



Investigating the effect of the integrated system of semi-circular bunds with seed sowing on vegetation and species diversity in dry rangelands (Case study: Esfakany Rangelands, Boshrouyeh, South Khorasan)

Sayyed Hossein Solaimani¹, Moslem Rostampour^{2*}, Reza Yari³

¹ Former M.Sc. Student, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Birjand, Birjand, Iran. E-mail: solaimani.s.h@gmail.com

² Associate Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, the Research Group on Future Studies in Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Birjand, Birjand, Iran. E-mail: rostampour@birjand.ac.ir

³ Assistant Professor, Khorasan-e-Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Mashhad, Iran. E-mail: yarireza1364@gmail.com

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Article type: Research Paper Article history Received: 10 June 2026 Revised: 11 July 2026 Accepted: 11 July 2026 Published online: 12 September 2026 Keywords: Degraded rangelands, semi-circular bunds, soil surface cover, species diversity Citation: Solaimani, S. H., Rostampour, M., & Yari, R. (2026). Investigating the effect of the integrated system of semi-circular bunds with seed sowing on vegetation and species diversity in dry rangelands (Case study: Esfakany Rangelands, Boshrouyeh, South Khorasan). <i>Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems</i>, 14(3), 39-54. DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.3.5.6 Publisher: Iranian Rainwater Catchment Systems Association	The objective of the present study was to investigate the effect of the integrated system of semi-circular bunds with seed sowing inside them on soil surface cover characteristics and biodiversity in the rangelands of Esfakany, Boshrouyeh, South Khorasan Province. Vegetation sampling was conducted in the spring of 2024, during the flowering stage of dominant plants, using a systematic-random method with quadrats. Vegetation characteristics, including density, composition, percentage of soil surface cover, number of species, species richness indices (Margalef, Chao1, and Menhinick), species diversity indices (Simpson and Shannon-Wiener), species evenness (Pielou), and Simpson's dominance, were measured and compared across three areas (inside the semi-circular bunds, outside the semi-circular bunds, and control). The results showed that the effect of semi-circular bunds combined with seed sowing on cryptogam cover, litter, stone and gravel cover, and vegetation cover was significant ($p \leq 0.05$), but its effect on bare soil percentage was not significant ($p \geq 0.05$). Furthermore, the semi-circular bunds significantly affected the number of species, number of individuals, Simpson's dominance, Margalef richness, Chao1 richness, and Shannon and Simpson diversity indices, while their effects on Menhinick richness and species evenness were not significant ($p \geq 0.05$). The results of the omega-squared effect size indicated that the semi-circular bunds had the greatest effect on the species number of individuals (0.96) and the least effect on Menhinick richness (0.31). The chi-square goodness-of-fit test showed that in both inside and outside the semi-circular bunds, the log-normal model fitted the species abundance distribution data well, indicating that the species frequency distribution follows a log-normal pattern and reflects stable and diverse communities in these areas.



© Author(s)

***Corresponding author:** Moslem Rostampour

Address: Department of Rangeland and Watershed Management, Research Group of Drought and Climate Change, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Birjand, Birjand, Iran.

Tel: +989151637869

Email: rostampour@birjand.ac.ir



Investigating the effect of the integrated system of semi-circular bunds with seed sowing on vegetation and species diversity in dry rangelands (Case study: Esfakany Rangelands, Boshrouyeh, South Khorasan)

Sayyed Hossein Solaimani¹, Moslem Rostampour^{2*}, Reza Yari³

¹ Former M.Sc. Student, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Birjand, Birjand, Iran. E-mail: solaimani.s.h@gmail.com

² Associate Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, the Research Group on Future Studies in Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Birjand, Birjand, Iran. E-mail: rostampour@birjand.ac.ir

³ Assistant Professor, Khorasan-e-Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Mashhad, Iran. E-mail: yarireza1364@gmail.com

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: Water is fundamental to ecosystem functioning, soil health, and biodiversity conservation; however, its uneven spatial and temporal distribution has led to severe water scarcity in many parts of the world, underscoring the need for sustainable water management strategies. Among these strategies, rainwater harvesting systems—particularly semi-circular bunds—play an important role in enhancing surface runoff infiltration and improving soil moisture storage. In arid and semi-arid regions, rainfall is typically low and irregular, often occurring as short, intense events that exceed the soil's infiltration capacity. Consequently, substantial amounts of surface runoff are generated and lost before being utilized by vegetation, which in turn exacerbates land degradation and desertification processes. In such environments, traditional rainwater harvesting systems have long served as critical tools for water resource management, with earlier generations developing innovative methods to capture scarce water for domestic, livestock, and agricultural uses. Semi-circular bunds are among the most effective runoff harvesting techniques in arid and semi-arid landscapes. These semi-circular structures, constructed on slopes, intercept surface runoff and retain it within the basin, thereby promoting infiltration, reducing soil erosion, and improving conditions for vegetation establishment. Numerous studies have demonstrated that these structures can substantially increase rangeland plant production, influence vegetation characteristics, and enhance soil moisture storage. However, some research has shown that their positive effects on vegetation cover may be more pronounced in wet years. Despite the extensive body of research addressing their role in improving soil moisture and vegetation cover, the effects of semi-circular bunds on biodiversity and species richness have received comparatively little attention. Therefore, the present study evaluates the influence of semi-circular bunds on vegetation cover indices in the Esfakany rangelands of Boshrouyeh, South Khorasan Province, with the aim of addressing this knowledge gap.

Methodology: The study area was located in Boshrouyeh, South Khorasan Province, Iran. The Esfakany rangeland covers an area of 4,217.6 hectares in the southwestern part of the county. The mean elevation of the area is 1,261.2 meters, the average slope is 23.6%, and the mean annual rainfall is 113.93 mm. Construction of semi-circular bunds, together with seed sowing, was implemented across 503.2 hectares, followed by enclosure of the area. The semi-circular bunds were constructed in 2017 over approximately 195 hectares. Vegetation sampling was conducted in May 2024 across three treatments: inside the semi-circular bunds, outside the semi-circular bunds within the same operational area, and an untreated control area. In the outside-bund and control treatments, three 100-meter transects were established, and ten two-square-meter plots were placed along each transect, resulting in 30 plots per treatment. Within each plot, species identity, percentage cover, and density were recorded. In addition, total vegetation cover, cryptogam cover, litter percentage, stone and gravel percentage, and bare soil percentage were measured. The following biodiversity indices were calculated: species richness, abundance, Simpson dominance, Shannon diversity, Margalef richness, Simpson diversity, Chao1 richness, Pielou evenness, and Menhinick richness. Treatment effects were tested using one-way analysis of

***Corresponding author:** Moslem Rostampour

Address: Department of Rangeland and Watershed Management, Research Group of Drought and Climate Change, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Birjand, Birjand, Iran.

Tel: +989151637869

Email: rostampour@birjand.ac.ir

variance (ANOVA), followed by Tukey's post hoc test at $\alpha = 0.05$. Effect size was estimated using omega-squared (ω^2). The chi-square goodness-of-fit test was applied to assess four ecological abundance models: geometric series, logarithmic series, broken stick, and log-normal. Rényi diversity ordering curves were used to compare biodiversity among treatments. All statistical analyses were performed in R software.

Results and Discussion: One-way ANOVA revealed significant differences among treatments for vegetation cover, cryptogam cover, litter, and stone and gravel indices, while no significant difference was found for bare soil. Vegetation cover showed the highest susceptibility to the semi-circular bunds combined with seed sowing ($p < 0.001$, $F = 122.1$) with a very large effect size ($\omega^2 = 0.96$). Cryptogam index was significantly affected ($p = 0.007$, $F = 12.6$; $\omega^2 = 0.72$). Litter showed significant differences ($p = 0.005$, $F = 14.3$; $\omega^2 = 0.74$). Stone and gravel were significantly affected ($p = 0.010$, $F = 10.8$; $\omega^2 = 0.68$). No significant difference was found for bare soil ($p = 0.452$, $F = 0.90$). Vegetation cover percentages inside the semi-circular bunds were three to four times higher than outside and control areas (37.13%, 10.52%, and 4.22%, respectively). The integrated system of semi-circular bunds with seed sowing significantly affected biodiversity indices ($p \leq 0.05$). Omega-squared results showed the greatest effect on abundance (0.96) and the least on Menhinick richness (0.31). Rényi diversity plots showed that the inside of the semi-circular bund curves above others, indicating greater species richness and biodiversity. The chi-square test showed that inside the semi-circular bunds and outside the semi-circular bunds areas, the log-normal model fit well ($p > 0.05$), indicating that species frequency distribution follows patterns typical of stable, diverse communities. In the control area, no model showed significant fit, indicating degraded community structure. Previous studies have shown that semi-circular bunds increase vegetation cover by 1.5 to 3.4 times, while the present study with the integrated system of semi-circular bunds and seed sowing showed an 8.8-fold increase.

Conclusion: Three main conclusions are drawn: (1) the integrated system of semi-circular bunds with seed sowing significantly increases vegetation cover, cryptogam cover, litter accumulation, and stone and gravel cover, with vegetation cover three to four times higher than control areas, while having no significant effect on bare soil percentage. (2) The effect on biodiversity indices is substantial, with abundance showing the largest effect size and Menhinick richness the smallest. (3) Species abundance distribution follows the log-normal model in treated areas, indicating stable and diverse communities, while control areas show no fit with any common ecological models, suggesting degraded community structure. An exception is that during drought years, positive effects may be significantly diminished. The theoretical implication is that semi-circular bunds facilitate ecological succession toward more stable community states by modifying micro-hydrological conditions. Practically, these structures serve as an effective, low-cost restoration tool that requires no heavy machinery, improving soil properties such as organic matter, coarse aggregates, and nutrients, leading to soil stability, carbon sequestration, reduced flood risk, and strengthened subsurface flow. It is recommended that implementation be combined with biological operations, such as sowing native species and prioritizing indigenous shrubs, forbs, and medicinal plants. Future research should evaluate long-term effectiveness under varying climatic conditions and across different ecological zones. This approach is recommended as an effective and low-cost solution for sustainable rangeland management and restoration of arid and semi-arid ecosystems.

