



Soil Properties Response to Ecosystem Rehabilitation through Pit Seeding in Mountain Rangelands

Vahid Karimian 

Department of Nature Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, Yasouj University, Yasouj, Iran. E-mail:

v.karimian@yu.ac.ir

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: Dec. 23, 2025

Revised: July. 11, 2026

Accepted: Aug. 8, 2026

Published online: Sep. 2026

Keywords:

Rangeland rehabilitation,

Pit-Seedling,

Soil quality,

Microbial activity,

Tang-Sorkh rangelands.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the effects of pit-seeding on vegetation cover indices and soil properties in the Tang-Sorkh rangelands of Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Province. The research was conducted as a comparative study between pit-seeded and control areas. Vegetation attributes were assessed using 1 m² quadrats established along transects, and soil samples were collected from two depths (0–15 and 15–30 cm). The results indicated that pit-seeding induced significant changes in most of the studied variables. Vegetation cover (79.15%) and litter cover (16.44%) increased significantly, whereas bare soil (4.12%) and gravel cover (4.26%) decreased. Regarding soil physical properties, pit-seeding significantly increased clay content while reducing sand content and mean particle diameter ($p < 0.01$), with no significant effect on silt content. In terms of soil chemical characteristics, significant treatment effects were observed for soil pH, organic matter (OM), cation exchange capacity (CEC), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), and lime content. Soil biological attributes exhibited the strongest response, with basal respiration (BR), substrate-induced respiration (SIR), microbial biomass carbon (MBC), microbial biomass nitrogen (MBN), and the microbial biomass C:N ratio being significantly affected by pit-seeding ($p < 0.01$). The highest values of BR (1.949 mg CO₂ kg⁻¹ soil h⁻¹), SIR (2.136 mg CO₂ kg⁻¹ soil h⁻¹), MBC (260.00 mg kg⁻¹), and MBN (13.85 mg kg⁻¹) were recorded in the pit-seeded area within the 0–15 cm soil layer.

Cite this article: Karimian, V., (2026) Soil Properties Response to Ecosystem Rehabilitation through Pit Seeding in Mountain Rangelands, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 57 (7), 1577-1591. <http://doi.org/10.22059/ijswr.2026.408251.670073>

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

HTTP://DOI.ORG/ <http://doi.org/10.22059/ijswr.2026.408251.670073>



EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Rangeland ecosystems, covering approximately half of the Earth's terrestrial surface, represent a fundamental component of global ecological sustainability. These landscapes are critical not only for maintaining environmental balance but also for providing a wide array of ecosystem services. Key provisioning services include forage for livestock, medicinal plants, and resources for apiculture. Simultaneously, rangelands deliver essential regulating and supporting services, such as soil conservation, water cycle regulation, nutrient cycling, and erosion control. Moreover, they offer vital habitats for wildlife, significantly contributing to biodiversity preservation and overall ecological stability. Arid and semi-arid rangelands, characterized by inherent constraints such as limited precipitation, high temperatures, and shallow soils, are particularly sensitive to environmental fluctuations and anthropogenic pressures, making them inherently fragile ecosystems. Their susceptibility to climatic variability, combined with challenges such as overgrazing and vegetation degradation, underscores the urgent need for sustainable management and conservation strategies. Beyond their immediate ecological functions, preserving these ecosystems is essential for maintaining their capacity to provide multifunctional services, including soil quality enhancement, hydrological regulation, and nutrient retention, all of which are critical for long-term environmental health and human well-being. In Iran's Zagros Mountains, these ecosystems have suffered extensive degradation over decades due to chronic overgrazing and climatic pressures, resulting in substantial vegetation loss, accelerated soil erosion, and disruption of essential ecological processes. Pit-seeding is a widely employed, low-cost rehabilitation method designed to capture runoff, improve soil moisture, and facilitate plant establishment. However, significant knowledge gaps remain regarding its long-term efficacy in restoring comprehensive ecosystem health. Most existing studies have focused primarily on short-term vegetation responses, leaving the sustained impacts on soil biological properties particularly microbial communities that drive nutrient cycling and organic matter dynamics largely unquantified. This knowledge deficit is especially relevant in the highland rangelands of Tang-Sorkh, a representative and ecologically important area within the Zagros Mountains that supports local pastoral economies. Understanding the long-term trajectory of restoration in this region provides a valuable model for similar degraded landscapes. Accordingly, this study aimed to evaluate the 14-year effects of pit-seeding operations on a comprehensive set of indicators, including vegetation cover structure, key soil physicochemical properties, and fundamental soil biological health parameters in these degraded rangelands.

Materials and Methods

This study was conducted in the Tang-Sorkh highland rangelands, located in Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Province. The research was designed as a comparative study by selecting two adjacent areas with similar environmental conditions: one area subjected to Pit-Seeding operations with a 14-year history, and a control area with no history of rehabilitation practices. Vegetation sampling was carried out during the growing season using a randomized-systematic approach with transects and 1m×1m quadrats. Within each quadrat, the percent cover of vegetation, litter, bare soil, and gravel was recorded. Soil samples were collected from two depths (0-15 cm and 15-30 cm) using a completely random design from each study area. For physicochemical properties (texture, organic matter, phosphorus, potassium, CEC, etc.) and biological indices: Microbial Biomass Carbon (MBC) and Nitrogen (MBN) (by fumigation-extraction), Basal Respiration (BR), and Substrate-Induced Respiration (SIR) of the soil were measured in the laboratory. Statistical analysis of the data was performed using two-way analysis of variance (two-way ANOVA) in SPSS software version 26.

Results and Discussion

The results indicated that pit-seeding induced significant changes in most of the studied variables. Vegetation cover (79.15%) and litter cover (16.44%) increased significantly, whereas bare soil (4.12%) and gravel cover (4.26%) decreased. Regarding soil physical properties, pit-seeding significantly increased clay content while reducing sand content and mean particle diameter ($p < 0.01$); however, no significant effect was observed on silt content ($p > 0.05$). In terms of soil chemical characteristics, pit-seeding had significant effects on soil pH, organic matter (OM), cation exchange capacity (CEC), phosphorus (P), potassium (K), and calcium (Ca) at the 1% probability level ($p < 0.01$), and on $\text{Ca}(\text{OH})_2$ content at the 5% probability level ($p < 0.05$). In contrast, electrical conductivity (EC), sodium (Na), magnesium (Mg), chloride (Cl), and sodium adsorption ratio (SAR) were not significantly affected by the treatment ($p > 0.05$). Soil biological attributes exhibited the strongest response to pit-seeding, with basal respiration (BR), substrate-induced respiration (SIR), microbial biomass carbon (MBC), microbial biomass nitrogen (MBN), and the microbial biomass C:N ratio being significantly influenced by the treatment ($p < 0.01$). The highest values of BR ($1.949 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ soil h}^{-1}$),

SIR ($2.136 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ soil h}^{-1}$), MBC ($260.00 \text{ mg kg}^{-1}$), and MBN (13.85 mg kg^{-1}) were recorded in the pit-seeded area within the 0–15 cm soil layer.

Conclusion

This study demonstrates that simple Pit-Seeding operations can effectively initiate a positive restoration feedback loop in degraded Mountain Rangelands, simultaneously improving vegetation, soil physicochemical quality, and most critically soil biological health. We highlight soil microbial parameters as essential indicators for monitoring rehabilitation success. For long-term resilience, Pit-Seeding should be integrated into participatory rangeland management programs, combined with native species seeding and managed grazing. Long-term monitoring of soil biological health is crucial to ensure sustained recovery. Our findings confirm Pit-Seeding as a practical, low-cost ecological tool for restoring ecosystem structure and function in semi-arid regions.

Funding

The study was funded by the University of Yasouj University, Yasouj, Iran.

Authorship contribution

The manuscript has a single author.

Declaration of Generative AI and AI-assisted technologies in the writing process

There is no use of any type of artificial intelligence-based technology in this paper.

Data availability statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

The author gratefully acknowledges Yasouj University, particularly the Faculty of Agriculture and Natural Resources, and the Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Province for their generous support and valuable assistance, which made this research possible.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest

