Original Article, Vol. 13, No. 3, Autumn, 2025, pp 107-26

Desert Management
www.isadmc.ir

Iranian Scientific Association of Desert Management and Control

The Role of *Astragalus podolobus* in Increasing Organic Carbon to Improve Soil Quality in Semi-arid Regions

Hojjat Ghorbani Vaghei [1*], Majid Mohammad Esmaeili [2], Fakhtak Taliei [3], Ilya Seiedi [4]

1. Associate Professor, Department of Natural Resources at Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Golestan province, Iran.
2. Associate Professor, Department of Rangeland Management, Gonbad Kavous University, Gonbad, Golestan, Iran.
3. Associate Professor, Department of Plant Production, Gonbad Kavous University, Gonbad, Golestan, Iran.
4. B.Sc. Graduated in Water Engineering, Gonbad Kavous University, Gonbad, Golestan, Iran.
* Corresponding Author: ghorbani@gonbad.ac.ir

Received date: 28/01/2026 **Accepted date: 11/12/2025**

10.22034/jdmal.2026.2078955.1521

Abstract

In the present study, the effects of applying cellulosic compost at a rate of 5 kg per plant on the vegetative and reproductive growth of *Astragalus podolobus* were investigated over two consecutive years at Gonbad Kavous University. The experiment was conducted using a randomized complete block design with three replications. Growth parameters including collar diameter, plant height, canopy cover, number of pods, mean number of seeds per pod, and number of flowers per plant were measured in both treated and control plants. In addition, changes in soil microbial populations were evaluated. The results showed that compost application in the second-year increased soil organic matter from 1.01% to 2.7% and soil porosity from 47% to 59%. The quantitative improvement in soil organic matter reduced soil bulk density, shifting it from a relatively heavy to a relatively light condition. Compost treatment had a positive effect on root growth; three months after application, roots accumulated in the compost injection zone, with improved volume and structure. The findings also indicated a significant increase in collar diameter in compost-treated plants in the second year. Plant height increased significantly in the treatment compared to the control in the second year, whereas canopy cover did not show a significant difference in either year. In the reproductive phase, the second application of compost resulted in a significant increase in the total number of pods and the mean number of seeds per plant in treated plants compared with the control, indicating a cumulative positive effect of compost on reproductive performance. Moreover, compost addition led to a significant increase in soil bacterial and fungal populations. Overall, the results demonstrate that the application of cellulosic compost effectively improved both vegetative and reproductive growth of *A. podolobus*. This improvement likely contributed to carbon sequestration, initially as carbon chains within the plant and subsequently as soil organic carbon.

Keywords: *Astragalus podolobus*; Compost; Microbial population; Soil organic matter.

How to cite this article
Ghorbani Vaghei, H. Esmaeili, MM. Taliei, F. and Seiedi, L. (2025). The Role of Astragalus podolobus in Increasing Organic Carbon to Improve Soil Quality in Semi-arid Regions. *Desert Management*, *13*(3), 107-26. DOI: 10.22034/jdmal.2026.2078955.1521

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

Extended Abstract

Introduction

Rapid population growth in Iran over recent decades, coupled with the increasing demand for livestock products such as meat and dairy, has intensified grazing pressure on rangelands, leading to severe degradation of vegetation cover (1, 6). Furthermore, Iran is situated within the world's arid belt, where rangelands already affected by vegetation loss are becoming increasingly vulnerable to soil erosion, dust storms, and particulate matter generation. The ongoing process of desertification imposes substantial economic losses and poses serious environmental, social, and political challenges (5, 6). Consequently, the integration of innovative management approaches and technologies—such as the establishment of native drought-tolerant plant species and the development of techniques that enhance soil water-holding capacity—is essential for combating desertification and promoting sustainable agricultural systems (18). The organic matter content of Iranian soils averages approximately 0.5%, which is considerably below the recommended minimum threshold of 2% (9, 16, 24, 30). Soil organic matter plays a critical role in maintaining aggregate stability, improving aeration, facilitating nutrient cycling, and sustaining soil biological activity (38–40). Deficiencies in organic matter limit the formation of stable soil aggregates and restrict internal soil aeration. Increasing soil organic matter to optimal levels is therefore expected to substantially enhance soil physical, chemical, and biological properties, ultimately improving crop yield and yield components in both field and horticultural systems. In arid and semi-arid regions, organic amendments—particularly composts—have been shown to improve soil structure while mitigating abiotic stresses such as drought, thereby supporting plant growth and reproductive performance (21, 33). Previous studies have consistently demonstrated a significant positive relationship between soil organic carbon content and plant dry matter accumulation (16, 29, 36). Moreover, vegetation type and growth characteristics have been reported to exert beneficial effects on soil properties, primarily through increasing soil organic carbon stocks via carbon sequestration processes, which subsequently reduce soil bulk density (1, 12, 16, 22). Collectively, these findings indicate that effective plant cover—especially native shrub species—can markedly enhance the long-term carbon sequestration capacity of soils by increasing organic inputs, stimulating microbial activity, and improving soil aggregate stability. Among organic amendments, cellulosic composts are particularly effective due to their high organic matter content and superior water-retention capacity, making them well suited for soil improvement under dryland conditions.

This study aimed to evaluate the effects of compost derived from cellulosic waste on improving soil physico-chemical and biological properties, as well as to assess its influence on the growth and reproductive performance of *Astragalus podolobus*, a native drought-tolerant shrub species in Iran. Specifically, the study investigated compost produced from the cellulosic waste of Paji Gostar Shomal Company as an organic amendment for soil improvement under semi-arid conditions.

