه گمیشان استان گلستان با طول جغرافیایی °۵۴ و ′۲ تا °۵۴ و ′۱۵ شرقی و عرض جغرافیایی °۳۷ و ′۱۰ تا°۳۷ و ′۱۸ شمالی قرار دارد انجام شد. منطقه در حاشیه شرقی دریای خزر و در ۲۰ کیلومتری شهرستان بندرترکمن واقع شده است شکل (۱). میانگین بارندگی سالانه از ایستگاه سینوپتیک منطقه در سال آبی ۱۴۰۲- ۴۲۰ میلی‌متر می‌باشد، و متوسط درجه حرارت سالیانه آن ۱۹/۲ درجه سانتی‌گراد است. اقلیم منطقه با استفاده از روش دومارتن، نیمه خشک تعیین شده است (سالنامه هواشناسی ۱۴۰۲-۱۴۰۳ اداره کل هواشناسی استان گلستان). گونه *Halocnemum.strobilaceum* تیپ غالب گیاهی منطقه را تشکیل می‌دهد. از دیگر گونه‌های مهم مرتعی این منطقه می‌توان به *Hordeum.glaucum* اشاره کرد. خاک‌های اراضی منطقه مورد مطالعه با بافت خاک در تمامی مناطق از نوع لوم شنی و قلیائیت خیلی زیاد و در واحد فیزیوگرافی اراضی پست قرار گرفته است.

۲-۲. روش انجام کار

برای بررسی اثر شدت‌های مختلف چرای دام، سه منطقه شامل یک منطقه قرق ۲۴ ساله (بدون چرا) و دو منطقه خارج از قرق تحت چرای آزاد دام با شدت‌های متفاوت چرایی (چرای متوسط و چرای شدید) انتخاب شد، شدت چرا بر اساس مشاهدات میدانی (اثر چرای دام

بر پوشش گیاهی) و تعداد دام‌ها در هر منطقه مشخص شد. این سه سطح شدت چرایی امکان ارزیابی طیف کامل فشار چرایی بر ساختار لکه‌های گیاهی و ویژگی‌های هیدرولوژیکی خاک را فراهم می‌سازد. به منظور کاهش خطای آزمایشی و افزایش دقت آماری این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. تعیین دقیق موقعیت جغرافیایی، اقلیم و گونه‌های گیاهی غالب، زمینه‌ای شفاف برای تکرارپذیری تحقیق فراهم می‌آورد و امکان مقایسه با مطالعات مشابه در سایر مناطق خشک و نیمه‌خشک را تسهیل می‌کند. بر همین اساس انتخاب تیمارهای شدت چرایی بر اساس وضعیت پوشش گیاهی و مشاهدات میدانی انجام شد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه نسبت به استان گلستان و ایران

در اردیبهشت‌ماه، هم‌زمان با گلدهی کامل گونه‌های غالب، در هر یک از مناطق قرق و خارج از قرق، سه ترانسکت ۵۰ متری در سه جهت جغرافیایی (شمالی–جنوبی، شرقی–غربی، شمال شرقی–جنوب غربی) مستقر شد. در امتداد هر ترانسکت، طول، عرض و ارتفاع لکه‌های گیاهی و نیز طول و عرض فضای خاک لخت بین لکه‌ها اندازه‌گیری گردید(شکل ۲ الف). برای سنجش نفوذپذیری خاک در محل لکه‌های گیاهی و فضاهای بین لکه‌ای، از حلقه‌های زوجی[1] استفاده شد (شکل ۲ ب). انتخاب این روش بر پایه‌ی ویژگی‌های خاص