Ethical Considerations

Data availability statement: The datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author.

Funding: This study was conducted under the material and moral support of the University of Birjand in the form of a M.Sc. thesis.

Authors' contribution: **Solaimani, S.H.:** Conceptualization, software and statistical analyses, and writing; **Rostampour, M.:** Editing and reviewing and final control of the results; **Yari, R.:** Conceptualization, consulting, reviewing, and statistical analyses.

Conflicts of interest: The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

Acknowledgment: We would like to express our sincere gratitude to the University of Birjand for the financial and logistical supports who significantly contributed to the research project.



بررسی تأثیر سامانه تلفیقی هلالی آبگیر با بذرکاری درون هلالی بر پوشش گیاهی و تنوع گونه‌ای در مراتع خشک (مطالعه موردی: مراتع اسفکنی شهرستان بشرویه، خراسان جنوبی)

سید حسین سلیمانی^۱، مسلم رستم پور^{۲*}، رضا یاری^۳

^۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران. solaimani.s.h@gmail.com

^۲ دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، گروه پژوهشی آینده‌پژوهی در علوم محیطی، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران. rostampour@birjand.ac.ir

^۳ استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مشهد، ایران. yarireza1364@gmail.com

مشخصات مقاله	چکیده
نوع مقاله: پژوهشی تاریخچه مقاله دریافت: ۲۰ خرداد ۱۴۰۵ بازنگری: ۲۰ تیر ۱۴۰۵ پذیرش: ۲۰ تیر ۱۴۰۵ انتشار برخط: ۲۱ شهریور ۱۴۰۵ واژه‌های کلیدی: پوشش سطح خاک، تنوع گونه‌ای، مراتع تخریب شده، هلالی آبگیر	هدف از پژوهش حاضر، بررسی اثر سامانه تلفیقی هلالی آبگیر با بذرکاری درون آن بر شاخص‌های پوشش سطح خاک و تنوع زیستی در مراتع اسفکنی شهرستان بشرویه در استان خراسان جنوبی بود. نمونه‌برداری از پوشش گیاهی در بهار سال ۱۴۰۳ و در مرحله گلدهی گیاهان غالب به روش سیستماتیک-تصادفی و با استفاده از پلات انجام شد. خصوصیات پوشش گیاهی شامل تراکم، ترکیب، درصد پوشش‌های سطحی خاک، تعداد گونه، شاخص‌های غنای گونه‌ای (مارگالف، چائو و منهنیک)، تنوع گونه‌ای (سیمپسون و شانون-وینر)، یکنواختی گونه‌ای (پیلو) و غالبیت سیمپسون در سه منطقه (داخل هلالی، خارج هلالی و شاهد) اندازه‌گیری و مقایسه شد. نتایج نشان داد که اثر هلالی آبگیر همراه با بذرکاری بر پوشش کریپتوگام‌ها، لاشیرگ، سنگ و سنگریزه و پوشش گیاهی معنی‌دار بود ($p \leq 0.05$)، اما بر درصد خاک لخت تأثیر معنی‌داری نداشت ($p \geq 0.05$). همچنین هلالی آبگیر بر شاخص‌های تعداد گونه، تعداد پایه، غالبیت سیمپسون، غنای مارگالف، غنای چائو و تنوع گونه‌ای شانون و سیمپسون تأثیر معنی‌دار نشان داد، اما بر غنای منهنیک و یکنواختی گونه‌ای معنی‌دار نبود ($p \geq 0.05$). نتایج اندازه اثر مربع امگا نشان داد که هلالی آبگیر بیش‌ترین تأثیر را بر تعداد پایه (۰/۹۶) و کم‌ترین تأثیر را بر غنای منهنیک (۰/۳۱) دارد. نتایج آزمون نکویی برازش کای اسکوتر نشان داد که در مناطق داخل هلالی آبگیر و بیرون هلالی آبگیر، مدل لوگ-نرمال برازش مناسبی با داده‌های توزیع وفور گونه‌ای دارد که حاکی از پیروی توزیع فراوانی گونه‌ها از الگوی لوگ-نرمال و بیانگر جوامع پایدار و متنوع در این مناطق است.
استناد: سلیمانی، سیدحسین، رستم پور، مسلم، و یاری، رضا. (۱۴۰۵). تأثیر سامانه تلفیقی هلالی آبگیر با بذرکاری درون هلالی بر پوشش گیاهی و تنوع گونه‌ای در مراتع خشک (مطالعه موردی: مراتع اسفکنی شهرستان بشرویه، خراسان جنوبی). <i>سامانه‌های سطوح آبگیر باران</i>، ۱۴ (۳)، ۳۹-۵۴. DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.3.5.6	© نویسندگان



© نویسندگان

ناشر: انجمن علمی سیستم‌های سطوح آبگیر باران ایران

* نویسنده مسئول:

نشانی: گروه مرتع و آبخیزداری، گروه پژوهشی آینده‌پژوهی در علوم محیطی، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

تلفن: ۰۹۱۵۱۶۳۷۸۶۹

پست الکترونیکی: rostampour@birjand.ac.ir

مقدمه

آب نقشی حیاتی در حفظ سلامت بوم‌سازگان‌ها و تنوع زیستی ایفا می‌کند (Han et al., 2025). با این حال، توزیع ناموزون منابع آبی در سطح جهان، موجب تشدید کمبود شدید آب در بسیاری از مناطق شده است. این وضعیت، ضرورت توسعه راهبردهای مدیریت مؤثر و پایدار آب را برای مقابله با تهدید روزافزون کمبود آب آشکار می‌سازد (Aydin et al., 2025). کاهش منابع آبی در حوزه‌های آبخیز نیز به یکی از چالش‌های جدی زیست‌محیطی تبدیل شده است که بهره‌گیری از راهکارهای نوین در مدیریت آبخیز را اجتناب‌ناپذیر می‌کند. در این میان، اجرای سامانه‌های استحصال آب باران، از جمله پشته‌های هلالی آبگیر، نقشی کلیدی در افزایش نفوذ آب سطحی و بهبود ذخیره رطوبت خاک ایفا می‌کند (Mohammadi et al., 2025).

در مناطق خشک و نیمه‌خشک، بارندگی کم و نامنظم غالباً به صورت رگبارهای شدید رخ می‌دهد که از ظرفیت نفوذ خاک فراتر رفته و رواناب سطحی قابل توجهی ایجاد می‌کند. این امر باعث می‌شود درصد بالایی از آب، پیش از جذب توسط گیاهان از دست‌رفته و تخریب زمین و بیابان‌زایی تشدید شود. بنابراین، به کارگیری تکنیک‌های مؤثر استحصال آب باران برای افزایش نگهداشت رطوبت خاک و استقرار پایدار پوشش گیاهی ضروری است (Hosseinalizadeh et al., 2025). در این راستا، سیستم‌های سنتی استحصال آب باران در مناطق خشک و نیمه‌خشک از اهمیت حیاتی برخوردارند، زیرا نسل‌های پیشین با بهره‌گیری از دانش بومی خود، روش‌های مبتکرانه‌ای برای دستیابی به منابع آب کیماب و تأمین مصارف خانگی، دام و آبیاری توسعه دادند. این سیستم‌ها با استفاده از رواناب ناشی از سیلاب‌های فصلی و جریان‌های سطحی، زمینه‌ساز ایجاد سکونتگاه‌های پایدار و تثبیت جمعیت‌های محلی در این مناطق شدند و نقش مهمی در معیشت مردم ایفا کردند (Akalan et al., 2025).

یکی از مهم‌ترین روش‌های بهره‌برداری از آب باران و احیای مراتع، جمع‌آوری آب توسط سامانه‌های هلالی آبگیر است. این سازه‌ها با افزایش رطوبت در دسترس گیاه، شرایط لازم برای بازسازی پوشش گیاهی را فراهم می‌کنند (Delavari et al., 2014; Mahmoudi Moghaddam et al., 2015). هلالی آبگیر از جمله روش‌های مؤثر مدیریت رواناب و ذخیره رطوبت خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شوند. این سازه‌ها معمولاً به شکل نیم‌دایره بر روی شیب زمین ساخته می‌شوند تا رواناب سطحی را جمع‌آوری کرده و در داخل حوضچه ذخیره نمایند. هدف اصلی آن‌ها افزایش نفوذ آب، کاهش فرسایش خاک و بهبود شرایط برای استقرار پوشش گیاهی است (Londra et al., 2021). مطالعات متعدد نشان داده‌اند که این سازه‌ها با افزایش رطوبت خاک و تجمع رسوبات و مواد آلی، شرایط مناسب‌تری برای جوانه‌زنی و رشد گیاهان فراهم می‌کنند (Ding et al., 2021).

