Original Article, Vol. 13, No. 2, Summer, 2025, pp 1-22

Desert Management
www.isadmc.ir

Iranian Scientific Association of Desert Management and Control

The investigation of the establishment methods of *Aellenia subaphylla* C.A. Mey. and *Artemisia sieberi* Besser. in the desert region of Jajarm

H. Yegnaeh[1], M. Hosseinalizadeh[1], V. Aranian[2], A. Mohmadian Behbahani[1], K. Khermandar[3]

1. Associate Professor, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgān, Iran.
2. Ph.D student, Dept. of Rangeland Managment Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgān, Iran.
3. Ph.D. Dept. of Arid Zone Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
* Corresponding Author: yeganeh@gau.ac.ir

Received date: 31/05/2025 **Accepted date: 10/09/2025**

10.22034/jdmal.2025.2062272.1504

Abstract

Arid and semi-arid regions, which cover a large proportion of Iran's rangelands, are among the most vulnerable ecosystems due to low precipitation, high evaporation, and uneven rainfall distribution. These conditions result in increased surface runoff, reduced soil infiltration, and severe limitations in water resources. Implementing strategies such as rainwater harvesting techniques and soil amendment treatments has the potential to enhance soil moisture retention, minimize evaporation losses, improve water-use efficiency, and ultimately support the sustainability of vegetation cover. In the present study, the effects of different rainwater harvesting methods and soil amendment treatments on the establishment and growth of two rangeland species, *Aellenia subaphylla* and *Artemisia sieberi*, were evaluated in the desert rangelands of Jajarm, Iran. The experiment was conducted as a factorial arrangement within a randomized complete block design with four replications. Three rainwater harvesting methods including crescent-shaped catchments, pitting, and contour furrows, were tested in combination with soil amendment amendments including two levels of acrylic clay nanoparticles, *Glomus intraradices*, *Glomus mosseae*, *Glomus fasciculatum*, straw mulch, two levels of zeolite, and a control. Vegetation parameters such as establishment rate, canopy cover, plant height, and major and minor diameters were measured during the first year after establishment. The results showed that *A. subaphylla* achieved the highest establishment rate (71.21%) under the contour furrow method, while *A. sieberi* recorded its highest establishment rate (86.11%) under the pitting method. Conversely, the crescent-shaped catchment resulted in the lowest establishment rates for both species. Soil amendment treatments did not exhibit significant effects on either species. Significant differences among rainwater harvesting methods were observed in terms of major and minor diameters for *A. subaphylla*, and in major diameter and canopy cover for *A. sieberi*. Overall, the findings suggest that while rainwater harvesting methods play a critical role in improving the establishment of rangeland species, long-term studies are required to fully evaluate the impacts of soil amendment treatments.

Keywords: Rainwater harvesting methods; soil amendment treatments; desert rangeland rehabilitation; establishment of rangeland species.

How to cite this article
Yegnaeh, H., Hosseinalizadeh, M., Aranian, V., Mohmadian Behbahani, A. and Khermandar K. (2025). The investigation of the establishment methods of *Aellenia subaphylla* C.A. Mey. and *Artemisia sieberi* Besser. in the desert region of Jajarm. *Desert Management*, *13*(2), 1-22. DOI: 10.22034/jdmal.2025.2062272.1504

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

Extended Abstract

Introduction

Arid and semi-arid regions, which cover approximately 40% of the Earth's land surface, face significant challenges in the establishment and maintenance of vegetation cover (16). Due to their distinct climatic conditions—characterized by low precipitation and extreme temperature fluctuations—these areas are regarded as some of the most fragile ecosystems worldwide. A substantial portion of Iran's land area also lies within these arid and semi-arid zones, emphasizing the importance of effective ecosystem management in the country (22, 23). The vegetation in such regions mainly consists of drought-tolerant species characterized by specific adaptations, including extensive root systems, small leaves, and efficient water-use mechanisms (21). Rangelands in Iran play a vital role in maintaining biodiversity, controlling soil erosion, and providing forage for livestock (22). However, multiple factors—including climate change, overgrazing, and land-use change—pose significant threats to these valuable ecosystems (21, 36). In recent years, the application of rainwater harvesting techniques and soil amendment treatments has emerged as an effective strategy to enhance vegetation cover, improve water infiltration, reduce evaporation, and conserve soil moisture (8, 9). Despite numerous studies on water resource management and soil improvement in arid environments, notable research gaps still exist. Many studies have independently assessed the impacts of rainwater harvesting or soil amendments. Yet, few have examined the combined effects of these approaches on the establishment and growth of rangeland species. The present study examines the impact of various rainwater harvesting methods and soil amendment treatments on the establishment of two key rangeland species, *Aellenia subaphylla* C.A. Mey and *Artemisia sieberi* Besser, in the Jajarm region.

Material and Methods

This study was conducted in the desert region of Jajarm, located in the southern part of North Khorasan Province, Iran (Fig. 1). The study area has an arid climate, with an average annual rainfall ranging from 100 to 150 mm and an elevation ranging between 1100 and 1200 m above sea level. The soil is predominantly sandy loam with light texture. Rainfall is concentrated in winter and early spring, whereas summers are hot and dry with minimal precipitation. The dominant vegetation in the rangelands is composed mainly of shrub species, including *Artemisia sieberi*, *Salsola orientalis* S.G. Gmelin, and *Salsola arbusculiformis* Drob (14, 15, 18). The experiment was designed as a factorial arrangement within a completely randomized design (CRD) with four replications. The target plant species were established at 5 m intervals (Fig. 2). Three rainwater harvesting techniques were tested: (1) crescent-shaped catchments (3 × 1.5 m) (Fig. 5), (2) pitting (40 × 40 × 40 cm holes) (Fig. 4), and (3) contour furrows (20 cm depth, 10 m spacing) (1, 12) (Fig. 3). Five soil amendment treatments were also applied: (1) acrylic clay nanoparticles at two concentrations (1% and 3%), (2) mycorrhizal fungi including *Glomus intraradices*, *Glomus mosseae*, and *Glomus fasciculatum*, (3) straw mulch (3 cm thickness), (4) zeolite at two levels (10% and 20% of soil weight), and (5) a control treatment. Plant growth parameters-including establishment percentage, canopy cover, plant height, and the major and minor canopy diameters- were measured one year after planting (Figs. 6, 7). Data analysis was performed using Minitab software version 16. Data normality was tested using the Kolmogorov–Smirnov test, followed by analysis of variance (ANOVA) and mean separation using Tukey's test.

Results

Establishment percentages were evaluated across the study area under different rainwater harvesting methods. Results showed that *Aellenia subaphylla* achieved the highest establishment rate under the contour furrow method (71.2%) and the lowest under the crescent-shaped catchment method (43.33%). Similarly, *Artemisia sieberi* exhibited the highest establishment rate under the pitting method (86.1%) and the lowest under the crescent-shaped catchment method (76.1%) (Figs. 8, 9). Analysis of variance (ANOVA) revealed significant differences among the three rainwater harvesting methods—contour furrow, pitting, and crescent-shaped catchment—for *A. subaphylla* in terms of both major and minor canopy diameters (Table 1). For *A. sieberi*, significant differences were detected in primary canopy diameter and canopy cover area. In contrast, soil amendment treatments did not produce statistically significant effects on the measured traits for either species (Table 2). Mean comparison results indicated that, in *A. subaphylla*, the greatest average plant height was obtained under the *Glomus intraradices* treatment, whereas the highest averages for major and minor canopy diameters and canopy cover were observed under the 3% nano-clay treatment. Additionally, contour furrow and pitting methods resulted in the highest values for plant height, canopy dimensions, and cover area (Figs. 10–12).

For *A. sieberi*, the highest average plant height was recorded under the *G. intraradices* treatment, while the greatest primary canopy diameter and canopy cover were obtained under the *G. fasciculatum* treatment. The largest minor canopy diameter was observed in the 300 g zeolite treatment. Furthermore, the pitting method consistently produced the highest averages for all measured growth parameters in *A. sieberi* (Figs. 13–15). Overall, the findings indicate that pitting and contour furrow methods, in combination with treatments involving mycorrhizal fungi and nano-clay, provided the most favorable conditions for enhancing the establishment and growth of the studied species.

Discussion and Conclusion

The results of this study demonstrated that the contour furrow method produced the highest establishment rate for *Aellenia subaphylla* (71.21%), whereas the pitting method was most effective for *Artemisia sieberi* (86.11%). These differences likely reflect the distinct ecological traits and water requirements of the two species. Consistent with previous studies (2, 9, 31, 37), the findings confirm that rainwater harvesting techniques can substantially enhance plant establishment and growth by improving soil moisture availability and water infiltration. In contrast, soil amendment treatments—including mycorrhizal fungi, zeolite, and acrylic clay nanoparticles—did not exhibit significant short-term effects. Nevertheless, their long-term potential to improve soil structure, nutrient availability, and plant–soil interactions should not be overlooked, as reported in earlier studies (5, 13). Evidence from other research also suggests that combining soil amendments with rainwater harvesting techniques can produce synergistic effects, further enhancing vegetation establishment over time.

Overall, this study underscores the importance of selecting appropriate rainwater harvesting methods that align with species-specific ecological requirements in the rehabilitation of arid rangelands. Furrows and pitting emerged as the most effective approaches for the studied species and can be recommended as practical strategies for similar environments. To strengthen these findings, future research should focus on long-term monitoring of combined water harvesting and soil amendment practices, as well as their applicability across different rangeland species and climatic conditions. Such investigations will contribute to developing more comprehensive and sustainable rangeland management strategies in arid and semi-arid regions.

Keywords: Rainwater harvesting methods; soil amendment treatments; desert rangeland rehabilitation; establishment of rangeland species.