پاسخ ویژگی‌های خاک مراتع کوهستانی به احیای اکوسیستم از طریق کپه‌کاری

وحید کریمیان

گروه مهندسی طبیعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران. رایانامه: v.karimian@yu.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۲	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۴/۲۰	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۵/۱۷	
تاریخ انتشار: مهر ۱۴۰۵	
واژه‌های کلیدی: احیای مرتع، کپه‌کاری، کیفیت خاک، فعالیت میکروبی، مراتع تنگ‌سرخ.	این مطالعه با هدف ارزیابی عملیات کپه‌کاری بر شاخص‌های پوشش گیاهی و ویژگی‌های خاک در مراتع تنگ‌سرخ استان کهگیلویه و بویراحمد انجام شد. پژوهش به صورت مقایسه‌ای بین عرصه‌های تحت عملیات کپه‌کاری و شاهد صورت گرفت. در هر محدوده، پوشش گیاهی با استفاده از پلات‌های یک مترمربعی در امتداد ترانسکت‌ها بررسی شد و نمونه‌های خاک از دو عمق ۱۵-۰ و ۱۵-۳۰ سانتی‌متری برداشت گردید. نتایج نشان داد که عملیات کپه‌کاری موجب ایجاد تفاوت‌های معنی‌دار در اکثر شاخص‌های مورد مطالعه شد. درصد پوشش گیاهی (۷۹/۱۵ درصد) و لاشبرگ (۱۶/۴۴ درصد) به طور معنی‌داری افزایش یافت، در حالی که خاک لخت (۴/۱۲ درصد) و سنگریزه (۴/۲۶ درصد) کاهش نشان دادند. در بخش ویژگی‌های فیزیکی، کپه‌کاری سبب افزایش معنی‌دار درصد رس و کاهش درصد شن و میانگین قطر ذرات خاک شد ($P < 0.01$)، در حالی که بر درصد سیلت تأثیر معنی‌داری نداشت. از نظر شیمیایی کپه‌کاری اثر معنی‌داری بر اسیدیته، ماده آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، فسفر، پتاسیم، کلسیم و آهن داشت. در مقابل بر هدایت الکتریکی، سدیم، منیزیم، کلر و نسبت جذب سدیم اثر معنی‌دار نبود ($p > 0.05$). شاخص‌های بیولوژیکی خاک بیشترین پاسخ را به عملیات کپه‌کاری داشتند؛ به طوری که تنفس پایه، تنفس برانگیخته، کربن زیست‌توده میکروبی، نیتروژن زیست‌توده میکروبی و نسبت کربن به نیتروژن زیست‌توده میکروبی تحت تأثیر کپه‌کاری قرار گرفتند ($P < 0.01$). بیشترین مقادیر تنفس پایه ($1949 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ soil h}^{-1}$)، تنفس برانگیخته ($\text{mg CO}_2 \text{ kg}^{-1}$) قرار گرفتند ($P < 0.01$). کربن زیست‌توده میکروبی ($136/2 \text{ kg}^{-1} \text{ soil h}^{-1}$)، کربن زیست‌توده میکروبی ($100/260 \text{ mg kg}^{-1}$) و نیتروژن زیست‌توده میکروبی (mg kg^{-1}) در ۸۵/۱۳ درصد عرصه کپه‌کاری شده و در عمق ۰ تا ۱۵ سانتی‌متری خاک مشاهده شد.
استناد: کریمیان؛ وحید، (۱۴۰۵) پاسخ ویژگی‌های خاک مراتع کوهستانی به احیای اکوسیستم از طریق کپه‌کاری، مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۷ (۷)، ۷۸۳۳-۷۸۳۷ http://doi.org/10.22059/ijswr.2026.408251.670073 .۱۵۹۱ ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران. © نویسندگان. HTTP://DOI.ORG/ http://doi.org/10.22059/ijswr.2026.408251.670073	



مقدمه

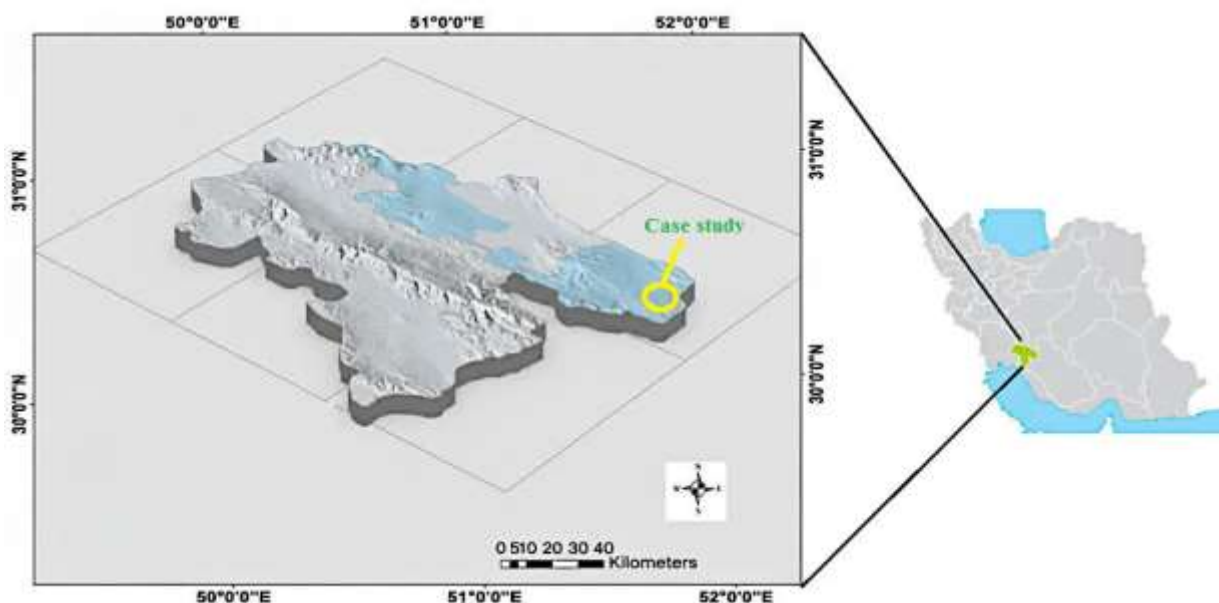
اکوسیستم‌های مرتعی که حدود ۵۰ درصد از سطح خشکی‌های زمین را در بر می‌گیرند، یکی از بنیادی‌ترین عناصر پایداری اکولوژیک در مقیاس جهانی محسوب می‌شوند (Wang et al., 2022; Álvarez-Holguín et al., 2024). این اکوسیستم‌ها مجموعه گسترده‌ای از خدمات بوم‌شناختی شامل تولید علوفه، حفظ خاک، تنظیم چرخه آب و مواد، تولید گیاهان دارویی و صنعتی، پشتیبانی از زنبورداری و ایجاد زیستگاه‌های غنی برای حیات وحش را فراهم می‌کنند (Bengtsson et al., 2019; Sollenberger et al., 2019). مراتع خشک و نیمه‌خشک به دلیل شرایط خاص اکولوژیک و حساس به تغییرات، همواره جزو زیست‌بوم‌های شکننده طبقه‌بندی می‌شوند (Bardgett et al., 2021). همین ویژگی‌ها سبب شده که حتی تغییرات کوچک در مدیریت و بهره‌برداری پیامدهای گسترده‌ای بر پایداری خاک، پوشش گیاهی و عملکرد اکوسیستم داشته باشد (Xu et al., 2023). تخریب مراتع یکی از معضلات زیست‌محیطی در سطح جهان است. بر اساس گزارش‌ها، بیش از ۴۹ درصد مراتع دنیا دچار درجاتی از تخریب شده‌اند که کاهش عملکرد اکوسیستم، افت تنوع زیستی و تغییرات نامطلوب در خاک از پیامدهای آن به شمار می‌رود (Bardgett et al., 2021). در ایران نیز مراتع وسیع، که زیستگاه بیش از ۷۰۰۰ گونه گیاهی هستند (کریمیان و بارانی، ۱۴۰۳)، در دهه‌های اخیر تحت تأثیر عواملی مانند چرای بی‌رویه، بهره‌برداری نادرست، تغییر کاربری اراضی، خشکسالی، مالکیت‌های غیرمتمرکز و فشارهای انسانی با سرعت زیادی تخریب شده‌اند (اکبرزاده و نیکو، ۱۴۰۱). این روند موجب کاهش شدید تولید علوفه، افزایش فرسایش خاک، تضعیف ساختار نباتات مرتعی و برهم خوردن چرخه‌های مواد مغذی شده است. از این رو، اصلاح مراتع و احیای پوشش گیاهی به‌ویژه در زیست‌بوم‌های حساس حائز اهمیت است. سلامت و پایداری اکوسیستم مرتع وابسته به وضعیت فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک است. ماده آلی خاک به‌عنوان بنیادی‌ترین شاخص کیفیت خاک، نقش کلیدی در تبادل کاتیونی، افزایش فراهمی عناصر غذایی، بهبود ساختمان خاک، افزایش فعالیت‌های بیولوژیک و تثبیت خاکدانه‌ها دارد (Moradi et al., 2024). تحقیقات متعدد نشان داده‌اند که افزایش ماده آلی و دگرگونی در نسبت رس، سیلت و شن می‌تواند ساختار خاک را بهبود داده و پایداری خاکدانه‌ها را افزایش دهد (Ternan et al., 1996; Rasiah and Kay, 1994). جوامع میکروبی خاک نیز از حساس‌ترین شاخص‌های سلامت اکوسیستم هستند. ترکیب، تنوع و فراوانی این جوامع تحت تأثیر مستقیم تغییراتی مانند ماده آلی، اسیدیته، رطوبت و فسفر قرار دارد (Dasgupta and Brahmaprakash, 2021; Sui et al., 2021). بخش زنده کربن آلی، شامل کربن زیست‌توده میکروبی به‌عنوان یکی از سریع‌ترین مؤلفه‌های واکنش‌دهنده به تغییرات محیطی نقشی اساسی در تجزیه مواد آلی، معدنی شدن عناصر غذایی، پایداری اکوسیستم و تنظیم فعالیت‌های بیوشیمیایی ایفا می‌کند (Trivedi et al., 2016). مطالعات گسترده‌ای نشان داده‌اند که ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک پیش‌بینی‌کننده قدرتمندی برای تغییرات جوامع میکروبی می‌باشند (Sadeghi et al., 2023; Guo et al., 2022). این یافته‌ها اهمیت احیای مراتع را نه تنها از منظر پوشش گیاهی بلکه از منظر بازسازی عملکردهای زیستی خاک برجسته می‌سازد. روش‌های مختلفی جهت احیای مراتع وجود دارد که انتخاب روش مناسب بر اساس شرایط اکولوژیکی متفاوت می‌باشد. در میان روش‌های احیای بیولوژیک، کپه‌کاری یکی از مهم‌ترین روش‌های احیای مستقیم پوشش گیاهی به‌شمار می‌رود. این روش که عموماً در مراتع کوهستانی دارای شیب بالا، خاک کم‌عمق تا نیمه‌عمیق و بافت متوسط اجرا می‌شود، به دلیل امکان استقرار بهتر بذر و کاهش تأثیر عوامل تخریبی، اثربخشی بالایی دارد. احیای بیولوژیک با افزایش نفوذپذیری خاک، افزایش تولید لاشبرگ، کاهش تبخیر سطحی، تداوم رطوبت، افزایش دسترسی به مواد غذایی و افزایش فعالیت میکروبی می‌تواند باعث بهبود عملکرد اکوسیستم شود (احمدوند و اختری، ۱۴۰۳). نتایج تحقیق رضایی و دهداری (۱۳۹۷) نشان داد عملیات اصلاحی شامل قرق، بذرپاشی و کپه‌کاری سبب افزایش معنی‌دار تاج‌پوشش، تراکم گیاهان مرغوب و کاهش خاک لخت در مراتع آبدانان شده است. فرضی و همکاران (۱۳۹۸) گزارش کردند که کپه‌کاری سبب تغییر معنی‌دار تاج‌پوشش برخی خانواده‌های گیاهی شده و برخی گونه‌ها پاسخ مثبت به عملیات احیا داشته‌اند. در بررسی‌های دیگر نیز افزایش تنوع، غنای گونه‌ای و افزایش فراوانی گروه‌های گیاهی چندساله، همی کریپتوفیت‌ها و گندمیان گزارش شده است (میرزایی و همکاران، ۱۳۹۷). از سوی دیگر، کپه‌کاری با کاهش هدایت الکتریکی خاک، به‌ویژه از طریق افزایش رطوبت و کاهش تبخیر، موجب کاهش روند شوری‌زایی شده است (Akhzari and Talebi, 2025). مطالعات دیگر نشان می‌دهد که اجرای این عملیات در مناطق مختلف کشور، از شوره‌زارهای حاشیه دریاچه ارومیه (محسنی و همکاران، ۱۴۰۳)، تا دامنه‌های جنوبی البرز (فرضی و همکاران، ۱۳۹۸)، با درجاتی متفاوت باعث بهبود پوشش گیاهی و ویژگی‌های خاک شده است. کاهش فرسایش، افزایش تخلخل، بهبود ساختمان خاک و افزایش چرخه مواد مغذی نیز از دیگر نتایج گزارش شده در مورد کپه‌کاری است (کمالی و همکاران، ۱۳۹۹).