پژوهش‌های متعددی به بررسی تأثیر سازه‌های هلالی آبگیر بر ویژگی‌های خاک و پوشش گیاهی پرداخته‌اند. Mahmoudi Moghaddam et al., 2015 اثر هلالی آبگیر را بر تغییر تولید گیاهان مرتعی، رطوبت و بافت خاک در مراتع استپی مناطق خشک شهرستان سریشه مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق نشان داد که مقدار تولید گیاهان مرتعی در عرصه اجرای طرح به بیش از دو برابر رسیده و این سامانه تأثیر معنی‌داری بر این ویژگی پوشش مرتعی داشته است. Abdollahi et al., 2016 به بررسی تأثیر احداث هلالی آبگیر بر برخی پارامترهای پوشش گیاهی و خاک در مراتع سراوان پرداختند. نتایج نشان داد که کلیه پارامترهای گیاهی مورد بررسی در تیمار هلالی، در سطح یک درصد با تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری داشته و اجرای هلالی اثر مثبتی بر فاکتورهای پوشش گیاهی داشته است. Mohammadi et al., 2025 در تحقیقی به بررسی اثر احداث سازه هلالی آبگیر بر افزایش رطوبت خاک در منطقه مانشت و قلارنگ استان ایلام پرداختند. نتایج این تحقیق به‌وضوح نشان داد که استفاده از سامانه‌های هلالی آبگیر می‌تواند به‌طور مؤثری به ذخیره رطوبت خاک در مناطق شیب‌دار کمک کند. به‌ویژه نقاط استحصال داخل چاله در مقایسه با سایر نقاط، بیش‌ترین تأثیر را در افزایش ذخیره رطوبت خاک داشته‌اند. همچنین، افزایش عمق خاک به‌طور کلی موجب کاهش ذخیره رطوبت در همه تیمارها شد. نتایج پژوهش Rostampour et al., 2023 نشان داد که هلالی آبگیر فقط در سال‌های پرباران (۱۳۹۷ و ۱۳۹۸) باعث افزایش پوشش گیاهی شد، اما در سال‌های خشک (۱۳۹۹ و ۱۴۰۰) تأثیر معنی‌داری نداشت و به‌جز رطوبت اشباع، سایر خصوصیات خاک تحت تأثیر قرار نگرفتند. همچنین نتایج پژوهش Heshmati et al., 2017 نشان دادند که میانگین ذخیره رطوبت داخل بانکت هلالی، دو برابر نقطه شاهد بود و تیمار بانکت+قرق پس از سه سال باعث احیای ۱۹ پایه درخت خشکیده در هکتار و کاهش خشکیدگی ۳۷ پایه دیگر در هکتار (مجموعاً نجات ۵۷ پایه در هکتار) در جنگل‌های زاگرس شد.

در مجموع، مرور پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که عملیات اصلاحی مبتنی بر ذخیره نزولات آسمانی، به‌ویژه هلالی آبگیر، پیتینگ و کنترفارو، نقش مؤثری در بهبود پوشش گیاهی، افزایش رطوبت و نفوذپذیری خاک و ارتقای عملکردهای اکولوژیکی مراتع داشته‌اند (Mahmoudi Moghaddam et al., 2015; Abdollahi et al., 2016; Khosravi et al., 2016; Rostampour et al., 2023). اگرچه مطالعات متعددی به بررسی نقش سازه‌های هلالی آبگیر در افزایش رطوبت خاک و بهبود کمی پوشش گیاهی پرداخته‌اند، اما این

پژوهش‌ها عمدتاً بر جنبه‌های کمی پوشش گیاهی متمرکز بوده و جنبه‌های کیفی و ساختاری جوامع گیاهی از جمله تنوع زیستی، یکنواختی، غالبیت و الگوی توزیع وفور گونه‌ها که شاخص‌های کلیدی پایداری بوم‌سازگان محسوب می‌شوند، به‌طور قابل ملاحظه‌ای مغفول مانده است. از این‌رو، پژوهش حاضر باهدف پر کردن این خلأ دانشی، به بررسی تأثیر هلالی آبگیر بر شاخص‌های متنوع تنوع زیستی شامل غنای گونه‌ای (مارگالف، منهینیک و چائو ۱)، تنوع گونه‌ای (شانون-وینر و سیمپسون)، یکنواختی (پیلو)، غالبیت (سیمپسون) و ساختار جامعه (مدل‌های توزیع وفور گونه‌ای) در مراتع احیایی شهرستان بشرویه، خراسان جنوبی می‌پردازد. پرسش اصلی این پژوهش آن است که آیا احداث هلالی آبگیر در مراتع خشک اسفکنی بشرویه، تأثیر معناداری بر شاخص‌های پوشش سطح خاک و تنوع گونه‌ای دارد و در صورت وجود، این تأثیر تا چه اندازه در تغییر ساختار جامعه گیاهی مؤثر بوده است؟

مواد و روش

منطقه مورد مطالعه

شهرستان بشرویه در فاصله ۳۰۰ کیلومتری مرکز استان خراسان جنوبی قرار داشته و شامل دو بخش ارسک و مرکزی است. این شهرستان در موقعیت جغرافیایی $33^{\circ} 53'$ شمالی و $25^{\circ} 57'$ شرقی، در شرق کشور و شمال غرب استان خراسان جنوبی و در مجاورت کویر واقع شده است. به دلیل همین موقعیت، آب‌وهوای گرم و کویری دارد. اسفکنی با مساحت $4217/6$ هکتار، بخشی از پلاک ۳۴۵ اصلی شهرستان بشرویه محسوب می‌شود که در جنوب غربی این شهرستان قرار داشته و فاصله آن تا شهر بشرویه حدود ۳۲ کیلومتر است. از نظر توپوگرافی، ۵۷/۴ درصد از منطقه مورد مطالعه در واحد دشت، ۹/۶ درصد در واحد تپه‌ماهور و ۳۳ درصد در واحد کوهستان قرار دارد. بیشینه ارتفاع منطقه ۱۹۸۸ متر، کمینه ارتفاع ۱۰۶۲ متر و ارتفاع متوسط $1261/2$ متر است. میانگین شیب منطقه ۲۳/۶ درصد و میانگین بارندگی سالانه $113/93$ میلی‌متر می‌باشد. به‌منظور اصلاح و احیای مراتع، در سطح $503/2$ هکتار از منطقه مورد مطالعه، عملیات احداث هلالی آبگیر همراه با بذرکاری انجام شده و پس‌از آن، منطقه احیایی، به مدت دو سال قرق شده است (Soleimani, 2025).

روش کار

پس از پیمایش صحرایی، مراتع روستای اسفکنی در شهرستان بشرویه، استان خراسان جنوبی، ایران، برای این مطالعه انتخاب شدند. در این مراتع، سازه‌های هلالی آبگیر در سال ۱۳۹۶ به مساحت تقریبی ۱۹۵ هکتار احداث شده بودند. پژوهش حاضر با استفاده از طرح کاملاً تصادفی (Completely Randomized Design – CRD) با سه تیمار و سه تکرار (ترانسکت) در هر تیمار طراحی شد. نمونه‌برداری از پوشش گیاهی در اردیبهشت‌ماه سال ۱۴۰۳ در سه تیمار انجام شد: داخل هلالی آبگیر، خارج هلالی آبگیر (در همان منطقه تحت عملیات) و منطقه شاهد (خارج از منطقه هلالی آبگیر). منطقه شاهد در فاصله ۵۰۰ متری عرصه اجرای طرح انتخاب شد و از لحاظ توپوگرافی (شیب، جهت جغرافیایی و ارتفاع) و پوشش گیاهی (تیپ غالب و ترکیب گونه‌ها) با مناطق احیایی (داخل و خارج هلالی) کاملاً همگن و مشابه بود. در تیمارهای خارج هلالی و شاهد، سه ترانسکت ۱۰۰ متری مستقر شد و در امتداد هر ترانسکت ۱۰ پلات دو مترمربعی قرار داده شد که در مجموع ۳۰ پلات در هر تیمار حاصل شد. در داخل هر پلات، نام علمی هر گونه، درصد پوشش و تراکم ثبت شد. هم‌چنین درصد پوشش گیاهی کل، پوشش کریپتوگام، درصد لاشبرگ، درصد سنگ و سنگریزه و درصد خاک لخت برآورد شد.

۳۰ هلالی آبگیر به روش کاملاً تصادفی از میان بیش از ۱۵۰ هلالی موجود در عرصه انتخاب شدند. در داخل هر یک از ۳۰ هلالی منتخب، یک پلات دو مترمربعی به‌صورت کاملاً تصادفی مستقر شد و متغیرهای مشابه شامل فهرست گونه‌های گیاهی، میانگین درصد پوشش گیاهی، تراکم، درصد لاشبرگ، درصد کریپتوگام، درصد خاک لخت و درصد سنگ و سنگریزه ثبت شد. میانگین تعداد افراد (پایه‌های گیاهی) هر گونه در هر پلات محاسبه و متعاقباً تراکم گیاهی (تعداد پایه در هکتار) برآورد شد (شکل ۱).



شکل ۱- نمونه برداری از پوشش گیاهی در داخل هلالی آبگیر مراتع روستای اسفکنی بشرویه
Figure 1- Vegetation sampling inside the semi-circular bunds in the Esfakani rangelands, Boshrouyeh

برای ارزیابی تنوع زیستی، شاخص‌های تعداد گونه، تعداد پایه، غالبیت سیمپسون، تنوع شانون، غنای مارگالف، تنوع سیمپسون، غنای چائو ۱، یکنواختی پیلو و غنای منهینیک با استفاده از شاخص‌های عددی استاندارد محاسبه شد (جدول ۱).

جدول ۱- شاخص‌های تنوع آلفا و روابط ریاضی مورد استفاده برای ارزیابی تنوع گونه‌ای در مراتع اسفکنی، شهرستان بشرویه، استان خراسان جنوبی (اقتباس از Magurran, 2004)

Table 1- Alpha diversity indices and their equations used for evaluating species diversity in the Esfakany rangelands, Boshrouyeh County, South Khorasan Province, Iran. (Adapted from Magurran, 2004)

Diversity component	Index	Equation	Domain
Richness species	Chao1	$S_{chao1} = S_{obs} + \left(\frac{F_1^2}{2F_2} \right)$	0-∞
Richness species	Margalef	$R1 = \frac{S - 1}{\ln(N)}$	0-∞
Richness species	Menhinick	$R2 = \frac{S}{\sqrt{N}}$	0-∞
Species diversity	Shannon-Wiener	$H' = - \sum_{i=1}^s (p_i * \ln(p_i))$	0-4.5
Species diversity	Simpson	$1 - D = 1 - \sum_{i=1}^s p_i^2$	0-1
Species dominance	Simpson	$D = \sum_{i=1}^s p_i^2$	0-1
Species evenness	Pielou	$E = \frac{H'}{\ln(S)}$	0-1

S₁: total number of species in sampling site, S_{obs}: total number of species observed in each sampling site, F₁: number of single species, F₂: number of doubleton species, S: total number of species, n_{max}: proportion of individuals in the most abundant species, N: number of individuals in the sample, P_i: proportion of individuals in the ith species, R1: Margalef richness index, R2: Menhinick richness index D: Simpson dominance index, H': Shannon-Weiner diversity, E: Pielou evenness index.