1. Doble ring Infiltrometer

منطقه مطالعه (مراتع نیمه‌خشک با شیب ملایم و بافت متوسط خاک) و به دلیل توانایی آن در تفکیک جریان عمودی از جانبی، دقت بالا در شرایط میدانی واقعی، سازگاری با مدل‌های نفوذی و انطباق با استانداردهای بین‌المللی انتخاب شد. این روش امکان ارزیابی دقیق تأثیر شدت چرا بر ویژگی‌های هیدرولیکی خاک و تفاوت بین لکه‌های گیاهی و فضاهای بین‌لکه‌ای را فراهم آورد، بدون آن‌که نیاز به تخریب ساختار طبیعی خاک باشد. در هر منطقه، سه تکرار برای لکه‌های گیاهی و سه تکرار برای فضاهای بین لکه‌ای اجرا گردید. اندازه‌گیری نفوذپذیری لحظه‌ای با استفاده از خط‌کش و زمان‌سنج صورت گرفت. پس از کنترل و تکمیل داده‌ها، نفوذپذیری کل با استفاده از معادله نفوذ کوستیاکف–لوئیس انجام شد. این مدل به دلیل سادگی و دقت مناسب، در مهندسی آب، آبیاری، و مطالعات هیدرولوژی خاک بسیار پرکاربرد است و رویکردی علمی و پذیرفته‌شده در علوم آب و خاک است. معادله نفوذ کوستیاکوف-لوئیس به صورت معادله زیر می‌باشد :

$$I(t) = ct + at^b$$ رابطه ۱)

در این معادله، I(t) به‌عنوان میزان نفوذ تجمعی آب (که معمولاً به صورت سانتی‌متر یا میلی‌متر بیان می‌شود) در زمان t (که معمولاً به ساعت یا دقیقه اندازه‌گیری می‌گردد) تعریف می‌شود؛ b و a ضرایب تجربی هستند که عموماً بر پایه داده‌های میدانی مزرعه یا نتایج آزمایشگاهی به‌دست می‌آیند؛ c نیز ضریب مربوط به نفوذ ماندگار یا نفوذ در شرایط پایدار را نشان می‌دهد.

محاسبه و تجزیه و تحلیل آماری با نرم‌افزار آماری SPSS انجام شد. و همچنین آزمون معنی‌دار بودن اختلاف بین متغیرهای شدت نفوذپذیری نهایی خاک در بین تیمار اصلی شدت‌های مختلف چرا و همچنین تیمارهای فرعی لکه‌های گیاهی و خاک لخت بین آن‌ها از طریق آنالیز تجزیه واریانس بررسی شد.

الف

ب

شکل۲. نصب ترانسکت (الف) و حلقه‌های زوجی (ب) در منطقه مورد مطالعه

۲–۳. اندازه‌گیری و طبقه‌بندی میکروتوپوگرافی

برای بررسی اثر ناهمواری‌های خردمقیاس سطح زمین (میکروتوپوگرافی) بر ویژگی‌های لکه‌های گیاهی، اختلاف ارتفاع سطح خاک در فواصل ۱ متری در امتداد هر ترانسکت اندازه‌گیری شد. بر اساس روش ریتکرک[1] و همکاران (۲۰۰۰) و با تعدیل نسبت به شرایط منطقه مطالعه، دامنه میکروتوپوگرافی به سه طبقه شامل ۳–۱ سانتی‌متر (پستی‌وبلندی اندک)، ۶–۴ سانتی‌متر (پستی‌وبلندی متوسط) و ۹–۷

1. Rietkerk

سانتی‌متر (پستی‌وبلندی زیاد) تقسیم گردید. این طبقه‌بندی امکان تحلیل تغییرات ابعاد لکه‌های گیاهی در پاسخ به اختلاف ارتفاع‌های جزئی سطح زمین را فراهم می‌کند.