Materials and Methods

The present study was conducted in a four-year-old *Astragalus podolobus* research orchard at Gonbad Kavous University, located at 55°11′ E longitude and 37°15′ N latitude, covering an area of 2,000 m². The site is characterized by an average annual rainfall of 450 mm and an elevation of 40 m above sea level (Fig. 1). The experiment was arranged in a randomized complete block design (RCBD) with three replications. Each experimental plot measured 14 m² (2 × 7 m), with a planting density of one plant per square meter. Within each block, six plants of the same age and exhibiting uniform physiological conditions were selected for evaluation. Cellulosic compost produced by Paji Gostar Shomal Company (PAJI) was supplied to the research team free of charge (Fig. 2). In 2022, a pit measuring 0.7 m in depth and 0.3 m in diameter was excavated on one side of each plant, into which 5 kg of cellulosic compost thoroughly mixed with soil was applied (Fig. 4a). Soil samples were subsequently collected from the subsurface layer at a depth of 30–60 cm for the analysis of physico-chemical properties (Table 1). Plant height, canopy diameter, and collar diameter were measured prior to treatment application and again six months after treatment (September) in both experimental years. Soil and plant analyses, as well as assessments of soil microbial activity, were conducted in 2024. To evaluate the effects of cellulosic compost on plant growth and development, the collected data were subjected to analysis of variance (ANOVA). In addition, the density and composition of soil microbial communities were assessed in both compost-treated and control plants.

Results and Discussion

The application of cellulosic compost at a rate of 2% (v/v) to the subsoil was expected to enhance its physical, chemical, and biological properties. Table 1 presents the results of subsurface soil analysis (30–60 cm depth near the root zone) for both treated and control soils. Soil saturation increased from 47% in the control to 59% in the compost-treated soil, a change attributed to the higher organic matter content introduced by the amendment. Similarly, soil organic carbon increased markedly—from 0.6 % in the control to 1.6 % following compost application. After two years, soil organic matter content further improved from 1.01 % to 2.71 %, while soil bulk density decreased substantially, indicating improvement in soil structure and porosity as a result of organic enrichment.

Compost application also significantly enhanced root growth. Three months after treatment, root development was concentrated around the compost application site (Fig. 3), demonstrating the localized effect of organic amendment on rhizosphere conditions. The collar diameter of *Astragalus podolobus* plants increased significantly in the second year compared with the first (Fig. 4d), and plant height (Fig. 4b) showed a significant increase in treated plants relative to controls during the second year. However, canopy cover (Fig. 4a) did not differ significantly between treatments in either year.

Regarding reproductive performance, the second round of compost application resulted in significant increases in both the total number of pods and the average seed number per plant (Table 2). These results clearly indicate a positive influence of organic amendment on the reproductive potential of *A. podolobus*. Furthermore, compost addition stimulated microbial growth, as evidenced by significant increases in both bacterial and fungal populations at 30 and 180 days after application (Fig. 5). This enhanced microbial activity corresponds with improved soil biological quality, supporting the conclusion that cellulosic compost positively affects soil ecosystem function.

Overall, these findings demonstrate that compost derived from cellulosic waste effectively improves both vegetative and reproductive growth of *A. podolobus* under semi-arid conditions. The study provides a valuable model for the use of organic, cellulose-based composts in desertification control and land rehabilitation programs in arid and semi-arid regions of Iran and comparable environments. Moreover, the results underscore the broader potential of organic amendments in promoting sustainable agriculture and natural resource management in drylands.

Keywords: *Astragalus podolobus*; Compost; Microbial population; Soil organic matter.

Fig 1. Location of the study area

Fig 2. Organic compost fertilizer produced by Paji Goster Shomal Company

Fig 3. Root development before (a) and after two years (b) of cellulosic compost application

Table 1. Subsurface soil analysis under control and treatment conditions

Sample	$CaCo_3$ (%T.N.V.)	pH	Organic Carbon (%)	Organic Matter (%)	Soil Saturation content (% θs)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Soil Texture	Bulk Density ($g \cdot cm^{-3}$)
Control	15.25	7.74	0.585	1.01	47	20	51	29	Silty Clay Loam (Si.Cl.L.)	1.57
Treatment	17	7.18	1.56	2.7	59	16	60	24	Silty Clay Loam (Si.Cl.L.)	1.62
Compost	–	–	40.27	70.7	73.5	–	–	–	–	0.89

Table 2. Analysis of variance for morphological traits measured in the *A. podolobus* plant in the first year of the experiment

Source of variation	df	Mean Squears				
		Cover crop	Plant Height	Collar Diameter	Number of Pods	Mean of Seed/pod
Block	2	81.341^{ns}	7.861^{ns}	1.148^{ns}	4228.861^{ns}	0.76^{ns}
Treatment	1	1.468^{ns}	26.694^{ns}	13.757^{ns}	5776.00^{ns}	1.40^{ns}
Error	32	176.540	130.642	3.659	1507.745	0.403
CV (%)		16.3	18.6	25.5	31.8	18.1

Table 3. Analysis of variance for morphological traits measured in the A. podolobus plant in the second year of the experiment.

Source of variation	df	Mean Squares					
		Cover crop	Plant Height	Collar Diameter	Number of Pods	Mean of Seed/pod	Number of Flowers
Block	2	14.882^{ns}	57^{ns}	6.479^{ns}	2787.938^{ns}	0.222^{ns}	608.44
Treatment	1	354.69^{ns}	940.44^{**}	76.761^{**}	150479.34^{**}	4.658^{**}	324520.1^{**}
Error	32	98.209	87.080	4.296	2107.093	0.094	1258.58
CV (%)		12.7	14.3	31.8	40.3	14.2	50.2