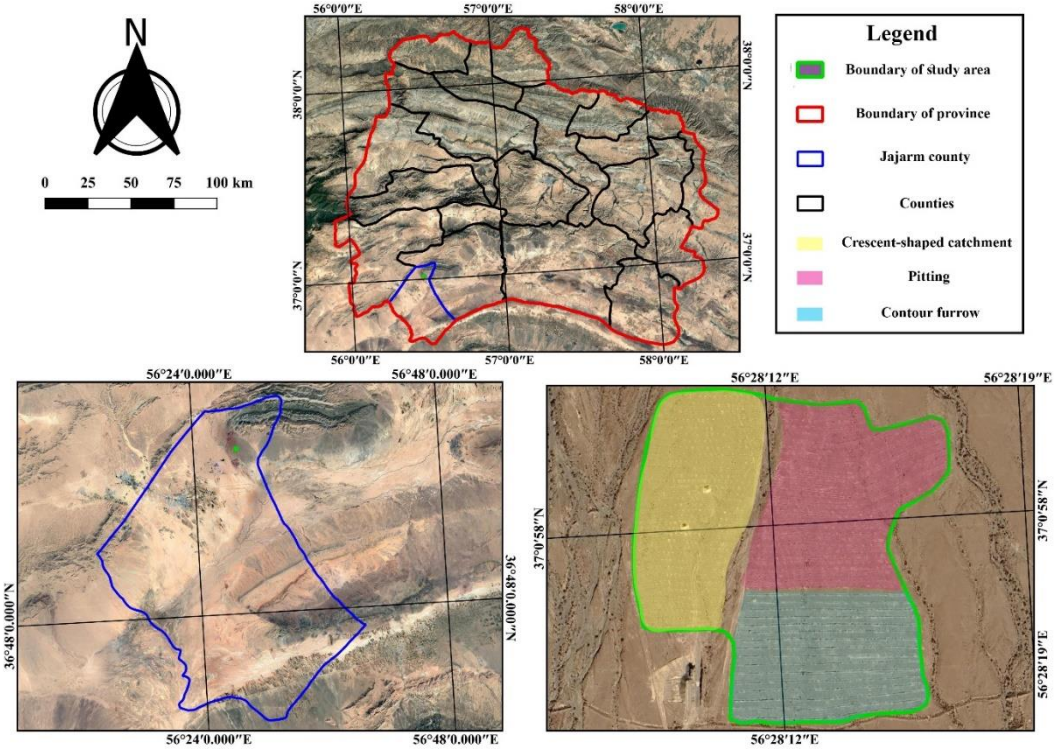


Fig 1. Location of the study area

Fig 3. Bed Preparation and construction of rainwater harvesting systems

Fig 2. Construction of contour furrows in the study area

Fig 5. Construction of crescent-shaped catchment in the study area

Fig 4. Construction of pitting in the study area

Fig 7. Establishment of *A. subaphylla* in study area

Fig 6. Establishment of *A. sieberi* in study area

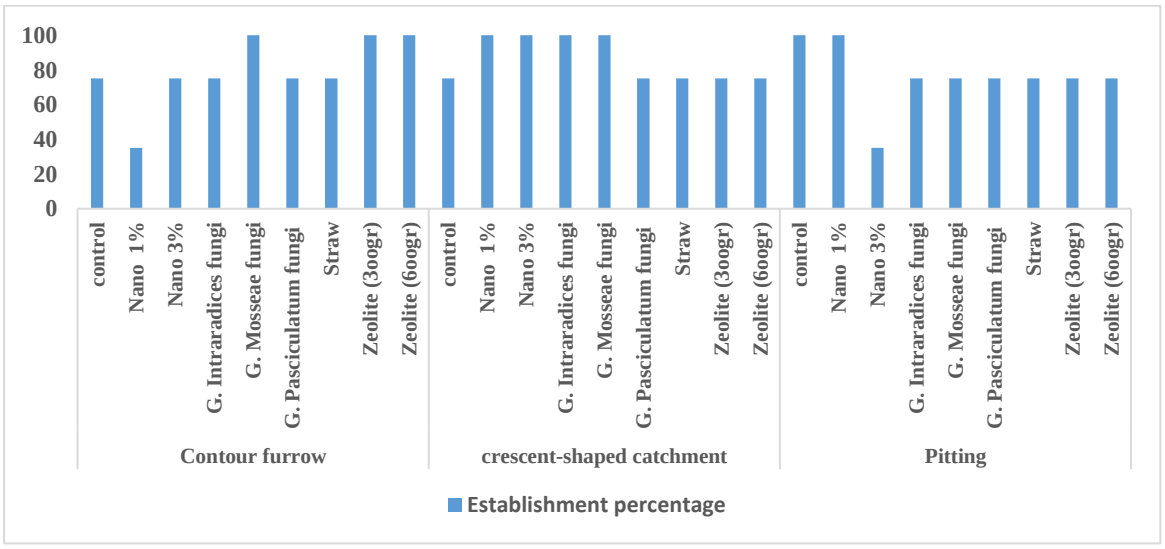


Fig 8. Chart of the establishment percentage of *A. subaphylla* by treatment and planting bed

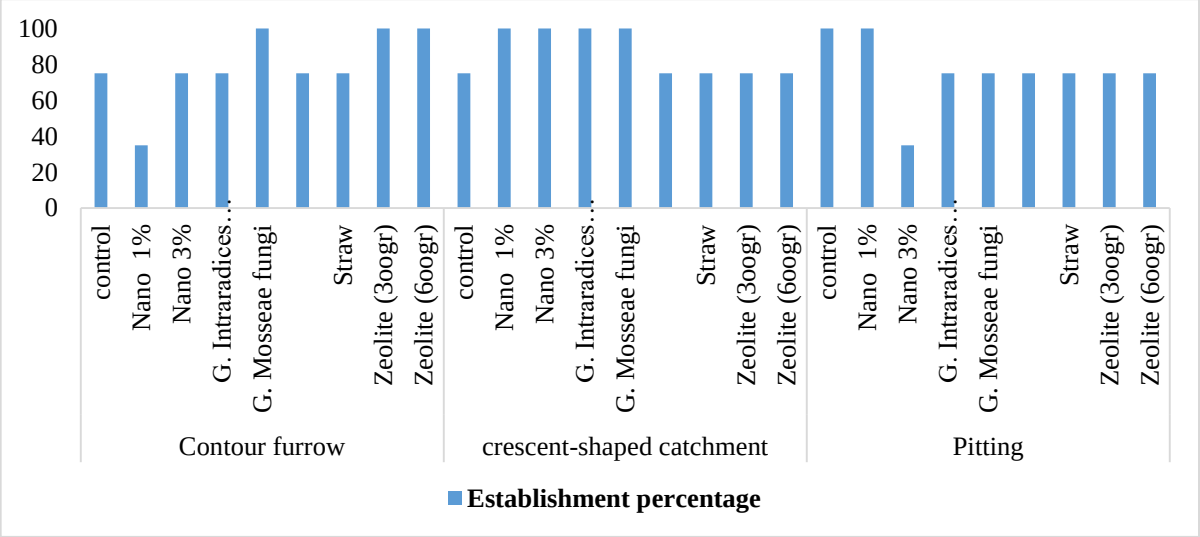


Fig 9. Establishment percentage of *A. sieberi* across different treatments and planting beds.

Table 1. Analysis of variance for the effect of rainwater harvesting methods and corrective treatments on *A. subaphylla*

Source of Variation	Mean of Squares (MS)				
	df	Height	Large diameter	Small Diameter	Canopy cover
Rainwater harvesting	2	1048.5ns	360.46*	135.42*	39084ns
Corrective treatment	8	405.8ns	117.22ns	42.76ns	23332ns
RWH * CT	16	562.1ns	203.21ns	58.13*	37269*
Error	54	429.5	96.49	30.1	18997
Total	80				

**: Highly significant, *: Significant, ns: Not significant

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

Source of Variation	Mean of Squares (MS)				
	df	Height	Large diameter	Small Diameter	Canopy cover
Rainwater harvesting	2	112ns	396.44**	5.78ns	31524*
Corrective treatment	8	53.4ns	47ns	11.28ns	11525ns
RWH * CT	16	130.4ns	54.49ns	23.1ns	10240ns
Error	54	175.4	68.99	21.05	10509
Total	80				

**: Highly significant, *: Significant, ns: Not significant

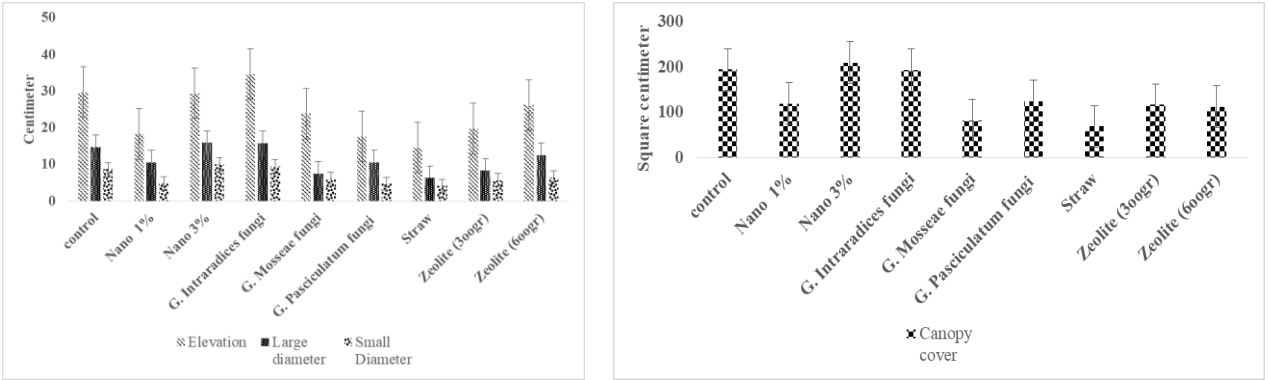


Fig 10. Comparing the mean of different treatments for *A. subaphylla*

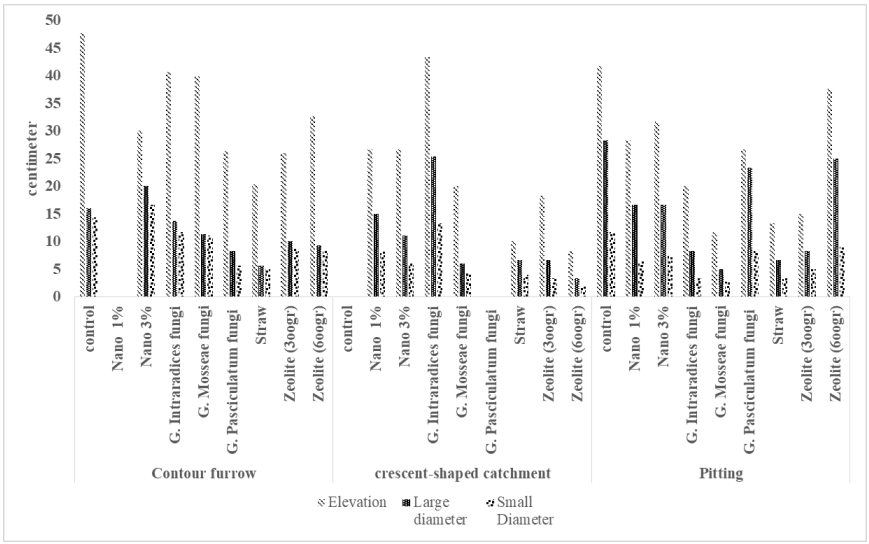


Fig 11. Comparing the mean of treatments for *A. subaphylla* based on each planting bed