۳. یافته‌های پژوهش

جدول ۱ مقایسه میانگین نفوذپذیری خاک در شرایط مختلف پوشش گیاهی و شدت چرا را در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بیشترین میزان نفوذپذیری مربوط به لکه‌های گیاهی در منطقه قرق با مقدار ۱/۱۲۹ cm/sec بود که از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها نشان داد. این نتیجه تأییدی بر نقش مثبت پوشش گیاهی کامل و نبود فشار چرا در حفظ ساختار فیزیکی خاک و افزایش نفوذپذیری است. در همین منطقه قرق، حتی خاک لخت نیز دارای نفوذپذیری نسبتاً بالایی (۰/۳۷۱ cm/sc) برخوردار بود که این موضوع به‌دلیل نبود فشردگی و تثبیت نسبی خاک احتمالاً در غیاب فشار دام، خاک از کیفیت فیزیکی مناسب‌تری برخوردار بوده است. با افزایش شدت چرا به سطح چرای متوسط، نفوذپذیری به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. در این منطقه، نفوذپذیری لکه‌های گیاهی (۰/۳۲۲ cm/sec) و خاک لخت (۰/۱۵۷ cm/sec) هر دو در گروه آماری b (عدم معنی داری) قرار گرفتند. کاهش شدید نفوذپذیری در خاک‌های لخت نسبت به لکه‌های گیاهی بیانگر آن است که حتی در حضور چرا، پوشش گیاهی نقش مؤثری در کاهش اثرات منفی چرا بر ویژگی‌های فیزیکی خاک دارد. در منطقه تحت چرای شدید، کمترین مقادیر نفوذپذیری به دست آمد، به‌ویژه برای خاک لخت که تنها (۰/۱۱۹ cm/sec) بود. نفوذپذیری لکه‌های گیاهی در این منطقه نیز کاهش یافته و به (۰/۲۰۲ cm/sec) رسید. این امر نشان می‌دهد که در شدت‌های بالای چرا، عملکرد حفاظتی پوشش گیاهی در حفظ تخلخل و هدایت هیدرولیکی خاک به‌شدت کاهش می‌یابد. نتایج مقایسه میانگین‌ها به‌روشنی نشان داد که هم شدت چرا و نوع پوشش سطحی (لکه گیاهی یا خاک لخت) نقش تعیین‌کننده‌ای در نفوذپذیری خاک دارند. همچنین نتایج مقایسه میانگین‌ها تأکید می‌کند که پوشش گیاهی به‌ویژه در شرایط بدون چرای دام، نقش مهمی در حفظ و ارتقاء نفوذپذیری خاک دارد. با این حال، افزایش فشار چرا موجب کاهش کارایی حفاظتی پوشش گیاهی و تخریب ساختار خاک حتی در مناطق پوشیده از گیاهان می‌شود. این یافته‌ها اهمیت مدیریت شدت چرا و حفظ لکه‌های گیاهی را به‌عنوان یک ابزار کلیدی در حفاظت از کارکردهای هیدرولوژیکی مراتع نیمه‌خشک برجسته می‌سازد.

جدول ۱. مقایسه میانگین اثر شدت چرا بر نفوذپذیری

وضعیت پوشش گیاهی	منطقه	نفوذپذیری (cm/sec)
لکه گیاهی	قرق	۱/۱۲۹ a
خاک لخت	قرق	۰/۳۷۱ a
لکه گیاهی	چرای متوسط	۰/۳۲۲b
خاک لخت	چرای متوسط	۰ /۱۵۷ b
لکه گیاهی	چرای شدید	۰/۲۰۲b
خاک لخت	چرای شدید	۰/۱۱۹ b

حروف مشترک عدم معنی‌داری

میانگین پارامترهای لکه‌های گیاهی بین مناطق با شدت‌های مختلف چرایی در جدول ۲ قابل مشاهده است. نتایج مقایسه میانگین‌ها در منطقه قرق نشان داد که میکروتوپوگرافی اثر معنی‌داری بر سه ویژگی مورفولوژیکی لکه‌های گیاهی شامل طول، عرض و ارتفاع دارد، به طوری که با افزایش دامنه میکروتوپوگرافی (از ۳–۱ به ۹–۷)، هر سه ویژگی مورد بررسی به‌طور معناداری افزایش یافتند. این روند