رشته‌کوه‌های زاگرس یکی از مهم‌ترین نواحی رویشی ایران و خاورمیانه و ذخیره‌گاهی ارزشمند از تنوع زیستی، منابع آب و گونه‌های دارویی است. با این حال، مراتع این منطقه در دهه‌های اخیر به‌شدت تحت فشار عوامل انسانی و اقلیمی قرار گرفته و تغییرات گسترده‌ای در ترکیب و تنوع پوشش گیاهی آن‌ها مشاهده شده است (میرزایی و همکاران، ۱۳۹۷). با توجه به نقش محوری زاگرس در تأمین منابع آبی و گیاهی کشور، احیای این مراتع اهمیتی دوچندان می‌یابد. مراتع بیلاقی تنگ‌سرخ، واقع در شهرستان بویراحمد، یکی از مناطق پایلوت احیای بیولوژیک در مراتع کوهستانی زاگرس بوده و طی سال‌های اخیر پروژه‌های متعدد کپه‌کاری به‌ویژه برای کشت گیاهان مرتعی، دارویی، صنعتی و خوراکی در آن اجرا شده است. با وجود اجرای وسیع این عملیات، هنوز پرسش‌های اساسی درباره میزان موفقیت آن در بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک و بازسازی پوشش گیاهی وجود دارد. بر این اساس، هدف این پژوهش بررسی اثر کپه‌کاری بر ویژگی‌های خاک و نیز ارزیابی تغییرات کمی و کیفی پوشش گیاهی در مراتع تنگ‌سرخ در استان کهگیلویه و بویراحمد است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این مطالعه در مراتع بیلاقی تنگ‌سرخ از توابع شهرستان بویراحمد، استان کهگیلویه و بویراحمد واقع در دامنه‌های زاگرس انجام شد. محدوده مورد نظر در مختصات جغرافیایی $30^{\circ}23'$ تا $30^{\circ}28'$ عرض شمالی و $51^{\circ}41'$ تا $51^{\circ}49'$ طول شرقی و در ارتفاع متوسط ۲۴۰۰ متر از سطح دریا واقع شده است (شکل ۱). بر پایه داده‌های بلندمدت (۳۰ ساله) ایستگاه سینوپتیک یاسوج، میانگین بارش سالانه این منطقه ۸۳۲ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۱۵ درجه سانتی‌گراد است (کریمیان و همکاران، ۱۳۹۷).



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در شهرستان بویراحمد، استان کهگیلویه و بویراحمد

روش تحقیق

بررسی پوشش گیاهی

نمونه‌برداری از پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه با هدف ارزیابی اثرات پروژه‌های احیایی کپه‌کاری (اجرا شده در سال ۱۳۹۰ توسط مرتعداران و با حمایت اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان کهگیلویه و بویراحمد؛ شکل ۲A) بر پوشش گیاهی، در فصل رویش (بهار ۱۴۰۴) انجام شد (شکل ۲B, C, D, E). نمونه‌برداری در دو نوع عرصه صورت گرفت: (۱) مناطق تحت عملیات احیای بیولوژیک مراتع به شیوه کپه‌کاری در سال ۱۳۹۰ و (۲) مناطق همجوار فاقد هرگونه عملیات احیایی که به عنوان شاهد در نظر گرفته شد. به منظور یکسان‌سازی شرایط محیطی و کاهش خطاهای ناشی از عوامل توپوگرافی، تلاش شد تا محدوده‌های انتخابی کپه‌کاری شده و شاهد از نظر ویژگی‌های

زمین شناسی، خاک، فیزیوگرافی (شیب، جهت و ارتفاع) و نوع بهره برداری مشابه باشند تا تأثیر پروژه‌های احیایی با حداقل اختلال برآورد شود. در هر یک از دو عرصه (کپه‌کاری شده و شاهد)، سه ترانسکت ۱۰۰ متری (دو ترانسکت موازی با جهت شیب و یک ترانسکت عمود بر آن) با فاصله ۵۰ متر از یکدیگر مستقر گردید. بررسی پوشش گیاهی با استفاده از پلات‌های یک‌مترمربعی در امتداد ترانسکت‌های مستقر شده انجام شد. بدین صورت که در طول هر ترانسکت، ۱۰ پلات به فواصل ۱۰ متری قرار داده شد، در هر پلات، درصد تاج‌پوشش گیاهی، لاشبرگ، سنگ و سنگریزه، و خاک لخت ثبت گردید.



شکل ۲- تصاویر مربوط به مراحل کپه‌کاری (A)، محدوده شاهد (B)، محدوده کپه‌کاری شده (D)، گیاه آنغوزه (*Ferula assa-foetida* L.) در مرحله گلدهی (C)، و گیاه بیلهر (*Dorema aucheri* Boiss.) (E)

بررسی ویژگی‌های خاک

برای ارزیابی تأثیر کپه‌کاری بر ویژگی‌های خاک در عرصه‌های مورد مطالعه، نمونه‌برداری خاک به منظور بررسی خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آن انجام شد. نمونه‌برداری در امتداد هر ترانسکت صورت پذیرفت (سه ترانسکت در منطقه تحت کپه‌کاری و سه ترانسکت در منطقه شاهد). با توجه به اینکه استقرار پوشش گیاهی عموماً موجب افزایش لاشبرگ، مواد آلی و عناصر غذایی در لایه‌های سطحی خاک می‌گردد، به منظور آشکارسازی دقیق‌تر تأثیر پروژه‌های احیایی، نمونه‌های خاک از دو عمق ۰-۱۵ و ۱۵-۳۰ سانتی‌متری برداشت شد. به این منظور، در هر منطقه همگن با شرایط فیزیوگرافی مشابه، پس از حفر پروفیل، سه نمونه خاک از ابتدا، وسط و انتهای هر ترانسکت جمع‌آوری گردید (دهداری و همکاران، ۱۴۰۴). پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، ابتدا از طریق الک ۲ میلی‌متری به دو بخش تقسیم شدند: بخشی برای آنالیزهای فیزیکی و شیمیایی در هوای آزاد خشک شد، و بخش دیگر با نگهداری در یخچال حاوی یخ خشک، برای اندازه‌گیری خصوصیات بیولوژیکی خاک به آزمایشگاه منتقل گردید (Bastani et al., 2023). آزمایشات فیزیکی و شیمیایی در آزمایشگاه خاک دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه یاسوج و بررسی‌های بیولوژیکی در آزمایشگاه دانشکده آب و خاک دانشگاه زابل انجام گرفت.

