

(OPEN ACCESS)

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.)

**Mohsen Hosseinalizadeh^{*1}, Hasan Yeganeh², Vahid Aranian³,
Ali Mohammadian Behbahani⁴, Khadijeh Khermandar⁵**

1. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Arid Zone Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: mhalizadeh@gau.ac.ir
2. Associate Prof., Dept. of Rangeland Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: yeganeh@gau.ac.ir
3. Ph.D. Student in Rangeland Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: vahid.aranian_s01@gau.ac.ir
4. Associate Prof., Dept. of Arid Zone Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: ali.mohammadian@gau.ac.ir
5. Ph.D. Graduate of Desert Management and Control, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: khermandar625@yahoo.com

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Full Paper	Background and Objectives: Arid and semi-arid regions across the globe face significant hurdles during vegetation establishment and growth, primarily stemming from persistent water scarcity. These ecosystems are typified by low levels of rainfall that are not only insufficient for sustaining plant life but are also irregularly distributed throughout the year. This often results in brief, intense downpours that flood the surface but fail to adequately penetrate the soil. Consequently, the soil is unable to absorb these rainfalls effectively, leading to substantial runoff, rapid evaporation, and increased vulnerability to soil erosion. These conditions collectively hinder the growth of vegetation and contribute to desertification processes. To mitigate these challenges, innovative water management strategies, such as mechanical rainwater harvesting techniques, have become increasingly vital. These methods, including various runoff storage systems, are designed to capture and retain water, thereby optimizing its use for irrigation and plant growth. However, the effectiveness of these mechanical techniques can diminish over time due to environmental wear and tear, inadequate maintenance, or improper application, highlighting the need for regular monitoring and restoration efforts. In tandem with mechanical interventions, establishing sustainable vegetation cover in these delicate ecosystems necessitates the integration of biological strategies aimed at enhancing plant resilience and soil health. This study focuses on two drought-resistant plant species -** <i>Limonium depressum</i> ** and ** <i>Haloxylon ammodendron</i> ** - both recognized for their exceptional adaptability to extreme environmental conditions. These species not only survive in arid settings but also play a critical role in rehabilitating degraded rangelands, promoting soil stabilization and biodiversity. The
Article history: Received: 02.06.2025 Revised: 04.16.2025 Accepted: 04.25.2025	
Keywords: <i>Haloxylon ammodendron</i> , <i>Lycium depressum</i> , Rainwater harvesting methods, Soil improvement treatments	

primary objective of this research is to rigorously assess and elucidate the impacts of various rainwater harvesting methods and soil amendment treatments on the establishment and growth of these plants in the challenging desert environments of southern North Khorasan Province, Iran, particularly within the context of Jajarm County.

Materials and Methods: The field study was meticulously conducted in a specified area within the arid desert zones of southern North Khorasan Province, particularly focusing on the northern region of Jajarm County, which is characterized by its stark topography and challenging growth conditions. This region extends approximately six kilometers downstream from the Alumina Factory mines, encompassing flat terrains interspersed with sparse vegetation, thereby posing specific challenges for water retention and plant growth. To ensure methodological rigor, the research employed a factorial experimental design based on a randomized complete block design (RCBD) with 13 replications, providing robust statistical power for analyzing the treatment effects. The selected plant species, *Limonium depressum* and *Haloxyton ammodendron*, were strategically planted at five-meter intervals to minimize competition and allow for optimal conditions to assess their growth and survival. The study also investigated the efficacy of three different water harvesting techniques: crescent-shaped catchments, pitting, and contour furrows. These techniques were specifically chosen for their potential to improve moisture retention in the soil. Each harvesting method was complemented by five distinct soil amendment treatments, designed to enhance soil quality and improve plant establishment: (1) clay nanoparticles combined with acrylic resin at two concentrations (1% and 3%) to aid nutrient retention, (2) a mix of mycorrhizal fungi that included three species (*Glomus intraradices*, *Glomus mosseae*, and *Glomus fasciculatum*), known for their beneficial symbiotic relationships with plant roots, (3) straw mulch for moisture conservation and reduction of soil temperature fluctuations, (4) zeolite applied at two quantities (300 g and 600 g) to improve soil structure and nutrient availability, and (5) a control group receiving no amendment for baseline comparisons. Throughout the growing season, key growth parameters, including plant survival rates (i.e., establishment), canopy cover, plant height, and both large and small diameters, were meticulously monitored and recorded during the first year post-planting. These measurements provided essential insights into the effectiveness of each treatment and the adaptive responses of the plant species. Collected data were subjected to comprehensive statistical analyses employing analysis of variance (ANOVA), complemented by mean comparisons through Tukey's test, using Minitab software version 16. Separate analyses were conducted for each plant species to accurately measure and interpret the effects of each treatment type.

Results: The evaluation of growth responses revealed that *Limonium depressum* benefited most from the contour furrow method, achieving an exceptional establishment rate of 99.14%. This finding underscores the effectiveness of contour furrows in enhancing moisture retention and facilitating root development compared to both pitting and crescent-shaped catchments. Similarly, *Haloxyton ammodendron* also performed best with the contour furrow technique, achieving a notable establishment rate of 88.59%, while the pitting method reported a lesser establishment rate of 79.46%, indicating the variability in growth conditions provided by

different harvesting strategies. Analysis of the soil amendment treatments illustrated that the application of amendments had significant effects on the small diameter of *Limonium depressum*, whereas *Haloxylon ammodendron* did not show significant responses across any measured traits. However, the results indicated that rainwater harvesting systems had a pronounced impact on various vegetative traits of *Limonium depressum*, positively influencing canopy cover, plant height, and both large and small diameters. For *Haloxylon ammodendron*, only canopy cover and the large diameter were significantly affected, reflecting the differential adaptive responses of these species to the experimental conditions. Further comparative analysis revealed that *Limonium depressum* exhibited its tallest plant height in the treatment with 1% clay nanoparticles, while the second type of mycorrhizal fungus treatment resulted in the shortest height. Notably, the largest diameters for *Limonium depressum* were recorded in the 3% nano treatment, contrasting with the smallest diameters observed in the mycorrhizal fungi treatment. Among all treatments, the control group demonstrated the greatest small diameter, while the straw mulch resulted in the smallest diameter. Collectively, these findings illuminate the intricate interactions between harvesting methods, soil amendments, and the establishment of resilient plant species, contributing valuable insights for future ecological restoration efforts aimed at combating the challenges posed by arid environments.

Conclusion: The findings demonstrated that soil amendment treatments affected the two species differently. In *L. depressum*, a significant effect was seen only on the small diameter, while no significant changes were observed in *H. ammodendron*. These differences likely reflect the distinct physiological and ecological adaptations of each species. *L. depressum* may be more responsive to improved soil conditions, while *H. ammodendron* appears to maintain its performance under poor soil conditions due to its natural resilience. Contour furrows outperformed other rainwater harvesting systems for both species, likely due to better runoff distribution and enhanced infiltration. These systems are therefore recommended for dryland restoration projects. Although short-term effects of soil amendments were limited, long-term improvements in soil structure and fertility may lead to greater benefits. Long-term studies are thus essential for accurately evaluating the effectiveness of soil amendments in supporting vegetation establishment and growth in arid and semi-arid regions.

Cite this article: Hosseinalizadeh, Mohsen, Yeganeh, Hasan, Aranian, Vahid, Mohammadian Behbahani, Ali, Khermandar, Khadijeh. 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.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/jwsc.2026.23294.3789

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

تأثیر روش‌های مختلف ذخیره نزولات و تیمارهای اصلاحی خاک بر استقرار و شاخص‌های رشد گیاه دیوخار (*Lycium depressum* (L.)) و سیاه‌تاغ (*Haloxylon ammodendron* (C.A. Mey.))

محسن حسینعلی‌زاده^{id1*}، حسن یگانه^{id2}، وحید آرانیان^{id3}، علی محمدیان بهبهانی^{id4}، خدیجه خرمندار^{id5}

1. نویسنده مسئول، دانشیار گروه مدیریت مناطق بیابانی، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: mhalizadeh@gu.ac.ir
2. دانشیار گروه مدیریت مرتع، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: yeganeh@gu.ac.ir
3. دانشجوی دکتری علوم مرتع، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: vahid.aranian_s01@gu.ac.ir
4. دانشیار گروه مدیریت مناطق بیابانی، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: ali.mohammadian@gu.ac.ir
5. دانش‌آموخته دکتری مدیریت و کنترل بیابان، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: khhermandar625@yahoo.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی - پژوهشی	سابقه و هدف: یکی از بزرگ‌ترین محدودیت‌های رشد و نمو پوشش گیاهی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، کمبود دسترسی به منابع آب شیرین است. در این مناطق، بارندگی نه تنها ناکافی است، بلکه توزیع نامناسبی نیز دارد. به‌طوری‌که بیش‌تر بارش‌ها در دوره‌های کوتاه و با شدت زیاد اتفاق می‌افتد. این شرایط باعث می‌شود که خاک نتواند به‌اندازه کافی آب را جذب کند و بخش عمده‌ای از آن به‌صورت رواناب هدر رود. برای مقابله با این مشکل، مدیریت بارش‌های جوی از طریق روش‌های مکانیکی مانند ذخیره نزولات و استحصال آب باران از اقدامات مؤثر و اساسی محسوب می‌شود. باین‌حال، روش‌های مکانیکی پس از گذشت چند سال ممکن است کارایی اولیه خود را از دست داده و نیاز به نگهداری و بازسازی داشته باشند. از سوی دیگر، با توجه به لزوم ایجاد پوشش گیاهی پایدار در بوم‌سازگان مناطق خشک و نیمه‌خشک، استفاده از روش‌های زیستی در کنار عملیات مکانیکی ضروری است. دیوخار (<i>L. depressum</i>) و سیاه‌تاغ (<i>H. ammodendron</i>) از گونه‌های گیاهی مقاوم به خشکی هستند که به شرایط سخت محیطی سازگار بوده و می‌توان جهت کشت در مراتع و اراضی تخریب‌شده از آن‌ها استفاده کرد. این پژوهش باهدف بررسی تأثیر روش‌های ذخیره نزولات و تیمارهای اصلاحی خاک بر
تاریخ دریافت: 03/11/18 تاریخ ویرایش: 04/01/27 تاریخ پذیرش: 04/02/05	
واژه‌های کلیدی: تیمارهای اصلاحی خاک، دیوخار، روش‌های ذخیره نزولات، سیاه‌تاغ	

استقرار و رشد دو گونه مرتعی دیوخر و سیاه‌تاغ در نواحی بیابانی جنوب استان خراسان شمالی (شهرستان جاجرم) انجام شد.