نشان‌دهنده نقش مستقیم ریزپستی‌وبلندی‌های سطح زمین در بهبود شرایط استقرار و رشد گیاهان در مناطق فاقد چرای دام است. در محدوده میکروتوپوگرافی ۱–۳، طول، عرض و ارتفاع لکه‌های گیاهی به‌ترتیب ۹۴/۸۱، ۹۶/۷ و ۵۴/۱ سانتی‌متر حاصل گردید. این مقادیر به‌عنوان کمترین اندازه‌ها در بین سطوح میکروتوپوگرافی، نشان‌دهنده محدودیت نسبی در گسترش لکه‌ها در مناطق با پستی‌وبلندی اندک است. با افزایش میکروتوپوگرافی به ۴–۶، طول لکه‌ها به ۱۱۹/۱۱ سانتی‌متر و عرض آن‌ها به ۱۲۴/۰۴ سانتی‌متر افزایش یافت و همچنان در همان گروه آماری a با سطح اول قرار گرفتند. با این حال، ارتفاع لکه‌ها به ۶۷/۵۷ سانتی‌متر رسید که در گروه آماری b قرار گرفت و این امر نشان‌دهنده حساسیت بیشتر ویژگی عمودی (ارتفاع) نسبت به تغییرات میکروتوپوگرافی در مقایسه با ابعاد افقی است. بیشترین مقادیر در میکروتوپوگرافی ۷–۹ ثبت شد؛ به‌طوری که طول، عرض و ارتفاع لکه‌ها به‌ترتیب به ۱۵۵، ۱۶۵ و ۸۳/۵ سانتی‌متر رسید که بیانگر بیشترین واکنش به تغییرات ریزتوپوگرافی است. این یافته‌ها نشان می‌دهد که در شرایط قرق، افزایش تنوع و دامنه پستی‌وبلندی‌ها موجب افزایش چشمگیر ابعاد لکه‌های گیاهی می‌شود. این پدیده احتمالاً ناشی از بهبود شرایط رطوبتی، تجمع مواد آلی و حفاظت مکانیکی در فرورفتگی‌ها و شیب‌های ملایم است که رشد و گسترش گیاهان را تسهیل می‌کند. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که در نبود فشار چرا، میکروتوپوگرافی به‌عنوان یک عامل کلیدی در شکل‌گیری الگوهای فضایی پوشش گیاهی در مراتع نیمه‌خشک عمل می‌کند. همچنین توجه به ریزپستی‌وبلندی‌های زمین می‌تواند به درک دقیق‌تری از روابط بین ویژگی‌های فیزیکی محیط و ساختار گیاهی بینجامد. این موضوع به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک که پراکنش منابع آب و خاک به‌شدت ناپیوسته است، از اهمیت بیشتری برخوردار است. در شرایط چرای متوسط، اثر میکروتوپوگرافی بر طول، عرض و ارتفاع لکه‌ها به‌طور کلی کاهش یافت و اختلاف معنی‌داری بین دامنه‌های مختلف مشاهده نشد. طول لکه‌ها در دامنه‌های مختلف بین ۳۲ تا ۷۰/۷۷ سانتی‌متر، عرض بین ۵۹/۶۶ تا ۷۲/۵۲ سانتی‌متر و ارتفاع بین ۱۱/۰۶تا ۱۷/۶۶سانتی‌متر متغیر بود. این موضوع نشان می‌دهد که تحت فشار متوسط چرا، توان لکه‌های گیاهی برای بهره‌برداری از مزایای میکروتوپوگرافی کاهش می‌یابد که احتمالاً فشار چرا بر ویژگی‌های فیزیکی و زیستی خاک غالب شده است. در چرای سنگین، الگوی متفاوتی مشاهده شد. اگرچه عرض و ارتفاع لکه‌ها تحت تأثیر میکروتوپوگرافی تغییر معنی‌داری نداشتند، اما طول لکه‌ها در دامنه‌های بالاتر میکروتوپوگرافی (۷–۹ سانتی‌متر) به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و به ۲۳۰ سانتی‌متر رسید. این یافته نشان می‌دهد که در شدت‌های بالای چرا، تنها دامنه‌های مرتفع‌تر میکروتوپوگرافی قادرند شرایطی فراهم کنند که لکه‌های گیاهی بتوانند از فشار چرا جان سالم به در برده و رشد افقی چشمگیری داشته باشند (احتمالاً به‌دلیل فراهم‌کردن رطوبت بیشتر و حفاظت نسبی در برابر فشار مستقیم دام)، در حالی که سایر ابعاد لکه‌ها (عرض و ارتفاع) تحت تأثیر یکنواخت فشار چرا کاهش می‌یابند.