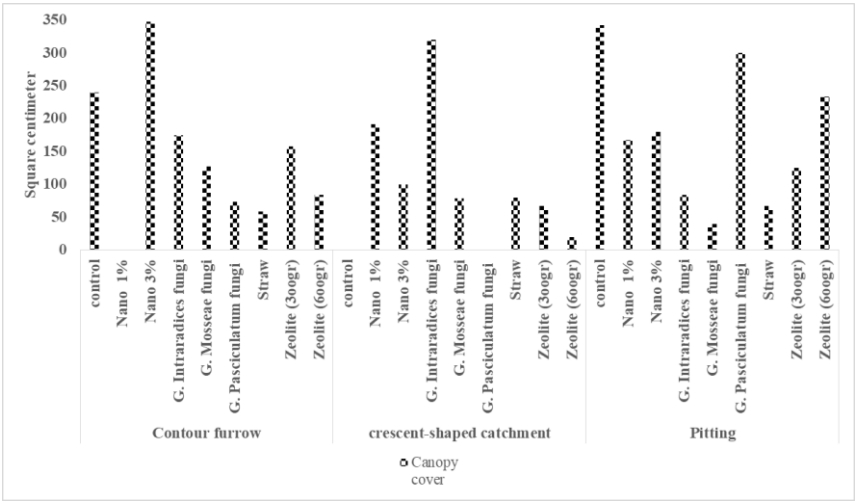


Fig 12. Comparing the mean of treatments for *A. subaphylla* based on each planting bed

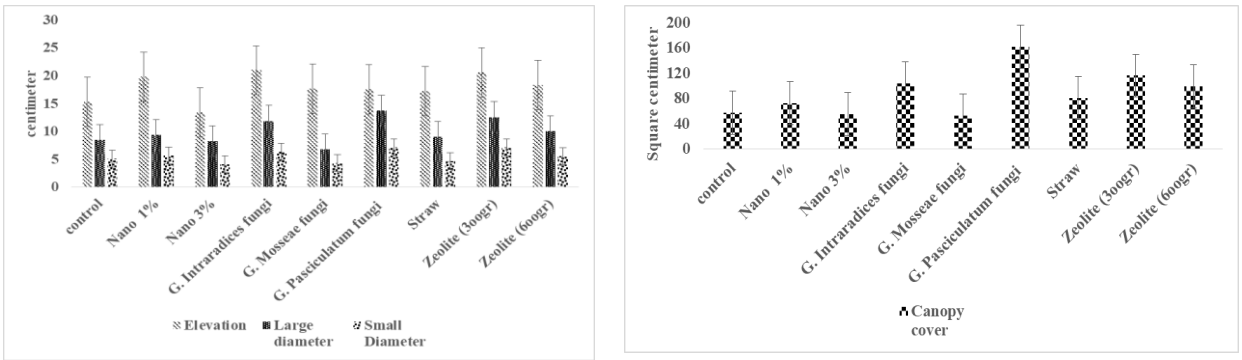


Fig 13. Comparing the mean of different treatments for *A. sieberi*

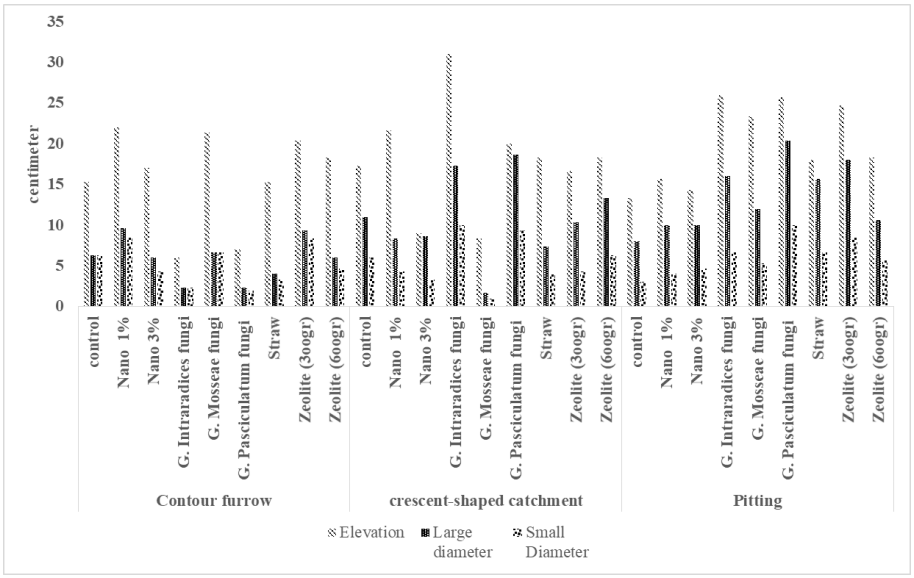


Fig 14. Comparing the mean of treatments for *A. sieberi* based on each planting bed

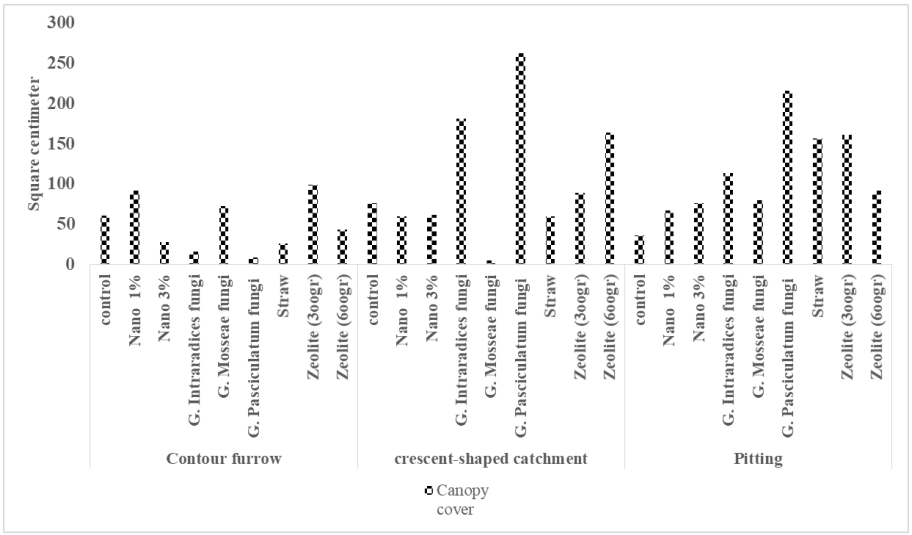


Fig 15. Comparing the mean of treatments for *A. sieberi* based on each planting bed

مقاله پژوهشی، سال سیزدهم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۴، صفحات ۲۲-۱

نشریه مدیریت بیابان
www.isadmc.ir

انجمن علمی مدیریت و کنترل مناطق بیابانی ایران

بررسی روش‌های اصلاحی مناسب استقرار دو گونهٔ مرتعی عجوه (*Aellenia subaphylla* .C.A.Mey) و درمنه (*Artemisia sieberi* Besser.) در منطقهٔ بیابانی جاجرم

حسن یگانه[1*]، محسن حسینعلی‌زاده[1]، وحید آرانیان[2]، علی محمدیان بهبهانی[1]، خدیجه خرمن‌دار[3]

۱. دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
۲. دانشجوی دکتری علوم و مهندسی مرتع دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
۳. فارغ التحصیل دکتری مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
* نویسنده مسئول: yeganeh@gau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۱۹

10.22034/jdmal.2025.2062272.1504

چکیده

مناطق خشک و نیمه‌خشک که بخش وسیعی از مراتع ایران را در بر می‌گیرند، به دلیل بارندگی اندک، تبخیر زیاد و پراکنش بارندگی، یکی‌از آسیب‌پذیرترین بوم‌سازگان‌ها هستند. بهره‌گیری از رویکردهایی نظیر ذخیره نزولات جوی و تیمارهای اصلاح‌کننده خاک می‌تواند موجب حفظ و افزایش رطوبت خاک، کاهش تبخیر، ارتقای بهره‌وری آب و پایداری پوشش گیاهی شود. در پژوهش حاضر، تأثیر روش‌های مختلف ذخیرهٔ نزولات و تیمارهای اصلاحی خاک بر استقرار و رشد دو گونه مرتعی عجوه و درمنه در منطقه بیابانی جاجرم بررسی شد. طرح آماری به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۴ تکرار انجام‌شد. سه روش ذخیره نزولات شامل هلالی آبگیر، پیتینگ و کنتور فارو و تیمارهای اصلاحی خاک شامل نانوذرات رس اکریلیک در ۲سطح، قارچ *Glomus intraradices*، قارچ *Glomus mosseae*، قارچ *Glomus pasciculatum*، خاک‌پوش کاه، زئولیت در دوسطح و تیمار شاهد مورد ارزیابی قرار گرفتند. ویژگی‌های گونه‌های مستقر شده از جمله استقرار، تاج پوشش، ارتفاع گیاه، قطر بزرگ و قطرکوچک در سال اول پس از استقرار اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که گونه عجوه در روش کنتورفارو با ۷۱/۲۱٪ و گونه درمنه نیز در روش پیتینگ با ۸۶/۱۱٪، بیشترین استقرار و در مقابل، روش هلالی آبگیر، کمترین میزان استقرار را برای هر دو گونه داشته‌است. تیمارهای اصلاحی خاک برای هردو گونه تأثیر معنی‌داری نداشتند. برای گونهٔ عجوه بین روش‌های ذخیره نزولات، قطر بزرگ و قطر کوچک گیاه در صفات مورد بررسی گیاه اختلاف معنی‌دار وجود داشت و برای گونه درمنه بین روش‌های ذخیره نزولات، قطر بزرگ و سطح تاج‌پوشش گیاه اختلاف معنی‌دار وجودداشت. یافته‌ها نشان داد که برای مشاهدهٔ اثر تیمارهای اصلاحی، نیاز به داده‌های بلندمدت وجود دارد.

واژگان کلیدی: ؛ احیای مراتع بیابانی؛ استقرار گیاه؛ تیمارهای اصلاحی خاک؛ ذخیره نزولات.

استناد به این مقاله

یگانه, حسن، حسینعلی‌زاده, محسن، آرانیان, وحید، محمدیان بهبهانی, علی و خرمن‌دار, خدیجه. (۱۴۰۴). بررسی روش‌های اصلاحی مناسب استقرار دو گونهٔ مرتعی عجوه (*Aellenia subaphylla* .C.A.Mey) و درمنه (*Artemisia sieberi* Besser.) در منطقهٔ بیابانی جاجرم. *مدیریت بیابان*، ۱۲(۲)، ۲۲-۱. DOI: 10.22034/jdmal.2025.2062272.1504

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

■ مقدمه

مناطق خشک و نیمه خشک، که حدود ۴۰٪ از سطح خشکی‌های زمین را در بر می‌گیرند، به دلیل کمبود بارندگی، تبخیر بالا و نوسانات دمایی شدید، از جمله آسیب‌پذیرترین و حساس‌ترین بوم‌سازگان‌های زمین به‌شمار می‌روند (۱۶، ۲۹). منابع آبی در این مناطق به‌شدت محدود بوده و بارش‌ها اغلب به‌صورت پراکنده و رگباری رخ می‌دهند که موجب افزایش رواناب سطحی و کاهش نفوذ آب در خاک می‌شود (۲۳، ۳۰). در چنین شرایطی، پوشش گیاهی عمدتاً از گونه‌های مقاوم به خشکی تشکیل شده است که دارای ویژگی‌هایی همچون ساختار ریشه‌ای عمیق و گسترده، برگ‌های کوچک و سازوکارهای کارآمد در استفاده از آب هستند (۲۱).