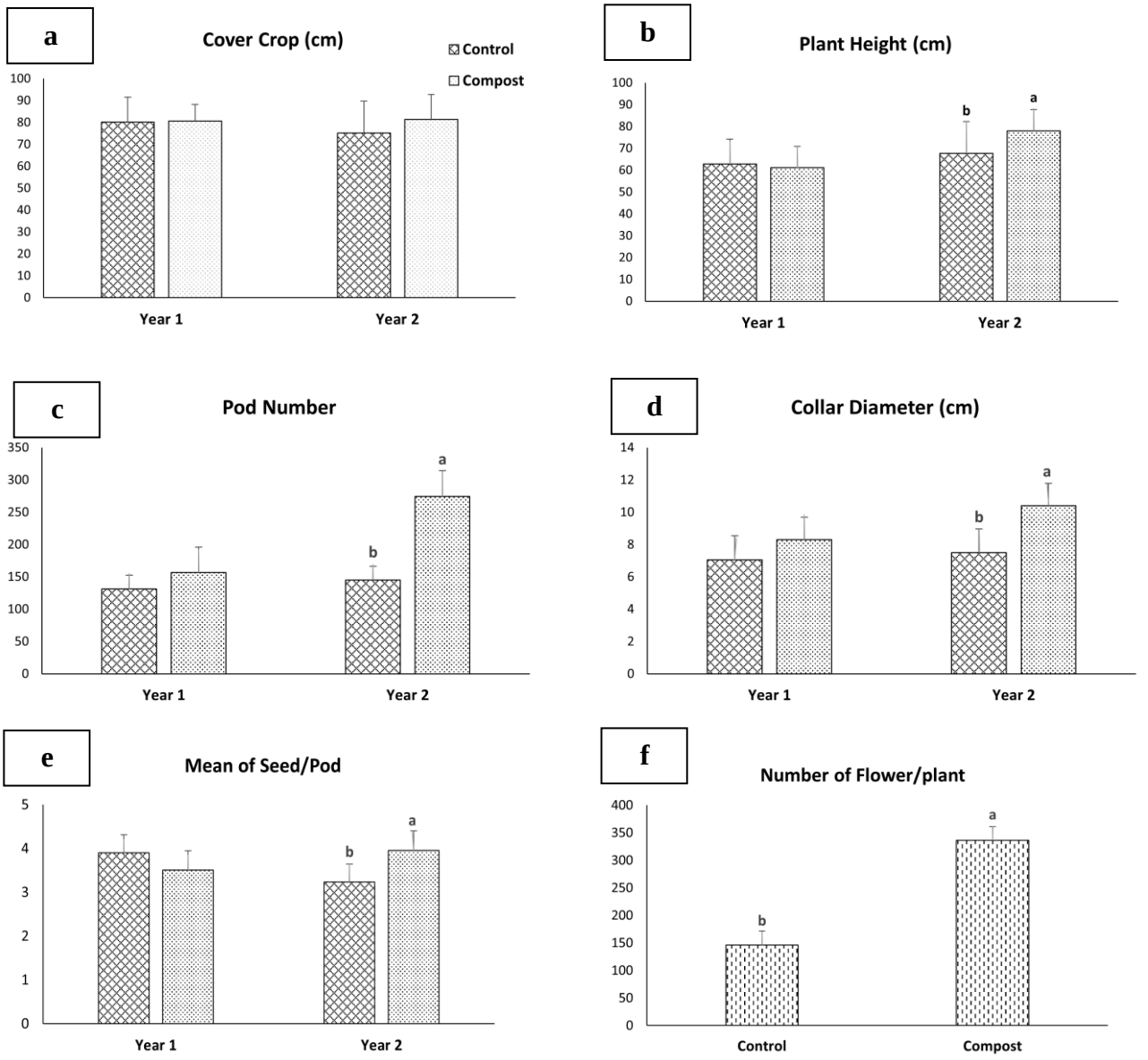


Figure 4. Changes in morphological and reproductive traits of the *Astragalus podolobus* plant under the influence of compost application in the first and second years of the experiment.
a) canopy cover, b) plant height, c) number of pods, d) collar diameter, e) number of seeds per pod, f) number of flowers per plant. The data are the average of 18 plants.

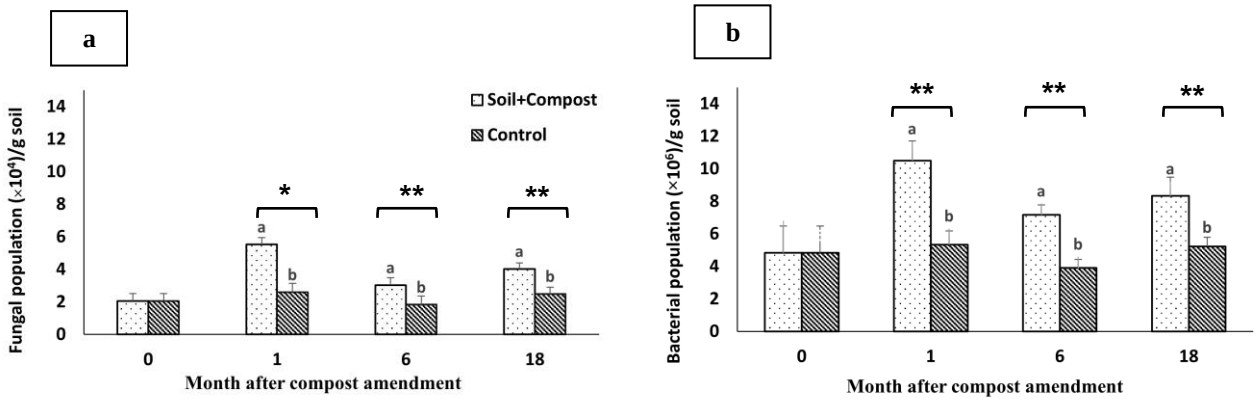


Figure 5. Changes in population of soil a) Fungi and b) Bacteria after amending soil with compost in the first and second years of the experiment. The data are the average of 3 replicates.

مقاله پژوهشی، سال سیزدهم، شماره سوم، پاییز ۱۴۰۴، صفحات ۱۰۷ تا ۱۲۶

نشریه مدیریت بیابان
www.isadmc.ir

انجمن علمی مدیریت و کنترل مناطق بیابانی ایران

نقش گونه گون (*Astragalus Podolobus*) در افزایش کربن آلی و بهبود خاک در مناطق نیمه خشک

حجت قربانی واقعی*[۱]، مجید محمد اسمعیلی [۲]، فاختک طلیعی [۳]، سید ایلیا سیدی [۴]

۱. دانشیار گروه منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس، گنبد، گلستان، ایران.
۲. دانشیار گروه مرتعداری دانشگاه گنبد کاووس، گنبد، گلستان، ایران.
۳. دانشیار گروه تولیدات گیاهی دانشگاه گنبد کاووس، گنبد، گلستان، ایران.
۴. دانش آموخته کارشناسی مهندسی آب، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد، گلستان، ایران.
* نویسندهٔ مسئول: ghorbani@gonbad.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۲۰ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۰۸**