مواد و روش‌ها: منطقه مورد مطالعه بخشی از نواحی بیابانی جنوب استان خراسان شمالی بوده که در شمال شهرستان جاجرم و در منطقه دشتی واقع شده است. این محدوده از انتهای معادن کارخانه آلومینا شروع شده و تا پایین دست محدوده کارخانه آلومینای جاجرم در فاصله شش کیلومتری کارخانه ادامه می‌یابد. این پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در 13 تکرار انجام شد و گونه‌های مورد نظر در فاصله پنج متری از یکدیگر مستقر شدند. برای انجام این پروژه سیستم‌های ذخیره نزولات هلالی آبگیر، پیتینگ و کنتورفارو به همراه پنج تیمار در سطوح مختلف شامل تیمارهای نانو ذرات رس اکریلیک (تیمار 1% نانو ذرات رس - رزین اکریلیک و تیمار 3% درصد نانو ذرات رس - رزین اکریلیک)، قارچ مایکوریزا (3 نوع مختلف قارچ‌های مایکوریزا شامل *Glomus intraradices*, *Glomus mosseae* و *Glomus pasciculatum*)، خاک‌پوش کاه، زئولیت (2 سطح 300 و 600 گرم) و شاهد در نظر گرفته شد. خصوصیات گونه‌های مستقر شده از جمله زنده‌مانی پایه‌ها (استقرار)، تاج پوشش، ارتفاع گیاه، قطر بزرگ و قطر کوچک در سال اول پس از استقرار اندازه‌گیری شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها و تحلیل‌های آماری شامل تجزیه واریانس و مقایسات میانگین (آزمون توکی) با استفاده از نرم‌افزار MiniTab نسخه 16 به تفکیک هر گونه صورت گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد در گونه دیوخر، روش کنتورفارو با درصد استقرار بالاتر (99/14 درصد) نسبت به روش‌های پیتینگ و هلالی آبگیر، عملکرد بهتری داشت. برای گونه سیاه‌تاغ نیز روش کنتور فارو با 88/59 درصد، بیش‌ترین استقرار و روش پیتینگ با 79/46 درصد، کم‌ترین استقرار را داشته است. تیمارهای اصلاحی در گونه دیوخر تنها بر قطر کوچک گیاه تأثیر معنی‌داری داشتند و در گونه سیاه‌تاغ، تأثیر معنی‌داری مشاهده نشد. سیستم‌های ذخیره نزولات در گونه دیوخر تأثیر معنی‌داری بر تمامی صفات رویشی (تاج پوشش، ارتفاع گیاه، قطر بزرگ و قطر کوچک) و در گونه سیاه‌تاغ بر قطر بزرگ و تاج پوشش داشتند. مقایسه میانگین عوامل مورد بررسی و گروه‌بندی آن‌ها در تیمارها و بستر کاشت‌های گونه دیوخر نشان داد که بیش‌ترین میانگین ارتفاع گیاه در تیمار نانو 1% و کم‌ترین آن در تیمار قارچ نوع 2 بوده است. بیش‌ترین میانگین قطر بزرگ گیاه در تیمار نانو 3% و کم‌ترین آن در تیمار قارچ نوع 2 بوده است. بیش‌ترین میانگین قطر کوچک گیاه در تیمار شاهد و کم‌ترین آن در تیمار کاه و کلش بوده است. بیش‌ترین میانگین سطح تاج پوشش گیاه در تیمار نانو 3% و کم‌ترین آن در تیمار قارچ نوع 1 بوده است؛ بیش‌ترین میانگین ارتفاع، قطر بزرگ، قطر کوچک و سطح تاج پوشش مربوط به بستر کاشت پیتینگ بوده است. مقایسه میانگین عوامل مورد بررسی و گروه‌بندی آن‌ها در تیمارها و بستر کاشت‌های گونه سیاه‌تاغ نشان داد که بیش‌ترین میانگین ارتفاع گیاه در تیمار زئولیت 300 گرم و کم‌ترین آن در تیمار نانو 1% بوده است. بیش‌ترین میانگین قطر بزرگ گیاه در تیمار زئولیت 300 گرم و کم‌ترین آن در تیمار نانو 1% بوده است؛ بیش‌ترین میانگین قطر کوچک گیاه در تیمار زئولیت 300 گرم و کم‌ترین آن در تیمار نانو 1% بوده است. بیش‌ترین

میانگین سطح تاج پوشش گیاه در تیمار ژئولیت ۳۰۰ گرم و کم‌ترین آن در تیمار نانو ۱٪ بوده است. بیش‌ترین میانگین سطح تاج پوشش و قطر بزرگ مربوط به بستر کاشت پیتینگ بوده است. هم‌چنین بیش‌ترین میانگین ارتفاع و قطر کوچک مربوط به بستر کاشت فارو بوده است. افزایش صفات رویشی عمدتاً به‌دلیل استفاده از روش‌های مؤثر ذخیره نزولات و تیمارهای اصلاحی مانند ژئولیت و نانو ذرات رس - رزین اکریلیک بود، درحالی‌که کاهش صفات رویشی به‌دلیل تیمارهای با کارایی کم‌تر مانند نانو ۱٪ و قارچ مایکوریزا مشاهده شد. هم‌چنین، گونه‌های مختلف به‌طور متفاوتی به این تیمارها پاسخ دادند که نشان‌دهنده اهمیت انتخاب روش‌ها و تیمارهای مناسب برای هر گونه است.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که تیمارهای اصلاحی خاک تأثیرات متفاوتی بر این دو گونه داشتند. در گونه دیوخار، تیمارهای اصلاحی تنها بر قطر کوچک گیاه تأثیر معنی‌داری نشان دادند، درحالی‌که در گونه سیاه‌تاغ، هیچ‌گونه تأثیر معنی‌داری از این تیمارها مشاهده نشد. این تفاوت در پاسخ دو گونه به تیمارهای اصلاحی خاک می‌تواند ناشی از تفاوت در ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بوم‌شناختی آن‌ها باشد. دیوخار ممکن است به‌دلیل سازگاری بیش‌تر با شرایط خاک بهبودیافته، واکنش بهتری به تیمارهای اصلاحی نشان داده باشد، درحالی‌که سیاه‌تاغ ممکن است به‌دلیل مقاومت ذاتی بیش‌تر به شرایط نامساعد خاک، کم‌تر تحت تأثیر این تیمارها قرار گرفته باشد. از سوی دیگر، در این مطالعه مشخص شد که روش کتورفارو به دلیل ایجاد توزیع یکنواخت رواناب و نفوذ بهتر آب در خاک برای هر دو گونه عملکرد بهتری نسبت به سایر سیستم‌های ذخیره نزولات داشته است. یافته‌ها نشان داد که برای مشاهده اثرات طولانی‌مدت تیمارهای اصلاحی خاک، نیاز به داده‌های بلندمدت وجود دارد. در کوتاه‌مدت، ممکن است تغییرات محسوسی در برخی پارامترهای رشد گیاهان مشاهده نشود، اما با گذشت زمان و بهبود تدریجی ساختار و حاصلخیزی خاک، اثرات مثبت این تیمارها می‌تواند بیش‌تر نمایان شود. بنابراین، انجام مطالعات بلندمدت برای ارزیابی دقیق‌تر تأثیر تیمارهای اصلاحی خاک بر رشد و استقرار گونه‌های گیاهی در مناطق خشک و نیمه‌خشک ضروری است.

استناد: حسینعلی‌زاده، محسن، یگانه، حسن، آرانیان، وحید، محمدیان بهبهانی، علی، خرمندار، خدیجه (۱۴۰۴). تأثیر روش‌های مختلف ذخیره نزولات و تیمارهای اصلاحی خاک بر استقرار و شاخص‌های رشد گیاه دیوخار (*Lycium depressum* (L.)) و سیاه‌تاغ (*Haloxylon ammodendron* (C.A. Mey.)). پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۳۲ (۳)، ۱۳۵-۱۱۳.

DOI: 10.22069/jwsc.2026.23294.3789



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

مراعات به‌عنوان بستر حیات و رکن اصلی بوم‌سازگان‌های خشکی، نقش به‌سزایی در حیات بشری داشته و وسیع‌ترین نوع بوم‌سازگان کشور را تشکیل می‌دهند (1). این بوم‌سازگان افزون بر تأمین علوفه، فواید دیگری همچون حفاظت خاک، افزایش نفوذپذیری، تغذیه منابع آب‌های زیرزمینی، جلوگیری از پر شدن مخازن سدها، کاهش سیل و خسارت‌های ناشی از آن، تولید اکسیژن و حفظ گونه‌های گیاهی و جانوری را نیز به همراه دارند (1، 2). از آن‌جاکه بخش قابل‌توجهی از مراعات در مناطق خشک و نیمه‌خشک واقع شده‌اند و کشور ایران نیز بخش عمده‌ای از این مناطق را در برمی‌گیرد، مدیریت مناسب برای حفظ و بهره‌برداری صحیح از این منابع ارزشمند ضروری است (3).

یکی از بزرگ‌ترین محدودیت‌های رشد و نمو پوشش گیاهی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، کمبود دسترسی به آب است. در این مناطق، بارندگی ناکافی بوده و اغلب توزیع مناسبی نیز ندارد (4). در چنین شرایطی، مدیریت بارش‌های جوی از طریق عملیات مکانیکی مانند کنتورفارو، هلالی آبگیر و... از اقدامات مؤثر و اساسی محسوب می‌شود. این اقدامات با کاهش رواناب سطحی، جلوگیری از فرسایش خاک، افزایش نفوذپذیری و نگهداری آب، تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی و کاهش تبخیر، می‌توانند از تشکیل سیلاب‌های مخرب جلوگیری کرده و تعادل اکولوژیکی را در اراضی مرتعی و جنگلی برقرار سازند (2، 3).