بخش وسیعی از مراتع ایران در اقلیم خشک و نیمه‌خشک قرار دارد و این بوم‌سازگان‌ها نقش مهمی در حفظ تنوع زیستی، کنترل فرسایش خاک، تغذیه دام و پایداری بوم‌سازگان دارند (۲۲). با کاهش بارندگی سالانه، افزایش شدت خشکسالی‌ها و بهره‌برداری نامناسب، توان زیستی بسیاری از گونه‌های گیاهی کاهش می‌یابد و برخی از آنها در معرض خطر نابودی قرار گرفته‌اند. افزون بر این، عواملی چون چرای بی‌رویه، تغییر کاربری اراضی و مدیریت نادرست منابع طبیعی موجب کاهش کیفیت خاک و افت شدید ظرفیت نگه‌داری رطوبت آن شده‌اند (۳۶). در چنین شرایطی، بهره‌گیری از راهکارهایی چون روش‌های ذخیرهٔ نزولات و تیمارهای اصلاحی خاک، برای افزایش بهره‌وری آب و بهبود شرایط استقرار پوشش گیاهی در مناطق خشک، مورد توجه پژوهشگران و برنامه‌ریزان منابع طبیعی است (۱۰، ۲۰).

در مناطق خشک و نیمه‌خشک، استفاده از روش‌های مدیریتی مؤثر مانند سامانهٔ آبیاری بهینه و مالچ‌پاشی، در حفظ رطوبت خاک، به‌ویژه ذخیره نزولات جوی و پوشش‌های سطحی خاک، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است؛ چرا که این مناطق با بارندگی محدود، تبخیر بالا و کاهش نفوذپذیری خاک مواجه‌اند (۷، ۱۱). روش‌هایی مانند احداث سامانه‌های آبگیر نظیر پیتینگ، کنتور فارو و هلالی آبگیر (۲۴)، کاربرد مالچ‌های زیستی یا معدنی و اصلاح فیزیکی خاک (۲۵)، می‌توانند منجر به افزایش نگه‌داشت رطوبت، کاهش تبخیر و ارتقای پایداری سیستم‌های طبیعی و کشاورزی شوند (۹، ۸). شواهد نشان می‌دهد که این اقدام‌ها نه‌تنها موجب افزایش بهره‌وری آب می‌شوند، بلکه نقش مهمی در جلوگیری از فرسایش خاک و کاهش شست‌وشوی عناصر غذایی دارند (۴، ۷). گزارش سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO, 2017) نشان می‌دهد که به‌کارگیری این قبیل روش‌ها می‌تواند تا حدود ۳۰٪ رطوبت خاک را افزایش داده و عملکرد گیاهان را در شرایط تنش آبی بهبود بخشد (۸).

در سال‌های اخیر، پژوهش‌های زیادی به بررسی تأثیر روش‌های ذخیره نزولات و تیمارهای اصلاحی خاک بر بهبود استقرار پوشش گیاهی در مناطق خشک پرداخته‌اند. نتایج آنها نشان می‌دهد که به‌کارگیری اقدامات مکانیکی نظیر تراس‌بندی، احداث بانکت و ایجاد حوضچه‌های ذخیره آب می‌تواند به بهبود نفوذپذیری خاک، کاهش رواناب و ارتقاء شرایط رویشی گیاهان کمک کند (۹، ۳۳، ۳۱). با این حال، انتخاب و اجرای این روش‌ها باید بر اساس ویژگی‌های اقلیمی، توپوگرافی، بافت خاک و هزینه‌های اجرایی هر منطقه انجام شود تا از نظر فنی و اقتصادی توجیه‌پذیر باشند (۲).

از سوی دیگر، با توجه به اینکه کارایی روش‌های مکانیکی ممکن است در بلندمدت کاهش یابد، اغلب پیشنهاد می‌شود این روش‌ها با راهکارهای بیولوژیکی مانند کشت گونه‌های مقاوم، مالچ‌پاشی و کاربرد مواد اصلاحی خاک ترکیب شوند (۳۱). تیمارهایی مانند مواد آلی، مالچ‌های زیستی، قارچ‌های مایکوریزا و اصلاح‌کننده‌های معدنی نیز به‌طور مستقل مورد مطالعه قرار گرفته‌اند و نتایج نشان داده‌اند که این تیمارها می‌توانند ظرفیت نگه‌داری آب در خاک را افزایش داده و تنش‌های ناشی از خشکی را کاهش دهند (۱۳، ۳۲). علاوه بر این، برخی پژوهش‌ها به بررسی اثر ترکیبی روش‌های ذخیره نزولات و تیمارهای اصلاحی پرداخته‌اند. این پژوهش‌ها نشان داده‌اند که ترکیب روش‌های مکانیکی و زیستی می‌تواند به شکل معناداری رشد و استقرار گونه‌های گیاهی را در بوم‌سازگان‌های خشک بهبود بخشد (۲، ۲۶).

در تأیید این یافته‌ها، بررسی‌های موردی مختلف نیز نشان داده‌اند که روش‌های مکانیکی و زیستی می‌توانند عملکرد مناسبی در بهبود پوشش گیاهی و ویژگی‌های خاک داشته باشند. به‌عنوان مثال، روش‌های ذخیره نزولات مانند هلالی آبگیر و کنتور فارو، در افزایش پوشش گیاهی نسبت به تیمار شاهد مؤثر بوده‌اند، به‌طوری‌که روش هلالی آبگیر تأثیر بیشتری بر افزایش پوشش گیاهی داشته است (۲). همچنین، بررسی تأثیر سامانه‌های ذخیره نزولات فارو، پیتینگ و هلالی آبگیر و فصل کاشت بر استقرار گونه *Astragalus squarrosus* Bunge نشان‌داده است که کاشت پاییزه با تیمار فارو، با میزان استقرار بالاتر بذرها، نسبت به کاشت بهاره موفق‌تر بوده است؛ بااین حال، در سال‌های خشک، استقرار به‌طور معناداری کاهش یافته‌است (۳۷). به‌کارگیری اصلاح‌کننده‌های پلیمری نیز موجب بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک، افزایش نفوذپذیری، پایداری در برابر فرسایش و در نهایت رشد مطلوب‌تر گیاهان شده است (۳۲). همچنین نتایج پژوهش‌ها در زمینهٔ استفاده از مالچ، حاکی از آن است که مالچ‌های پلاستیکی و آلی در حفظ رطوبت، کنترل علف‌های هرز، بهبود ساختار خاک و افزایش عملکرد محصولات مؤثر بوده‌اند؛ در این میان، مالچ‌های پلاستیکی کنترل بهتری بر شرایط خاک داشته‌اند، اما مالچ‌های آلی به دلیل سازگاری بیشتر با محیط‌زیست و هزینه کمتر، گزینه مطلوب‌تری تلقی می‌شوند (۱۹).

افزون بر اقدامات فیزیکی و زیستی مورد استفاده در بهبود استقرار پوشش گیاهی، به‌کارگیری میکروارگانیسم‌های مفید خاک نیز به‌عنوان راهکارهایی مکمل، نقش مهمی در ارتقای کیفیت خاک و افزایش بهره‌وری منابع در مناطق خشک ایفا می‌کنند. میکروارگانیسم‌هایی نظیر قارچ‌های مایکوریزا و باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن، با بهبود ساختار خاک، افزایش جذب عناصر غذایی و ارتقای فعالیت میکروبی، شرایط مناسبی برای رشد گیاهان در شرایط تنش آبی فراهم می‌سازند (۳). قارچ‌های مایکوریزا با افزایش جذب فسفر و بهبود تجمع ذرات خاک، در حفظ پایداری خاک نقش به‌سزایی‌دارند، در حالی که باکتری‌هایی مانند *Bacillus* و *Azospirillum* موجب ارتقای دسترسی گیاهان به نیتروژن و افزایش تحمل آنها در برابر تنش خشکی می‌شوند (۲۸).

با وجود پیشرفت‌های قابل‌توجه در زمینه مدیریت منابع آب و اصلاح خاک در نواحی خشک، هنوز خلأهای پژوهشی مهمی در این حوزه وجود دارد. بخش عمده‌ای از پژوهش‌های پیشین به‌صورت منفرد به بررسی تأثیر روش‌های ذخیره نزولات یا تیمارهای اصلاحی خاک پرداخته‌اند؛ در حالی‌که بررسی هم‌زمان اثرهای تلفیقی این روش‌ها بر استقرار و رشد گونه‌های مرتعی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. پژوهش حاضر با اتخاذ رویکردی جامع، به ارزیابی هم‌زمان اثر روش‌های مختلف ذخیره نزولات و تیمارهای اصلاحی خاک بر استقرار و شاخص‌های رشد دو گونه مرتعی بومی ایران، عجوه (*Aellenia subaphylla* C.A.Mey) و درمنه (*Artemisia sieberi* Besser)، پرداخته است. نتایج این بررسی می‌تواند به تصمیم‌گیران و مدیران منابع طبیعی در انتخاب راهکارهای مؤثر برای بهبود استقرار گونه‌های مرتعی، افزایش بهره‌وری منابع آبی و ارتقای پایداری بوم‌سازگان‌های خشک کمک کند. از این‌رو، انجام این تحقیق دارای اهمیت علمی و کاربردی زیاداست و می‌تواند در تدوین راهبردهای بهینهٔ مدیریت مراتع ایران و مناطق خشک مشابه در سطح جهانی مؤثر واقع شود.