تحلیل آماری

به‌منظور بررسی اثر هلالی آبگیر بر خصوصیات پوشش سطحی خاک، شاخص‌های پوشش گیاهی و تنوع زیستی، از تحلیل واریانس یک‌طرفه^۱ استفاده شد. پیش از انجام تحلیل واریانس یک‌طرفه، پیش‌فرض‌های نرمال بودن داده‌ها، همگنی واریانس‌ها و استقلال مشاهدات مورد بررسی قرار گرفت. نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیرو-ویلک^۲ و همگنی واریانس‌ها با آزمون لیون^۳ در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ ارزیابی شد. نتایج نشان داد که داده‌های تمامی متغیرها از توزیع نرمال پیروی کرده ($p > 0.05$) و واریانس‌ها در بین سه تیمار همگن بودند ($p > 0.05$). استقلال مشاهدات نیز با رعایت تصادفی‌سازی در انتخاب نمونه‌ها و میانگین‌گیری داده‌ها در سطح واحد نمونه‌برداری تأمین شد و با استفاده از آزمون دوربین-واتسون^۴ تأیید شد. پس از تحلیل واریانس، آزمون تعقیبی توکی^۵ در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ برای مقایسه‌های جفتی به کار گرفته شد. اندازه اثر با استفاده از مجذور امگا (ω^2) مطابق رابطه (۱) محاسبه شد:

$$\omega^2 = \frac{SS_b + df_b MS_w}{SS_t + MS_w} \quad (1)$$

که در آن SS_b مجموع مربعات بین گروه‌ها، df_b درجات آزادی بین گروه‌ها، MS_w میانگین مربعات درون گروه‌ها (میانگین مربعات خطا) و SS_t مجموع مربعات کل می‌باشد. طبقه‌بندی اندازه اثر بر اساس طبقه‌بندی Field (2013) در جدول (۲) ارائه شده است. به‌منظور تعیین بهترین مدل توزیع وفور گونه‌ای برای هر تیمار، از آزمون نکویی برازش کای اسکوتر برای چهار مدل بوم‌شناختی شامل سری هندسی، سری لگاریتمی، مدل عصای شکسته و مدل لوگ-نرمال استفاده شد؛ عدم معنی‌داری آزمون کای اسکوتر ($p > 0.05$) نشان‌دهنده برازش مناسب مدل با داده‌های مشاهده شده بود. همچنین برای مقایسه تنوع زیستی در سه تیمار مورد مطالعه در مرتبه‌های مختلف تنوع (α)، از نمودارهای رتبه‌بندی تنوع رنی استفاده شد. این روش امکان مقایسه جامع تنوع جوامع را فراهم می‌کند، به‌طوری‌که قرارگیری منحنی یک جامعه در تمام مقادیر α بالاتر از منحنی جامعه دیگر نشان‌دهنده غنا و یکنواختی بیش‌تر آن جامعه است و تقاطع منحنی‌ها نشان می‌دهد که نمی‌توان دو جامعه را از نظر تنوع به‌طور قاطع رتبه‌بندی کرد (Hammer et al., 2001). تمامی تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار R (نسخه ۴٫۶٫۰) انجام شد و سطح معنی‌داری ۰/۰۵ برای تمام آزمون‌ها از نظر آماری معنی‌دار در نظر گرفته شد (R Core Team, 2026).

جدول ۲- طبقه‌بندی اندازه اثر مربع امگا (ω^2) (Field, 2013)

Table 2- Classification of omega-squared (ω^2) effect sizes (Field, 2013)				
ω^2	< 0.01	0.01–0.06	0.06–0.14	> 0.14
Effect size	Very small	Small	Medium	Large

نتایج و بحث

به‌منظور بررسی اثر سازه هلالی آبگیر بر پوشش سطحی مراتع اسفکنی شهرستان بشرویه، از تحلیل واریانس یک‌طرفه استفاده شد. نتایج این تحلیل در جدول (۳) ارائه شده است. یافته‌ها نشان داد که بین گروه‌های مختلف (مناطق شاهد، داخل هلالی و بیرون هلالی آبگیر) از نظر شاخص‌های پوشش گیاهی، کریپتوگام، لاشبرگ و سنگ و سنگریزه تفاوت معناداری وجود دارد، اما این تفاوت برای شاخص خاک معنادار نبود. شاخص پوشش گیاهی بیش‌ترین تأثیرپذیری را از سازه هلالی آبگیر نشان داد ($F(6,2) = 122.1$, $p < 0.001$) و اندازه اثر بسیار بالایی ثبت شد ($\omega^2 = 0.96$). در خصوص شاخص کریپتوگام، اثر سازه هلالی آبگیر معنادار بود ($F(6,2) = 12.6$, $p = 0.007$) و اندازه اثر نشان‌دهنده سهم بالای متغیر مستقل در تبیین واریانس این شاخص بود ($\omega^2 = 0.72$). برای شاخص لاشبرگ نیز تفاوت معناداری بین گروه‌ها مشاهده شد ($F(6,2) = 14.3$, $p = 0.005$) و اندازه اثر بالایی محاسبه شد ($\omega^2 = 0.74$). شاخص سنگ و سنگریزه نیز تحت تأثیر معنادار سازه قرار گرفت ($F(6,2) = 10.8$, $p = 0.01$) و اندازه اثر نسبتاً بزرگی را نشان داد ($\omega^2 = 0.68$). در مقابل، برای شاخص خاک تفاوت معناداری بین گروه‌ها یافت نشد ($F(6,2) = 0.90$, $p = 0.452$) و اندازه اثر صفر محاسبه شد که حاکی از عدم تأثیر معنادار سازه بر این شاخص است.

¹ One-way ANOVA

² Shapiro-Wilk

³ Levene's test

⁴ Durbin-Watson

⁵ Tukey's HSD

جدول ۳- نتایج تحلیل واریانس یک طرفه برای مقایسه مؤلفه‌های پوشش سطحی خاک در سه تیمار (داخل هالالی آبگیر، خارج هالالی آبگیر و شاهد) در مراتع اسفکنی شهرستان بشرویه

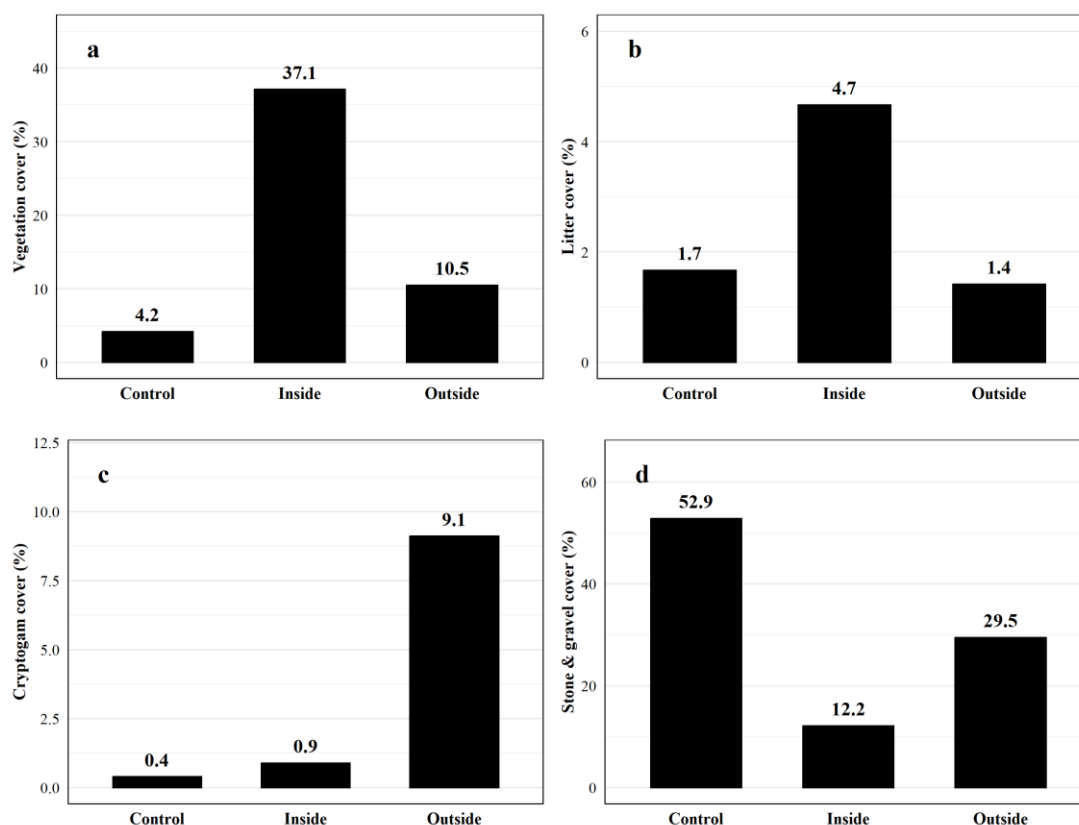
Table 3- Results of one-way ANOVA for comparing ground surface cover components among three treatments (inside semi-circular bunds, outside semi-circular bunds, and control) in the Esfakany rangelands of Boshrouyeh

Indicator	Source of Variation	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	ω^2
Cryptogam	Between Groups	143.7	2	71.872	12.6	0.007	0.72
	Within Groups	34.2	6	5.7			
	Total	177.9	8				
Litter	Between Groups	19.6	2	9.813	14.3	0.005	0.74
	Within Groups	4.09	6	0.6			
	Total	23.7	8				
Stone and gravel	Between Groups	2507.2	2	1253.604	10.8	0.010	0.68
	Within Groups	692.7	6	115.4			
	Total	3199.9	8				
Bare soil	Between Groups	127.9	2	63.981	0.9	0.452	0.00
	Within Groups	422.3	6	70.3			
	Total	550.2	8				
Vegetation cover	Between Groups	1831.6	2	915.822	122.1	0.000	0.96
	Within Groups	44.9	6	7.4			
	Total	1876.6	8				

df = degrees of freedom; ω^2 = omega-squared (effect size). Significant effects ($p < 0.05$) are indicated in bold.