با توجه به این‌که متوسط بارندگی سالانه در بخش اعظم مناطق خشک ایران کم‌تر از 100 میلی‌متر است و پراکنش آن نیز نامناسب می‌باشد، ضرورت حفظ و ذخیره نزولات آسمانی و کشت گونه‌های گیاهی مقاوم برای جمع‌آوری آب، احیا و اصلاح مراعات

بیش‌ازپیش احساس می‌شود (5). تنوع روش‌های ذخیره نزولات، هزینه‌های اجرا و عملکرد متفاوت آن‌ها، نیاز به ارزیابی طرح‌ها برای یافتن مناسب‌ترین روش در اقلیم‌های خشک را دوچندان می‌کند (6).

بر اساس پژوهش‌های متعدد، ذخیره نزولات جوی به بهبود پوشش گیاهی کمک می‌کند، اما تأثیر هر یک از روش‌ها در مناطق مختلف متفاوت است. زارع و همکاران (2018) اثر تیمارهای کنتورفارو، پیتینگ و هلالی آبگیر را در استقرار گونه کمای طبسی در منطقه کالمند استان یزد بررسی کرده و نشان دادند که تیمار هلالی آبگیر بیش‌ترین تأثیر را داشته است. به‌طورکلی، هر سه روش کاشت موجب سبز شدن بیش از 50 درصد بذرها شده است (5). رستمی و همکاران (2017) در بررسی اثر سامانه‌های هلالی آبگیر و چاله آبگیر در مراعات گذار هریشت شهرستان اردکان، نتیجه گرفتند که سامانه چاله‌های آبگیر عملکرد بهتری نسبت به هلالی آبگیر دارد و برای اصلاح و توسعه مراعات در مناطق خشک توصیه می‌شود (7). مصلحی و همکاران (2020) نیز تأثیر شیوه‌های مختلف ذخیره نزولات باران (هلالی، لوزی و پیتینگ) بر رطوبت خاک و خصوصیات رویشی نهال‌های گونه بومی مغیر (*Acacia oerfota*) را بررسی کردند و نشان دادند که سامانه هلالی با بهبود ذخیره نزولات و کاهش اتلاف آب، شرایط خرده اقلیم مناسبی برای رویش گیاه فراهم می‌کند (8).

افزایش رطوبت خاک می‌تواند از طریق ترکیب عوامل مکانیکی (سازه‌ای) و استفاده از پوشش‌های سطحی خاک و مواد اصلاحی انجام شود. افزودن مواد اصلاحی به خاک برای افزایش کارایی مصرف آب و بهبود خواص فیزیکی خاک، یکی از مهم‌ترین روش‌های مقابله با کمبود رطوبت است (9). از طرفی دیگر با توجه به این‌که عملیات مکانیکی پس از گذشت چند سال کارایی و بازده اولیه خود را از دست

وزن‌تر و خشک ساقه در گونه *Cymbopogon oliveri* و در سطح 4 گرم زئولیت بود. همچنین صفات رویشی وزن‌تر و خشک گیاه و وزن‌تر ریشه در تیمار 4 گرم زئولیت در گونه *Medicago scutellata* افزایش داشته است. اما طول ریشه در هیچ تیماری اختلاف معنی‌داری نداشت (13). عظیمی و همکاران (2014) در بررسی تأثیر قارچ مایکوریزا بر استقرار و مورفولوژیک گونه *Bromus Kopetdaghensis* در شرایط عرصه‌های مرتعی پرداختند و نتایج نشان داد که همزیستی با گونه قارچ *intraradices* باعث بروز بیش‌ترین میزان کلونیزه شدن ریشه گیاه و همچنین باعث افزایش درصد استقرار، وزن خشک در اندام هوایی و زیرزمینی شده است. با توجه به نتایج حاصل آن‌ها این‌گونه قارچ مایکوریزا را به‌عنوان نوعی کود زیستی، افزایش تولید علوفه و استقرار این‌گونه در اراضی نیمه‌خشک پیشنهاد دادند (14). مطالعات درزمینه اصلاح‌کننده‌های پلیمری (سنتزی و بیوپلیمر) و نانو مواد بر تقویت خاک و حمایت از رشد گیاهان در پروژه‌های مختلف نشان داده که این اصلاح‌کننده‌ها موجب بهبود مکانیک خاک، افزایش نفوذپذیری، مقاومت در برابر فرسایش و تقویت رشد گیاهان می‌شوند (15، 16). بررسی اثرات مواد و روش‌های اضافه کردن خاک‌پوش (اعم از پلاستیکی و آلی) باعث حفظ رطوبت، کنترل علف‌های هرز، بهبود ساختار خاک و افزایش عملکرد محصول می‌شود (17، 18). نتایج استفاده از میکروارگانیزم‌ها (مانند قارچ‌های مایکوریزا و باکتری‌های مفید) و به‌کارگیری فناوری‌های نوین آبیاری (مانند آبیاری قطره‌ای و زیرسطحی) برای بهبود جذب مواد مغذی، افزایش نگهداری آب و بهینه‌سازی مصرف منابع آب، نشان داد که این روش‌ها به بهبود ساختار خاک، افزایش فعالیت میکروبی و کاهش بیابان‌زایی کمک می‌کند (19).

می‌دهند و با عنایت به لزوم ایجاد پوشش در اکوسیستم‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک، معمولاً توأم با عملیات مکانیکی، از روش‌های بیولوژیکی و ایجاد پوشش گیاهی نیز استفاده می‌شود که کاربرد پوشش‌های مختلف به‌عنوان تیمار حفظ رطوبت قابل‌استفاده است و به‌میزان قابل‌توجهی مانع هدررفت آب می‌شود (10). ماکوپادیای و همکاران (2015) به بررسی اثرات نانو کامپوزیت رس در استقرار گونه *Nitraria schoberi* پرداختند و دریافتند که استفاده از نانو کامپوزیت رس سبب بهبود استقرار و رشد آن می‌شود. آن‌ها علت افزایش ویژگی‌های رویشی در این مطالعه را فراهم شدن سطح ویژه بالای نانو ذرات رس می‌دانند که منجر به در دسترس بودن مواد مغذی موجود در خاک برای گیاهان می‌شود (11). کمالی و همکاران (2017) در بررسی اثر رزین اکریلیک حاوی نانو ذرات رس و مالچ گیاهی در استقرار گونه *Nitraria schoberi* در داخل هلالی‌های آبگیر در خراسان شمالی پرداختند و تیمار نانو ذرات رس - رزین اکریلیک را به‌عنوان بهترین تیمار معرفی کردند. چون آن‌ها موجب بهبود خصوصیات رویشی این‌گونه از جمله ارتفاع گیاه، درصد تاج پوشش، تعداد شاخه‌های جانبی و درصد پایه‌های نهال استقرار یافته شدند. بنابراین استفاده هم‌زمان از تیمار نانو ذرات رس - رزین اکریلیک با روش هلالی‌های آبگیر در استقرار قره‌داغ جهت اطمینان از استقرار و رشد بهینه آن در مناطق خشک و نیمه‌خشک پیشنهاد می‌گردد (12). دهداری و همکاران (2017) بررسی اثرات کاربرد زئولیت بر عملکرد و رشد چندگونه مرتعی شامل *Medicago sativa*، *Cymbopogon oliveri* و *Medicago scutellata* در سه سطح 0، 2 و 4 گرم پرداختند و دریافتند که در تیمار 2 و 4 گرم زئولیت درصد زنده‌مانی و سبز شدن نهال‌های مذکور نسبت به شاهد بیش‌تر بود. بیش‌ترین زنده‌مانی، ارتفاع گیاه،

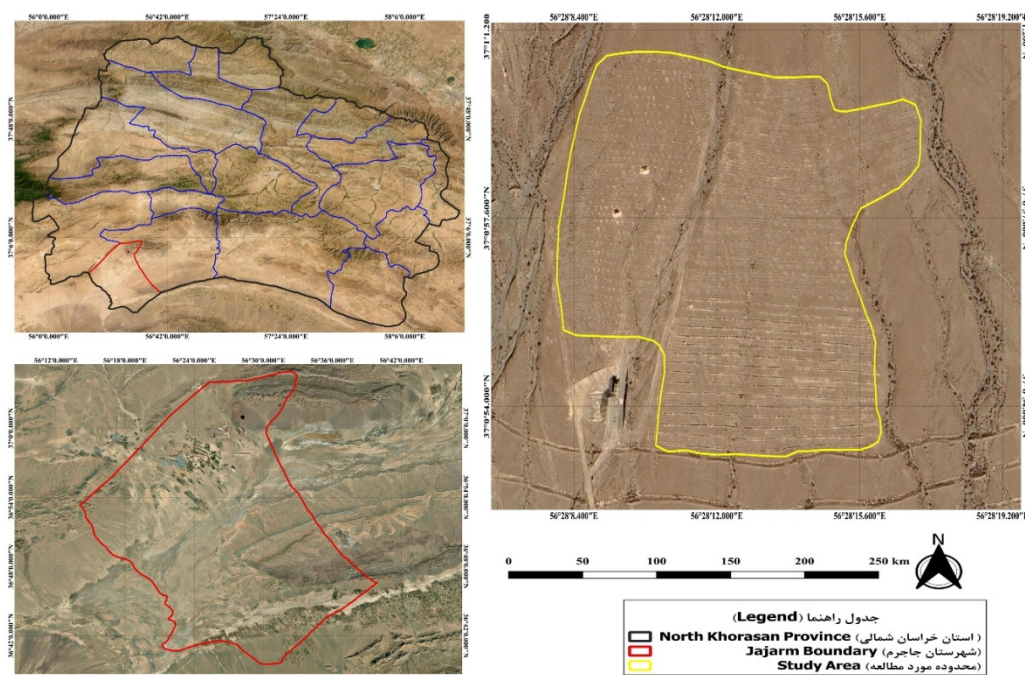
مرور منابع داخلی و خارجی نشان می‌دهد با توجه به محدودیت منابع آبی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، بهره‌گیری از روش‌های ذخیره نزولات جوی به‌عنوان راهکاری مؤثر و پایدار در مدیریت منابع آب مطرح شده است. این روش‌ها باهدف افزایش بهره‌وری آب، کاهش خسارات ناشی از رواناب و تقویت تغذیه آب‌های زیرزمینی توسعه یافته‌اند. مطالعات مختلف داخلی و خارجی کارایی این روش‌ها را در کاهش اثرات خشک‌سالی، بهبود عملکرد محصولات کشاورزی و ارتقاء تاب‌آوری زیست‌محیطی نشان داده‌اند. در ایران نیز به‌دلیل شرایط اقلیمی خاص، استفاده از روش‌های ذخیره نزولات، سابقه‌ای طولانی دارد که در سال‌های اخیر با روش‌های نوین تلفیق شده است. مرور پژوهش‌ها نشان می‌دهد که طراحی و اجرای مناسب این روش‌ها، همراه با مشارکت جوامع محلی، می‌تواند نقش کلیدی در توسعه پایدار منابع آب ایفا کند.