■ مواد و روش ها

محدوده مورد بررسی

منطقه مورد بررسی بخشی از نواحی بیابانی و استپی جنوب استان خراسان شمالی در شمال شهرستان جاجرم و در منطقه دشتی واقع در جنوب رشته کوه بهار، به طول جغرافیایی "۵۶°۲۸'۱۲ تا "۵۶°۲۸'۱۹ شرقی و عرض جغرافیایی "۳۷°۵۸ شمالی قرار دارد. ارتفاع از سطح دریا ۱۱۰۰-۱۲۰۰m، اقلیم منطقه در اقلیم نمای دومارتن از نوع خشک بیابانی بوده، میانگین بارندگی سالانه آن بین ۱۰۰-۱۵۰mm و بافت خاک نیز سبک و از نوع شنی لومی است (۱۴، ۱۵). تمرکز بارندگی در فصل سرد سال است و تابستان خشک است (۱۸). نوع بهره‌بردار از مرتع، عشایر نیمه‌کوچ‌رو است و ترکیب دام آنها را به ترتیب

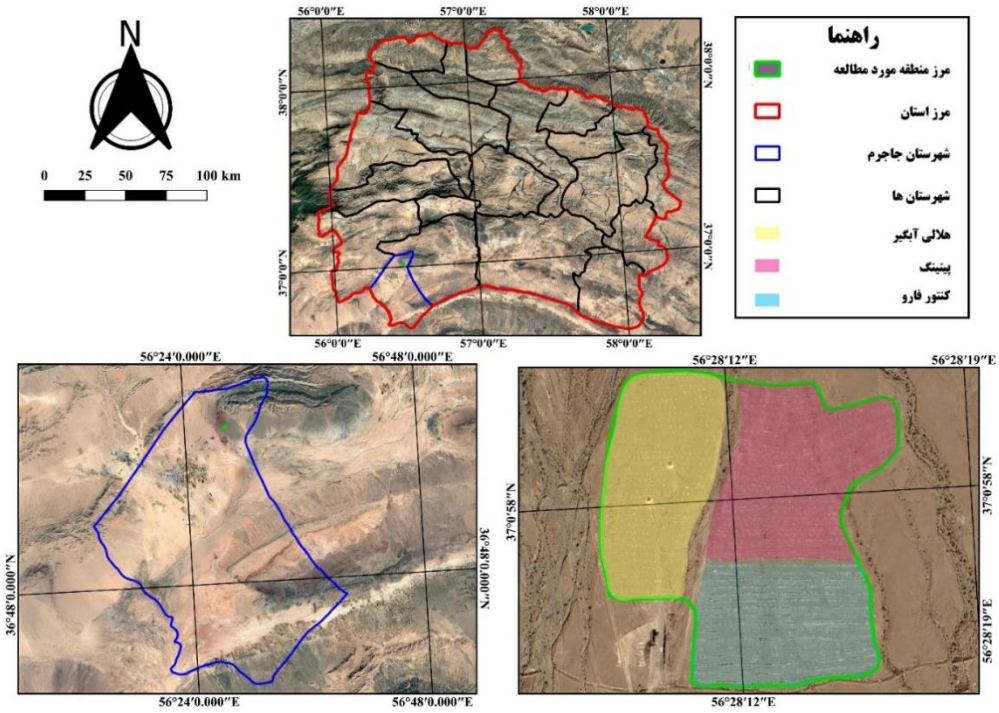
بز ۱۰٪، گوسفند ۸۰٪ و دیگر دام‌ها ۱۰٪ تشکیل می‌دهند. گله‌های دام حدود ۲۰ روز بعد از عید نوروز وارد مرتع می‌شوند و تا اواخر خرداد ماه از مرتع تعلیف می‌کنند. با توجه به ورود پیش از موعد دام به مرتع و شدت دام‌گذاری، مرتع فوق‌الذکر زیر چرای شدید و سنگین قراردارد. تیپ غالب مرتعی این منطقه از نوع گیاهان بوته‌ای و مشتمل بر گونه‌های *A. sieberi*، *Salsola orientalis* S.G.Gmelin و *Salsola arbusculiformis* Drob است (۱۵).

مراحل اجرای پروژه

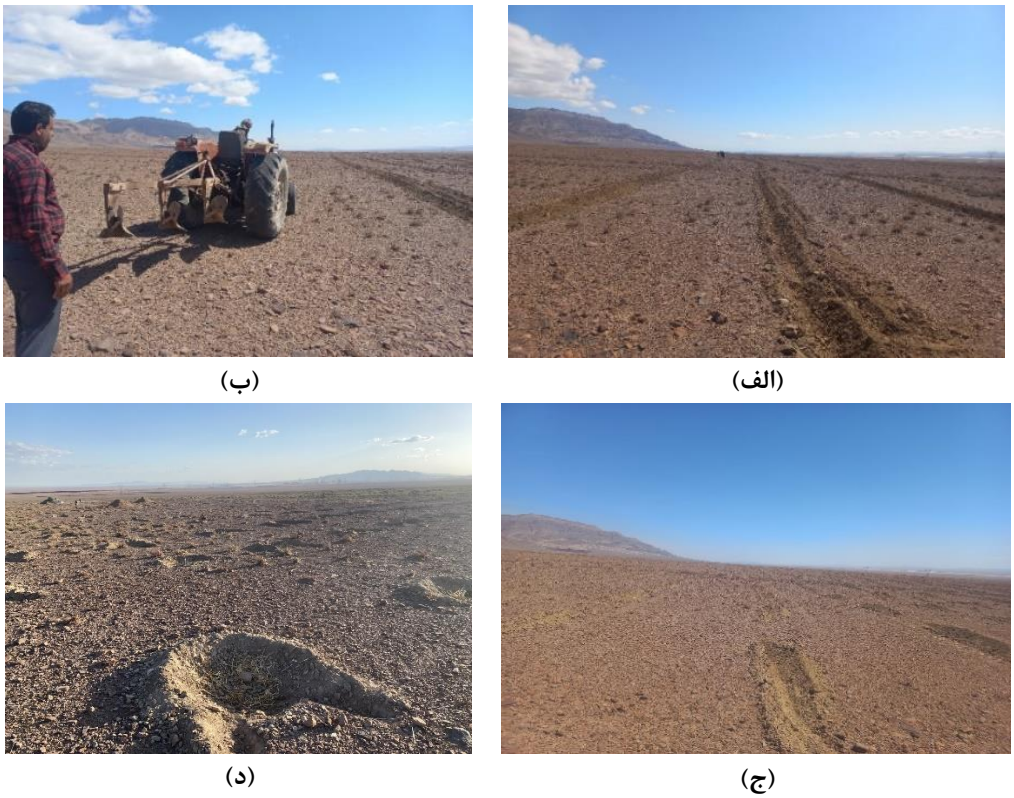
پژوهش حاضر به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با ۴ تکرار انجام شد. گونه‌های گیاهی مورد مطالعه در فاصله‌ی ۵m از یکدیگر کشت شدند. در این پروژه، سه سامانه ذخیره‌سازی نزولات آسمانی شامل هلالی آبگیر، پیتینگ و کنتوفارو به همراه تیمارهای مختلف اصلاح کننده خاک شامل نانوذرات رس اکریلیک در ۲سطح، قارچ *Glomus intraradices*، قارچ *Glomus mosseae*، قارچ *Glomus pasciculatum*، خاک‌پوش کاه، زئولیت در دوسطح و تیمار شاهد مورد بررسی قرار گرفتند. در این پروژه الگوی آبیاری برای گونه‌های کشت شده به گونه‌ای طراحی شد که به تدریج نیاز آبی گیاهان کاهش یابد و در پایان به تثبیت آنها در محیط منجر شود. بدین منظور برای تسهیل در استقرار اولیه گونه‌های هدف و تامین نیازهای آبی آنها، در سال اول استقرار گونه‌ها ۱۰ نوبت آبیاری با حجم تقریبی هر نهال حدود ۲۰L در هر مرتبه آبیاری انجام شد و پس از آن در هر سال تعداد آبیاری نصف شد.

احداث سامانه‌های ذخیره نزولات

به منظور احداث هلالی آبگیر در محدوده موردبررسی با در نظر گرفتن عواملی مانند حجم رواناب، شدت بارندگی، شیب منطقه و بافت خاک، هلالی‌های آبگیر با ابعاد قطر ۳m، عمق ۴۰cm و حجم $1m^3$ قبل از بارش‌های پاییزی احداث شدند. به منظور اجرای کنتور فارو، جوی‌های کم‌عمق به عمق ۲۰cm و فاصله‌ی ۱۰m از یکدیگر حفر شدند و گونه‌های گیاهی در طول این شیارها با فاصله‌ی ۵ متری کشت شدند. برای ایجاد پیتینگ نیز چاله‌هایی به ابعاد ۴۰×۴۰×۴۰cm حفر و گونه‌های گیاهی در آنها کاشته شد (۱، ۱۲).



شکل۱. محدوده مورد بررسی



(ب) (الف)

(د) (ج)

شکل۲. (الف) احداث کنتور فارو در محدوده موردمطالعه، (ب) آماده‌سازی بستر و احداث سامانه‌های ذخیره نزولات، (ج) احداث پیتینگ در محدوده موردمطالعه، (د) هلالی آبگیر در محدوده موردمطالعه

(ب) (الف)

شکل۳. (الف) استقرار گونه درمنه دشتی در محدوده موردمطالعه، (ب) استقرار گونه عجوه در محدوده موردمطالعه

اعمال تیمارهای اصلاحی

نانوذرات: در دو سطح ۱٪ و ۳٪ نانوذرات رس-رزین اکریلیک استفاده شد.

قارچ مایکوریزا: از سه نوع قارچ مختلف شامل *G. intraradices*، *G. mosseae* و *G. pasciculatum* به میزان ۵۰gr برای هر بوته در نظر گرفته و به خاک اضافه شد.

کاه و کلش: این تیمار شامل کلش حاصل از ساقه گندم به ضخامت ۳cm روی سطح خاک پاشیده شد.

زئولیت: این تیمار در دو سطح ۱۰٪ و ۲۰٪ وزن چاله‌ها معادل ۶۰۰gr و ۳۰۰ برای هر بوته محاسبه و به خاک اضافه شد.

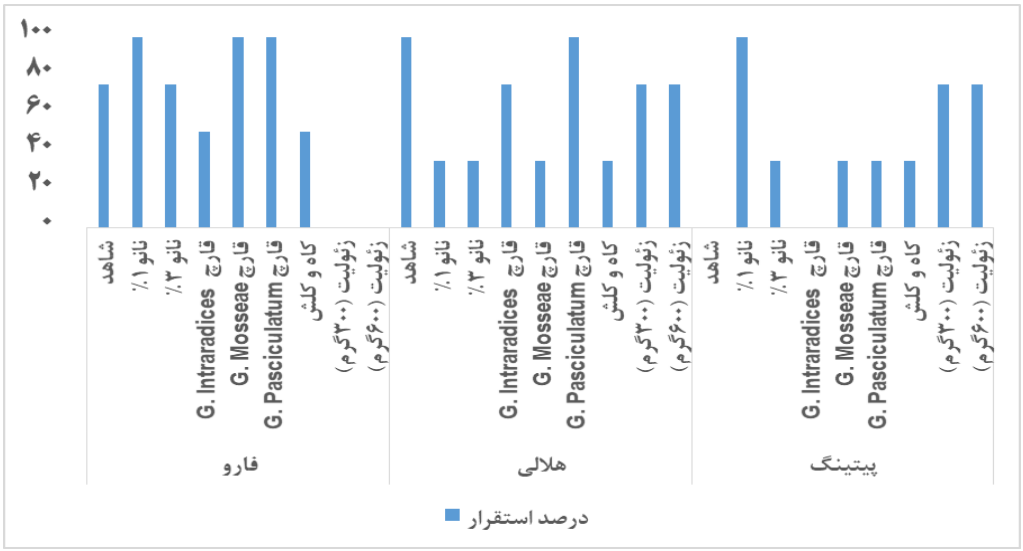
اندازه‌گیری و تحلیل داده‌ها

متغیرهای رشد گیاهی شامل: استقرار، تاج پوشش، ارتفاع، قطر بزرگ و قطر کوچک، یکسال پس از استقرار گونه‌ها اندازه‌گیری شدند. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار MiniTab نسخه ۱۶ تحلیل شدند. ابتدا نرمال بودن داده‌ها با آزمون کلموگروف-اسمیرونوف بررسی شد و سپس تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها با آزمون توکی انجام شد.