مقایسه میانگین مؤلفه‌های پوشش سطح خاک در تیمارهای مختلف (شکل ۲) نشان داد که بیش‌ترین میزان پوشش گیاهی مربوط به تیمار داخل هالالی آبگیر با میانگین ۳۷/۱۳ درصد بود که نسبت به تیمار خارج هالالی (۱۰/۵۲ درصد) و منطقه شاهد (۴/۲۲ درصد) افزایشی حدود ۳/۵ و ۸/۸ برابری را نشان داد. همچنین میانگین درصد لاشبرگ در تیمار داخل هالالی (۴/۶۷ درصد) در مقایسه با تیمار خارج هالالی (۱/۴۲ درصد) و شاهد (۱/۶۷ درصد) افزایش چشم‌گیری داشت. در خصوص پوشش کریپتوگام، بیش‌ترین میزان در تیمار داخل هالالی (۰/۹۰ درصد) مشاهده شد که نسبت به تیمار خارج هالالی (۰/۵۰ درصد) و شاهد (۰/۴۰ درصد) بیش‌تر بود. برخلاف سایر مؤلفه‌ها، میانگین درصد سنگ و سنگریزه در منطقه شاهد (۵۲/۹۰ درصد) بیش‌تر از تیمار خارج هالالی (۱۲/۲۱ درصد) و داخل هالالی (۲۹/۵۳ درصد) بود. به‌طور کلی، اجرای سازه هالالی آبگیر تأثیر مثبتی بر بهبود مؤلفه‌های پوشش سطح خاک به‌ویژه پوشش گیاهی، لاشبرگ و کریپتوگام داشته است، اما تأثیر معنی‌داری بر کاهش خاک لخت نشان نداد.

نتایج تحلیل واریانس (جدول ۴) نشان داد که اجرای سازه هالالی آبگیر تأثیر معناداری بر مهم‌ترین شاخص‌های تنوع زیستی داشته است. شاخص تعداد گونه بیش‌ترین تأثیرپذیری را از سازه هالالی آبگیر نشان داد ($F(۶,۲) = ۲۴/۲$, $p = ۰/۰۰۱$) و اندازه اثر بسیار بالایی ثبت شد ($\omega^2 = ۰/۸۳$). شاخص تعداد پایه نیز تحت تأثیر معنادار سازه قرار گرفت ($F(۶,۲) = ۱۰۹/۷$, $p < ۰/۰۰۱$) و اندازه اثر بسیار بالایی محاسبه شد ($\omega^2 = ۰/۹۶$). شاخص تنوع گونه‌ای شانون نیز تفاوت معناداری بین گروه‌ها نشان داد ($F(۶,۲) = ۶/۱۴$, $p = ۰/۰۳۵$) و اندازه اثر متوسطی ثبت شد ($\omega^2 = ۰/۵۳$). شاخص غنای مارگالف نیز تحت تأثیر معنادار سازه قرار گرفت ($F(۶,۲) = ۸/۲۱$, $p = ۰/۰۱۹$) و اندازه اثر بالایی را نشان داد ($\omega^2 = ۰/۶۱$). شاخص غنای چائو ۱ نیز بیش‌ترین تأثیرپذیری را پس از تعداد پایه نشان داد ($p < ۰/۰۰۱$, $F(۶,۲) = ۵۷/۹۸$). شاخص سیمپسون ($p = ۰/۰۵۲$)، یکنواختی پیلو ($p = ۰/۱۰۸$)، و غنای منهینیک ($p = ۰/۱۲۱$) تفاوت معناداری بین گروه‌ها یافت نشد که حاکی از عدم تأثیر معنادار سازه بر این شاخص‌ها است. مقایسه شاخص‌های تنوع زیستی در سه تیمار نشان داد که تیمار داخل هالالی آبگیر دارای بیش‌ترین تعداد گونه (۱۵ گونه)، تعداد پایه (۳۵۵ پایه در هکتار) و بیش‌ترین مقادیر شاخص‌های تنوع شانون (۱/۸۱) و چائو ۱ (۱۷/۰۸) بود (شکل ۳).



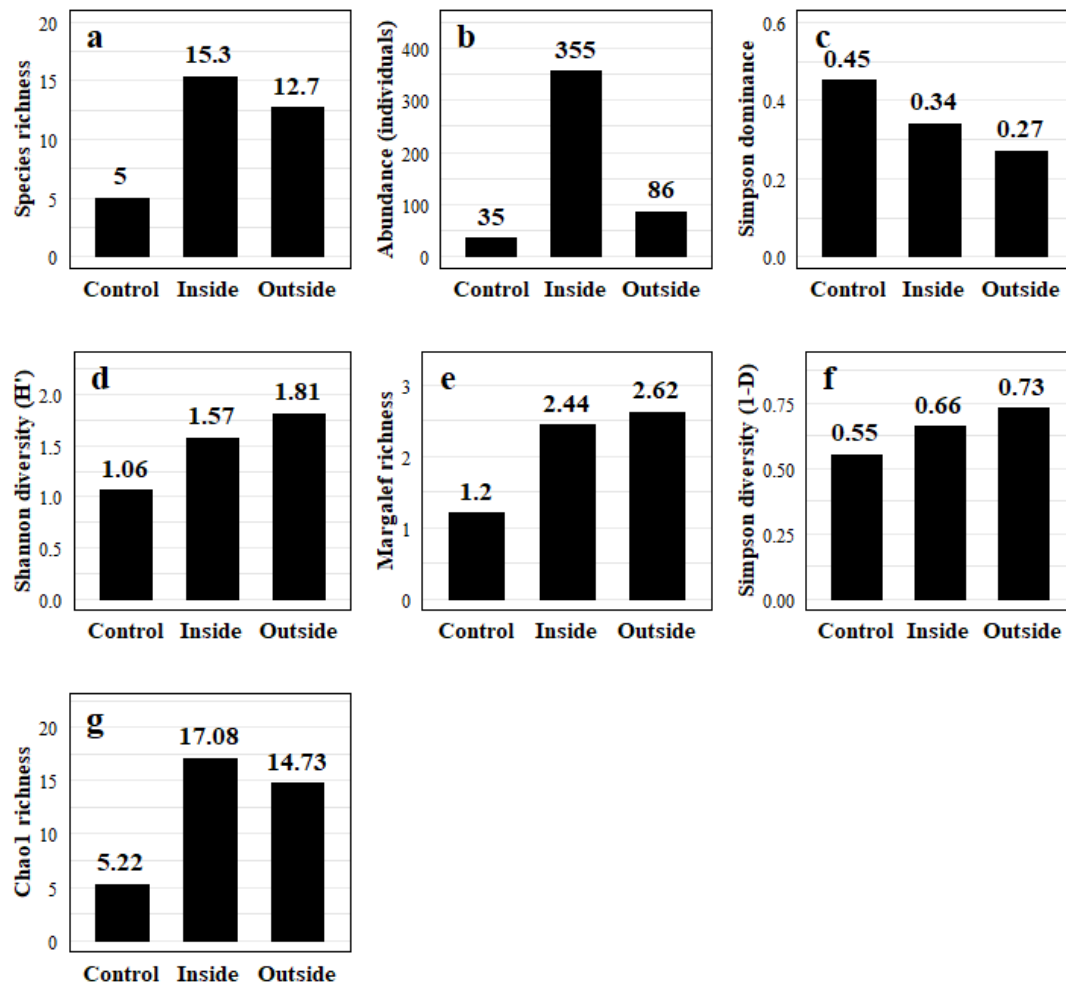
شکل ۲- اجزای پوشش سطحی خاک در مراتع اسفکنی شهرستان بشرویه: (a) پوشش گیاهی، (b) لاشبرگ، (c) کریپتوگام، (d) سنگ و سنگریزه
Figure 2- Ground surface cover components in the Esfakany rangelands of Boshrouyeh: (a) Vegetation cover, (b) Litter cover, (c) Cryptogam cover, (d) Stone and gravel cover

جدول ۴- نتایج تحلیل واریانس یک‌طرفه برای مقایسه شاخص‌های تنوع زیستی در سه تیمار (داخل هلالی آبگیر، خارج هلالی آبگیر و شاهد) در مراتع اسفکنی شهرستان بشرویه

Table 4- Results of one-way ANOVA for comparing biodiversity indices among three treatments (inside semi-circular bunds, outside semi-circular bunds, and control) in the Esfakany rangelands of Boshrouyeh

Index	Source of Variation	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	ω^2
Species Richness	Between Groups	172.667	2	86.333	24.281	0.001	0.838
	Within Groups	21.333	6	3.556			
	Total	194.000	8				
Abundance	Between Groups	177362.000	2	88681.000	109.799	< 0.001	0.960
	Within Groups	4846.000	6	807.667			
	Total	182208.000	8				
Dominance	Between Groups	0.052	2	0.026	5.043	0.052	0.473
	Within Groups	0.031	6	0.005			
	Total	0.082	8				
Simpson	Between Groups	0.052	2	0.026	5.043	0.052	0.473
	Within Groups	0.031	6	0.005			
	Total	0.082	8				
Shannon	Between Groups	0.893	2	0.447	6.145	0.035	0.533
	Within Groups	0.436	6	0.073			
	Total	1.330	8				
Pielou	Between Groups	0.028	2	0.014	3.293	0.108	0.340
	Within Groups	0.026	6	0.004			
	Total	0.054	8				
Menhinick	Between Groups	0.519	2	0.260	3.057	0.121	0.314
	Within Groups	0.510	6	0.085			
	Total	1.029	8				
Margalef	Between Groups	3.622	2	1.811	8.211	0.019	0.616
	Within Groups	1.323	6	0.221			
	Total	4.945	8				
Chao1	Between Groups	236.765	2	118.382	57.979	< 0.001	0.927
	Within Groups	12.251	6	2.042			
	Total	249.016	8				

df = degrees of freedom; ω^2 = omega-squared (effect size). Significant effects ($p < 0.05$) are indicated in bold.