یکی از ارکان مهم اقتصادی در کشورها معادن هستند که متأسفانه این معادن پس از استخراج سنگ معدن به حال خود رها می‌شوند (20)، که این مسأله منجر به آلودگی خاک‌ها به فلزات، فرسایش بادی و آبی در محدوده و اطراف آن‌ها می‌گردد. بنابراین عدم بازسازی پوشش گیاهی در این مناطق و تثبیت خاک‌های آلوده به فلزات منجر به آلوده شدن محیط می‌گردد (21). از طرفی دیگر بهره‌برداری بی‌رویه و بدون برنامه‌ریزی منجر به از بین رفتن پوشش گیاهی در اکوسیستم‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌شود که این مسأله منجر به از بین رفتن تعادل محیط زیستی در این مناطق شده است. به‌طوری‌که در بسیاری از این مناطق به‌علت تخریب اراضی، میکروکلیم و ... تعادل دوباره برقرار نشده است. بنابراین جهت اصلاح و احیا این مناطق معرفی،

استقرار و توسعه گیاهان بومی از اهمیت بالایی برخوردار است (22). اجرای سیستم‌های سطوح آبیگر باران همراه با اعمال تیمارهای اصلاحی در اراضی تخریب‌یافته منجر به تقویت و بهبود خاک و پوشش گیاهی منطقه می‌شود که پیامد حاصل از آن شامل کنترل رواناب و فرسایش خاک، افزایش ماده آلی خاک، توان اقتصادی بهره‌برداران و ایجاد زمینه مشارکت جوامع محلی در برنامه‌های توسعه‌ای است. بنابراین هدف از این پژوهش تعیین بهترین روش ذخیره نزولات جوی شامل هلالی‌های آبیگر، کنورفارو و پیتینگ به همراه بررسی تأثیر کارایی تیمارهای مختلف حفظ رطوبت شامل مالچ گیاهی، فارچ مایکوریزا، ژئولیت و نانورس اکریلیک به‌منظور افزایش تولید و استقرار اولیه گونه‌های دیوچار و سیاه‌تاغ است.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه: منطقه مورد مطالعه بخشی از نواحی بیابانی جنوب استان خراسان شمالی بوده که در شمال شهرستان جاجرم و در منطقه دشتی واقع در جنوب رشته‌کوه بهار (شکل 1)، به مختصات جغرافیایی UTM: 451237-4094056 قرار گرفته است (زون: 40). ارتفاع از سطح دریا 1100 تا 1200 متر، اقلیم منطقه در اقلیم نمای دومارتن از نوع خشک بیابانی بوده و میانگین بارندگی سالانه آن بین 100 تا 150 میلی‌متر می‌باشد. نوع بهره‌بردار از مرتع، عشایر نیمه کوچ رو بوده که ترکیب دام آن‌ها را به ترتیب بز 10٪، گوسفند 80٪ و سایر دام‌ها 10٪ تشکیل می‌دهند. محدوده مورد مطالعه از انتهای معادن کارخانه آلومینا شروع شده و تا پایین‌دست محدوده کارخانه آلومینای جاجرم در فاصله شش کیلومتری کارخانه ادامه می‌یابد. (23).



شکل 1- محدوده مورد مطالعه.

Figure 1. Study area.

رواناب، شدت بارندگی، شیب منطقه، پوشش گیاهی موجود و بافت خاک با استفاده از ماشین‌آلات و نیروی کارگری هلالی‌های آبگیر به قطر 3 متر، عمق 40 سانتی‌متر، شعاع 1/5 متر، عمق سرریز 20 سانتی‌متر و حجم آبگیر 1 مترمکعب احداث شد (24).

به‌منظور اجرای کنتورفارو بر خطوط تراز، جوی‌هایی کم‌عمق به‌صورت شیباری به عمق 20 سانتی‌متر حفر شد. فاصله میان این جوی‌ها از یکدیگر 10 متر در نظر گرفته شد و گونه گیاهی موردنظر در طول شیارهای ایجادشده به فاصله 5 متری از یکدیگر کشت شد. برای ایجاد پی‌تینگ نیز در محدوده موردنظر به‌صورت نواری چاله‌هایی به ابعاد 40*40*40 سانتی‌متر حفر شد و گونه‌های موردنظر در این چاله‌ها غرس شد (2).

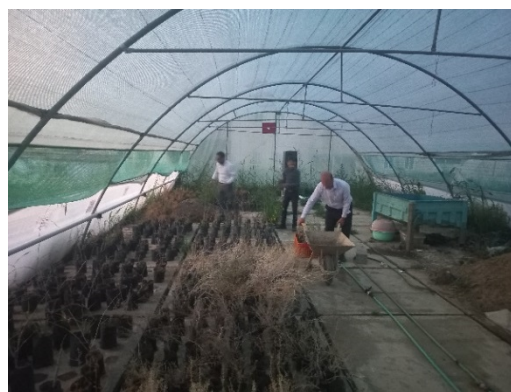
مراحل اجرای پروژه: این پژوهش به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی در 13 تکرار انجام شد. گونه‌های موردنظر در گلخانه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان کشت (شکل 2 الف و ب) و سپس نهال‌ها به محدوده مورد مطالعه منتقل و در فاصله پنج‌متری از یکدیگر با حضور 20 کارگر محلی و نظارت مستقیم کشت شدند (شکل 2 ج). جهت انجام این پروژه سیستم‌های ذخیره نزولات هلالی آبگیر، پی‌تینگ و کنتورفارو به همراه پنج تیمار در سطوح مختلف شامل تیمارهای نانو ذرات رس اکریلیک، قارچ میکوریزا، خاک‌پوش کاه، زئولیت و شاهد در نظر گرفته شد.

احداث سیستم‌های ذخیره نزولات: به‌منظور احداث هلالی آبگیر در منطقه مورد مطالعه قبل از بارش‌های پاییزی (اوایل پاییز 1402) و با در نظر گرفتن حجم



(ب)

(b)



(الف)

(a)



(ج)

(c)

شکل 2- (الف)، (ب) کشت نهال‌ها در گلخانه دانشگاه (ج) کاشت نهال‌ها در عرصه.

Figure 2. (a), (b) Planting seedlings in the university greenhouse (c) Planting seedlings in the field.

از تنش می‌گردد (25). برای اعمال این تیمار، از 3 نوع مختلف قارچ‌های مایکوریزا شامل *Glomus intraradices*، *Glomus mosseae* و *Glomus pasciculatum* استفاده شد. حجم مواد مورد نیاز تیمار قارچ‌های مایکوریزا 50 گرم از هر گونه قارچ برای هر گونه گیاهی در نظر گرفته شد که به خاک اضافه و بلافاصله بعد از کاشت آبیاری انجام شد.

خاک‌پوش کاه: خاک‌پوش‌های زیستی از جمله سرشاخه گیاهان، کاه و کلش منجر به حفظ رطوبت و کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک و کاهش کوبیدگی در سطح خاک می‌شوند و در نتیجه با کاهش

اعمال تیمارهای اصلاحی: نانو ذرات: مهم‌ترین ویژگی نانو رس‌ها جاذب و آزادکننده مواد مغذی و آب می‌باشد. این ویژگی به کاهش مصرف کود و همچنین کاهش میزان آفات در گیاهان منجر می‌شود (11). بدین منظور تیمار نانو ذرات در 2 سطح مختلف شامل تیمار 1% نانو ذرات رس - رزین اکریلیک و تیمار 3% نانو ذرات رس - رزین اکریلیک اجرا شد.

قارچ مایکوریزا: همزیستی گونه‌های گیاهی مختلف با قارچ مایکوریزا اثرات مثبت بسیاری بر روی کمیت و کیفیت گیاهان دارد و همچنین منجر به کاهش اثرات سوء ناشی از تنش‌های خشکی، فقر عناصر مغذی، رشد گیاه و شوری و افزایش مقاومت گیاه بعد

محیط منجر شود. بدین‌منظور جهت تسهیل در استقرار اولیه گونه‌های هدف و تأمین نیازهای آبی آن‌ها، در سال اول استقرار گونه‌ها 10 نوبت آبیاری با حجم تقریبی هر نهال حدود 20 لیتر در هر مرتبه آبیاری انجام شد و پس‌از آن در هر سال تعداد دفعات آبیاری به نصف کاهش خواهد یافت.