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

برای بررسی ویژگی‌های فیزیکی خاک، بافت آن به روش هیدرومتری تعیین و درصد شن، سیلت و رس با استفاده از مثلث بافت خاک محاسبه شد (Schuman et al., 2002). همچنین میانگین قطر مؤثر ذرات خاک با استفاده از الک و شیکر اندازه‌گیری گردید (Chen et al., 2022). در بخش ویژگی‌های شیمیایی، پارامترهای زیر ارزیابی شدند:

فسفر قابل دسترس به روش اولسن، پتاسیم با استفاده از استات آمونیوم، اسیدیته به روش پتانسیومتری با pH متر، هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع با EC متر و آهک به روش تیتراسیون (Bastani et al., 2023; Kamali et al., 2022; Qu et al., 2020). همچنین، کلسیم و منیزیم به روش تیتراسیون (U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954)، ماده آلی به روش والکی و بلاک و ظرفیت



تبادل کاتیونی با استفاده از محلول استات آمونیوم اندازه‌گیری شد (Chapman, 1965; Joneidi et al., 2024). در نهایت نسبت جذب سدیم از طریق اندازه‌گیری غلظت سدیم با دستگاه فلم‌فتومتر و تعیین کلسیم و منیزیم به روش تیتراسیون و با استفاده از رابطه‌ی (۱) محاسبه گردید (Page et al., 1982):

$$SAR = Na / (Ca + Mg)^{1/2}$$

رابطه (۱)

$$SAR = \text{نسبت جذب سدیم، } Na = \text{سدیم، } Ca = \text{کلسیم و } Mg = \text{منیزیم}$$

خصوصیات بیولوژیکی خاک

خصوصیات بیولوژیکی مورد بررسی در این پژوهش شامل کربن زیست‌توده میکروبی (MBC)، نیتروژن زیست‌توده میکروبی (MBN)، تنفس پایه خاک (BR) و تنفس برانگیخته (SIR) بودند. کربن زیست‌توده میکروبی با روش گازدهی-استخراج کلروفرم اندازه‌گیری شد (Brookes et al., 1985). محاسبه‌ی این پارامتر با استفاده از رابطه (۲) انجام گرفت (Qu et al., 2020):

$$MBC = \frac{Ec}{K_{Ec}}$$

رابطه (۲)

در این فرمول Ec از تفاوت کربن آلی تدخین شده به کربن آلی نمونه‌های تدخین نشده محاسبه می‌شود. K_{Ec} ضریب تبدیل Ec به MBC است که ۰/۴۵ در نظر گرفته شد. این فرمول برای محاسبه نیتروژن زیست‌توده میکروبی نیز صادق است با این تفاوت که نیتروژن آلی تدخین شده و نیتروژن آلی نمونه‌های تدخین نشده در این فرمول مدنظر بود و ضریب تبدیل ۰/۵۴ است (Qu et al., 2020). تنفس پایه خاک از روش تیتراسیون و تنفس برانگیخته به صورت انکوباسیون اندازه‌گیری شدند (جنیدی و همکاران، ۱۴۰۳).

تجزیه و تحلیل آماری

داده‌های حاصل از این پژوهش با استفاده تجزیه واریانس دوطرفه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. همگنی واریانس‌ها با آزمون لون ارزیابی و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت. تمامی تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ انجام گرفت.

نتایج

پوشش گیاهی و ویژگی‌های سطحی خاک

نتایج بررسی پوشش سطحی نشان داد، پوشش گیاهی در محدوده کپه‌کاری شده با میانگین ۷۹/۱۵٪ بیشتر از شاهد ۶۵/۲۵٪ است. در محدوده شاهد میزان خاک لخت بیشتر (۱۴/۵۳٪) از کپه‌کاری (۴/۱۲٪) است. همچنین سنگ و سنگریزه در شاهد بیشتر (۱۱/۴۳٪) و در کپه‌کاری کمتر (۴/۲۶٪) بود. میزان لاشبرگ در محدوده کپه‌کاری شده (۱۶/۴۴٪) بیشتر از محدوده شاهد (۱۱/۵۳٪) بود (جدول ۱). نتایج آزمون t نشان داد که تفاوت‌های بین محدوده کپه‌کاری شده و شاهد در تمام ویژگی‌های پوشش گیاهی و سطح خاک از نظر آماری معنی‌دار است. پوشش گیاهی در محدوده کپه‌کاری شده به طور معنی‌داری بیشتر بود ($P=0.000$). خاک لخت در قسمت کپه‌کاری شده به طور معنی‌داری کمتر از شاهد بود ($P=0.000$). میزان سنگ و سنگریزه نیز در کپه‌کاری کمتر بود. در نهایت، لاشبرگ در محدوده کپه‌کاری شده به طور معنی‌داری بیشتر بود ($P=0.000$) (جدول ۱). این نتایج نشان می‌دهند که کپه‌کاری باعث افزایش پوشش گیاهی و لاشبرگ و کاهش خاک لخت و سنگ و سنگریزه شده است و کیفیت سطح خاک و یکنواختی پوشش گیاهی را بهبود بخشیده است.

بررسی ویژگی‌های فیزیکی خاک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که کپه‌کاری اثر معنی‌داری بر درصد شن، رس و میانگین قطر ذرات داشت ($p<0.01$)، در حالی که بر درصد سیلت اثر معنی‌داری مشاهده نشد ($p>0.05$). همچنین، عمق خاک تأثیر معنی‌داری بر درصد شن ($p<0.05$)، سیلت و رس ($p<0.01$) داشت، اما اثر آن بر میانگین قطر ذرات معنی‌دار نبود ($p>0.05$) (جدول ۲).

اثر متقابل کپه‌کاری و عمق نمونه‌برداری بر تمامی ویژگی‌های فیزیکی مورد بررسی معنی‌دار بود؛ به‌طوری‌که پاسخ این ویژگی‌ها به کپه‌کاری در اعماق مختلف خاک یکسان نبود. در عرصه کپه‌کاری‌شده، بیشترین درصد رس در لایه سطحی (۳۶/۹۶ درصد) و بیشترین

1. Microbial biomass carbon
2. Microbial biomass nitrogen
3. Basal Respiration
4. Substrate-Induced Respiration

درصد سیلت در لایه عمقی (۴۵/۱۹ درصد) مشاهده شد. در مقابل، بیشترین درصد شن و میانگین قطر ذرات به ترتیب در لایه ۱۵-۳۰ سانتی‌متری عرصه شاهد (۳۹/۱۸ درصد و ۴۰۰/۴۴) به دست آمد (جدول ۳).

جدول ۱- پوشش گیاهی و ویژگی‌های سطح خاک در عرصه کپه‌کاری شده و شاهد

متغیر (%)	کپه‌کاری (%) (میانگین $\pm$ انحراف معیار)	شاهد (%) (میانگین $\pm$ انحراف معیار)	مقدار t	مقدار p
پوشش گیاهی	۷۵/۱۸ $\pm$ ۱/۹۵	۶۲/۶۶ $\pm$ ۳/۶۵	۹/۱۷	۰/۰۰۰
خاک لخت	۴/۱۲ $\pm$ ۱/۰۸	۱۴/۵۴ $\pm$ ۱/۳۳	-۱۸/۶۱	۰/۰۰۰
سنگ و سنگریزه	۴/۲۶ $\pm$ ۰/۶۵	۱۱/۴۴ $\pm$ ۱/۸۶	-۱۱/۴۶	۰/۰۰۰
لاشبرگ	۱۶/۴۴ $\pm$ ۱/۶۵	۱۱/۳۶ $\pm$ ۲/۶۵	۴/۹۵	۰/۰۰۰

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر کپه‌کاری، عمق خاک و اثر متقابل آن‌ها بر ویژگی‌های فیزیکی خاک

منبع تغییرات	df	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	میانگین قطر ذرات (μm)
کپه‌کاری	۱	۵۷۱/۸۸**	۱/۱۱ ^{ns}	۲۴/۵۵**	۴۸۴/۲۴**
عمق	۱	۸/۶۴*	۲۶/۵۴**	۱۴/۳۳**	۵/۰۹ ^{ns}
کپه‌کاری $\times$ عمق	۱	۷۵۱/۱۹**	۶/۵۷*	۶/۴۹*	۶۳۱/۶۹**
خطا	۸	۰/۴۰	۹/۴۵	۱۳/۶۶	۴۷/۲۴

NS: غیرمعنی‌دار، *: معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، **: معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

جدول ۳- میانگین ویژگی‌های فیزیکی خاک در دو عرصه کپه‌کاری و شاهد و عمق‌های مختلف نمونه‌برداری

عرصه مورد مطالعه	عمق (سانتی‌متر)	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	میانگین قطر ذرات (μm)
کپه‌کاری	۱۵-۰	۳۱/۵۴	۳۱/۵۰	۳۶/۹۶	۳۲۲/۰۷
کپه‌کاری	۳۰-۱۵	۲۰/۴۸	۴۵/۱۹	۳۴/۳۲	۲۱۴/۱۸
شاهد	۱۵-۰	۳۰/۲۶	۳۷/۹۲	۳۱/۸۳	۳۱۰/۴۵
شاهد	۳۰-۱۵	۳۹/۱۸	۴۲/۵۲	۱۸/۳۱	۴۰۰/۴۴

بررسی ویژگی‌های شیمیایی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، کپه‌کاری اثر معنی‌داری بر اسیدیته، آهک، ماده آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، فسفر، پتاسیم و کلسیم داشت، به‌طوری‌که این اثر برای اسیدیته، ماده آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، فسفر، پتاسیم و کلسیم در سطح احتمال یک درصد ($p < 0.01$) و برای آهک در سطح احتمال پنج درصد ($p < 0.05$) معنی‌دار بود. در مقابل اثر کپه‌کاری بر هدایت الکتریکی، سدیم، منیزیم، کلر و نسبت جذب سدیم معنی‌دار نبود ($p > 0.05$). عمق خاک تأثیر معنی‌داری بر هدایت الکتریکی و آهک در سطح احتمال پنج درصد و بر اسیدیته، ماده آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم در سطح احتمال یک درصد داشت. با این حال، اثر عمق بر سدیم، کلر و نسبت جذب سدیم معنی‌دار نبود. اثر متقابل کپه‌کاری و عمق نمونه‌برداری بر ماده آلی، کلسیم و کلر در سطح احتمال یک درصد و بر ظرفیت تبادل کاتیونی و فسفر در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود، ضمن اینکه پاسخ این ویژگی‌ها به کپه‌کاری در اعماق مختلف خاک یکسان نبود. در مقابل، اثر متقابل کپه‌کاری و عمق بر هدایت الکتریکی، اسیدیته، آهک، پتاسیم، سدیم، منیزیم و نسبت جذب سدیم معنی‌دار نبود (جدول ۴).