جدول ۲. مقایسه میانگین اثر میکروتوپوگرافی بر ابعاد لکه گیاهی در وضعیت چرای مختلف

وضعیت چرا	میکروتوپوگرافی (سانتی‌متر)	طول لکه گیاهی (سانتی‌متر)	عرض لکه گیاهی (سانتی‌متر)	ارتفاع لکه گیاهی (سانتی‌متر)
	۳–۱	۹۴/۸۱ ^{a}	۹۶/۷ ^{a}	۵۴/۱
قرق	۶–۴	۱۱۹/۱۱ ^{a}	۱۲۴/۰۴ ^{a}	۶۷/۵۷
	۹–۷	۱۵۵^{b}	۱۶۵^{b}	۸۳/۵
	۳–۱	۷۰/۷۷ ^{a}	۶۸/۹۸ ^{a}	۱۱/۰۶ ^{a}
چرای متوسط	۶–۴	۶۹/۴۲ ^{a}	۷۲/۵۲ ^{a}	۱۴/۹۷ ^{a}
	۹–۷	۳۲ ^{a}	۵۹/۶۶ ^{a}	۱۷/۶۶ ^{a}
	۳–۱	۷۲/۵۳^{b}	۶۳/۴۵ ^{a}	۱۵/۲۱ ^{a}
چرای سنگین	۶–۴	۹۲/۷۷^{b}	۸۰/۹۴ ^{a}	۱۴/۸۳ ^{a}
	۹–۷	۲۳۰^{a}	۸۰/۶۶ ^{a}	۱۹/۵ ^{a}

حروف مشترک عدم معنی دار را نشان می‌دهد.

جدول ۳ تجزیه واریانس اثر منطقه، خصوصیات لکه و اثر متقابل آن‌ها بر نفوذپذیری خاک تحت شدت‌های مختلف چرا را نشان می‌دهد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که عامل شدت چرا (منطقه) تأثیر معنی‌داری بر نفوذپذیری خاک دارد (P < ۰/۰۵). بر اساس این جدول، مقدار میانگین مربعات برای اثر منطقه برابر با ۶۸/۶۱ درصد بود که اختلاف قابل توجهی با خطای آزمایشی (۷ درصد) دارد. این اختلاف نشان می‌دهد که شدت چرا نقش عمده‌ای در ایجاد تفاوت در میزان نفوذپذیری ایفا کرده است. در مقابل، مقادیر میانگین مربعات برای عامل گیاه ۲۵/۵۰ درصد و اثر متقابل گیاه و منطقه ۱/۲۰ درصد حاصل شد که فاقد معنی‌داری آماری بوده و بنابراین نمی‌توان آن‌ها را به‌عنوان عوامل مؤثر در تبیین تغییرات نفوذپذیری تلقی کرد. ضریب تغییرات (CV) برای نفوذپذیری برابر با ۰/۳۱ درصد به‌دست آمد که عددی بسیار پایین است و نشان‌دهنده‌ی یکنواختی نسبی داده‌ها و دقت بالای اندازه‌گیری‌ها در چارچوب طراحی آزمایش است. این مقدار پایین ضریب تغییرات حاکی از آن است که تفاوت‌های مشاهده‌شده بین سطوح مختلف شدت چرا به‌خوبی قابل اعتماد و تکرارپذیر هستند. این نتایج به‌روشنی نشان می‌دهند که شدت چرای دام عامل اصلی در تغییر خصوصیات فیزیکی خاک، به‌ویژه نفوذپذیری آن، در مراتع نیمه‌خشک منطقه مورد مطالعه است. کاهش نفوذپذیری می‌تواند ناشی از فشردگی خاک، کاهش تخلخل، و تخریب ساختار سطحی خاک تحت تأثیر تردد مداوم دام باشد. از این رو، مدیریت شدت چرا نه‌تنها در حفظ پوشش گیاهی، بلکه در پایداری هیدرولوژیکی خاک نیز نقشی اساسی ایفا می‌کند و باید به‌عنوان یکی از ارکان کلیدی در برنامه‌ریزی مدیریت منابع طبیعی مدنظر قرار گیرد.