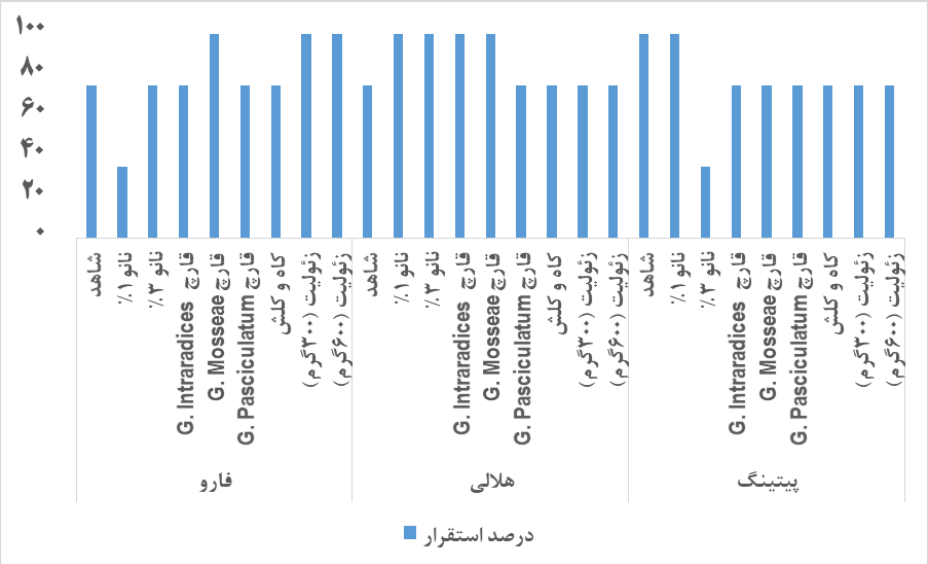
■ نتایج

ارزیابی درصد استقرار در محدوده موردمطالعه به تفکیک روش‌های ذخیره نزولات انجام شد و نتایج نشان داد که گونه عجوه در روش کنتورفارو با ۷۱/۲۱٪ بیشترین و در روش هلالی آبگیر با ۴۳/۳۳٪ کمترین استقرار و همچنین برای گونه درمنه نیز در روش پیتینگ با ۸۶/۱۱٪، بیشترین و در روش هلالی آبگیر با ۷۶/۱۱٪، کمترین استقرار را داشته است.

نتایج جدول تجزیه واریانس گونه عجوه نشان داد که بین روش‌های ذخیره نزولات کنتورفارو، پیتینگ و هلالی آبگیر، قطر بزرگ و قطر کوچک در ویژگی مورد بررسی گیاه اختلاف معنی‌دار وجوددارد. همچنین هیچکدام از تیمارهای اصلاحی اعمال شده بر ویژگی‌های مورد بررسی گیاه اختلاف معنی‌دار نداشتند.



شکل ۴. نمودار درصد استقرار گونه عجوه به تفکیک هر تیمار و بستر کاشت



شکل ۵. نمودار درصد استقرار گونه درمنه به تفکیک هر تیمار و بستر کاشت

جدول ۱. تجزیه واریانس اثر روش‌های ذخیره نزولات و تیمارهای اصلاحی گونه عجوه

منابع تغییر	میانگین مربعات				
	درجه آزادی	ارتفاع	قطر بزرگ	قطر کوچک	سطح تاج پوشش
ذخیره نزولات	۲	۱۰۴۸/۵ ns	۳۶۰/۴۶*	۱۳۵/۴۲*	۳۹۰۸۴ns
تیمار اصلاح کننده	۸	۴۰۵/۸ns	۱۱۷/۲۲ns	۴۲/۷۶ns	۲۳۳۳۲ns
تیمار * ذخیره نزولات	۱۶	۵۶۲/۱ns	۲۰۳/۲۱*	۵۸/۱۳*	۳۷۲۶۹*
خطا	۵۴	۴۲۹/۵	۹۶/۴۹	۳۰/۱	۱۸۹۹۷
مجموع	۸۰				

**: کاملا معنی‌دار، *: معنی‌دار، ns: عدم معنی‌داری

جدول ۲. تجزیه واریانس اثر روش‌های ذخیره نزولات و تیمارهای اصلاحی گونه درمنه

منابع تغییر	میانگین مربعات				
	درجه آزادی	ارتفاع	قطر بزرگ	قطر کوچک	سطح تاج پوشش
ذخیره نزولات	۲	۱۱۲ns	۳۹۶/۴۴**	۵/۷۸ns	۳۱۵۲۴*
تیمار اصلاح کننده	۸	۵۳/۴ns	۴۷ns	۱۱/۲۸ns	۱۱۵۲۵ns
تیمار * ذخیره نزولات	۱۶	۱۳۰/۴ns	۵۴/۴۹ns	۲۳/۱ns	۱۰۲۴۰ns
خطا	۵۴	۱۷۵/۴	۶۸/۹۹	۲۱/۰۵	۱۰۵۰۹
مجموع	۸۰				

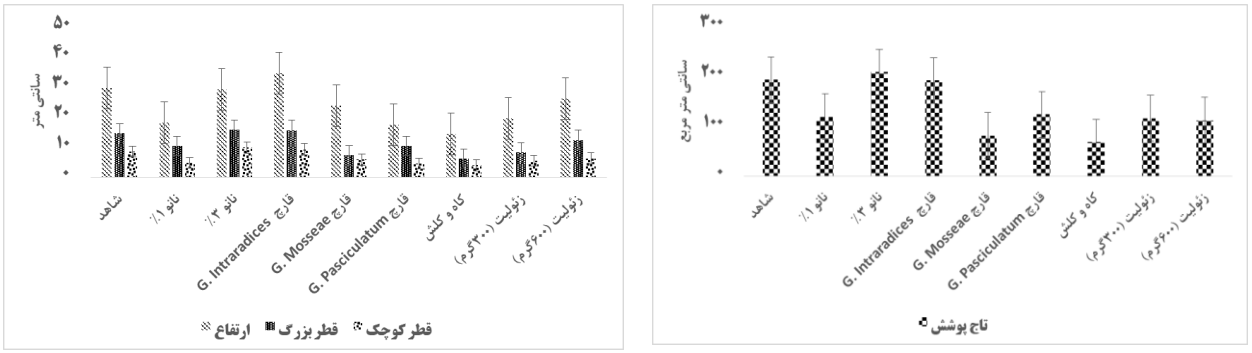
**: کاملا معنی‌دار، *: معنی‌دار، ns: عدم معنی‌داری

جدول تجزیه واریانس گونه درمنه نشان‌داد که بین روش‌های ذخیره نزولات کنتورفارو، پیتینگ و هلالی آبگیر، قطر بزرگ و سطح تاج‌پوشش در ویژگی‌های مورد بررسی گیاه اختلاف معنی‌دار وجود دارد؛ همچنین هیچکدام از تیمارهای اصلاحی اعمال شده بر ویژگی‌های مورد بررسی گیاه اختلاف معنی‌دار نداشتند.

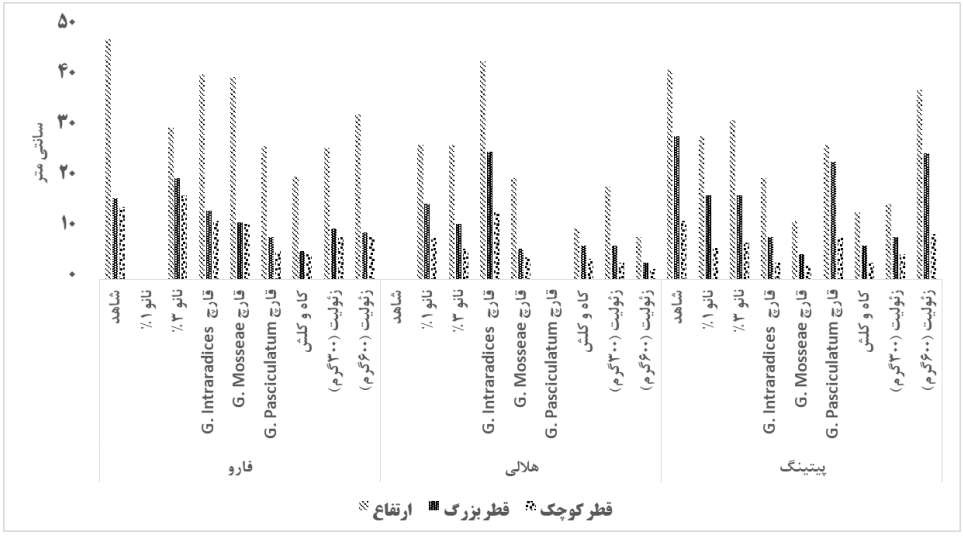
مقایسه میانگین عوامل مورد بررسی و گروه‌بندی آنها در تیمارها و بسترکاشت‌های گونه عجوه نشان می‌دهد که میانگین ارتفاع گیاه شامل یک گروه می‌باشد که بیشترین آن در تیمار قارچ *G. intraradices* و کمترین آن در تیمار کاه و کلش و بیشترین میانگین ارتفاع مربوط به بستر کاشت فارو بوده است. میانگین قطر بزرگ گیاه شامل یک گروه است که بیشترین آن در تیمار نانو ۳٪ و کمترین آن در تیمار کاه و کلش مشاهده شد.

بیشترین میانگین قطر بزرگ مربوط به بستر کاشت پیتینگ بود. میانگین قطر کوچک گیاه شامل یک گروه می‌باشد که بیشترین آن در تیمار نانو ۳٪ و کمترین آن در تیمار کاه و کلش گزارش شد. بیشترین میانگین قطر کوچک مربوط به بستر کاشت فارو و میانگین سطح تاج پوشش گیاه شامل یک گروه می‌باشد که بیشترین آن در تیمار نانو ۳٪ و کمترین آن در تیمار کاه و کلش بوده است. بیشترین میانگین سطح تاج پوشش مربوط به بستر کاشت پیتینگ برآورد شد.