بررسی میانگین‌ها نشان داد که در عرصه کپه‌کاری‌شده، بیشترین مقدار ماده آلی (۲/۰۱ درصد)، ظرفیت تبادل کاتیونی (34 cmolc/kg)، پتاسیم (3180 mg/kg)، منیزیم ($4/95\text{ meq/L}$) و فسفر ($21/28\text{ mg/kg}$) در لایه سطحی خاک (۱۵-۰ سانتی‌متر) مشاهده شد. همچنین، بیشترین مقدار آهک (۳۴ درصد) در عمق پایینی خاک در عرصه کپه‌کاری به دست آمد. در مقابل، در عرصه شاهد بیشترین مقادیر اسیدیته (۷/۷۵) و کلسیم ($22/95\text{ meq/L}$) مشاهده شد (جدول ۵).



جدول ۴- تجزیه واریانس اثر کپه کاری، عمق خاک و اثر متقابل آن‌ها بر ویژگی‌های شیمیایی خاک

منبع تغییرات	df	هدایت الکتریکی (dS/m)	اسیدیته	آهک (%)	ماده آلی (%)	ظرفیت تبادل کاتیونی (cmolc/kg)	فسفر (mg/kg)	پتاسیم (mg/kg)	سدیم (meq/L)	کلسیم (meq/L)	منیزیم (meq/L)	کربن کلر (meq/L)	نسبت جذب سدیم
کپه کاری	۱	۰/۱۴ ^{ns}	۳۷۸/۵۲ ^{**}	۱۰/۹۳ [*]	۸۴۹/۸۵ ^{**}	۵۹۹/۷۶ ^{**}	۴۵۳/۰۱ ^{**}	۱۵۵۳/۰۳ ^{**}	۲/۵۳ ^{ns}	۱۱۰۴/۷۶ ^{**}	۰/۷۵ ^{ns}	۲/۳۸ ^{ns}	۲/۰۸ ^{ns}
عمق	۱	۹/۳۷ [*]	۱۳۸/۵۲ ^{**}	۱۰/۸۴ [*]	۱۳۲۷/۱۷ ^{**}	۲۹۳/۸۸ ^{**}	۳۰/۴۲ ^{**}	۳۰/۵۸ ^{**}	۰/۰۶ ^{ns}	۹۰/۱۸ ^{**}	۴۲/۱۴ ^{**}	۲/۳۰ ^{ns}	۰/۲۳ ^{ns}
کپه کاری×عمق	۱	۱/۳۳ ^{ns}	۴/۶۷ ^{ns}	۴/۱۹ ^{ns}	۱۸۹/۶۰ ^{**}	۶/۰۰ [*]	۶/۴۸ [*]	۱/۵۰ ^{ns}	۰/۰۵ ^{ns}	۴۶/۰۱ ^{**}	۱/۶۹ ^{ns}	۱۹/۶۷ ^{**}	۲/۰۸ ^{ns}
خطا	۸	۰/۰۰۸	۰/۰۰۱	۱/۸۹۱	۰/۰۰۱	۰/۱۲۵	۰/۰۲۷	۲۰۸۴/۳۱۳	۵/۰۱۲	۰/۰۱۶	۰/۰۴۰	۰/۲۵۹	۸/۱۲۵

ns: غیرمعنی‌دار، *: معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، **: معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

جدول ۵- میانگین ویژگی‌های شیمیایی خاک در دو عرصه کپه کاری و شاهد و عمق‌های مختلف نمونه‌برداری

عرصه مورد مطالعه	عمق (سانتی-متر)	هدایت الکتریکی (dS/m)	اسیدیته	آهک (%)	ماده آلی (%)	ظرفیت تبادل کاتیونی (cmolc/kg)	فسفر (mg/kg)	پتاسیم (mg/kg)	سدیم (meq/L)	کلسیم (meq/L)	منیزیم (meq/L)	کربن کلر (meq/L)	نسبت جذب سدیم
کپه کاری	۱۵-۰	۰/۴۵۰	۷/۱۰	۳۳/۰۰	۲/۰۱۰	۳۴/۰۰	۲۱/۲۸	۳۱۸۰/۰	۰/۰۳۳	۱۹/۸۰	۴/۹۵	۳/۷۴	۰/۰۳۰
کپه کاری	۳۰-۱۵	۰/۵۵۰	۷/۳۹	۳۴/۰۰	۱/۰۶۹	۳۰/۰۰	۲۱/۰۰	۳۰۰۲/۰	۰/۰۳۵	۲۱/۰۰	۴/۰۵	۱/۹۹	۰/۰۲۰
شاهد	۱۵-۰	۰/۳۷۰	۷/۵۵	۲۸/۷۵	۱/۲۰۵	۲۵/۵۰	۱۹/۵۱	۲۱۰۹/۰	۰/۰۴۱	۲۲/۷۵	۴/۹۰	۱/۹۸	۰/۰۱۵
شاهد	۳۰-۱۵	۰/۵۹۱	۷/۷۵	۳۲/۵۰	۰/۷۸۰	۲۵/۴۸	۱۸/۷۵	۱۹۹۵/۵	۰/۰۴۱	۲۲/۹۵	۴/۳۰	۲/۸۴	۰/۰۲۰

بررسی ویژگی‌های بیولوژیکی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که کپه کاری اثر معنی‌داری بر تمامی ویژگی‌های بیولوژیکی مورد بررسی شامل تنفس پایه، تنفس برانگیخته، کربن زیست‌توده میکروبی، نیتروژن زیست‌توده میکروبی و نسبت کربن زیست‌توده میکروبی به نیتروژن زیست‌توده میکروبی داشت ($p < 0.01$). همچنین، عمق خاک تأثیر معنی‌داری بر همه شاخص‌های مورد مطالعه بجز نسبت کربن زیست‌توده میکروبی به نیتروژن زیست‌توده میکروبی نشان داد. اثر متقابل کپه کاری و عمق نمونه‌برداری بر تنفس پایه، تنفس برانگیخته و نسبت کربن زیست‌توده میکروبی به نیتروژن زیست‌توده میکروبی در سطح احتمال ۱ درصد و بر نیتروژن زیست‌توده میکروبی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود، اما بر کربن زیست‌توده میکروبی اثر معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۶).

بررسی میانگین‌ها نشان داد که بیشترین مقادیر تنفس پایه، تنفس برانگیخته، کربن زیست‌توده میکروبی و نیتروژن زیست‌توده میکروبی در عرصه کپه کاری‌شده و در عمق ۰ تا ۱۵ سانتی‌متری خاک به ترتیب با مقادیر ($1/949 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ soil h}^{-1}$)، ($13/85 \text{ mg kg}^{-1}$) و ($260/00 \text{ mg kg}^{-1}$) و ($2/136 \text{ kg}^{-1} \text{ soil h}^{-1}$)، و ($13/85 \text{ mg kg}^{-1}$) مشاهده شد. در مقابل، کمترین مقادیر این شاخص‌ها در عرصه شاهد و عمق ۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متری به ترتیب برابر $0/599$ ، $0/660$ ، $141/00$ و $10/25$ ثبت گردید. همچنین، بیشترین نسبت کربن زیست‌توده میکروبی به نیتروژن زیست‌توده میکروبی در عرصه کپه کاری و عمق ۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متری ($19/60$) و کمترین مقدار آن در عرصه شاهد و همین عمق ($13/77$) مشاهده شد (جدول ۷).