اندازه‌گیری، تجزیه و تحلیل داده‌ها: خصوصیات گونه‌های مستقرشده شامل زنده‌مانی پایه‌ها (استقرار)، تاج پوشش، ارتفاع گیاه، قطر بزرگ و قطر کوچک که از نشانه‌های اولیه رشد و توسعه گیاهان هستند در سال اول پس از استقرار (اوایل پاییز 1403) اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری درصد استقرار پایه‌ها از طریق شمارش نهال‌های زنده صورت گرفت (رابطه 1)، ارتفاع، قطر بزرگ و قطر کوچک گونه‌ها با استفاده از شاخص عمودی مدرج اندازه‌گیری شد و سطح تاج‌پوشش نیز از طریق رابطه 2 محاسبه شد (28، 29). طریق تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار MiniTab نسخه 16 صورت گرفت. ابتدا نرمال بودن داده‌ها با آزمون کلموگروف-اسمیرنوف بررسی شد. سپس آنالیزهای آماری شامل تجزیه واریانس و مقایسات میانگین (آزمون توکی) برای مقادیر ارتفاع، قطر بزرگ، قطر کوچک و سطح تاج‌پوشش، به تفکیک هرگونه انجام شد.

$$(1) \quad \text{درصد استقرار} = \frac{\text{تعداد گیاهان زنده}}{\text{کل گیاهان کشت شده}} \times 100$$

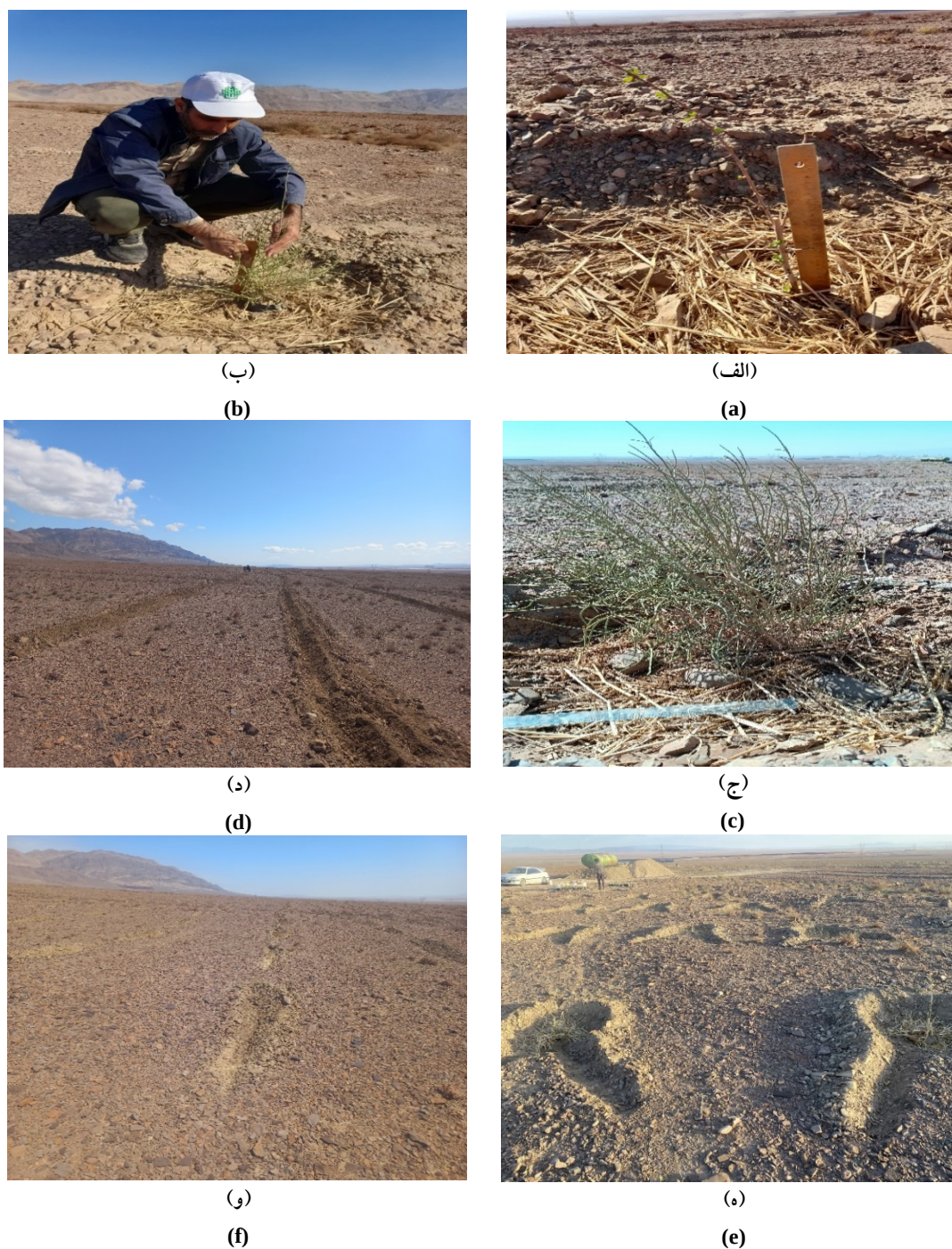
$$(2) \quad \text{سطح تاج پوشش} = \frac{\pi \times \text{قطر کوچک} \times \text{قطر بزرگ}}{4}$$

تبخیر و استحکام خاکدانه‌ها منجر به افزایش ظرفیت نگهداری آب می‌شوند (26). این تیمار شامل کلش حاصل از سافه گندم روی سطح خاک کنار گونه‌های گیاهی به ضخامت 3 سانتی‌متر پاشیده شد. لازم به ذکر است قبل از این عمل مقداری سطح خاک با آب مرطوب شد تا از پراکندگی آن‌ها جلوگیری شود.

ژئولیت: ژئولیت، به‌عنوان یک جاذب مؤثر برای کاتیون‌ها و آنیون‌ها است که توانایی جذب آب تا 70٪ وزن خود، بدون تغییر وضعیت خاک را داشته و منجر به نگهداشت رطوبت خاک می‌گردد (27). جهت اعمال این تیمار، دو سطح ژئولیت شامل 10 و 20 درصد وزن چاله‌ها (معادل 300 و 600 گرم) برای هر گونه استفاده شد. بدین‌صورت که پس از ایجاد چاله سطوح مختلف تیمارها به خاک اضافه و آبیاری انجام شد.

نانو ذرات رس از شرکت نوپلاست سمنان تهیه شدند که به‌دلیل ساختار خاص خود، کاربردهای گسترده‌ای در بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی خاک دارند. قارچ‌های مایکوریزا نیز از شرکت زیست فناوری توران تأمین شدند؛ هم‌چنین، ژئولیت مورد استفاده در این پژوهش نیز از شرکت نیاکان سنگسر تهیه شد.

استقرار گونه‌های دیوخار و سیاه تاغ در عرصه، اندازه‌گیری ویژگی‌های رویشی گونه‌ها یک سال پس از استقرار به همراه احداث کنتور فارو، هلالی آبگیر و پیتینگ در محدوده مورد مطالعه در شکل 3 نشان داده شده است. در این پروژه الگوی آبیاری برای گونه‌های کشت‌شده به‌گونه‌ای طراحی شد که به تدریج نیاز آبی گیاهان کاهش یابد و در نهایت به تثبیت آن‌ها در



شکل 3- (الف) استقرار گونه دیوخار در عرصه کاشت (ب) اندازه‌گیری ویژگی‌های رویشی گونه‌ها یک سال پس از استقرار (ج) استقرار گونه سیاه‌تاغ در عرصه کاشت (د) احداث کنتور فارو در محدوده مورد مطالعه (ه) احداث هلالی آبگیر در محدوده مورد مطالعه (و) احداث پیتینگ در محدوده مورد مطالعه.

Figure 3. (a) Establishment of *L. depressum* in the planting site, (b) Measurement of vegetative characteristics of species one year after establishment, (c) Establishment of *H. ammodendron* in the planting site, (d) Construction of Contour furrows in the study area, (e) Construction of crescent-shaped catchment in the study area, (f) Construction of Pitting in the study area.

نتایج و بحث

ارزیابی درصد استقرار در محدوده مورد مطالعه به تفکیک روش‌های ذخیره نزولات انجام شد (جدول 1). نتایج نشان داد که گونه دیوخار در روش کنتورفارو با 99/14 درصد بیش‌ترین و در روش

هلالی آبگیر با 91/52 درصد کم‌ترین استقرار و هم‌چنین برای گونه سیاه تاغ نیز در روش کنتورفارو با 88/59 درصد، بیش‌ترین و در روش هلالی آبگیر با 79/46 درصد، کم‌ترین استقرار را داشته است.

جدول 1- درصد استقرار گونه‌های دیوخار و سیاه‌تاغ.

Table 1. Establishment percentage of *L. Depressum* and *H. Ammodendron* species.

گونه	روش ذخیره نزولات	درصد استقرار	درصد استقرار کل
	Rainwater harvesting method	percentage Establishment	Total establishment percentage
دیوخار <i>L. Depressum</i>	کنتورفارو Contour furrows	99.14	96.03
	پیتینگ Pitting	97.43	
	هلالی آبگیر Crescent-shaped catchment	91.52	
سیاه‌تاغ <i>H. Ammodendron</i>	کنتورفارو Contour furrows	88.59	85.29
	پیتینگ Pitting	79.46	
	هلالی آبگیر Crescent-shaped catchment	87.83	

نتایج جدول تجزیه واریانس گونه دیوخار (جدول 2) نشان داد که بین روش‌های ذخیره نزولات کنتورفارو، پیتینگ و هلالی آبگیر در صفات موردبررسی گیاه (ارتفاع، قطر بزرگ، قطر کوچک و تاج پوشش) اختلاف معنی‌دار وجود دارد؛ هم‌چنین فقط قطر کوچک گیاه در بین تیمارهای اصلاحی اعمال‌شده اختلاف معنی‌دار بوده و سایر صفات موردبررسی اختلاف معنی‌دار ندارند.

نتایج جدول تجزیه واریانس گونه سیاه‌تاغ (جدول 3) نشان داد که بین روش‌های ذخیره نزولات کنتورفارو، پیتینگ و هلالی آبگیر، سطح تاج‌پوشش و قطر بزرگ در صفات موردبررسی گیاه اختلاف معنی‌دار وجود دارد؛ هم‌چنین هیچ‌کدام از تیمارهای اصلاحی اعمال‌شده اختلاف معنی‌دار نداشتند.

جدول 2- تجزیه واریانس اثر روش‌های ذخیره نزولات و تیمارهای اصلاحی گونه دیو‌خار.

Table 2. Analysis of variance for the effect of rainwater harvesting methods and corrective treatments on *L. depressum*.

میانگین مربعات Mean of Squares (MS)				درجه آزادی Degrees of Freedom (df)	منابع تغییر Source of Variation (SoV)
سطح تاج‌پوشش Canopy cover	قطر کوچک Small diameter	قطر بزرگ Large diameter	ارتفاع Elevation		
52854**	72.236**	1005.98**	3011.8**	2	ذخیره نزولات Rainwater harvesting
3294 ^{ns}	11.443**	22.74 ^{ns}	140.3 ^{ns}	8	تیمار اصلاح‌کننده Corrective treatment
2599 ^{ns}	7.553*	27.41 ^{ns}	133.3 ^{ns}	16	تیمار * ذخیره نزولات Rainwater harvesting * Corrective treatment
1766	3.915	19.14	176.7	324	خطا Error
				350	مجموع Total

^{ns} عدم معنی‌داری، * معنی‌داری در سطح احتمال 5٪، ** معنی‌داری در سطح احتمال 1٪
^{ns} non-significance, * significance at the 5% probability level, ** significance at the 1% probability level

جدول 3- تجزیه واریانس اثر روش‌های ذخیره نزولات و تیمارهای اصلاحی گونه سیاه‌تاغ.