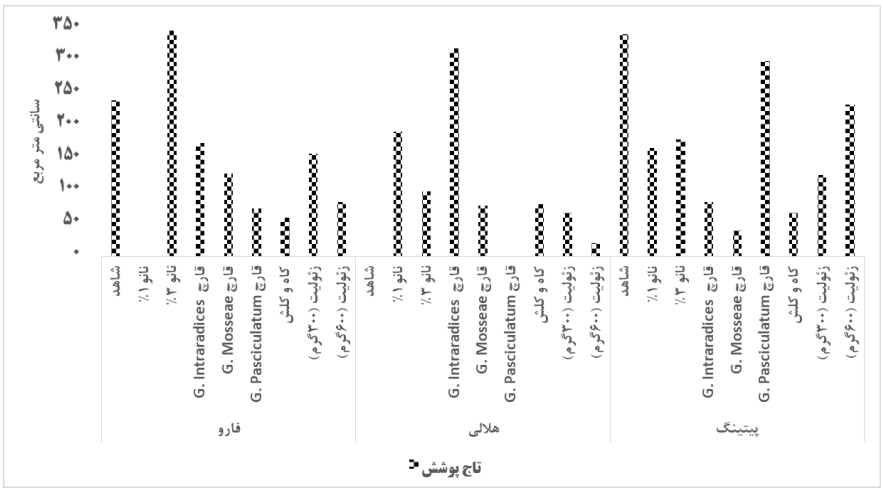
مقایسه میانگین عوامل مورد بررسی و گروه‌بندی آنها در تیمارها و بسترکاشت‌های گونه درمنه نشان می‌دهد که میانگین ارتفاع گیاه شامل یک گروه است که بیشترین آن در تیمار قارچ *G. intraradices* و کمترین آن در تیمار شاهد بود. بیشترین میانگین ارتفاع مربوط به بستر کاشت پیتینگ گزارش شد. میانگین قطر بزرگ گیاه شامل یک گروه است که بیشترین آن در تیمار قارچ *G. pasciculatum* و کمترین آن در تیمار قارچ *G. mosseae* بود. بیشترین میانگین قطر بزرگ مربوط به بستر کاشت پیتینگ بود. میانگین قطر کوچک گیاه شامل یک گروه است که بیشترین آن در تیمار زئولیت ۳۰۰گرم و قارچ *G. pasciculatum* و کمترین آن در تیمار نانو ۳٪ مشاهده‌شد. بیشترین میانگین قطر کوچک مربوط به بستر کاشت پیتینگ بود. میانگین سطح تاج پوشش گیاه شامل یک گروه است که بیشترین آن در تیمار قارچ *G. pasciculatum* و کمترین آن در تیمار قارچ *G. mosseae* گزارش شد. بیشترین میانگین سطح تاج پوشش مربوط به بستر کاشت پیتینگ بود.



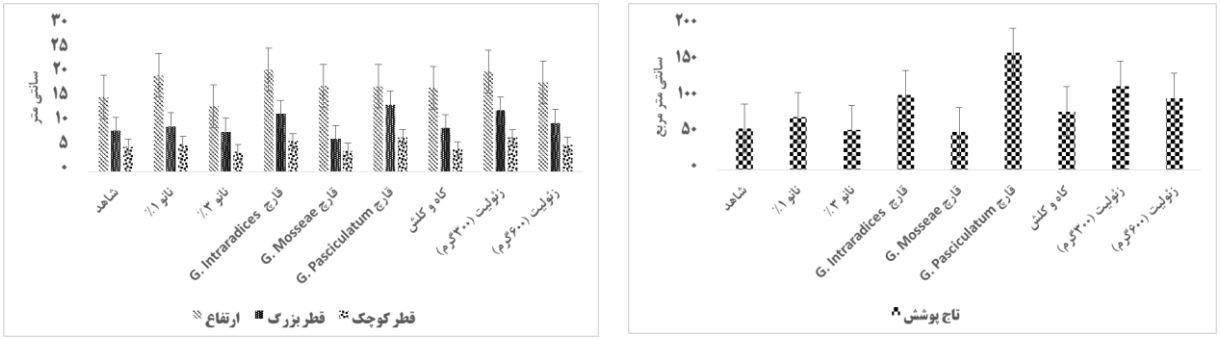
شکل ۶. نمودار مقایسه میانگین تیمارهای مختلف گونه عجوه



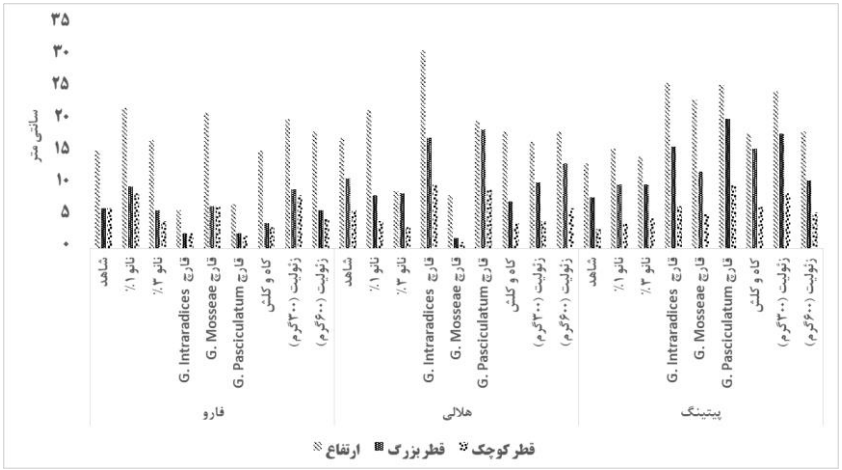
شکل ۷. نمودار مقایسه میانگین تیمارهای گونه عجوه به تفکیک هر بستر کاشت



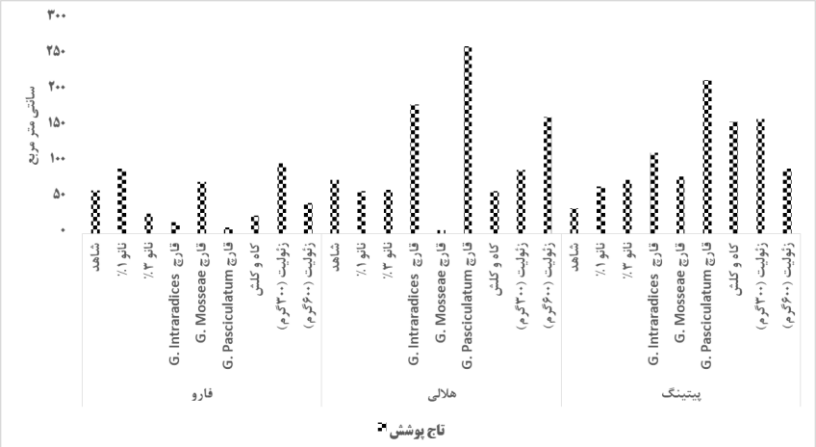
شکل ۸. نمودار مقایسه میانگین تیمارهای گونه عجوه به تفکیک هر بستر کاشت



شکل ۹. نمودار مقایسه میانگین تیمارهای مختلف گونه درمنه



شکل ۱۰. نمودار مقایسه میانگین تیمارهای گونه درمنه به تفکیک هر بستر کاشت



شکل ۱۱. نمودار مقایسه میانگین تیمارهای گونه درمنه به تفکیک هر بستر کاشت

■ بحث و نتیجه گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که روش‌های مختلف ذخیره نزولات تأثیرات متفاوتی بر استقرار و رشد گونه‌های گیاهی در منطقه مورد بررسی داشته‌اند. به‌طور مشخص، روش کنتور فارو با میزان استقرار حدود ۷۲٪ برای گونه عجوه مؤثرتر بود، در حالی‌که گونه درمنه در تیمار پیتینگ با استقرار ۸۷٪ عملکرد بهتری داشت. این تفاوت‌ها به‌احتمال ناشی از ویژگی‌های بوم‌شناختی و نیازهای متفاوت آبی و فیزیولوژیک این دو گونه‌است. در گونهٔ عجوه، روش کنتور فارو با بهبود ظرفیت نگه‌داری رطوبت در خاک و کاهش تبخیر سطحی، شرایط بهینه‌ای برای رشد این گونه شورپسند فراهم کرده است. این یافته‌ها با نتایج پژوهش‌های پیشین همخوانی دارد که نشان می‌دهند گونه‌های حساس به خشکی در شرایطی که رطوبت خاک برای مدت بیشتری حفظ شود، استقرار بهتری خواهند داشت (۳۴). از سوی دیگر، روش پیتینگ با تنظیم بهتر نور و رطوبت خاک‌سطحی ، محیط مناسبی برای رشد گونه درمنه ایجاد کرده که به کنترل گلدهی زودرس و ارتقاء رشد رویشی کمک می‌کند (۳۵).

به‌طور کلی، روش‌های مکانیکی ذخیره نزولات، به ویژه روش‌های کنتور فارو و پیتینگ، به‌طور معنی‌داری موجب افزایش استقرار و رشد گیاهان مرتعی شدند. این روش‌ها با افزایش نفوذپذیری خاک، کاهش رواناب سطحی، و بهبود شرایط رطوبتی، محیطی مناسب برای جوانه‌زنی و توسعه سیستم ریشه‌ای گیاهان فراهم می‌کنند. یافته‌های این پژوهش هم‌راستا با یافته‌های پیشین است که نشان داده‌اند روش‌های مکانیکی مانند کنتور فارو و هلالی آبگیر می‌توانند به‌طور مؤثری استقرار گیاهان مرتعی را در مناطق خشک و نیمه‌خشک افزایش دهند (۹، ۳۱، ۲، ۳۷). علاوه بر روش‌های ذخیره نزولات، در این پژوهش از تیمارهای اصلاحی خاک شامل قارچ‌های مایکوریزا، زئولیت و نانوذرات رس اکریلیک نیز استفاده شد. نتایج نشان داد که این تیمارها به بهبود رشد گونه‌های درمنه و عجوه کمک کردند، اما تأثیر آنها در مقایسه با روش‌های ذخیره نزولات کمتر بوده و در این مطالعه از نظر آماری معنی‌دار نبود. این یافته نشان می‌دهد که کارایی زئولیت در دوره‌های زمانی کوتاه چندان محسوس نیست و تأثیرات واقعی آن تنها در پژوهش‌ها و پایش‌های بلندمدت آشکار می‌شود. در واقع، بررسی‌ها بیانگر آن است که ارزیابی اثرات زئولیت نیازمند دوره‌های زمانی طولانی‌تر است تا به‌توان نتایج پایدار و قابل اعتماد از نقش آن در بهبود شرایط خاک و پوشش گیاهی به‌دست آورد (۵). پژوهش‌ها جدید نشان می‌دهند که این ترکیب‌ها هر کدام دارای مزایای منحصربه‌فردی برای بهبود سلامت و رشد گیاهان هستند. از طریق افزایش جذب عناصر غذایی، به‌ویژه فسفر، به رشد گیاه کمک کرده و با بهبود ساختار خاک و افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش‌هایی مانند خشکی، نقش مهمی در پایداری بوم‌سازگان‌های گیاهی ایفا می‌کنند (۲۸، ۱۷، ۶). زئولیت نیز با توانایی زیای در نگه‌داری و آزادسازی تدریجی یون‌های غذایی، می‌تواند اثربخشی جذب عناصر غذایی را افزایش دهد و در ترکیب با قارچ‌های مایکوریزا، اثرات هم‌افزایی قابل توجهی بر شاخص‌های رشد گیاه نظیر مقدار

نیتروژن برگ و عملکرد فتوسنتز ایجاد کند (۳۷). نانوذرات رس اکریلیک نیز با وجود پتانسیل بالا برای بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک، ممکن است در تعامل با قارچ‌های مایکوریزا بر نحوه کلون‌سازی آنها و در نتیجه کارایی آنها تأثیر بگذارند (۲۸، ۲۷). بنابراین، شناخت دقیق این برهم‌کنش‌ها برای بهینه‌سازی کاربرد این ترکیبات در سیستم‌های طبیعی و کشاورزی بسیار ضروری است. با توجه به این یافته‌ها، می‌توان نتیجه گرفت که ترکیب این مواد اصلاحی با روش‌های مؤثر ذخیره نزولات، ظرفیت زیادی برای ارتقای استقرار و رشد گونه‌های مرتعی دارد، اما نیازمند پژوهش‌ها بلندمدت‌تر و سازگار با شرایط محیطی متفاوت و گونه‌های مختلف گیاهی است.