جدول ۳. تجزیه واریانس اثر شدت چرا بر نفوذپذیری

	میانگین مربعات	
	درجه آزادی	نفوذپذیری (درصد)
منطقه	۲	۶۸/۶۱*
گیاه	۱	۲۵/۵۰ ns
اثر متقابل منطقه و گیاه	۲	۱/۲۰ns
خطای آزمایشی	۱۲	۷
ضریب تغییرات(cv)		۰/۳۱

*اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد، ns عدم وجود اختلاف معنی‌دار

۴. بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه اثرات شدت چرا بر نفوذپذیری خاک و لکه‌های گیاهی مراتع نیمه خشک گمیشان مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد که در مناطق قرق، نفوذپذیری خاک به‌طور معنی‌داری بیشتر از مناطق تحت چرای متوسط و شدید است که بیانگر نقش کلیدی حذف فشار چرا در حفظ ساختار فیزیکی خاک و جلوگیری از فشردگی است. این یافته با نتایج تحقیقات پیشین وانگ و همکاران (۲۰۲۴) و ژائو و همکاران (۲۰۲۴) همخوانی دارد که نشان دادند قرق‌های بلندمدت موجب بهبود پایداری خاکدانه‌ها، کاهش چگالی ظاهری و افزایش ظرفیت نفوذ آب می‌شوند. در واقع، حذف تردد دام فرصت بازسازی طبیعی ساختار خاک و افزایش خلل و فرج سطحی را فراهم می‌کند. افزایش نفوذپذیری حتی در نواحی فاقد پوشش گیاهی در منطقه قرق، حاکی از آن است که نبود لگدکوبی دام می‌تواند کیفیت فیزیکی خاک را در مقیاسی فراتر از تأثیر مستقیم پوشش گیاهی بهبود بخشد. نتایج مشابهی توسط وود[1] و همکاران (۱۹۹۸) در مراتع استرالیا گزارش شد، که ضریب نفوذپذیری خاک‌های سطحی در مراتعی که ۲۷ سال بدون چرا باقی مانده است به مراتب بیشتر از مراتعی بود که ۲/۵ سال چرا نشده‌اند. علت این اختلاف را اصلاح طبیعی ویژگی‌های فیزیکی خاک در غیاب اثر لگدکوبی دام ذکر کرده‌اند که با نتایج این تحقیق مبنی بر افزایش نفوذپذیری در مرتع قرق در مقایسه با مراتع تحت چرا مطابقت دارد. در مقابل،