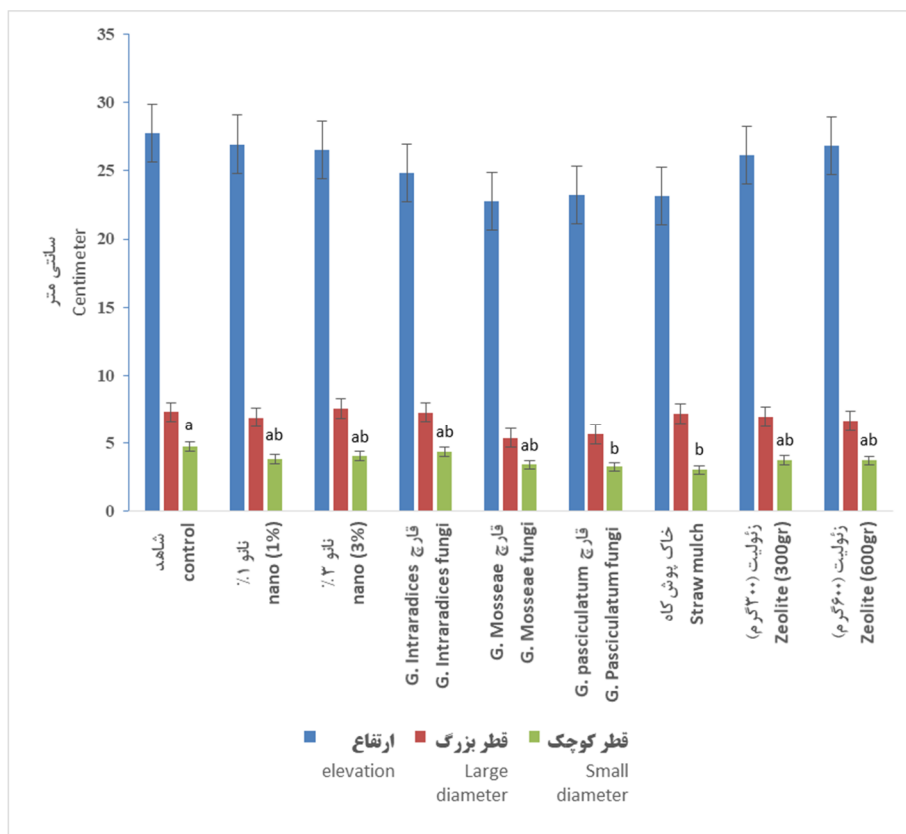
Table 3. Analysis of variance for the effect of rainwater harvesting methods and corrective treatments on *H. ammodendron*.

میانگین مربعات Mean of Squares (MS)				درجه آزادی Degrees of Freedom (df)	منابع تغییر Source of Variation (SoV)
سطح تاج‌پوشش Canopy cover	قطر کوچک Small diameter	قطر بزرگ Large diameter	ارتفاع Elevation		
1871241**	34.88 ^{ns}	5829.0**	246.7 ^{ns}	2	ذخیره نزولات Rainwater harvesting
84921 ^{ns}	42.73 ^{ns}	139.8 ^{ns}	486.9 ^{ns}	8	تیمار اصلاح‌کننده Corrective treatment
88671 ^{ns}	66.97 ^{ns}	132.2 ^{ns}	470.3 ^{ns}	16	تیمار * ذخیره نزولات Rainwater harvesting * Corrective treatment
61630	43.89	133.3	417.8	324	خطا Error
				350	مجموع Total

^{ns} عدم معنی‌داری، * معنی‌داری در سطح احتمال 5٪، ** معنی‌داری در سطح احتمال 1٪
^{ns} non-significance, * significance at the 5% probability level, ** significance at the 1% probability level

یک گروه می‌باشد که بیش‌ترین آن در تیمار نانو 1٪ و کم‌ترین آن در تیمار قارچ نوع 2 بوده است.

مقایسه میانگین عوامل موردبررسی و گروه‌بندی آن‌ها در تیمارها و بسترکاشت‌های گونه دیوخار (شکل 4) نشان می‌دهد که میانگین ارتفاع گیاه شامل

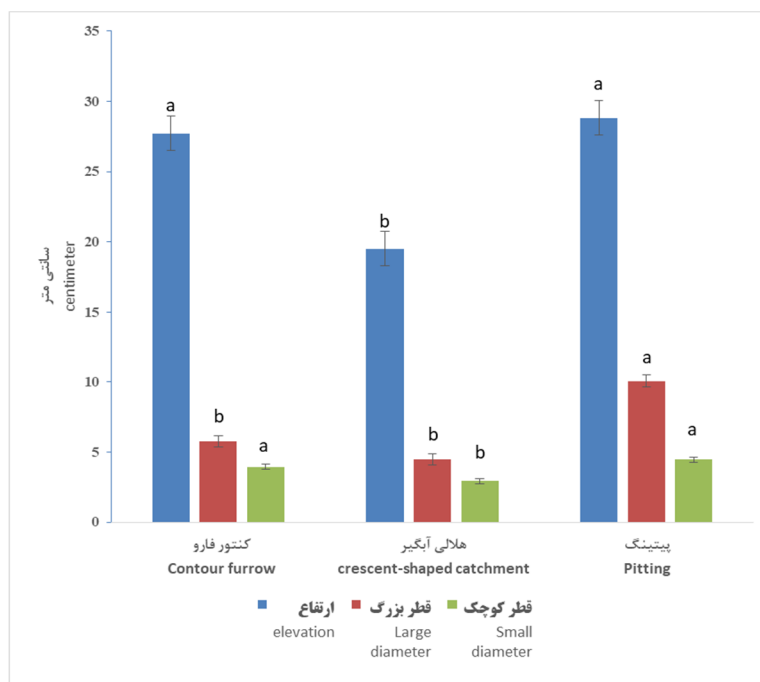


شکل 4- مقایسه میانگین تیمارهای مختلف گونه دیوخار.

Figure 4. Mean comparison of different treatments for *L. Depressum*.

پیتینگ بوده است. میانگین قطر کوچک گیاه شامل سه گروه می‌باشد که بیش‌ترین آن در تیمار شاهد و کم‌ترین آن در تیمار کاه و کلش بوده است. بیش‌ترین میانگین قطر کوچک مربوط به بستر کاشت پیتینگ مشاهده شد.

بیش‌ترین میانگین ارتفاع مربوط به بستر کاشت پیتینگ بوده است (شکل 5). میانگین قطر بزرگ گیاه شامل یک گروه می‌باشد که بیش‌ترین آن در تیمار نانو 3٪ و کم‌ترین آن در تیمار قارچ نوع 2 بوده است. بیش‌ترین میانگین قطر بزرگ مربوط به بستر کاشت

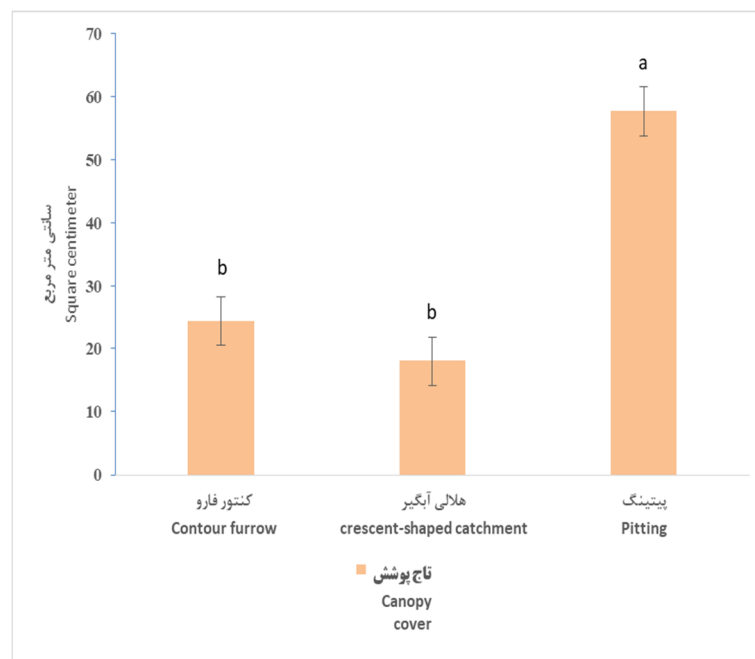


شکل 5- مقایسه میانگین بسترهای کاشت گونه دیوخار.

Figure 5. Mean comparison of planting beds for *L. depressum*.

سطح تاج پوشش مربوط به بستر کاشت پیتینگ بوده است (شکل 6).

میانگین سطح تاج پوشش گیاه شامل یک گروه می‌باشد که بیش‌ترین آن در تیمار نانو 3٪ و کم‌ترین آن در تیمار قارچ نوع 1 بوده است؛ بیش‌ترین میانگین

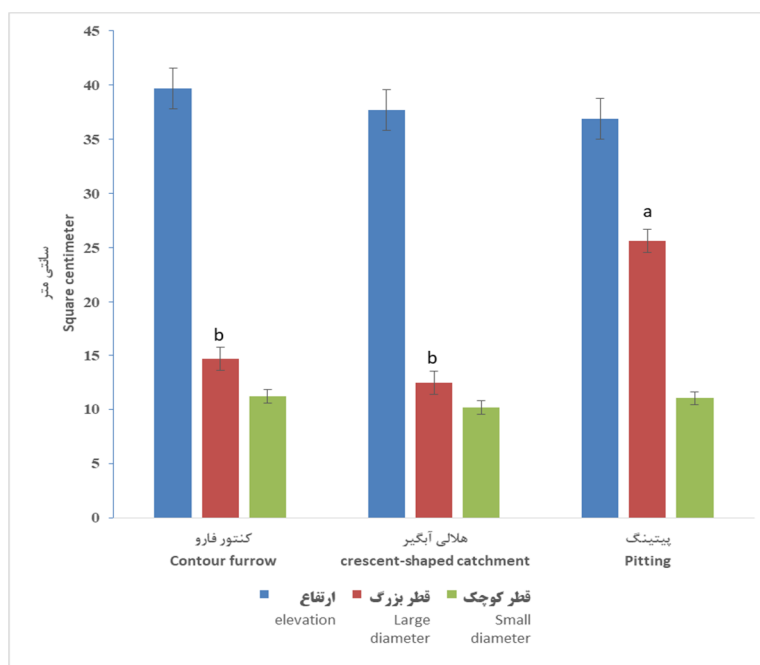


شکل 6- مقایسه میانگین بسترهای کاشت گونه دیوخار.