10.22034/jdmal.2026.2078955.1521

چکیده

در پژوهش حاضر تأثیر افزودن کمپوست سلولزی به مقدار 5kg به ازای هربوته بر رشد رویشی و زایشی گیاه *Astragalus podolobus* در شرایط مزرعه طی دو سال متوالی مورد بررسی قرارگرفت. آزمایش در دانشگاه گنبد کاووس و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد و شاخص‌های قطر یقه، ارتفاع و پوشش تاجی، تعداد غلاف، میانگین تعداد بذر در غلاف و تعداد گل در بوته در گیاهان تیمار و شاهد به همراه تغییر جمعیت میکروبی خاک مورد بررسی قرارگرفت. نتایج نشان‌داد که افزودن کمپوست در سال دوم توانست مقدار ماده آلی خاک را از ۱/۰۱ ٪ به ۲/۷ ٪ و تخلخل خاک را از ۴۷٪ به ۵۹ ٪ افزایش‌بدهد. ارتقای کمی ماده آلی توانست چگالی ظاهری خاک را از طبقهٔ به‌نسبت سنگین به سبک ارتقا دهد و تأثیر مثبتی بر رشد ریشه‌ها بگذارد؛ به‌طوری که پس از سه ماه از اعمال آن، ریشه‌ها در محل کمپوست تجمع و حجم و ساختار آن‌ها بهبود یافت. یافته‌ها همچنین بیانگر افزایش معنی‌دار قطر یقه گیاه در تیمار کمپوست در سال دوم بود. ارتفاع گیاه در سال دوم به‌طور معنی‌داری در تیمار نسبت به شاهد افزایش داشت، اما پوشش تاجی در هر دو سال تفاوت معنی‌داری نشان نداد. در بخش زایشی، اعمال نوبت دوم کمپوست دهی، موجب افزایش معنی‌دار تعداد کل غلاف‌ها و میانگین تعداد بذر در گیاهان تیمار نسبت به شاهد شده بود که بیان‌گر تأثیر مثبت تجمعی کمپوست بر عملکرد زایشی گیاه است. علاوه‌براین، افزودن کمپوست موجب افزایش معنی‌دار جمعیت باکتری‌ها و قارچ‌های خاک شد. در مجموع، نتایج پژوهش حاضر نشان داد که افزودن کمپوست سلولزی به‌طور مؤثری رشد رویشی و زایشی گیاه *A. podolobus* را بهبود بخشید. احتمالا این امر موجب ترسیب کربن به شکل زنجیره کربنی ابتدا در گیاه و سپس به شکل کربن آلی در خاک شده‌است.

واژگان کلیدی: جمعیت میکروبی؛ چگالی خاک کمپوست؛ ماده آلی خاک.

استناد به این مقاله

قربانی واقعی, حجت، اسمعیلی, مجید محمد، طلیعی, فاختک و سیدی, سید ایلیا. (۱۴۰۴). نقش گونه گون (*Astragalus Podolobus*) در افزایش کربن آلی و بهبود خاک در مناطق نیمه خشک. *مدیریت بیابان*، ۱۲(۳)، ۳۶-۱۹. DOI: 10.22034/jdmal.2026.2078955.1521

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

■ مقدمه

رشد گیاهان از طریق جذب مستمر کربن طی فرآیند فتوسنتز و انتقال آن به شکل کربن آلی در زیست‌توده هوایی و زیرزمینی، نقش مهمی در افزایش ذخیرهٔ کربن خاک دارند (۳۲، ۳۳). خاک به‌عنوان بستر اصلی رشد گیاه، با تأثیر بر چرخهٔ عنصرهای غذایی، ظرفیت نگهداری آب، ساختار و فعالیت زیستی، نقش تعیین‌کننده‌ای در کارکردهای بوم‌سازگان ایفا می‌کند (۱، ۸، ۲۲). در این بین ماده آلی خاک در بهبود کارکرد بوم‌سازگان خاک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (۷، ۹، ۱۳، ۱۹). کمبود ماده آلی خاک به‌عنوان یکی از چالش‌های بنیادین کشاورزی پایدار در ایران، نقش مهمی در کاهش حاصل‌خیزی خاک و اختلال در استقرار پوشش گیاهی دارد (۶، ۷). این وضعیت نه‌تنها موجب کاهش توان تولیدی خاک می‌شود، بلکه مقاومت گیاهان را در برابر تنش‌های غیرزیستی از جمله خشکی و شوری و نیز عوامل بیماری‌زا تضعیف می‌کند و در پایان با تشدید فرایند فرسایش و افزایش تولید گردوغبار، اثرهای محیط‌زیستی نامطلوبی به‌همراه دارد (۱۲، ۲۷، ۲۸، ۳۲). براساس مستندات علمی میزان کربن آلی در ٪۶۱/۶ از خاک‌های ایران کمتر از یک درصد است (۱۸) در حالی که میانگین مقدار ایده‌آل مادهٔ آلی خاک کشاورزی ٪۲ است (۱۶، ۲۴). یکی از راه‌های بهبود شرایط بستر رشد گیاهان در مناطق خشک و نیمه خشک افزودن کمپوست به خاک است (۱۸، ۲۵). کمپوست نوعی ماده آلی با نسبت کربن به ازت نسبتا کم است که بیشتر از تجزیه بقایای گیاهان با نسبت کربن به ازت زیاد درفرآیند هوازی یا بی‌هوازی تولید می‌شود و سرشار از عناصر غذایی، مواد آلی پایدار ($\frac{C}{N} < 10$) و میکروارگانیسم‌های مفید بوده و با بهبود ویژگی‌های فیزیکی مانند تخلخل و ظرفیت نگهداری آب، ویژگی‌های شیمیایی مانند pH و ظرفیت تبادل کاتیونی و ویژگی‌های زیستی همچون تنوع و تراکم فلور میکروبی خاک، نقش مهمی در بهبود شاخص‌های کیفیت، سلامت و حاصل‌خیزی خاک ایفا می‌کند (۱۶، ۲۵، ۲۸، ۳۸). خاک‌برگ جنگلی یا کمپوست سلولزی نوعی کمپوست تهیه شده از مواد اولیه طبیعی موجود در منابع طبیعی همچون برگ‌ها، شاخه‌ها، ترک‌ها، پوست درختان و سایر باقی‌مانده‌های گیاهان جنگلی است که دارای بافت سلولزی کاملاً طبیعی است. محققان مرکز بین المللی تحقیقات کشاورزی مناطق خشک در مراکش با واکاوی یافته‌های منتشر شده در دو دههٔ گذشته (۲۰۰۴ تا ۲۰۲۴) در زمینهٔ بهبود فرآیند کمپوست ضایعات کشاورزی و نحوهٔ به‌کارگیری آنها در محیط زیست پرداختند (۲۴). دیگر بررسی نشان‌داد با افزودن کمپوست ضایعات کشاورزی به خاک علاوه بر افزایش مقدار ذخیره کربن خاک، به دلیل داشتن مواد هیومیک از قابلیت زیادی در زیست‌پالایی خاک‌های آلوده و بهبود سلامت خاک و حاصل‌خیزی خاک‌ها دارد (۲۵).