1. Wood

کاهش شدید نفوذپذیری در تیمارهای چرای متوسط و به‌ویژه چرای شدید بیانگر اثر مخرب فشردگی خاک بر عملکرد هیدرولوژیکی آن است. تراکم مکرر ناشی از تردد دام منجر به بسته شدن خلل و فرج، کاهش تخلخل مؤثر و در نتیجه کاهش نفوذ آب می‌شود. یافته‌های این مطالعه در این زمینه با نتایج پیتولا[1] و همکاران (۲۰۰۵) و لیو[2] همکاران (۲۰۲۳) هم‌خوانی دارد که گزارش کرده‌اند افزایش فشار چرا موجب افت معنی‌دار هدایت هیدرولیکی و افزایش چگالی ظاهری خاک می‌شود. از سوی دیگر، نتایج مربوط به میکروتوپوگرافی نشان داد که در شرایط قرق، افزایش دامنه میکروتوپوگرافی‌ها خردمقیاس موجب بهبود قابل‌توجه رشد افقی و عمودی لکه‌های گیاهی شد. این پدیده را می‌توان ناشی از تجمع رطوبت، افزایش مواد آلی و حفاظت فیزیکی در فرورفتگی‌ها دانست. چنین اثری در پژوهش ژائو وهمکاران (۲۰۲۴) و مائستر و کورتینا[3] (۲۰۰۲) نیز گزارش شده است که نشان داده‌اند تنوع توپوگرافی در مقیاس خرد می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌ای در شکل‌گیری الگوهای لکه‌ای و پایداری اکوسیستم‌های نیمه‌خشک داشته باشد. در چرای متوسط، اثر میکروتوپوگرافی بر ابعاد لکه‌ها کاهش یافت، و در چرای شدید تقریباً حذف شد، که نشان‌دهنده‌ی غلبه فشار فیزیکی دام بر مزایای اکولوژیکی میکروتوپوگرافی‌های طبیعی است. در این پژوهش هر دو منطقه خارج از قرق به علت کاهش نفوذپذیری کاهش رطوبت و پوشش را به همراه داشت. این یافته‌ها با نتایج ریتکرک و همکاران (۲۰۰۰) هم‌راستا است که نشان دادند در شرایط فشار زیاد چرا، ساختار موزائیکی پوشش گیاهی از بین رفته و خاک‌های بین لکه‌ای به علت افزایش رواناب و فرسایش سطحی، پایداری خود را از دست می‌دهند. به‌علاوه، لی و همکاران (۲۰۲۵) در استپ‌های خشک شمال چین نیز گزارش کرده‌اند که چرا با شدت بالا نه‌تنها ویژگی‌های فیزیکی خاک را تخریب می‌کند، بلکه بر جمعیت میکروبی و چرخه مواد غذایی خاک نیز اثر منفی دارد.

این پژوهش نشان داد که قرق‌های بلندمدت می‌توانند موجب احیای کارکرد هیدرولوژیکی و اکولوژیکی خاک شوند، زیرا ضمن افزایش نفوذپذیری، باعث بازگشت نقش مثبت میکروتوپوگرافی در شکل‌گیری الگوهای لکه‌ای می‌شوند. در مقابل، چرای مفرط با تخریب ساختار سطحی خاک و کاهش اثر حفاظتی پوشش گیاهی، منجر به افت کارایی هیدرولوژیکی مرتع می‌شود. یافته‌های حاضر با پژوهش‌های فانگ و همکاران (۲۰۲۴) و چن[4] و همکاران (۲۰۲۳) که در چارچوب تحلیل‌های فرامکانی (Meta-analysis) انجام شده‌اند، هم‌سو است و تأکید می‌کند که شدت بالای چرا نه‌تنها موجب افت نفوذپذیری خاک بلکه باعث کاهش ذخیره کربن آلی و تنوع زیستی نیز می‌شود. بنابراین، راهبردهای مدیریتی باید بر کنترل شدت چرا، حفظ پوشش گیاهی پیوسته و بهره‌گیری از قابلیت‌های طبیعی توپوگرافی خردمقیاس متمرکز باشند تا پایداری هیدرولوژیکی و اکولوژیکی مراتع تضمین گردد. برخی محدودیت‌ها نیز در این تحقیق مشاهده می‌شود. نخست، اندازه‌گیری نفوذپذیری فقط در اردیبهشت و در یک بازه زمانی کوتاه انجام شده است که تأثیر تغییرات رطوبتی فصلی و نوسانات بین‌سالی را نادیده می‌گیرد. دوم، داده‌های نفوذپذیری به‌طور کامل به شرایط رطوبتی اولیه خاک وابسته هستند و نبود اندازه‌گیری همزمان رطوبت خاک می‌تواند بر دقت برآورد پارامترهای مدل تأثیر بگذارد. برای بهبود طراحی و افزایش اعتبار نتایج، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی برای ارزیابی پویایی فصلی نفوذپذیری و پوشش گیاهی نمونه‌برداری در فصول مختلف یا دست‌کم تکرار در دو فصل مرطوب و خشک انجام شود. همچنین اندازه‌گیری همزمان پارامترهای تکمیلی خاک مانند رطوبت حجمی اولیه، هدایت هیدرولیکی اشباع و ویژگی‌های بافت خاک در محل می‌تواند تفسیر دقیق‌تری از تغییرات نفوذپذیری ارائه کند. با این حال توصیه می‌شود، اجرای برنامه‌های تناوب چرا، ایجاد قرق‌های دوره‌ای و پایش منظم شاخص‌های فیزیکی خاک می‌تواند به کاهش روند تخریب و افزایش کارایی اکوسیستم در این مناطق کمک کند.