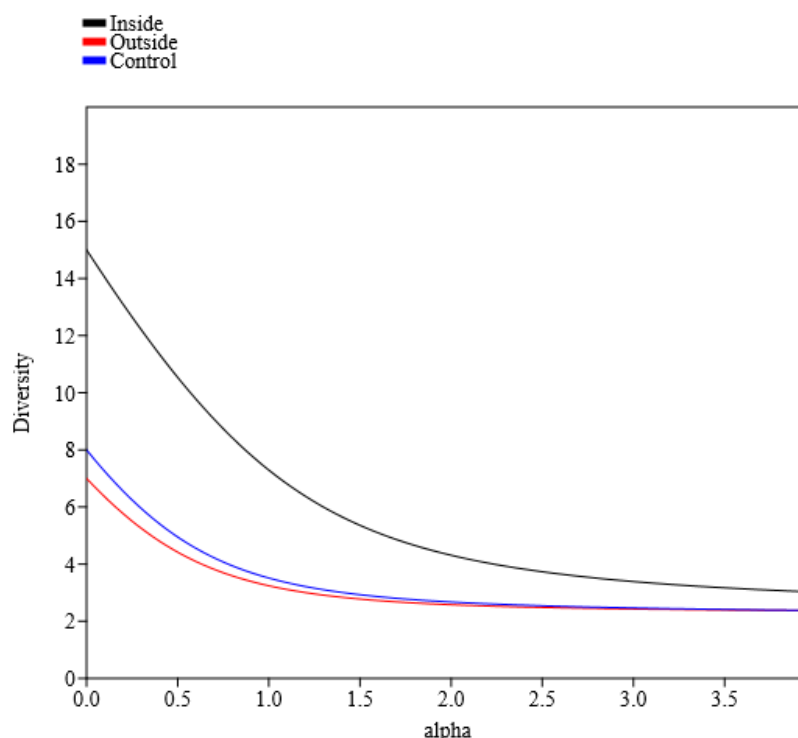


شکل ۳- شاخص‌های تنوع زیستی در مراتع اسفکنی شهرستان بشرویه: (a) تعداد گونه، (b) تعداد پایه، (c) غالبیت سیمپسون، (d) تنوع شانون، (e) غنای مارگالف، (f) تنوع سیمپسون، (g) غنای چائو ۱

Figure 3- Biodiversity indices in the Esfakany rangelands of Boshrouyeh: (a) Species richness, (b) Abundance, (c) Simpson dominance, (d) Shannon diversity, (e) Margalef richness, (f) Simpson diversity, (g) Chao1 richness

نتایج نمودار رتبه‌بندی تنوع رنی (شکل ۴) نشان داد که منحنی مربوط به تیمار داخل هلالی آبگیر در تمام مقادیر مرتبه‌های تنوع بالاتر از دو منحنی دیگر قرار دارد که بیانگر غنای گونه‌ای و تنوع زیستی بیش‌تر در این تیمار است. منحنی تیمار بیرون هلالی آبگیر در سطح میانی قرار داشته و منحنی تیمار شاهد در پایین‌ترین سطح مشاهده شد. با توجه به اینکه منحنی‌های سه تیمار یکدیگر را قطع نمی‌کنند، می‌توان آن‌ها را از نظر تنوع گونه‌ای به‌طور قطع رتبه‌بندی کرد: داخل هلالی آبگیر > بیرون هلالی آبگیر > شاهد.

نتایج آزمون نکویی برازش کای اسکوتر (جدول ۵) نشان داد که در مناطق داخل هلالی آبگیر ($\chi^2 = 8/45$, $p < 0/08$) و بیرون هلالی آبگیر ($\chi^2 = 0/16$, $p < 0/98$)، مدل لوگ-نرمال برازش مناسبی با داده‌های توزیع وفور گونه‌ای دارد ($p > 0/05$). این یافته حاکی از آن است که توزیع فراوانی گونه‌ها در این دو منطقه از الگوی لوگ-نرمال پیروی می‌کند که معمولاً در جوامع پایدار و متنوع با تعداد گونه‌های زیاد مشاهده می‌شود (Magurran, 2004). در مقابل، در منطقه شاهد هیچ‌یک از مدل‌های سری هندسی ($\chi^2 = 42/36$, $p < 0/001$)، سری لگاریتمی ($\chi^2 = 16/10$, $p < 0/001$)، عصای شکسته ($\chi^2 = 38/08$, $p < 0/001$) و لوگ-نرمال ($\chi^2 = 0/001$, $p < 0/001$) برازش معنی‌داری نداشتند که نشان‌دهنده عدم پیروی توزیع وفور گونه‌ها از الگوهای رایج در این منطقه می‌باشد. به‌طور کلی، این نتایج بیانگر تغییر در ساختار جامعه گیاهی در اثر اجرای سامانه تلفیقی هلالی آبگیر با بذرکاری درون آن است.



شکل ۴- نمودار رتبه‌بندی تنوع رنی برای سه تیمار داخل هلالی آبگیر، بیرون هلالی آبگیر و شاهد در مراتع اسفکنی شهرستان بشرویه
Figure 4- Renyi diversity profiles for three treatments (inside semi-circular bunds, outside semi-circular bunds, and control) in the Esfakany rangelands of Boshrouyeh

جدول ۵- نتایج آزمون نکویی برازش کای اسکوائر برای مدل‌های توزیع وفور گونه‌ای در مراتع اسفکنی شهرستان بشرویه

Table 5- Results of the chi-square goodness-of-fit test for species abundance distribution models in the Esfakany rangelands of Boshrouyeh County

Treatment	Geometric series		Logarithmic series		Broken stick		Log-normal	
	χ^2	p-value	χ^2	p-value	χ^2	p-value	χ^2	p-value
Inside semi-circular bunds	1549.00	0.00	214.40	0.00	1105.00	0.00	8.45	0.08
Outside semi-circular bunds	157.70	0.00	36.80	0.00	125.80	0.00	0.16	0.98
Control	36.42	0.00	16.10	0.00	38.08	0.00	0.00	0.00

طرح‌های ذخیره نزولات در سطح مراتع با اهداف مختلف به اجرا در می‌آید. در مناطق خشک که محدودیت رطوبت یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده پوشش گیاهی شناخته می‌شود، هرگونه اقدام در جهت توسعه رطوبت و استحصال آب باران می‌تواند عامل توسعه پوشش گیاهی باشد (Rigi et al., 2014). نتایج اغلب مطالعات داخلی و خارجی نشان می‌دهد که احداث هلالی آبگیر در اراضی خشک و نیمه‌خشک می‌تواند به‌عنوان یک مداخله مؤثر برای بهبود استقرار و توسعه پوشش گیاهی در نظر گرفته شود. مهم‌ترین سازوکار این اثر، افزایش ذخیره رطوبتی خاک و کاهش تلفات آب ناشی از رواناب سطحی است (Ding et al., 2021). نتایج بررسی اثر سامانه تلفیقی هلالی آبگیر با بذرکاری درون آن بر درصد پوشش گیاهی نشان داده است که درصد پوشش گیاهی در داخل هلالی‌های آبگیر نسبت به منطقه بیرون هلالی و منطقه شاهد به‌طور چشمگیری افزایش یافته است (میانگین درصد پوشش گیاهی در سه منطقه داخل هلالی، خارج هلالی و منطقه شاهد به‌ترتیب ۳۸/۱۳، ۱۰/۵۲ و ۴/۲۲ درصد). به عبارتی، پوشش گیاهی در تیمار داخل هلالی حدود ۸/۸ برابر منطقه شاهد و ۳/۵ برابر منطقه خارج هلالی بوده است. با توجه به اینکه بذرکاری منحصراً در داخل هلالی انجام شده و در خارج از هلالی هیچ‌گونه بذرکاری صورت نگرفته است، این افزایش قابل توجه را می‌توان به اثر ترکیبی هلالی آبگیر (افزایش رطوبت، جمع‌آوری رسوب و بهبود شرایط رویشگاه) و بذرکاری (تأمین بذر گونه‌های مرتعی) در داخل هلالی‌ها نسبت داد. در ایران، پژوهش‌های انجام شده در استان‌های خراسان جنوبی و سیستان و بلوچستان نشان می‌دهد که هلالی آبگیر موجب افزایش پوشش گیاهی بین دو تا ۳/۵ برابر نسبت به اراضی شاهد شده‌اند (جدول ۶). نتایج پژوهش حاضر با نسبت افزایش ۸/۸ برابری، در مقایسه با مطالعات پیشین افزایش چشم‌گیرتری را نشان می‌دهد که می‌تواند ناشی از اثر هم‌افزایی بذرکاری درون هلالی و بهبود شرایط رطوبتی ناشی از این سازه‌ها باشد.