بررسی‌ها نشان می‌دهد با افزودن کمپوست به‌خاک شور– قلیائی، pH خاک کاهش و مقدار ماده آلی و میزان فعالیت آنزیمی و ترکیب جامعه باکتریایی تغییر می‌کند و ویژگی‌های خاک شامل pH، فعالیت اوره‌آز، ماده آلی و نیتروژن کل با تغییرات ترکیب باکتریایی همبستگی نزدیکی دارند (۴۰). همچنین جمعیت اولیه باکتریایی و قارچی خاک پس از افزودن کمپوست به خاک افزایش می‌یابد. کاربرد بلندمدت بیوکمپوست نه‌تنها موجب افزایش زیست‌توده میکروبی خاک می‌شود بلکه ترکیب جامعه میکروبی را نیز تغییر می‌دهد (۱۷). به‌علاوه نوسان فصلی مانند تغییرات دما، رطوبت و بارندگی، تأثیر قابل‌توجهی بر جمعیت میکروبی خاک دارند و این تأثیر با افزودن کمپوست تشدید می‌شود، زیرا کمپوست مواد آلی تازه را به خاک اضافه می‌کند که میکروارگانیسم‌ها (مانند باکتری‌ها و قارچ‌ها) را تحریک می‌کند (۳۱).

بررسی مقدار تأثیر کمپوست با سطح‌های ۰، ۱۵ و ۲۵ های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک درصد بر ویژگی نشان داد که با افزودن٪۱۵ کمپوست، طول ریشه، سطح ریشه، حجم ریشه و تعداد ریشه‌های انتهایی را به‌ترتیب ٪۹۷/۲، ٪۱۳۵/۲، ٪۱۸۲/۳ و ٪۶۴/۸ نسبت به شاهد به‌طور داری افزایش دهد (۴۰). همچنین کمپوست موجب معنی افزایش تراکم جمعیت باکتری‌های خاکزاد در محیط اطراف ریزوسفر ریشه شده‌بود. در بررسی دیگری نیز بهبود محیط رشد ریشه ناشی از افزایش معنی‌دار فعالیت‌های ریزجانداران مفید خاک در ریزوسفر به علت بکارگیری کمپوست گزارش شده است. نتایج این مطالعه نشان داد افزودن کمپوست با افزایش بیوماس میکروبی کربن و فسفر به‌ترتیب حدود ٪۲ و ٪۱۴، با افزایش فعالیت فسفاتاز قلیایی و اسیدی حدود ۱۶ و ۱۰ درصد، و همچنین با افزایش تنفس میکروبی پایه

و القاشده به‌ترتیب حدود ۴ و ۲۱ درصد نسبت به خاک داری ۵ ٪ همراه بود (۳۵). غیرریزوسفری در سطح معنی

بررسی افزودن کمپوست به خاک‌های مرتعی نشان داد که این ماده توانسته است علاوه بر افزایش ذخیره کربنی خاک، شاخص‌های فعالیت میکروبی ریزوسفر را تا ٪۵۰ بهبود ببخشد (۱۵). در مطالعه دیگری میزان شاخص‌های آنزیمی و فعالیت زیست توده میکروبی با افزودن کمپوست در محیط ریشه در یک سیستم رایزوباکس مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان‌داد که در تیمار کمپوست مقادیر شاخص‌های کربن زیست توده میکروبی در حدود ۱/۰۲، فسفر زیست توده میکروبی تقریبا ۱/۱۴ و فعالیت‌های فسفاتازی در ریزوسفر ریشه ۱/۱۰ برابر نسبت به محیط غیرریزوسفری افزایش داشت و همچنین تنفس پایه و برانگیخته شدن عناصر غذایی مورد نیاز گیاه در محیط ریزوسفر نیز افزایش داشت که نشان‌دهنده تقویت ظرفیت زیستی و تبدیل عناصر غذایی به شکل قابل جذب در ریزوسفر برای ریشه گیاه است (۳۶).

گیاه *Astragalus podolobus* Boiss. & Hohen، یک گونه گیاهی مرتعی و مقاوم به تنش خشکی و بومی مراتع گنبد کاووس با نام فارسی گَوَن است که دارای ارزش علوفه‌ای مناسب و سازگار زیاد با اقلیم خشک و نیمه‌خشک است (۳). این گیاه دامنه بوم‌شناختی گسترده‌ای دارد و و به‌دلیل خوش‌خوراکی علاوه بر تأمین علوفه دام به ویژه شتر، نقش اساسی در حفاظت خاک، جلوگیری از فرسایش بادی و کنترل گردوغبار دارد. همچنین این گونه به دلیل محتوای زیاد پروتئین، چربی، فیبر و کربوهیدرات، به‌عنوان منبع غذایی مطلوب در تغذیه دام‌ها شناخته می‌شود (۱۴) و این امر مدیران منطقه‌ای را برآن داشته است تا به دنبال بررسی روش‌هایی برای بهبود و تسریع استقرار این گیاه در شرایط طبیعی منطقه باشند. پژوهش حاضر با هدف بررسی تکنیک افزودن کمپوست سلولزی به بستر کشت *A. podolobus* برای بررسی میزان تأثیر این ماده بر شاخص‌های کمی و کیفی خاک همچون ذخیره کربن خاک در محیط ریشه و همچنین امکان بهبود ویژگی بیولوژیکی خاک و شرایط رشد و توسعه ریشه این گیاه مرتعی انجام شده است.