Figure 6. Mean comparison of planting beds for *L. depressum*.

است؛ میانگین قطر کوچک گیاه شامل یک گروه می‌باشد که بیش‌ترین آن در تیمار زئولیت 300 گرم و کم‌ترین آن در تیمار نانو 1٪ بوده است؛ بیش‌ترین میانگین قطر کوچک مربوط به بستر کاشت فارو بوده است؛ میانگین سطح تاج پوشش گیاه شامل یک گروه می‌باشد که بیش‌ترین آن در تیمار زئولیت 300 گرم و کم‌ترین آن در تیمار نانو 1٪ بوده است؛ بیش‌ترین میانگین سطح تاج پوشش مربوط به بستر کاشت پیتینگ بوده است.

مقایسه میانگین عوامل موردبررسی و گروه‌بندی آن‌ها در تیمارها و بسترکاشت‌های گونه سیاه‌تاغ (شکل 7) نشان می‌دهد که میانگین ارتفاع گیاه شامل یک گروه می‌باشد که بیش‌ترین آن در تیمار زئولیت 300 گرم و کم‌ترین آن در تیمار نانو 1٪ بوده است؛ بیش‌ترین میانگین ارتفاع مربوط به بستر کاشت فارو بوده است؛ میانگین قطر بزرگ گیاه شامل یک گروه می‌باشد که بیش‌ترین آن در تیمار زئولیت 300 گرم و کم‌ترین آن در تیمار نانو 1٪ بوده است؛ بیش‌ترین میانگین قطر بزرگ مربوط به بستر کاشت پیتینگ بوده



شکل 7- مقایسه میانگین بسترهای کاشت گونه سیاه‌تاغ.

Figure 7. Mean comparison of planting beds for *H. ammodendron*.

بیش‌ترین استقرار و روش پیتینگ با 79/46 درصد کم‌ترین استقرار را داشته است. این برتری ممکن است به توزیع یکنواخت‌تر رواناب و نفوذ بهتر آب در خاک در روش کنتورفارو مرتبط باشد. این نتایج نشان می‌دهد که توزیع یکنواخت رواناب و نفوذ بهتر آب در خاک در روش کنتورفارو، عاملی کلیدی در بهبود استقرار گونه‌های مورد مطالعه بوده است. در

نتایج این پژوهش نشان داد که روش‌های مختلف ذخیره نزولات تأثیرات متفاوتی بر استقرار و رشد گونه‌های مستقرشده در منطقه مورد مطالعه داشته‌اند. برای گونه دیوخار روش کنتورفارو با درصد استقرار بالاتر (99/14 درصد) نسبت به روش‌های پیتینگ و هلالی آبگیر، عملکرد بهتری داشت؛ برای گونه سیاه‌تاغ نیز روش کنتور فارو با 88/59 درصد

بیابانی باشد که باعث کاهش نیاز آن به تیمارهای اصلاحی می‌شود. مشابه این یافته‌ها، رزمجو و همکاران (2008) نشان دادند که گونه سیاه‌تاغ به دلیل سازگاری فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی، به‌طور طبیعی عملکرد بهتری در محیط‌های خشک و شور دارد (30).

براساس نتایج، تیمار زئولیت (300 گرم) بیش‌ترین تأثیر را بر افزایش صفات رویشی داشت، به‌ویژه در گونه دیوخار که قطر کوچک و سطح تاج پوشش را افزایش داد. نانو ذرات رس - رزین اکریلیک (3٪) نیز به دلیل افزایش نگهداری رطوبت و بهبود ساختار خاک، عملکرد قابل‌قبولی از خود نشان داد. در مقابل، تیمار نانو 1٪ و قارچ مایکوریزا تأثیر معنی‌داری بر صفات رویشی نداشتند و حتی در برخی موارد منجر به کاهش ارتفاع و قطر گیاه شدند. این تفاوت‌ها به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی هر تیمار و واکنش گونه‌های مختلف به شرایط خاک بستگی دارد. بنابراین، انتخاب تیمار باید با توجه به نوع گیاه و شرایط محیطی صورت گیرد.

این پژوهش با طراحی دقیق و روش‌شناسی جامع، تأثیر روش‌های مختلف ذخیره نزولات و تیمارهای اصلاحی خاک را بر استقرار و رشد دو گونه مقاوم دیوخار و سیاه‌تاغ در شرایط بیابانی موردبررسی قرار داده است. یافته‌های مطالعه به‌وضوح نشان می‌دهد که روش کنتورفارو به دلیل توزیع یکنواخت رواناب و نفوذ بهتر آب در خاک، بهترین عملکرد را در افزایش درصد استقرار و رشد هر دو گونه داشته است. این نتایج با مطالعات پیشین مانند سیمونز و همکاران (2010) که بر اهمیت توزیع رواناب تأکید داشتند، همسو است. همچنین، تفاوت پاسخ گونه‌ها به تیمارهای اصلاحی (مانند تأثیر معنی‌دار نانو ذرات بر قطر کوچک دیوخار و عدم تأثیر بر سیاه‌تاغ نشان‌دهنده اهمیت تنوع زیستی و نیاز به رویکردهای گونه‌محور در مدیریت احیای مراتع است.

مطالعه حاضر، روش هلالی آبگیر با کم‌ترین درصد استقرار در هر دو گونه، عملکرد ضعیف‌تری داشت که می‌تواند ناشی از عدم توزیع مناسب رواناب باشد، مشابه یافته‌های مصلحی و همکاران (2020) که نشان دادند روش هلالی آبگیر عملکرد ضعیف‌تری در مقایسه با روش‌های دیگر دارد (8).

تیمارهای اصلاحی خاک تأثیرات متفاوتی بر دو گونه مورد مطالعه داشتند. در گونه دیوخار، تیمارهای اصلاحی تنها بر قطر کوچک گیاه تأثیر معنی‌داری داشتند، درحالی‌که در گونه سیاه‌تاغ هیچ‌گونه تأثیر معنی‌داری مشاهده نشد. این یافته‌ها نشان می‌دهد که برای مشاهده اثرات طولانی‌مدت تیمارهای اصلاحی، نیاز به داده‌های بلندمدت وجود دارد. مشابه این نتایج، دهداری و همکاران (2017) نیز گزارش کردند که استفاده از زئولیت در کوتاه‌مدت تأثیر معنی‌داری بر برخی خصوصیات رویشی گیاهان ندارد، اما در بلندمدت می‌تواند اثرات مثبتی داشته باشد (13).

در مقایسه با سایر مطالعات، این پژوهش نشان داد که روش کنتورفارو به دلیل توزیع یکنواخت رواناب و افزایش نفوذ آب، بهترین عملکرد را در بهبود صفات رویشی گونه‌ها داشته است. مطالعات مشابهی مانند سیمونز و همکاران (2010) نیز تأکید داشتند که توزیع مناسب رواناب می‌تواند باعث افزایش رطوبت خاک و بهبود رشد گیاهان شود. همچنین، استفاده از نانو ذرات رس به‌عنوان تیمار اصلاحی در این پژوهش، هر چند تأثیر معنی‌داری بر بسیاری از صفات نداشت، اما پتانسیل بالایی برای بهبود خصوصیات خاک نشان داد (10). ماکوپادیای و همکاران (2015) نیز تأثیر مثبت نانو ذرات رس بر استقرار گونه‌های گیاهی در شرایط کم‌آبی را گزارش کرده‌اند (11).

یکی از نتایج مهم این پژوهش، عدم تأثیر معنی‌دار تیمارهای اصلاحی بر گونه سیاه‌تاغ بود. این یافته ممکن است به دلیل سازگاری بالای این گونه با شرایط

از نقاط قوت این پژوهش می‌توان به طرح آزمایشی فاکتوریل با 13 تکرار، استفاده از فناوری‌های نوین مانند نانو ذرات رس- رزین اکریلیک و تحلیل آماری دقیق اشاره کرد. با این حال، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده دوره پایش طولانی‌مدت‌تری برای ارزیابی اثرات تیمارها در نظر گرفته شود تا پایداری نتایج در بلندمدت تأیید گردد. همچنین، بررسی هزینه- کارایی روش‌های پیشنهادی می‌تواند به بهینه‌سازی اجرای این طرح‌ها در مقیاس وسیع کمک کند.

به‌طور کلی، این پژوهش با ترکیب روش‌های مکانیکی و زیستی، گامی مؤثر در جهت احیای پایدار زیست‌بوم‌های خشک برداشته و داده‌های ارزشمندی برای پژوهش‌گران و مدیران منابع طبیعی فراهم می‌کند. نتایج آن می‌تواند به‌عنوان الگویی برای پروژه‌های مشابه در مناطق با اقلیم مشابه مورد استفاده قرار گیرد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که روش‌های مختلف ذخیره نزولات، به‌ویژه روش کنتورفارو، به دلیل توزیع یکنواخت رواناب و نفوذ بهتر آب در خاک، بیشترین تأثیر را در بهبود استقرار و رشد گونه‌های مقاوم دیوختار و سیاه‌تاغ داشته‌اند. در مقابل، روش هلالی آبگیر کم‌ترین عملکرد را نشان داد. همچنین، اکثر تیمارهای اصلاحی در کوتاه‌مدت تأثیر قابل‌توجهی نداشتند و نتایج معنی‌داری محدودی مشاهده شد. این امر بر ضرورت اجرای پروژه‌های تحقیقاتی بلندمدت برای بررسی عملکرد واقعی تیمارهای اصلاحی و ذخیره نزولات در طول زمان تأکید دارد. درواقع، اصلاح ساختار و حاصلخیزی خاک و ارتقاء پوشش گیاهی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، فرآیندی تدریجی است که نیازمند پایش مستمر و برنامه‌ریزی بلندمدت است؛ درنهایت، بر اساس نتایج حاصل‌شده

می‌توان پیشنهاد کرد که استفاده ترکیبی از سیستم‌های مؤثر ذخیره نزولات مانند کنتورفارو با تیمارهایی مانند ژئولیت و نانو کامپوزیت‌های خاکی، به‌ویژه در گونه‌های حساس‌تر، می‌تواند به بهبود استقرار و رشد اولیه گیاهان کمک کرده و در درازمدت موجب احیای پایدار اراضی تخریب‌شده گردد. در کنار آن، توجه به ویژگی‌های بوم‌شناختی گونه‌ها در انتخاب نوع تیمارها، از اهمیت بالایی برخوردار است.