جدول ۶- مقایسه تأثیر هلالی آبگیر بر پوشش گیاهی در مطالعات مختلف

Table 6- Comparison of the Effect of Semi-Circular Bunds on Vegetation Cover in Different Studies

Study	Study Area	% Vegetation Cover (Inside Bunds)	% Vegetation Cover (Control)	Increase Ratio
Abdollahi et al. (2016)	Saravan, Sistan and Baluchestan	23.4	6.9	3.4 times
Khosravi et al. (2016)	Kateh, Sistan and Baluchestan	24.8	7.3	3.4 times
Saghari et al (2019)	Sarbisheh, South Khorasan	29.6	15.35	1.93 times
Ebrahimi (2022)	Naroon, Sistan and Baluchestan	15.87	6.70	2.37 times
Ebrahimi (2022)	Neron, Sistan and Baluchestan	28.83	13.60	2.12 times
Present study	Esfakany, Boshrouyeh	37.13	4.22	8.8 times

همچنین درصد پوشش نهانزادان آوندی و لاشبرگ در داخل هلالی نسبت به منطقه شاهد و منطقه خارج هلالی به مراتب بیش تر و دارای اختلاف معناداری بود؛ به طوری که مقادیر متوسط پوشش کریپتوگام در سه منطقه داخل، خارج هلالی و منطقه شاهد به ترتیب ۰/۹، ۰/۵ و ۰/۴ درصد و مقدار لاشبرگ به ترتیب ۴/۶۷، ۱/۴۲ و ۱/۶۷ درصد برآورد شد.

نتایج پژوهش حاضر نشان می دهد که هلالی آبگیر بر شاخص های تنوع زیستی معنی دار است ($p \leq 0.05$). نتایج اندازه اثر مربع امگا (ω^2) نشان می دهد که هلالی آبگیر بیش ترین تأثیر را بر تعداد پایه (۰/۹۶) و کم ترین تأثیر را بر غنای منهینیک (۰/۳۱) دارد. هلالی آبگیر علاوه بر افزایش پوشش گیاهی، نقش مهمی در بهبود شاخص های تنوع گونه ای از جمله شاخص شانون-وینر و سیمپسون و یکنواختی دارند. افزایش رطوبت خاک و کاهش فرسایش (Khosravi et al., 2016; Ebrahimi, 2022; Gheitoury and Heshmati, 2025)، شرایط استقرار گونه های یک ساله و چندساله را فراهم کرده و باعث کاهش غالبیت یک یا دو گونه مقاوم به خشکی می شود. مطالعات داخلی نشان می دهد که شاخص شانون در اراضی دارای هلالی آبگیر بیش تر از اراضی شاهد است (Bahmadi and Shahriari, 2016). شاخص تنوع سیمپسون در منطقه هلالی آبگیر و شاهد به ترتیب ۰/۸۵ و ۰/۷۷ محاسبه شد و مقادیر شاخص شانون به ترتیب ۲/۰۳ و ۱/۶۷ برآورد شد که نشان دهنده تنوع بیش تر در منطقه احیاء است (Delavari et al., 2017; Khosravi et al., 2016). علاوه بر این، تنوع و غنای بالای گونه ها به جمع آوری و انتقال بذر توسط باد و آب به درون چاله ها و تشکیل بانک بذر قوی تر نسبت داده می شود (Mousavi et al., 2019).

نتایج مطالعات متعدد نشان دهنده تأثیر مثبت هلالی آبگیر بر کارایی استحصال آب باران و در نتیجه احیای مناطق خشک و نیمه خشک است (Tavakoli et al., 2021; Salem et al., 2024). این روش در صورت اجرا همراه با رعایت اصول فنی و عملیات زیستی می تواند به عنوان یکی از مناسب ترین راهکارها برای استفاده بهینه از رطوبت در نظر گرفته شود (Moghim et al., 2024). احداث اصولی این هلالی ها بدون استفاده از ماشین آلات سنگین، روشی ساده، ارزان و مؤثر در استحصال آب باران است که علاوه بر ذخیره رطوبت و تقویت شاخص های بیولوژیکی گیاهان، موجب بهبود ویژگی های کلیدی خاک از جمله ماده آلی، افزایش نسبت خاکدانه های درشت و عناصر غذایی می شود؛ این امر در نهایت منجر به پایداری خاک، ترسیب کربن، کاهش سیل خیزی در دامنه و کاهش خطرات سیل می شود (Gheitoury and Heshmati, 2025). بنابراین، هلالی آبگیر به عنوان یک راهکار مؤثر و کم هزینه در مدیریت پایدار مراتع و احیای بوم سازگان های خشک و نیمه خشک توصیه می شوند.

نتیجه گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که احداث هلالی آبگیر در مراتع خشک اسفکنی بشرویه، تأثیر مثبت و معنی داری بر پوشش سطح خاک و تنوع زیستی داشته است. پوشش گیاهی در داخل هلالی ها (۳۷/۱۳ درصد) نسبت به منطقه شاهد (۴/۲۲ درصد) حدود ۸/۸ برابر افزایش یافت که بالاترین میزان گزارش شده در بین مطالعات مشابه (۲ تا ۳/۴ برابر) می باشد. هلالی ها تأثیر معنی داری بر شاخص های تنوع زیستی داشتند به طوری که به طور متوسط، تعداد گونه ها از پنج به ۱۵، تعداد پایه از ۳۵ به ۳۵۵ و شاخص تنوع شانون از ۱/۰۶ به ۱/۵۷ افزایش یافت. همچنین، برازش مدل لوگ-نرمال در مناطق دارای هلالی آبگیر نشان دهنده تغییر ساختار جوامع از حالت تخریب یافته به سمت جوامع پایدار و متنوع است. این پژوهش با استفاده از اندازه اثر (ω^2) نشان داد که هلالی ها ۹۶ درصد از تغییرات پوشش گیاهی را تبیین می کنند که بیان گر تأثیر بسیار قوی این سازه ها از نظر کاربردی می باشد.

ملاحظه‌های اخلاقی

دسترسی به داده‌ها: داده‌ها و نتایج استفاده شده در این پژوهش از طریق مکاتبه با نویسنده مسئول در اختیار قرار خواهد گرفت.

حمایت مالی: پژوهش حاضر تحت حمایت‌های مادی و معنوی دانشگاه بیرجند و در قالب پایان‌نامه کارشناسی ارشد انجام شده است.

مشارکت نویسندگان: سلیمانی، س.ح.: مفهوم‌سازی، انجام تحلیل‌های نرم‌افزاری و آماری، و نگارش نسخه اولیه مقاله؛ رستم‌پور، م.: ویرایش و بازبینی مقاله و کنترل نهایی نتایج؛ یاری، و.: مفهوم‌سازی پژوهش، مشاوره، بازبینی متن مقاله و تحلیل‌های آماری.

تضاد منافع: نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منفعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

سپاس‌گزاری: نویسندگان این مقاله، از دانشگاه بیرجند که این پژوهش به‌عنوان پایان‌نامه کارشناسی ارشد در آن انجام‌شده است صمیمانه قدردانی می‌کنند.

منابع

- بهمدی، محمد حسن و شهریاری، علیرضا (۱۳۹۵). تأثیر روش‌های مختلف ذخیره نزولات بر احیاء پوشش گیاهی (مطالعه موردی حوزه آبخیز رومه و دهنو شهرستان نهبندان). *تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، ۲۳(۱)، ۵۱-۵۷. doi: 10.22092/ijrdr.2016.10647157
- حشمتی، مسیب، قیطوری، محمد، شیخ ویسی، مراد، عربخوری، محمود و حسینی، مجید (۱۳۹۶). مقابله با خشکیدگی جنگل‌های زاگرس با رویکردهای جمع‌آوری آب باران و حفظ رطوبت خاک به‌منظور مدیریت پیامدهای محیط زیستی آن. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۳(۳)، ۱۲۵-۱۴۱. doi: 10.22067/geo.v6i2.60466
- دلآوری، عبدالواحد، بشری، حسین، ترکش، مصطفی، میرکاظمی، امین‌الله و مصدقی، محمدرضا (۱۳۹۳). ارزیابی اثر هلالی‌های آبگیر بر عملکرد پوشش سطح خاک با استفاده از روش تحلیل عملکرد چشم‌انداز. *مرتع*، ۸(۳)، ۲۵۱-۲۶۰. doi: 10.1001.1.20080891.1393.8.3.5.5
- رستم‌پور، مسلم، ساغری، محمد و چاک استند، حبیب (۱۴۰۲). مقایسه تأثیر سامانه هلالی آبگیر بر پوشش گیاهی و سطوح رطوبت خاک در شرایط ترسالی و خشکسالی (مطالعه موردی: مراتع زیرکوه-خراسان جنوبی). *سامانه‌های سطوح آبگیر باران*، ۱۱(۳)، ۳۰-۵۳. doi: 10.1001.1.24235970.1402.11.3.3.3
- ریگی، مسعود، پاکزاد، عبدالباسط و مسعودی‌پور، علیرضا (۱۳۹۳). بررسی تأثیر عملیات احداث هلالی آبگیر بر خصوصیات پوشش گیاهی در مرتع کمرک تفتان. *پژوهش‌های آبخیزداری*، ۲۷(۲)، ۱۴۷-۱۵۳. doi: 10.22092/wmej.2014.106266
- ساغری، محمد، رستم‌پور، مسلم، محمودی مقدم، گلناز و چکشی، بهاره (۱۴۰۱). اثر احداث هلالی‌های آبگیر بر ترکیب پوشش گیاهی و تنوع زیستی در بوم‌سازگان‌های مرتعی مناطق خشک شرق کشور (مطالعه موردی: مراتع سریشه-استان خراسان جنوبی). *مهندسی بوم‌سازگان بیابان*، ۸(۲۳)، ۳۳-۴۴. doi: 10.22052/deej.2018.7.23.25
- سلیمانی، سید حسین (۱۴۰۴). ارزیابی اثربخشی عملیات بیومکانیکی احداث هلالی آبگیر بر شاخص‌های گیاهی و خصوصیات خاک در مراتع (مطالعه موردی: مرتع اسفکنی، شهرستان بشرویه). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بیرجند.
- عبداللهی، وحیده، ذوالفقاری، فرهاد، جباری، میترا و دهقان، محمدرفعی (۱۳۹۴). بررسی تأثیر احداث هلالی آبگیر بر برخی پارامترهای پوشش گیاهی و خاک در مراتع سراوان (استان سیستان و بلوچستان). *تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، ۲۲(۴)، ۶۵۸-۶۷۲. doi: 10.22092/ijrdr.2016.106038
- قیطوری، محمد و حشمتی، مسیب (۱۴۰۴). اثربخشی استحصال آب باران بر کنترل پدیده خشکیدگی و خاک جنگل‌های استان کرمانشاه. *مهندسی و مدیریت آبخیز*، ۱۷(۳)، ۳۷۴-۳۸۹. doi: 10.22092/ijwmse.2025.368682.2104
- محمودی مقدم، گلناز، ساغری، محمد، رستم‌پور، مسلم و چکشی، بهاره (۱۳۹۴). تأثیر احداث سامانه هلالی آبگیر بر تولید گیاهان مرتعی و برخی خصوصیات خاک در مناطق خشک (مطالعه موردی: مراتع استپی شهرستان سریشه). *مرتع*، ۹(۱)، ۶۶-۷۵. doi: 10.1001.1.20080891.1394.9.1.6.9
- محمدی، علی‌رضا، توکلی، محسن و سلیمانی، فریدون (۱۴۰۴). بررسی تأثیر سامانه‌های هلالی آبگیر در افزایش رطوبت خاک (مطالعه موردی: بخشی از منطقه مانشت و قارنگ). *مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز*، ۵(۲)، ۱۴۷-۱۵۹. doi: 10.22034/iwm.2025.2050619.1202
- مقیم، حسن، نقیبی، امین، سبزی، معصومه و فرهنگیان، زهرا (۱۴۰۳). بررسی تأثیر سامانه‌های هلالی آبگیر در مدیریت و جمع‌آوری رواناب در حوضه آبخیز چدرویه، فارس. *مدیریت بیابان*، ۱۲(۳)، ۱۵-۳۰. doi: 10.22034/jdml.2024.2040142.1478