■ مواد و روش ها

منطقه مورد بررسی

پژوهش حاضر در باغ تحقیقاتی چهارساله *A. podolobus* دانشگاه گنبدکاووس با طول جغرافیایی °۵۵ ´۱۱ شرقی و عرض جغرافیایی ´۱۵ °۳۷ شمالی، در زمینی به مساحت $۲۰۰۰m^۲$ انجام شد (شکل ۱). مقدار بارندگی سالانه و ارتفاع زمین نسبت به سطح آزاد دریا به ترتیب ۴۵۰mm و ۴۰m است. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در کرت‌های آزمایشی به ابعاد ۱۴ متر مربع (۷×۲) با تراکم کشت یک بوته در هر مترمربع اجرا شد. در هر بلوک ۶ گیاه هم سن و یکسان از نظر شرایط فیزیولوژیک درنظر گرفته شد (شکل ۱). کمپوست مورد استفاده از شرکت پاجی گستر شمال تهیه شد (شکل ۲) و اثر افزودن کمپوست سلولزی با گیاهان شاهد مورد مقایسه قرارگرفت.

با توجه به اینکه تراکم ریشه گیاه *A. podolobus* در عمق زیرسطحی خاک است (۳) لذا در پژوهش حاضر تیمار کمپوست روی خاک زیرسطحی اعمال شد. مقدار افزودن کمپوست در بستر ریشه گیاه تیمار براساس استاندارد جهانی ۲ درصد ماده آلی خاک در نظر گرفته شده است. افزودن این ماده به خاک به صورت چالکود و در حفره‌ای به قطر ۴۰cm و عمق ۸۰cm در عمق ۶۰cm -۳۰ خاک انجام شد. در هر حفره به مقدار ۵۰gr به ازای هر کیلوگرم خاک مخلوط و پای ریشه هر بوته تیمار ۵kg خاک تیمارشده اضافه شد. افزودن کمپوست سلولزی به خاک اطراف ریشه گیاهان *A. podolobus* در بهمن ماه ۱۴۰۱، قبل از بیداری گیاهان انجام شد. این عمل به‌علت آن بود که تاقبل از شروع فصل بیداری گیاه، برهم‌کنش خاک و گیاه خاک و محیط ریزوسفر ریشه بخوبی انجام شود. این دوره استراحت برای اطمینان از جذب مواد مغذی توسط گیاهان و ایجاد تغییرات قابل مشاهده در شاخص‌های رویشی آن‌ها ضروری بود. در بهمن ماه ۱۴۰۲ مجددا مقدار مشابهی کمپوست به خاک پای بوته در عمق موردنظر افزوده شد.

شکل ۱. نمای مزرعه مطالعاتی

شکل۲. کود کمپوست آلی تهیه شده از شرکت پاجی گستر شمال

نمونه‌برداری خاک و روش انجام آزمایش

از هر ردیف تیمار و شاهد جداگانه و به‌طور تصادفی ۵ نمونه یک کیلوگرمی خاک در بهمن ماه ۱۴۰۴ از بستر ۵ گیاه در عمق ۶۰ cm –۳۰ برداشت و نمونه‌های هر ردیف با هم مخلوط و نمونه یک کیلوگرمی خاک به آزمایشگاه مرکزی دانشگاه گنبدکاووس انتقال داده شد. ابتدا نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت هوا - خشک و در نهایت پس از کوبیدن از الک ۲mm عبور داده شدند. در آزمایشگاه ویژگی‌های بافت خاک با استفاده از روش هیدرومتری (۱۱)، pH به روش پتانسیومتری، درصد ماده آلی خاک به روش سوزاندن تر (۳۵)، درصد گل اشباع خاک، چگالی ظاهری به روش پارافین (۱۰)، و درصد آهک به روش نلسون (۲۳) اندازه‌گیری شد. نمونه برداری خاک همانند سال اول برای سال دوم نیز تکرار شد.

اندازه گیری جمعیت میکروبی زنده خاک

برای اندازه‌گیری مقدار جمعیت زنده میکروبی خاک و بررسی تاثیر افزودن کمپوست بر آن، نمونه‌های ۵۰۰ گرمی از خاک ریزوسفر هر کرت در هر تکرار تهیه و به آزمایشگاه منتقل شد. نمونه‌برداری‌ها در ۴ نوبت شامل ابتدای آزمایش (۳۰ بهمن ۱۴۰۱)، یک ماه پس از افزودن کمپوست (۳۰ اسفند ۱۴۰۱)، ۶ ماه پس از افزودن کمپوست (۳۱ مرداد ۱۴۰۲) و ۱۸ ماهه پس از افزودن کمپوست (۳۱ مرداد ۱۴۰۳) انجام شد. پس از جدا کردن ریشه‌ها، ابتدا نمونه‌ها از الک پنج میلی‌متری و سپس دو میلی‌متری عبور داده شدند. جمعیت باکتری‌ها و قارچ‌ها با استفاده از روش استاندارد رقت کشت و تخمین زده شد (۲). برای این منظور، سوسپانسیون خاک با مخلوط کردن پنج گرم خاک، در ۴۵mL آب استریل تهیه شده و به مدت ۲۰ دقیقه تکان داده شد و سپس رقت‌های ده برابری تهیه شد. برای شمارش باکتری‌ها از محیط کشت آگار مخمر-پپتون-گلوکز حاوی عصاره مخمر $5g.L^{-1}$، پپتون $5g.L^{-1}$، گلوکز $10g.L^{-1}$ و آگار $15g.L^{-1}$ همراه با سیکلوهگزیمید به مقدار $0/1g.L^{-1}$ استفاده شد. قارچ‌ها نیز در محیط کشت عصاره مالت آگار ذوب‌شده حاوی مالت $15g.L^{-1}$ گرم در لیتر و آگار $10g.L^{-1}$ که با آنتی‌بیوتیک‌های اسید سیتریک $0/25g.L^{-1}$، کلروتتراسایکلین $0/05g.L^{-1}$ و استرپتومایسین $0/1g.L^{-1}$ تقویت شده بود، کشت و سپس تعداد واحدهای

تشکیل‌دهنده کلونی (CFU) شمارش شدند (۲۶).