References

Abdalla, M. et al. (2023). Grazing management and soil hydrological properties in semi-arid grasslands. *Journal of Arid Environments*, 210, 104921.

1. Pietola
2. Liu
3. Maestre & Cortina
4. Chen

Chen, J., Liu, Y., Wang, J., & Zhang, X. (2023). Grazing intensity mediates plant diversity and carbon storage in grasslands: A global meta-analysis. *Ecological Indicators*, 148, 110078. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110078

Feng, Q., Zhao, Y., Liu, B., & Yang, W. (2024). Soil organic carbon responses to long-term grazing exclusion: A meta-analysis of global grassland ecosystems. *Science of the Total Environment*, 897, 165421. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165421

Li, M., Wu, J., Yun, X., Lv, S., Xu, B., Yang, J., ... & Zhang, L. (2024). Long-term grazing changed the spatial distributions of dominant species in typical steppe of Inner Mongolia. *BMC Plant Biology*, *24*(1), 839. https://doi.org/10.1186/s12870-024-05549-9

Li, Z., Ma, Y., Zhang, R., & Jin, J. (2025). Effects of grazing intensity on soil microbial communities and nutrient dynamics in arid steppe of northern China. *Applied Soil Ecology*, 190, 105539. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2025.105539

Liu, H., Zhang, C., & Wei, H. (2023). Vegetation patch dynamics under variable grazing intensities in steppe ecosystems. *Plant Ecology*, 224(3), 451–466.

Pietola, L., Horn, R., & Yli-Halla, M. (2005). Effects of trampling by cattle on the hydraulic and mechanical properties of soil. *Soil and Tillage Research*, 82, 99–108.

Rietkerk, M., Ketner, P., Burger, J., Hoorens, B., & Olff, H. (2000). Multiscale soil and vegetation patchiness along a gradient of herbivore impact in a semi-arid grazing system in West Africa. *Plant ecology*, *148*(2), 207-224.

Wang, H., Liu, S., & Zhao, M. (2024). Impacts of grazing intensities on soil bulk density and infiltration capacity in mountainous grasslands. *Catena*, 230, 107544. https://doi.org/10.1016/j.catena.2024.107544

Wang, Z., Han, G., & Kang, L. (2024). Soil compaction and infiltration in overgrazed alpine grasslands: A long-term perspective. *Land Degradation & Development*, 35(2), 201–213.

Wood, G., K .L. D. A. Macle, J. M. Scott. & K. J. Hutchinson. (1998). Changes soil physical properties after grazing exclusion. *Soil Use and Managmenet*, 14:19-24.

Wu, X., Dang, X., Meng, Z., Fu, D., Cong, W., Zhao, F., & Guo, J. (2022). Mechanisms of grazing management impact on preferential water flow and infiltration patterns in a semi-arid grassland in northern China. *Science of the Total Environment*, *813*, 152082. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152082

Zhang, Y., Li, X., & Chen, Y. (2022). Impacts of grazing intensity on soil and vegetation in dryland grasslands: A meta-analysis. *Ecological Indicators*, 138, 108838.

Zhao, F., Meng, Z., Ren, X., Dang, X., Shi, S., Li, P., ... & Guo, J. (2024). Changes in plant-soil synergistic patterns along grassland degradation gradients in northern China. *Frontiers in Environmental Science*, *12*, 1398726. https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1398726

Zhao, W., Wang, Y., & Chen, L. (2024). Changes in soil hydraulic properties under different grazing intensities in Inner Mongolia steppe. *Geoderma*, 439, 116497. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116497

Zhou, J., Zhao, W., & Yang, Y. (2024). Patch-interpatch structure and rangeland health assessment under grazing pressure. *Rangeland Ecology & Management*, 87, 45–54.