جدول ۶- تجزیه واریانس اثر کپه کاری، عمق خاک و اثر متقابل آن‌ها بر ویژگی‌های بیولوژیکی خاک

متغیر	df	تنفس پایه ($\text{mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ soil h}^{-1}$)	تنفس برانگیخته ($\text{mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ soil h}^{-1}$)	کربن زیست‌توده میکروبی (mg kg^{-1})	نیتروژن زیست‌توده میکروبی (mg kg^{-1})	نسبت کربن زیست‌توده میکروبی به نیتروژن زیست‌توده میکروبی (mg kg^{-1})
کپه کاری	۱	۱۱۰۹۰/۱۳ ^{**}	۸۶۲/۳۴ ^{**}	۷۳۴۷/۶۵ ^{**}	۹۹۴/۹۰ ^{**}	۷۵۴/۹۱ ^{**}
عمق	۱	۷۴۰/۷۲ ^{**}	۱۳۴۶/۶۶ ^{**}	۲۷۳/۶۴ ^{**}	۲۹۹/۲۰ ^{**}	۰/۵۴ ^{ns}
کپه کاری×عمق	۱	۶۲/۲۷ ^{**}	۱۹۲/۳۹ ^{**}	۳/۷۴ ^{ns}	۵/۶۴ [*]	۱۳/۴۸ ^{**}
خطا	۸	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۴/۰۶	۰/۰۱۶	۰/۱۰۵

ns: غیرمعنی‌دار، *: معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، **: معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

جدول ۷- میانگین ویژگی‌های بیولوژیکی خاک در دو عرصه کپه کاری و شاهد و عمق‌های مختلف نمونه برداری

عرصه مورد مطالعه	عمق (سانتی- متر)	تنفس پایه ($\text{mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ soil h}^{-1}$)	تنفس برانگیخته ($\text{mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ soil h}^{-1}$)	کربن زیست توده میکروبی (mg kg^{-1})	نیتروژن زیست توده میکروبی (mg kg^{-1})	نسبت کربن زیست توده میکروبی به نیتروژن زیست توده میکروبی (mg kg^{-1})
کپه کاری	۱۵-۰	۱/۹۴۹	۲/۱۳۶	۲۶۰/۰۰	۱۳/۸۵	۱۸/۷۷
کپه کاری	۳۰-۱۵	۱/۱۶۶	۱/۰۰۶	۲۴۳/۰۰	۱۲/۴۰	۱۹/۶۰
شاهد	۱۵-۰	۱/۰۳۰	۱/۱۷۰	۱۶۲/۵۰	۱۱/۳۵	۱۴/۳۲
شاهد	۳۰-۱۵	۰/۵۹۹	۰/۶۶۰	۱۴۱/۰۰	۱۰/۲۵	۱۳/۷۷

بحث

این پژوهش به ارزیابی اثرات کپه کاری بر شاخص‌های پوشش گیاهی، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و شاخص‌های بیولوژیکی خاک در مراتع کوهستانی در منطقه تنگ سرخ پرداخت. نتایج حاصل از مقایسه مناطق تحت عملیات با مناطق شاهد نشان داد که کپه کاری توانسته است فرایندهای اکولوژیک مؤثر بر پایداری اکوسیستم مرتعی را فعال سازد. محققین بر این باور هستند، اقدامات بیولوژیکی در احیای مراتع، از جمله بذرکاری، نهال کاری و کپه کاری، به همراه مداخلات مکانیکی، ابزاری مهم برای بازگرداندن ساختار و عملکرد اکوسیستم‌های تخریب یافته محسوب می‌شوند (معمری و همکاران، ۱۴۰۴). در این زمینه Block et al. (2001) اشاره کرده‌اند، هدف نهایی احیای اکولوژیک، بازگرداندن عملکردهای طبیعی اکوسیستم و ایجاد پایداری بلندمدت در چرخه مواد و انرژی است؛ از این رو ارزیابی اثربخشی عملیات احیا بر اساس مقایسه با مناطق شاهد، رویکردی ضروری و معتبر برای سنجش میزان موفقیت آن است (Zhang, 2005). نتایج تحقیق حاضر نشان داد، کپه کاری طی دوره‌ای زمانی بررسی شده، افزایش معنی داری در پوشش گیاهی، لاشبرگ و کاهش قابل توجهی در خاک لخت و سنگریزه ایجاد کرده است. این تغییرات نشان از احیای فرایندهای تثبیت خاک، ارتقای کارکرد حفاظتی سطح خاک و بهبود وضعیت هیدرولوژیک اکوسیستم دارد. همخوانی نتایج این تحقیق با مطالعات میرزایی و همکاران (۱۳۹۷) و رضایی و دهداری (۱۳۹۷) که افزایش پوشش گیاهی و کاهش فرسایش پذیری را گزارش کرده‌اند، نشان می‌دهد که کپه کاری در اکوسیستم‌های مرتعی می‌تواند تأثیری مشابه بر کارکرد سطحی خاک داشته باشد. از منظر مکانیسمی، کپه‌ها با ایجاد فرورفتگی‌های موضعی در سطح خاک، سرعت رواناب را کاهش داده و فرصت نفوذ آب را فراهم می‌کنند. افزایش رطوبت خاک در حضور پوشش گیاهی بیشتر، کاهش تبخیر سطحی، تحریک فعالیت میکروبی و تولید خاکدانه‌های پایدارتر موجب بهبود پیوسته‌ی کیفیت خاک می‌شود (احمدوند و اختری، ۱۴۰۳). این چرخه مثبت افزایش رطوبت، فعالیت میکروبی، تولید لاشبرگ و حفاظت بهتر خاک همان سازوکاری است که پایداری بلندمدت اثرات احیا را تضمین می‌کند. نتایج Gao et al. (2024) تأیید می‌کند که پایداری تولید زیتوده و افزایش کارایی جذب کربن در اکوسیستم‌های احیاشده طی بیش از یک دهه ادامه دارد. نتایج مربوط به ویژگی‌های فیزیکی خاک نشان داد که کپه کاری با افزایش درصد رس و کاهش درصد شن و میانگین قطر ذرات، بهبود قابل توجهی در ساختمان خاک ایجاد کرده است. رسوب گذاری مجدد ذرات ریز و کاهش فرسایش آبی از مکانیسم‌های اصلی این بهبود هستند که مطابق با یافته‌های کمالی و همکاران (۱۳۹۹) می‌باشد. نقش ماده آلی در سیمانی کردن ذرات و تسهیل تشکیل خاکدانه‌های پایدار نیز در این میان برجسته است (Ternan et al., 1996). از نظر ویژگی‌های شیمیایی، افزایش معنی دار ماده آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، فسفر و پتاسیم نشان دهنده ارتقای حاصل خیزی خاک است. ماده آلی افزوده شده از طریق افزایش زیست توده گیاهی و ریشه‌ای، هم منبع مستقیم عناصر غذایی است و هم ظرفیت خاک برای نگهداری عناصر ضروری را افزایش می‌دهد (Rasiah and Kay, 1994). همخوانی این الگو با نتایج محسنی و همکاران (۱۴۰۳) و توافق آن با روندهای مشاهده شده در مطالعات Gao et al. (2024) نشان می‌دهد که احیای پوشش گیاهی در مناطق نیمه خشک، در یک دوره چندساله می‌تواند باعث افزایش پایداری کربن خاک و تقویت چرخه مواد شود. ثبات اسیدیته در مناطق کپه کاری شده و شاهد، همراه با کاهش هدایت الکتریکی خاک در مناطق احیاشده مطابق با یافته‌های Teague and Kreuter (2020)، بیانگر آن است که مدیریت حفاظتی و افزایش پوشش گیاهی می‌تواند نقش مؤثری در جلوگیری از تجمع نمک‌ها و تعدیل تنش شوری داشته باشد. همچنین نتایج تحقیقات قبادی و اختری (۱۳۹۹) یادآوری می‌کند که واکنش خاک به احیا ممکن است در اقلیم‌های مختلف متفاوت باشد و این امر ضرورت بررسی‌های بوم‌سازهای در مناطق متنوع را تقویت می‌کند. بر اساس نتایج مطالعه حاضر، افزایش قابل توجه کربن و نیتروژن زیست توده میکروبی و نرخ تنفس خاک نشان از فعال شدن



مجدد جامعه میکروبی و احیای چرخه‌های بیوشیمیایی دارد. این نتایج با نظریه‌های مرتبط با نقش ماده آلی، رطوبت و کیفیت فیزیکوشیمیایی خاک در شکل‌گیری جامعه میکروبی سازگار است (Dasgupta and Brahmaprakash, 2021; Sui et al., 2021). افزایش نسبت MBC/MBN نیز بر تغییر استراتژی‌های مصرف منابع و سازگاری جامعه میکروبی با شرایط بهتر خاک دلالت دارد. مطابق با یافته‌های دیگر مطالعات می‌توان بیان کرد، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک مهم‌ترین پیش‌بینی‌کننده تغییرات جامعه میکروبی هستند و احیای جامعه میکروبی، باعث افزایش حاصل‌خیزی و بهبود عملکرد اکوسیستم محسوب می‌شود (Sadeghi et al., 2023; Guo et al., 2022; Gayan et al., 2023). نقش تعیین‌کننده مدیریت احیایی نسبت به اثرات عمقی خاک (Trivedi et al., 2016) نیز یافته‌های این مطالعه را تأیید می‌کند.

محدودیت‌های تحقیق (Limitations)

یکی از محدودیت‌های روش شناختی این پژوهش، طراحی مشاهده‌ای-مقایسه‌ای (Observational/Comparative) آن است؛ به گونه‌ای که به جای استقرار پلات‌های ثابت و انجام اندازه‌گیری‌های قبل و بعد از اجرای عملیات، دو عرصه مجزا (کپه‌کاری شده و شاهد) با یکدیگر مقایسه شدند. با این حال به منظور کاهش خطای ناشی از این نوع طراحی، تلاش شد عرصه‌های مورد مطالعه با حداکثر همگنی از نظر ویژگی‌های اکولوژیکی از جمله ویژگی‌های خاک، فیزیوگرافی، اقلیم و مدیریت چرا، انتخاب شوند و این همگنی به عنوان راهکاری برای کاهش خطای ناشی از عدم استفاده پلات‌های ثابت قبل و بعد از آزمون در نظر گرفته شود. شایان ذکر است که عملیات کپه‌کاری تنها در یک سایت اجرا شده و تکرار در سطح مکان (اجرای تیمار در چند منطقه مستقل) وجود ندارد. این موضوع از محدودیت‌های مطالعه محسوب می‌شود و انجام پژوهش‌های مشابه در مناطق مختلف با شرایط اقلیمی، خاکی و مدیریتی متفاوت به منظور تأیید و افزایش قابلیت تعمیم نتایج ضروری به نظر می‌رسد. اگرچه دوره ۱۴ ساله برای آشکار شدن تغییرات زیستی و شیمیایی خاک (مانند کربن و نیتروژن زیست‌توده میکروبی و ماده آلی) کافی به نظر می‌رسد، اما برای بروز کامل برخی تغییرات فیزیکی خاک، به ویژه ویژگی‌هایی مانند بافت و ساختمان خاک، ممکن است به دوره‌های زمانی طولانی‌تر نیاز باشد.