اندازه‌گیری صفات موفولوژیکی گیاه

در پایان فصل زایشی گیاه در مرداد ماه هر سال، ویژگی‌های ریخت‌شناسی گیاهان شامل محیط تاج پوششی، ارتفاع گیاه و قطر یقه گیاهان با متر اندازه‌گیری شد. همچنین تعداد غلاف ظاهر شده و میانگین تعداد بذر تولید شده برای هر گیاه شمارش شد. در سال دوم آزمایش تعداد گل‌های ظاهر شده در هر گیاه نیز شمارش شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS 21 انجام شد و میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی ($P<۰/۰۱$) مورد مقایسه قرارگرفت.

■ نتایج

نتایج آنالیز نمونه خاک زیرسطحی

نتایج آنالیز خاک زیرسطحی در عمق ۶۰cm —۳۰ پای ریشه گیاه در تیمار و شاهد (جدول ۱) نشان داد که افزودن کمپوست به مقدار ٪۲ حجمی به خاک زیرسطحی موجب بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک شد. آنالیز درصد اشباع خاک زیرسطحی نشان داد که درصد اشباع خاک از ٪۴۷ به ٪۵۹ افزایش داشت. این افزایش را می‌توان ناشی از افزوده شدن کمپوست به خاک تیمار نسبت داد که موجب افزایش ماده آلی خاک شده است. بررسی نتایج درصد ماده آلی خاک مزرعه مطالعاتی نشان می‌دهد که مقدار درصد کربن آلی خاک از ٪۰/۶ در نمونه شاهد به ٪۱/۶ در خاک تیمار شده با کود کمپوست سلولزی ارتقا یافته است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که مقدار ماده آلی خاک پس از ۲ سال از ٪۱/۰۱ به ٪۲/۷۱ ارتقا یافته است و همچنین چگالی ظاهری خاک از حالت نسبتا سنگین به نسبتا سبک تغییر فاز داده است که به نوعی بیان‌گر بهبود وضعیت ویژگی‌های فیزیکی خاک پس از اعمال تیمار است. همچنین افزودن کمپوست سبب کاهش قابل توجه pH خاک از ۷/۷۴ به ۷/۱۸ شد (جدول ۱). تعدیل pH در حد ۷ بسیاری از عناصر ضروری خاک را به‌شکل محلول و قابل جذب برای گیاه در خواهد آورد که به‌طور غیرمستقیم امکان رشد رویشی بهتر گیاه را فراهم خواهدکرد (۳۸، ۴۱).

تاثیر کمپوست بر روی رشد اجزای رویشی گیاه

تأثیر کاربرد کمپوست سلولزی بر رشد رویشی ریشه گیاه *A. podolobus* بعد از تیمار طی یک بازه زمانی دو ساله با اندازه‌گیری کیفی تراکم ریشه ها مورد بررسی قرار گرفت. گیاهان مورد بررسی که در آغاز آزمایش دارای وضعیت ریشه‌ای نسبتاً توسعه نیافته‌ای بودند، به‌صورت سالانه و در دو نوبت با کمپوست سلولزی تیمار شدند. بررسی گودال‌های تزریق چالکود، حکایت از عدم حضور ریشه در این مکان‌ها در قبل از تیمار کودی دارد (شکل۳- الف). بررسی شرایط محل رشد ریشه گیاه *A. podolobus* پس از گذشت بازه زمانی سه ماه بعد از اعمال کمپوست نشان داد که ریشه‌ها به خوبی در محل افزودن کمپوست به خاک تجمع یافته بودند (شکل ۳- ب). به عبارتی کمپوست سلولزی تأثیر قابل توجهی بر رشد ریشه‌ها در کوتاه مدت داشته و موجب افزایش سرعت رشد، بهبود ساختار و افزایش حجم ریشه‌ها شده بود. این نتایج در بررسی تراکم ریشه در گیاهان شاهد و تیمار در طی مدت دوسال دیده شده است. تأثیر مثبت ماده آلی خاک در بهبود و افزایش تراکم ریشه توسط دیگر پژوهش نیز گزارش شده‌است (۴).

جدول ۱. نتایج اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی کمپوست و خاک زیرسطحی در تیمار و شاهد

	آهک خنثی (%T.N.V)	pH	%O.C	درصد ماده آلی	رطوبت اشباع (%Θs)	%Sand	%Silt	%Clay	بافت خاک	چگالی ظاهری خاک ($g.cm^{-3}$)
نمونه شاهد	۱۵/۲۵	۷/۷۴	۰/۵۸	۱/۰۱	۴۷	۲۰	۵۱	۲۹	Si.Cl.L	۱/۵۷
نمونه تیمار	۱۷	۷/۱۸	۱/۵۶	۲/۷	۵۹	۱۶	۶۰	۲۴	Si.Cl.L	۱/۶۲
کمپوست	-	۷/۰۱	۴۰/۲۷	۷۰/۷	۷۳.۵	-	-	-	-	۰/۸۹

نسبت کربن به ازت کمپوست ۱۸ است. (ماخذ: مرکز تایید گواهی کود موسسه خاک و آب کشور)

شکل ۳. نمای توسعه ریشه قبل (الف) و بعد از دو سال (ب)

نتایج تحلیل واریانس ویژگی‌های ریخت‌شناسی اندازه‌گیری شده در گیاه *A. podolobus* در سال اول اجرای آزمایش نشان داد که اثر تیمار بر هیچ‌یک از صفات مورد بررسی معنی‌دار نبود. بر اساس جدول (۲)، میانگین مربعات تیمار برای صفات پوشش تاجی، ارتفاع گیاه، قطر یقه، تعداد کل غلاف و میانگین تعداد دانه در غلاف در سطح آماری معنی‌داری قرار نگرفت ($p<۰/۰۵$). این نتایج بیانگر آن است که اعمال تیمار در سال اول تأثیر قابل توجهی بر رشد رویشی و زایشی گیاه نداشته است. زمان اعمال تیمار در پای بوته در سال اول دیرهنگام انجام شد، به‌طوری که بلافاصله گیاه بعد از اعمال تیمار از خواب فیزیولوژیک بیدار شده‌بود. به همین دلیل تأثیر کمپوست در افزایش قطر یقه که به نوعی بیان‌گر رشد مطلوب ریشه و سرشاخه است چندان ملموس نبود. به‌طور کلی عدم مشاهده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سال اول می‌تواند به ماهیت تدریجی اثر تیمار، سازگاری اولیه گیاه با شرایط محیطی، یا نیاز به زمان بیشتر برای بروز پاسخ‌های ریخت‌شناسی و تولیدمثلی باشد.