تقدیر و تشکر

نویسندگان این اثر از همکاران حوزه معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان و شرکت آلومینای ایران- جاجرم برای حمایت‌های مالی و معنوی، تسهیل دسترسی به بازدیدهای میدانی و نمونه‌برداری تقدیر و تشکر می‌نمایند.

داده‌ها، اطلاعات و دسترسی

داده‌های این پژوهش مرتبط با پروژه تحقیقاتی با عنوان تعیین مناسب‌ترین روش‌های استقرار و تیمار جهت کاشت گونه‌های بومی در پایین‌دست سنگ‌شکن‌های معدن بوکسیت جاجرم به شماره طرح 5552/ج در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان و شرکت آلومینای ایران- جاجرم می‌باشد. دسترسی به داده‌ها و اطلاعات صرفاً برای داوران و بنا بر درخواست ایشان میسر خواهد بود.

مشارکت نویسندگان

مشارکت نویسندگان در این متن به شرح ذیل است:

نویسنده اول: داده‌برداری، آماده‌سازی داده‌ها، اصلاح و نهایی‌سازی مقاله، نویسنده دوم: طرح تحقیق و روش‌شناسی، داده‌برداری، اصلاح و نهایی‌سازی مقاله،

تعارض منافع

در این مقاله تضاد منافی وجود ندارد و این مسئله مورد تأیید همه نویسندگان است.

حمایت مالی

این پژوهش با حمایت مالی شرکت آلومینای ایران - جاجرم در قالب یک طرح تحقیقاتی با کد 5552/ج صورت گرفته است.

نویسنده سوم: تهیه و آماده‌سازی داده‌ها، تهیه پیش‌نویس مقاله، نویسنده چهارم: مشارکت در بازدید میدانی و بازبینی مقاله، نویسنده پنجم: مشارکت در طرح و روش تحقیق.

اصول اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر عملی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه نویسندگان می‌باشد.

منابع

1. Moghadam, M. (2005). Range and Range management. *Tehran University Press*, 470p. [In Persian]
2. Azarnivand, H., & Zare-chahoki, M. A. (2008). Rangeland improvement. *Tehran University Press*, 354p. [In Persian]
3. Mohamadian, A., Abtahi, S. A., R., Sepah Mansoori, & Karamian, R. (2008). Effect of water spreading operations on condition, trends, and changes of vegetation in research station D. Rashid Lorestan, *Proceedings of the Fourth National Conference on Science and Watershed Engineering*, Karadj. Iran. 20-21 February. p: 723. [In Persian]
4. Ghasemi, A., & Hydari, H. (2009). Assessment of the Effects of Flood Spreading on Soil Properties and Vegetative Characteristics of Nubk, Common Mesquite and Gum arabic in Tangestan, Bushehr Province. *Journal of Wood & Forest Science and Technology*, 16(9), 59-72. [In Persian]
5. Zarekia, S., Fayaz, M., Zare, M. T., & Abolghasemi, M. (2018). Study of Methods of Rain Harvesting and Season Planting in Initial Establishment of *Astragalus squarrosus* in Yazd Province (Case Study: Kalmand Bahadoran Rangelands). *Iranian Scientific Association of Desert Management and Control*, 27(1), 39-50. [In Persian]
6. Bahmadi, M. H., & Shahryari, A. (2016). Effects of different ways of rainfall storage on restoration of vegetation (Case study: rangland of Romeh and Dehno watershed, Nehbandan city). *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 23(1), 51-57. [In Persian]
7. Rostami, A. (2017). The effect of run off harvesting methods on vegetation condition in arid lands (Case Study: Godar Herisht). *Journal of Desert Ecosystem Engineering*, 6(16), 25-34. [In Persian]
8. Moslehi, M., & Hassanzadeh Khankahdani, H. (2020). Investigating the Effects of Different Methods of Precipitation Storage on Soil moisture and Growth Characteristics of *Acacia Oerfota* (Forssk) Schweinf Seedlings: A Case study of Paired Watershed of Dehgin, Hormozgan Province. *Journal of Desert Ecosystem Engineering*, 9(26), 61-72. [In Persian]
9. Khodaeijoghan, A., Moshatati, A., Mousavi, S. H., Pakdamansardrood, B., & Abdolahinoroozi, M. (2020). Investigating the Alleviation of Water Deficit Stress on Wheat Growth and Yield Using Zeolite and Fungus *Piriformospora indica*. *Journal of Water Research in Agriculture (Soil and Water Sci.)*, 33(4), 613-627. [In Persian]

10. Simmons, A. M., Kousik, C. K., & Levi, A. (2010). Combining reflective mulch and host plant resistance for sweet potato whitefly (*Hemiptera: Aleyrodidae*) management in watermelon. *Crop Protection*, 29, 898-902.
11. Mukhopadhyay, R., De, N., & Kumar Das, T. (2015). Effect of Nanoclay polymer composite on growth and yield of lentil in longer term trial under rained condition. *International Journal of Science and Nature*, 6, 209-213.
12. Kamali, P., Heshmati, G., Sepehri, A., & Ahmadi, S. (2017). Effects of acrylic resin containing clay nanoparticles and dry farmed wheat mulch on the establishment of *Nitraria schoberi* L. within curved micro catchment ponds (Case Study: international project of carbon sequestration, North Khorasan Province). *Journal of Rangeland*, 11(2), 246-257. [In Persian]
13. Dehdary, S., Kuhansani, Z., Shojaei, F., & Kazemi, R. (2017). Study the effects of using zeolite on the prototypical stages of growth in pasture species: *Cymbopogon Olivieri*, *Medicago sativa* and *Medicago scutellata*. *Journal of Range & Watershed Management*, 70, 333-344. [In Persian]
14. Azimi, R., Jankju, M., & Asghari, H. R. (2014). Effect of mycorrhiza inoculation on seedlings establishment and morphological parameters of *Bromus kopetdaghensis* L. under field conditions. *Journal of Range & Watershed Management*, 67, 559-570. [In Persian]
15. Yao, Y., Li, J., & Liu, K. (2023). A State-of-the-Art Review of Organic Polymer Modifiers for Slope Eco-Engineering. *Polymers*, 15(13), 2878.
16. Hafez, M., & Khalil, H. F. (2024). Nanoparticles in sustainable agriculture: Recent advances, challenges, and future prospects. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. <https://doi.org/10.1080/00103624.2024.2339950>.
17. Kumar, P., & Usadadiya, V. P. (2023). Mulching: An Efficient Technology for Sustainable Agriculture Production. *International Journal of Plant & Soil Science*, 35(20), 887-896.
18. Danish, M., Kumar, R., & Sahu, R. K. (2020). Effect of rate of organic mulch on soil moisture conservation. *International Journal of Chemical Studies*, 8(3), 631-635.
19. Saidova, M., Namozov, N., Tursinbaev, M., Teshabaev, B., & Kuchimova, M. (2024). Methods of increasing the productivity of desert pasture soils. In *E3S Web of Conferences*, 563, 3041.
20. Venkateswarlu, K., Nirola, R., Kuppusamy, S., Thavamani, P., Naidu, R., & Megharaj, M. (2016). Abandoned metalliferous mines: ecological impacts and potential approaches for reclamation. *Reviews in Environmental Science and BioTechnology*, 15, 327-354.
21. Bacchetta, G., Cappai, G., Carucci, A., & Tamburini, E. (2015). Use of native plants for the remediation of abandoned mine sites in Mediterranean semiarid environments. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 94, 326-333.
22. Vallejo, V. R., Smanis, A., Chirino, E., Fuentes, D., Valdecantos, A., & Vilagrosa, A. (2012). Perspectives in dryland restoration: approaches for climate change adaptation. *New For*, 43, 561-579.
23. Kashki, M., Shahmoradi, A., & Namdost, T. (2015). Investigate dynamic and trend changes of vegetation on desert ecosystems (case study Jajarm region, North Khorasan). *Journal of Desert Ecosystem Engineering*, 4(7), 87-98.
24. Jangjo, M. (2009). Rangeland Improvement and Development. *Mashhad Academic Publications*, 239 p. [In Persian]
25. Franken, P. (2012). The plant strengthening root endophyte *Piriformospora indica*: potential application and the biology behind. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 96, 1455-1464.
26. Jordan, A., Zavala, L. M., & Munoz Rojas, M. (2011). Mulching, effects on soil physical properties. In: Glinski, J.,

- Horabik, J., Lipiec, J. (Eds.), Encyclopedia of Agrophysics. Springer, Dordrecht, pp. 492-496.
27. Ruiz-Baltazar, A., & Perez, R. (2015). Kinetic Adsorption Study of Silver Nanoparticles on Natural Zeolite: Experimental and Theoretical Models. *Journal of Applied Sciences*, 5, 1869-1881.
28. Elzinga, C. L., Salzer, D. W., & Willoughby, J. W. (1998). Measuring and Monitoring Plant Populations. U.S. Bureau of Land Management.
29. Friedman, J. M., & Lee, C. S. (2002). Vegetation establishment and survival in floodplain restoration: The role of soil characteristics and hydrologic conditions. *Restoration Ecology*, 10(3), 431-441.
30. Razmjoo, K., Heydarizadeh, P., & Sabzalian, M. R. (2008). Effect of salinity and drought stresses on growth parameters and essential oil content of *Matricaria chamomile*. *International Journal of Agriculture & Biology*, 10, 451-454.