نتیجه‌گیری

به طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد، عملیات کپه‌کاری قابلیت زیادی در احیای مراتع کوهستانی دارد. کپه‌کاری به طور همزمان باعث بهبود ابعاد مختلف اکوسیستم مرتع شد. این عملیات با افزایش معنی‌دار پوشش گیاهی، کارکرد حفاظتی خاک را تقویت کرده است. از جنبه کیفی خاک نیز، کپه‌کاری منجر به بهبود شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی خاک شده است. از مهم‌ترین تاثیرهای کپه‌کاری در مراتع تنگ‌سرخ، اثر مثبت آن در احیای جامعه میکروبی خاک و شتاب بخشی به چرخه‌های حیاتی خاک است که نشان‌دهنده بازایی سلامت و عملکرد اکوسیستم می‌باشد. در نتیجه، می‌توان اذعان داشت که کپه‌کاری نه تنها یک عملیات مؤثر برای اصلاح مرتع است، بلکه با ایجاد شرایط مساعد برای استقرار گیاهان و فعالیت بیولوژیک، پایه‌ای برای احیای پایدار فراهم می‌آورد. جهت به حداکثر رسیدن اثرات احیای بیولوژیک با عملیات کپه‌کاری در بلندمدت بهتر است این عملیات به عنوان جزء اصلی و هماهنگ در برنامه‌های مدیریت جامع و مشارکتی مراتع کوهستانی همواره مد نظر قرار گیرد. تلفیق کپه‌کاری با اعمال نظام چرای مناسب می‌تواند به اثربخشی و سرعت موفقیت احیا کمک زیادی نماید. انجام مطالعات بلندمدت برای بررسی تداوم اثرات کپه‌کاری تحت شرایط مختلف اقلیمی و مدیریتی و نیز پژوهش‌های مقایسه‌ای در خصوص بهینه‌سازی فنی این روش در عرصه‌های مختلف مرتعی پیشنهاد می‌گردد.

ملاحظات اخلاقی

حامی مالی

مقاله حاضر با حمایت مالی و معنوی معاونت پژوهشی دانشگاه یاسوج انجام شد.

مشارکت نویسندگان

مقاله تک نویسنده می‌باشد.

اعلامیه هوش مصنوعی مولد و فناوری‌های مبتنی بر هوش مصنوعی در فرایند نگارش

نویسندگان از هیچ نوع فناوری مبنی بر هوش مصنوعی در فرایند نگارش استفاده نکرده‌اند.

بیانیه دسترسی به داده‌ها

داده‌هایی پژوهش حاضر از طریق درخواست از نویسندگان قابل دسترسی است.

سپاسگزاری

این پژوهش در چارچوب فرصت مطالعاتی صنعت و جامعه انجام شده است. از مسئولین محترم دانشگاه یاسوج، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، مسئولین محترم مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کهگیلویه و بویراحمد که با مساعدت‌های خود زمینه تحقق این پروژه را فراهم آوردند، صمیمانه قدردانی می‌شود.

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

نویسنده اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده است.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

منابع

- احمدوند، مریم، و اختری، داوود (۱۴۰۳). بررسی اثر کپه‌کاری و قرق بر خصوصیات خاک مراتع (مطالعه موردی: مراتع دارانی علیا، شهرستان تویسرکان، استان همدان). *انسان و محیط زیست*، ۲۲ (۱): ۱۳-۱.
- اکبرزاده، پیمان، و نیکو، شیما (۱۴۰۱). اثر تغییر کاربری اراضی بر کیفیت آب زیرزمینی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز دامغان). *کوهپایه‌پژوهی*، ۹ (۲): ۴۳۷-۴۵۹. <http://doi.org/10.22059/ije.2022.340711.1622>
- جنیدی، حامد، کاکه‌خانی، سلام، و کمالی، نادیا (۱۴۰۳). مقایسه خصوصیات فیزیکوشیمیایی و زیستی خاک در عملیات اصلاحی مرتع. *مرتع*، ۱۷ (۱): ۱۱۸-۱۳۱. <http://doi.org/20.1001.1.20080891.1403.18.1.7.3>
- دهداری، سمیه، خورسندی کوهانستانی، زهره، و نعودست، فریبا (۱۴۰۴). ارزش‌گذاری اقتصادی خدمات اکوسیستمی در راستای پایداری اکولوژیکی (منطقه مورد مطالعه: حوزه آبخیز ورگر). *کسب و کار/اجتماعی*، ۲ (۱): ۵۶-۴۵. <http://doi.org/10.22059/jsbu.2025.391739>
- رضایی، الهام، و دهداری، سمیه (۱۳۹۷). تغییر عملکرد پوشش گیاهی مراتع، تحت تأثیر عملیات اصلاح بیولوژیکی (مطالعه موردی: مراتع زالواب آبدانان). *نشریه علمی - پژوهشی مرتع و آبخیزداری*، ۷۱ (۴): ۹۳۸-۹۲۹. <http://doi.org/10.22059/jrwm.2019.244653.1181>
- فرضی، حامد، تمرتاش، رضا، جعفریان، زینب، و طاطیان، محمدرضا (۱۳۹۸). اثر اقدامات احیائی بر تغییر عملکرد پوشش گیاهی در مراتع دامنه‌های جنوبی البرز مرکزی. *نشریه علمی - پژوهشی مرتع و آبخیزداری*، ۱۲ (۲): ۵۰۵-۵۱۵. <http://doi.org/10.22059/jrwm.2019.264094.1290>
- قبادی، عباس، و اختری، داوود (۱۳۹۹). تأثیر قرق بر برخی خصوصیات شیمیایی و آلی خاک (مطالعه موردی: حوضه گنبد شهر همدان). *فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست*، ۲۲ (۱۰): ۲۳۲-۲۲۱. <http://doi.org/10.22034/jest.2021.32769.4059>
- کریمیان، وحید، و بارانی، حسین (۱۴۰۳). شناسایی گیاهان دارویی-صنعتی پرکاربرد مراتع بیابانی و بررسی آگاهی جامعه محلی نسبت به آنها در شهرستان خواف، خراسان رضوی. *مدیریت بیابان*، ۱۲ (۴): ۶۲-۴۱. <http://doi.org/10.22034/jdml.2025.2045459.1490>
- کریمیان، وحید، سپهری، عادل و بارانی، حسین (۱۳۹۷). اثر شیوه‌های مختلف بهره‌برداری از آنگوزه (*Ferula assa foetida* L.) بر تولید شیرابه (مطالعه موردی: مراتع تنگ‌سرخ، استان کهگیلویه و بویراحمد). *مرتع*، ۱۲ (۳): ۲۹۵-۳۰۴. <http://rangelandsrm.ir/article-1-644-fa.html>
- کمالی، نادیا، سوری، مهشید، افتخاری، علیرضا، و عشوری، پروانه (۱۳۹۹). اثر سطوح مختلف حفاظتی-مدیریتی مرتع بر توزیع کربن آلی در اجزاء اندازه‌ای خاک (مطالعه موردی: سالوک، خراسان شمالی). *مرتع*، ۱۴ (۱): ۹۵-۸۵. <http://rangelandsrm.ir/article-1-868-fa.html>
- محسنی، صمد، طولی، علی، جعفری، محمد، و وهاب‌زاده، رحمان (۱۴۰۳). ارزیابی تأثیر پروژه‌های نهال‌کاری بر خصوصیات خاک و پوشش گیاهی در شوره‌زارهای حاشیه دریاچه ارومیه. *مرتع*، ۱۸ (۲): ۱۹۳-۱۶۹. <http://rangelandsrm.ir/article-1-795-fa.html>
- معمری، مهدی، محمدی‌راد، زهرا، نوری، داریوش، و قربانی، اردوان (۱۴۰۴). ارزیابی شاخص‌های موثر بر مدیریت مراتع از دیدگاه بهره‌برداران بومی در شهرستان نیر-اردبیل. *مرتع*، ۱۹ (۲): ۲۴۵-۲۲۶. <http://rangelandsrm.ir/article-1-1311-fa.html>
- میرزایی، محمدرضا، غلامی، پرویز، و جهانتاب، اسفندیار (۱۳۹۷). تغییر در ترکیب و تنوع گونه‌ای مراتع نیمه‌استپی زاگرس تحت تأثیر عملیات احیای بیولوژیک. *مرتع*، ۱۲ (۳): ۳۴۰-۳۳۰. <http://rangelandsrm.ir/article-1-647-fa.html>

REFERENCES

- Ahmadvand, M., & Akhzari, D. (2024). Studying the effect of exclosure and pit-seeding on soil properties of rangelands (Case study: Darani Rangelands, Tuyserkan City, Hamadan Province). *Human &*