در دیگر پژوهش‌ها نیز نتایج نشان داده‌اند که ترکیب تیمارهای اصلاحی خاک با روش‌های ذخیره نزولات می‌تواند در بلندمدت به بهبود قابل‌توجهی در رشد و استقرار گونه‌های گیاهی منجر شود. این رویکرد تلفیقی، با بهره‌گیری همزمان از روش‌های مکانیکی بهبود رطوبت خاک و راهکارهای بیولوژیکی یا شیمیایی تقویت‌کننده، محیطی مساعدتر برای توسعه سیستم ریشه‌ای و افزایش بقا و رشد گیاهان فراهم می‌آورد (۱۳).

بر اساس یافته‌های بررسی حاضر، پیشنهاد می‌شود که مدیران منابع طبیعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک با استفاده از روش‌های مؤثر ذخیره نزولات و تیمارهای اصلاحی خاک، شرایط بهتری برای استقرار و رشد گونه‌های مرتعی فراهم کنند تا پایداری بوم‌سازگان‌ها و مقابله با اثرات خشکسالی ارتقا یابد. همچنین، انجام پژوهش‌ها بیشتر در زمینه ترکیب این روش‌ها و بررسی تأثیرهای بلندمدت آنها و گسترش پژوهش‌ها به دیگر گونه‌ها و مناطق با شرایط اقلیمی متفاوت توصیه می‌شود.

■ سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از همکاران معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان و شرکت آلومینای ایران-جاجرم برای حمایت مالی، تسهیل دسترسی به بازدیدهای میدانی و نمونه برداری تقدیر و تشکر می‌کنند.

■ References

1. Azarnivand, H., & Zare-chahoki, M.A. (2008). *Rangeland improvement.* Tehran university press.

2. 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. doi.org/10.22092/ijrdr.2016.106471 [In Persian]

3. Barea, J. M., Pozo, M. J., Azcón, R., & Azcón-Aguilar, C. (2005). Microbial co-operation in the rhizosphere. *Journal of Experimental Botany, 56*(417), 1761-1778. doi.org/10.1093/jxb/eri197

4. Bhargavi, K., & Anusha, O. (2023). Significance of mulching on soil conservation. *International Journal of Plant & Soil Science, 35*(20), 1156-1164. doi.org/10.9734/ijpss/2023/v35i203913

5. Dehdary, S., Kuhansani, Z., Shojaee, 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 and Watershed Management, 70*(2), 333-344. doi.org/10.22059/jrwm.2017.226863.1101 [In Persian]

6. Delavaux, C. S., Smith-Ramesh, L. M., & Kuebbing, S. E. (2017). Beyond nutrients: a meta-analysis of the diverse effects of arbuscular mycorrhizal fungi on plants and soils. *Ecology, 98*(8), 2111-2119. doi.org/10.1002/ecy.1892

7. El-Beltagi, H. S., Basit, A., Mohamed, H. I., Ali, I., Ullah, S., Kamel, E. A. R., Shalaby, T. A., Ramadan, K. M. A., Alkhateeb, A. A., & Ghazzawy, H. S. (2022). Mulching as a sustainable water and soil saving practice in agriculture: A review. *Agronomy, 12*(8), 1881. doi.org/10.3390/agronomy12081881

8. FAO. (2017). *Water for sustainable food and agriculture.* A report produced for the G20 presidency of Germany.

9. Freitas, L. D. R., Gubiani, P. I., Mulazzani, R. P., Minella, J. P. G., & Londero, A. L. (2021). Terracing

increases soil available water to plants in no-tillage. *Revista Brasileira de Ciência do Solo,* 45, e0210046. doi.org/10.36783/18069657rbcs20210046

10. Heshmati, M., & Gheitouri, M. (2018). Land-use change; achilles heel to overcoming the environmental crisis, process and impacts. *Journal of Geography and Environmental Sustainability, 8*(26), 89-105. dorl.net/dor/20.1001.1.23223197.1397.8.1.7.9 [In Persian]

11. Jabran, K. (2019). *Mulches for soil and water conservation.* Springer, Cham. doi.org/10.1007/978-3-030-22301-4_4

12. Jangjo, M. (2009). *Rangeland improvement and development.* Mashhad academic publications.

13. Jarrar, H. M., & El-Keblawy, A. (2022). Seed-enhancement technologies promote direct seeding and overcoming biotic and abiotic barriers in degraded dryland ecosystem. *Environmental Sciences Proceedings, 16*(1), 1-4. doi.org/10.3390/environsciproc2022016001

14. Kashki, M., Shahmoradi, A., & Namdost, T. (2014). *The effect of climatic factors and soil moisture on the process of vegetation changes in the desert ecosystem of Jajarm region in North Khorasan.* The second national conference on desert with the approach of managing arid and desert areas, Semnan, Iran. [In Persian]

15. 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. doi.sid.ir/paper/514272/fa [In Persian]

16. Kashi Zenuzi, L., & Khosroshahi, M. (2024). A review of cyanobacterial ecology as pioneers of desert ecosystem succession. *Journal of Iran Nature, 9*(2), 17-30. doi.org/10.22092/irn.2024.131636 [In Persian]

17. Khade, S. W., & Apts, D. (2009). Applications of arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystems. *Tropical and Subtropical Agroecosystems, 10*(3), 337-354.

18. Kheiri, H., Maqami Moqim, Q., & Hoseini Sediq, M. (2015). *Temporal and spatial analysis of rainy seasons in North Khorasan Province.* Fourth national conference on environment, energy and biological defense, Tehran, Iran. [In Persian]

19. Kumar, P., & Usadadiya, V. P. (2023). Mulching: an efficient technology for sustainable agriculture production. *International Journal of Plant and Soil Science, 35*(20), 887-896. doi.org/10.9734/ijpss/2023/v35i203880

20. Ma, C., Meng, H., Xie, B., Li, Q., Li, X., Zhou, B., Wang, Q., & Luo, Y. (2022). In situ rainwater collection and infiltration system alleviates the negative effects of drought on plant-available water, fine root distribution and plant hydraulic conductivity. *Forests, 13*(12), 2082. DOI: doi.org/10.3390/f13122082

21. Motamedi, J., Jalili, A., Arzani, H., & Khodagholi, M. (2020). Causes of rangeland degradation in the country and solutions to get out of the current situation. *Journal of Iran Nature, 5*(4), 21-44. doi.org/10.22092/irn.2020.122530 [In Persian]

22. Nekooeimehr, M., & Emami, S. N. (2020). Capability of rainwater harvesting systems to provide water requirements in hillside orchards of semi-arid regions. *Journal of Watershed Management Research, 11*(21), 165-176. doi.org/10.52547/jwmr.11.21.165 [In Persian]

23. Noori, Z., & Zare Chahouki, M. A. (2018). Optimal use of rainwater harvesting: A strategy to deal with water shortages in arid and semi-arid regions. *Journal of Water and Sustainable Development, 5*(1), 115-122. doi.org/10.22067/jwsd.v5i1.62964 [In Persian]

24. Pradhan, S. S. (2024). Effect of mulches on crop, soil and water productivity: A review. *Agricultural Reviews, 45*(2), 335-339. doi.org/10.18805/ag.r-2243

25. Ravichandran, M., Samiappan, S. C., Pandiyan, R., & Velu, R. K. (2022). Improvement of crop and soil management practices through mulching for enhancement of soil fertility and environmental sustainability: A review. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences, 10*(4), 697-712. doi.org/10.18006/2022.10(4).697.712

26. Saidova, M., Namozov, N., Tursinbaev, M., Teshabaev, B., & Kuchimova, M. (2024). *Methods of increasing the productivity of desert pasture soils*. International Conference on Environmental Science,

Technology and Engineering (E3S web conf).

27. Sarmiento-López, L., Matos-Alegria, A., Cesario-Solis, M. E., Tapia-Maruri, D., Goodwin, P. H., Quinto, C., Santana, O., & Cárdenas, L. (2025). Combination of nitrogen-enriched zeolite and arbuscular mycorrhizal symbiosis to improve growth of maize (*Zea mays* L.). *Agronomy, 15*(1), 156. doi.org/10.3390/agronomy15010156

28. Taha Mohammed, B. (2024). *Outlooks of nanotechnology with mycorrhizae.* IntechOpen. http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.115177

29. Tariq, A., Sardans, J., Zeng, F., Graciano, C., Hughes, A. C., Farré-Armengol, G., & Peñuelas, J. (2024). Impact of aridity rise and arid lands expansion on carbon-storing capacity, biodiversity loss, and ecosystem services. *Global Change Biology, 30*(4), e17292. doi.org/10.1111/gcb.17292

30. UNCCD. (2022). *Global land outlook 2nd edition, land restoration for recovery and resilience.* United nations convention to combat desertification.

31. Walia, S. S., Kaur, K., & Kaur, T. (2024). Soil and water conservation techniques in rainfed areas. *Rainfed agriculture and watershed management.* Singapore: Springer nature Singapore. doi.org/10.1007/978-981-99-8425-1_15

32. Wang, L., Yao, Y., Li, J., Liu, K., & Wu, F. (2023). A state-of-the-art review of organic polymer modifiers for slope eco-engineering. *Polymers, 15*(13), 2878. doi.org/10.3390/polym15132878

33. Wang, Z., Peng, X., Chang, H., Dai, W., Ni, L., & Fang, N. (2024). Mechanical terracing regulates soil physicochemical properties and infiltration processes in the Loess Hilly region of China. *Land Degradation & Development, 35*(9), 3181-3190. doi.org/10.1002/ldr.5127

34. Webb, D. P., & von Althen, F. W. (1980). Storage of hardwood planting stock: effects of various storage regimes and packaging methods on root growth and physiological quality. *New Zealand Journal of Forestry Science, 10*(1), 83–96.

35. Widiyastuti, Y., & Subositi, D. (2019). *Photoperiod effect on the growth and artemisinin content of* Artemisia annua *grown in tropical region.* International Conference on Bioinformatics, Yogyakarta, Indonesia.

36. Zare Khormizie, H., Hosseini, Z., Mokhtari, M. H., & Ghafarian Malamiri, H. R. (2017). Analysis of relationship between drought and NDVI variations in different vegetation types (Case study: Southern rangelands of Yazd province). *Journal of Arid Biome Scientific and Research, 7*(2), 85-101. http://dx.doi.org/10.29252/aridbiom.7.2.85 [In Persian]

37. 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. doi.org/10.22092/ijrdr.2020.121343 [In Persian]