References

- Abdollahi, V., Zolfaghari, F., Jabari, M., & Dehghan, M. R. (2016). Crescent pond's effect on some parameters of vegetation cover and soil in Saravan rangelands (Sistan and Baluchestan Province). *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 22(4), 658-672. **doi:**10.22092/ijrdr.2016.106038. [In Persian]
- Akkan, M., de Fraiture, C., & Hayde, L. G. (2025). Why we should revitalize indigenous water harvesting systems: lessons learned. *International Soil and Water Conservation Research*, 13(1), 152-163. **doi:** 10.1016/j.iswcr.2024.05.004
- Aydın, M. A., Eşen, D., Karaşın, Y., et al. (2025). Rainwater harvesting enhances soil moisture content and afforestation success with stone pine and Turkish oak in semi-arid Western Türkiye. *New Forests*, 56, 49. **doi:** 10.1007/s11056-025-10114-9
- Bahmadi, M. H., & Shahryari, A. (2016). Effects of different ways of rainfall storage on restoration of vegetation (Case study: rangeland of Romeh and Dehno watershed, Nehbandan city). *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 23(1), 51-57. **doi:**10.22092/ijrdr.2016.106471. [In Persian]
- Delavari, A., Bashari, H., Tarkesh, M., Mirkazehi, A., & Mosadeghi, M. R. (2014). Evaluating the effects of semi-circular bunds on soil surface functionality using Landscape Function Analysis. *Rangeland*, 8(3), 251-260. **doi:** 20.1001.1.20080891.1393.8.3.5.5 [In Persian]
- Ding, W., Wang, F., Dong, Y., Jin, K., Cong, C., Han, J., & Ge, W. (2021). Effects of rainwater harvesting system on soil moisture in rain-fed orchards on the Chinese Loess Plateau. *Agricultural Water Management*, 243, 106496. **doi:**10.1016/j.agwat.2020.106496
- Ebrahimi, M. (2022). Effects of semi-circular bunds on plant vegetation and soil properties of Naroon and Neron rangelands- Sistan and Baloochestan. *ECOPERSIA*, 10(1), 1-11. **doi:** 20.1001.1.23222700.2022.10.1.1.4
- Field, A. (2013). *Discovering statistics using IBM SPSS Statistics* (4th ed.). Sage.
- Gheitury, M., & Heshmati, M. (2025). The effectiveness of rainwater harvesting on controlling the phenomenon of desiccation and soil in forests of Kermanshah Province, Iran. *Watershed Engineering and Management*, 17(3), 374-389. **doi:**10.22092/ijwmse.2025.368682.2104. [In Persian]
- Hammer, Ø., Harper, D. A. T., & Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4, 9 p. http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm
- Han, F., Alkhawaji, R. N., & Shafieezadeh, M. M. (2025). Evaluating sustainable water management strategies using TOPSIS and fuzzy TOPSIS methods. *Applied Water Science*, 15, 4. **doi:** 10.1007/s13201-024-02336-7
- Heshmati, M., Gheitoury, M., Sheikhvaisy, M., Arabkhedri, M., & Hosini, M. (2017). Combating the forest mortality crises in Zagros Regions, Iran through adaptive approaches solutions. *Journal of Geographical Environmental Hazards*, 6(3), 125-141. **doi:**10.22067/geo.v6i2.60466 [In Persian]
- Hosseinalizadeh, M., Yeganeh, H., Aranian, V., Mohammadian Behbahani, A., & Khermandar, K. (2025). The investigation of the effects of various rainwater harvesting techniques and soil improvement treatments on the establishment and growth indices of *Lycium depressum* (L.) and *Haloxylon ammodendron* (C.A. Mey.). *Journal of Water and Soil Conservation*, 32(3), 113-135. **doi:**10.22069/jwsc.2026.23294.3789
- Khosravi, H., Ebrahimi, M., & Rigi, M. (2016). Semi-circular bunds effect on restoration of plant vegetation and soil properties in Koteh Rangeland, Sistan and Baloochestan Province, Iran. *Journal of Rangeland Science*, 6(4), 355-367. <https://www.sid.ir/FileServer/JE/1004020160401>
- Londra, P. A., Kotsatos, I. E., Theotokatos, N., Theocharis, A. T., & Dercas, N. (2021). Reliability analysis of rainwater harvesting tanks for irrigation use in greenhouse agriculture. *Hydrology*, 8(3), 132. **doi:** 10.3390/hydrology8030132
- Magurran, A. E. (2004). Measuring biological diversity. Blackwell Publishing, Oxford, UK.
- Mahmoodimoghadam, G., Saghari, M., Rostampour, M., & Chakoshi, B. (2015). Effects of constructing small arc basins system on rangeland production and some soil properties in arid lands (case study: Steppic rangelands of Sarbishe, South Khorasan Province). *Rangeland*, 9(1), 66-75. **doi:** 20.1001.1.20080891.1394.9.1.6.9 [In Persian]
- Moghim, H., Naghibi, A., Sabzi, M., & Faramandian, Z. (2024). Investigating the effect of crescent catchment systems on runoff collection and management (Case study: Chadroyeh watershed, Fars). *Desert Management*, 12(3), 15-30. **doi:**10.22034/jdmal.2024.2040142.1478. [In Persian]
- Mohammadi, A., Tavakoli, M., & Soleimani, F. (2025). Assessing the impact of crescent-shaped water harvesting systems on increasing soil moisture (Case study: A Part of the Manesht and Qhalarang Region). *Integrated Watershed Management*, 5(2), 147-159. **doi:**10.22034/iwm.2025.2050619.1202. [In Persian]
- Mousavi, H., Masoudi, M., & Gholami, P. (2019). Effects of semi-circular bunds on composition, biodiversity and biomass changes of vegetation in semi-arid rangelands of Bushehr province. *Desert Ecosystem Engineering*, 8(4), 23-30.
- R Core Team. (2026). R: A Language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>

- Rigi, M., Pakzad, A., & Masoodipur, A. R. (2014). Investigation on effects of crescent like-micro catchment on vegetation cover properties in kamarek range, Taftan. *Watershed Management Research*, 27(2), 147-153. **doi:**10.22092/wmej.2014.106266. [In Persian]
- Rostampour, M., Saghari, M., & Chabok Estend, H. (2023). Comparison of the effect of a semi-circular bunds system on vegetation and soil moisture levels in drought and wet conditions (Case study: Zirkouh rangelands - South Khorasan). *Journal of Rainwater Catchment Systems*, 11(3), 30-53. **dor:** 20.1001.1.24235970.1402.11.3.3.3 [In Persian]
- Salem, H. M., Ali, A. M., & Schott, L. R. (2024). Integrated impact of olive mill wastes and semi-circular bunds on soil properties and rainwater harvesting efficiency in Egypt's Northwestern coastal zone. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 55(22), 3435-3446. doi: 10.1080/00103624.2024.2397547
- Saghari, M. , Rostampour, M. , Mahmoudi Moghaddam, G. & Chakoshi, B. (2019). Investigation of the effect of constructing small arc basins system on vegetation composition and biodiversity in aridland ecosystems in the East of Iran (Case study: rangelands of Sarbisheh, South Khorasan Province). *Desert Ecosystem Engineering*, 8(23), 33-44. **doi:** 10.22052/deej.2018.7.23.25 [In Persian]
- Soleimani, S. H. (2025). Evaluation of the effectiveness of biomechanical operations of constructing semi-circular bunds on vegetation indices and soil properties in rangelands (Case study: Esfakany Rangelands, Boshrouyeh County). M.Sc. thesis, University of Birjand. [In Persian]
- Tavakoli, A. R., Oweis, T. Y., Sepaskhah, A. R., Mahdavi Moghadam, M., & Farayedi, Y. (2021). Growing fruit trees with rainwater harvesting in arid environments: the case of almond in Northwest Iran. *Water Harvesting Research*, 4(1), 54-67. **doi:**10.22077/jwhr.2020.3340.1034