- Environment*, 22(1), 1–13. (In Persian)
- Akbarzadeh, P., & Nikoo, S. (2022). Effects of land use change on groundwater quality (Case study: Damghan Watershed). *Iranian Journal of Ecohydrology*, 9(2), 437–459. <https://doi.org/10.22059/ije.2022.340711.1622> (In Persian)
- Akhzari, D., & Talebi, S. (2025). Effects of *Bromus kopetdaghensis* Drobov pit-seeding on soil and vegetation characteristics in a semi-arid rangeland. *ECOPERSIA*, 13(3), 243–252. <https://doi.org/10.22034/ECOPERSIA.13.3.243>
- Álvarez-Holguín, A., Morales-Nieto, C. R., Corrales-Lerma, R., et al. (2024). Grass species with potential for rangelands restoration in northern Mexico: An assessment with environmental niche modeling. *Scientific Reports*, 14, 6318. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-56918-1>
- Bardgett, R. D., Bullock, J. M., Lavorel, S., et al. (2021). Combatting global grassland degradation. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2, 720–735. <https://doi.org/10.1038/s43017-021-00207-2>
- Bastani, M., Sadeghipour, A., Kamali, N., Zarafshar, M., & Bazoot, S. (2023). How does livestock graze management affect woodland soil health? *Frontiers in Forests and Global Change*, 6, 1–8. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2023.1028149>
- Bengtsson, J., Bullock, J. M., Egoh, B., Everson, C., Everson, T., O'Connor, T., et al. (2019). Grasslands more important for ecosystem services than you might think. *Ecosphere*, 10(2), e02582. <https://doi.org/10.1002/ecs2.2582>
- Block, W. M., Franklin, A. B., Wardyr, J. P., Ganey, J. L., & White, G. C. (2001). Design and implementation of monitoring studies to evaluate the success of ecological restoration of wildlife. *Restoration Ecology*, 9(3), 293–303. <https://doi.org/10.1046/j.1526-100x.2001.009003293.x>
- Chapman, H. (1965). Cation exchange capacity. In *Methods of soil analysis: Part 2. Chemical and microbiological properties*.
- 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.
- Dasgupta, D., & Brahmaprakash, G. (2021). Soil microbes are shaped by soil physico-chemical properties: A brief review of existing literature. *International Journal of Plant & Soil Science*, 33, 59–71. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2021/v33i130409>
- Dehdari, S., Khorsandi Kouhanestani, Z., & Noedoost, F. (2025). Economic valuation of ecosystem services in the context of ecological sustainability (Study area: Vargar Basin pastures). *Social Business*, 2(1), 46–56. <https://doi.org/10.22059/jsbu.2025.391739.1014> (In Persian)
- Farzi, H., Tamartash, R., Jafarian, Z., & Tatian, M. R. (2019). Investigation of biological effects on vegetation change and soil sequestration in rangelands of the southern hills of central Alborz. *Journal of Range and Watershed Management*, 72(2), 505–515. <https://doi.org/10.22059/jrwm.2019.264094.1290> (In Persian)
- Gao, Y., Liu, L., Ma, S., Zhou, Y., Jia, R., Li, X., & Wang, B. (2024). Vegetation restoration in dryland with shrub serves as a carbon sink: Evidence from a 13-year observation at the Tengger Desert of Northern China. *Land Degradation & Development*, 35(1), 102–113. <https://doi.org/10.1002/ldr.4900>
- Gayán, A., Borah, P., Nath, D., & Katakai, R. (2023). Soil microbial diversity, soil health and agricultural sustainability. In *Sustainable agriculture and the environment* (pp. 107–126). <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90500-8.00006-3>
- Ghobadi, A., & Akhzari, D. (2021). Effects of rangeland exclosure on chemical and organic properties of soil (Case study: Gonbad Area). *Journal of Environmental Science and Technology*, 22(10), 221–232. <https://doi.org/10.22034/jest.2021.32769.4059> (In Persian)
- Guo, Y., Wu, J., & Yu, Y. (2022). Differential response of soil microbial community structure in coal mining areas during different ecological restoration processes. *Processes*, 10(10), 2013. <https://doi.org/10.3390/pr10102013>
- Joneidi, H., Kakekhani, S., & Kamali, N. (2024). Comparison of physicochemical and biological soil properties under different rangeland management practices. *Journal of Rangeland*, 18(1), 119–131. <https://doi.org/20.1001.1.20080891.1403.18.1.7.3> (In Persian)
- Kamali, N., Soori, M., Eftekhari, A., & Ashoori, P. (2020). Protection levels and distribution of organic carbon in size fractions of soil (Case of: Salook, North Khorasan). *Journal of Rangeland*, 14(1), 85–95. <http://rangelandsrm.ir/article-1-868-fa.html> (In Persian)
- Kamali, N., Sadeghipour, A., Souri, M., & Mastinu, A. (2022). Variations in soil biological and biochemical indicators under different grazing intensities and seasonal changes. *Land*, 11(9), 1537. <https://doi.org/10.3390/land11091537>

- Karimian, V., & Barani, H. (2025). Identifying commonly used medicinal and industrial plants in desert rangelands and investigating local community awareness about them (Case study: Khaf County, Khorasan Razavi Province). *Desert Management*, 12(4), 41–62. <https://doi.org/10.22034/jdmal.2025.2045459.1490> (In Persian)
- Karimian, V., Sepehri, A., & Barani, H. 2018. Effects of different utilization methods of *Ferula assa foetida* L. on oleo-gum-resin production (Case Study: Tangsorkh rangeland, Kohgiluyeh and Boyerahmad province). *Journal of Rangeland*, 12(3), 304–295. <http://rangelandsrm.ir/article-1-644-fa.html> (In Persian)
- Mirzaee, M., Gholami, P., & Jahantab, E. (2018). Species composition and diversity changes in semi-steppe rangelands of Zagros under biological restoration. *Journal of Rangeland*, 12(3), 330–340. <http://rangelandsrm.ir/article-1-647-fa.html> (In Persian)
- Moameri, M., Mohammadi Rad, Z., Noori, D., & Ghorbani, A. (2025). Assessment of key indicators influencing rangeland management: Perspectives of local stakeholders in Nir County, Ardabil. *Journal of Rangeland*, 19(2), 226–245. <http://rangelandsrm.ir/article-1-1311-fa.html> (In Persian)
- Mohseni, S., Tavili, A., Jafari, M., & Vahabzadeh, R. (2024). Evaluation of the effect of planting projects on soil and vegetation characteristics in the salt lands along Lake Urmia. *Journal of Rangeland*, 18(2), 169–183. <http://rangelandsrm.ir/article-1-795-fa.html> (In Persian)
- Moradi, H. R., Rezaei, V., & Erfanian, M. (2024). Investigation of physicochemical characteristics of soil in badland areas formation. *Researches in Earth Sciences*, 15(3), 91–105. <https://doi.org/10.48308/esrj.2021.101282>
- 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. <https://doi.org/10.3390/su122310095>
- Rasiah, V., & Kay, B. D. (1994). Characterizing changes in aggregate stability subsequent to introduction of forages. *Soil Science Society of America Journal*, 58, 935–942. <https://doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800030042x>
- Rezaei, E., & Dehdari, S. (2019). Effects of biologically improvement treatments on vegetation performance (Case study: Zalo Ab Abdanan rangelands). *Journal of Range and Watershed Management*, 71(4), 929–938. <https://doi.org/10.22059/jrwm.2019.244653.1181> (In Persian)
- Sadeghi, S., Petermann, B. J., Steffan, J., Brevik, E., & Gedeon, G. (2023). Predicting microbial responses to changes in soil physical and chemical properties under different land management. *Applied Soil Ecology*, 188, 104878. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2023.104878>
- Schuman, G. E., Janzen, H. H., & Herrick, J. E. (2002). Soil carbon dynamics and potential carbon sequestration by rangelands. *Environmental Pollution*, 116, 391–396.
- 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. <https://doi.org/10.2135/cropsci2018.09.0594>
- Sui, X., Zhang, R., Frey, B., Yang, L., Liu, Y., Ni, H., & Li, M. H. (2021). Soil physicochemical properties drive the variation in soil microbial communities along a forest successional series in a degraded wetland in northeastern China. *Ecology and Evolution*, 11, 2194–2208. <https://doi.org/10.1002/ece3.7184>
- Teague, R., & Kreuter, U. (2020). Managing grazing to restore soil health, ecosystem function, and ecosystem services. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 534187. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.534187>
- Ternan, J. L., Williams, A. G., Elmes, A., & Hartley, R. (1996). Aggregate stability of soils in central Spain and the role of land management. *Earth Surface Processes and Landforms*, 21, 181–193.
- Trivedi, P., Delgado-Baquerizo, M., Anderson, I. C., & Singh, B. K. (2016). Response of soil properties and microbial communities to agriculture: Implications for primary productivity and soil health indicators. *Frontiers in Plant Science*, 7, 990. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00990>
- U.S. Salinity Laboratory Staff. (1954). *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils* (L. A. Richards, Ed.). USDA Handbook No. 60. U.S. Government Printing Office.
- Wang, Y., Lv, W., Xue, K., et al. (2022). Grassland changes and adaptive management on the Qinghai–Tibetan Plateau. *Nature Reviews Earth & Environment*, 3, 668–683. <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00330-8>
- Xu, H., Zhang, Z., Yu, X., Li, T., & Chen, Z. (2023). The construction of an ecological security pattern based on the comprehensive evaluation of the importance of ecosystem service and ecological sensitivity: A case of Yangxin County, Hubei Province. *Frontiers in Environmental Science*, 11, 1154166. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1154166>
- Zhang, J. T. (2005). Succession analysis of plant communities in abandoned croplands in the Eastern Loess Plateau of China. *Journal of Arid Environments*, 63(2), 458–474.