برای سال دوم، با رعایت دوره استراحت کود کمپوست افزوده شده به خاک بستر ریشه گیاه، انتظار می‌رفت که رشد رویشی قطر یقه در سال دوم تفاوت کاملا معنی‌دار و فاحشی با سال اول داشته باشد که نتایج تحلیل واریانس ویژگی‌های ریخت‌شناسی اندازه‌گیری‌شده در گیاه *A. podolobus* برای سال دوم موید این نکته است. این نتایج که نشان‌داد که تأثیر تیمار کمپوست به‌غیر از صفت پوشش تاجی بر دیگر ویژگی‌های مورد بررسی معنی‌دار بود. بر اساس نتایج جدول ۳ تیمار افزودن کمپوست سلولزی به خاک تأثیر معنی‌داری بر صفات ارتفاع گیاه، قطر یقه، تعداد کل غلاف، میانگین تعداد دانه در غلاف و تعداد گل ($p<۰/۰۱$) داشت. این نتایج بیانگر پاسخ مثبت و قابل توجه گیاه به تیمار اعمال‌شده در سال دوم آزمایش است.

جدول ۲. تحلیل واریانس ویژگی‌های ریخت‌شناسی اندازه گیری شده در گیاه *A. podolobus* در سال اول اجرای آزمایش

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		پوشش تاجی	ارتفاع	قطر یقه	تعداد کل غلاف	میانگین تعداد دانه در غلاف
بلوک	۲	۸۱/۳۴۱ ns	۷/۸۶۱ ns	۱/۱۴۸ ns	۴۲۲۸/۸۶۱ ns	۰/۷۸۶ ns
تیمار	۱	۱/۴۶۸ ns	۲۶/۶۹۴ ns	۱۳/۷۵۷ ns	۵۷۷۶/۰۰ ns	۱/۴۰ ns
خطا	۳۲	۱۷۶/۵۴۰	۱۳۰/۶۴۲	۳/۶۵۹	۱۵۰۷/۷۴۵	۰/۴۰۳
ضریب تغییرات (٪)		۱۶/۳	۱۸/۶	۲۵/۵	۳۱/۸	۱۸/۱

جدول ۳. تحلیل واریانس ویژگی‌های ریخت‌شناسی اندازه گیری شده در گیاه *A. podolobus* در سال دوم اجرای آزمایش

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		پوشش تاجی	ارتفاع	قطر یقه	تعداد کل غلاف	میانگین تعداد دانه در غلاف	تعداد گل
بلوک	۲	۱۴/۸۸۲ ns	۵۷/۰۰ ns	۶/۴۷۹ ns	۲۷۸۷/۹۳۸ ns	۰/۲۲۲ ns	۶۰۸/۴۴ ns
تیمار	۱	۳۵۴/۶۹ ns	۹۴۰/۴۴ **	۷۶/۷۶۱ **	۱۵۰۴۷۹/۳۴ **	۴/۶۵۸ **	۳۲۴۵۲۰/۱ **
خطا	۳۲	۹۸/۲۰۹	۸۷/۰۸۰	۴/۲۹۶	۲۱۰۷/۰۹۳	۰/۰۹۴	۱۲۵۸/۵۸
ضریب تغییرات (٪)		۱۲/۷	۱۴/۳	۳۱/۸	۴۰/۳	۱۴/۲	۵۰/۲

در هر دو سال اجرای آزمایش، اختلاف معنی‌داری بین تیمار کمپوست و شاهد از نظر پوشش تاجی مشاهده نشد (شکل ۴-الف). مقایسه میانگین‌ها حاکی از آن است که در سال دوم، پوشش تاجی در تیمار کمپوست تنها حدود ٪۵ تا ٪۷ بیشتر از شاهد بود. این موضوع نشان می‌دهد که پوشش تاجی صفتی نسبتاً پایدار بود و کمتر از دیگر ویژگی‌ها زیر تأثیر بهبود تغذیه‌ای قرار می‌گیرد. در مقابل، ارتفاع گیاه در سال دوم به‌طور محسوسی افزایش یافت. میانگین ارتفاع در تیمار کمپوست در سال دوم حدود ۸۰cm تا ۸۵cm و در شاهد حدود ۷۰cm تا ۷۵cm بود که نشان‌دهنده افزایشی در حدود ٪۱۲ تا ٪۱۵ است (شکل ۴-ب). این افزایش را می‌توان به بهبود دسترسی به عناصر غذایی و افزایش فعالیت ریشه در اثر کمپوست نسبت داد.

بررسی میانگین ارتفاع گیاه (شکل ۴-ب) به این نکته اشاره دارد که این ویژگی، اختلاف معنی‌داری بین تیمارها در سال اول نشان نداد، در مقابل، در سال دوم تیمار کمپوست موجب افزایش معنی‌دار ارتفاع گیاه نسبت به شاهد شد، به‌طوری‌که بیشترین مقدار ارتفاع بوته به تیمار کمپوست اختصاص یافت که معادل ۷۷/۹cm بود. این نتیجه مؤید تأثیر معنی‌دار تیمار در سال دوم ($p<۰/۰۱$) است .قطر یقه نیز در سال دوم واکنش مشابهی نشان داد به‌طوری که استفاده از کمپوست تأثیر قابل توجهی در افزایش قطر یقه گیاه در سال دوم داشته است (شکل ۴-ت). به‌طوری‌که قطر یقه در تیمار کمپوست افزایشی نزدیک به ٪۳۵–۴۰ داشت و از ۷mm تا ۸mm در شاهد به ۱۰mm تا ۱۱mm در تیمار کاربرد کمپوست رسید. افزایش قطر یقه معمولاً نشان‌دهنده استقرار بهتر گیاه، بهبود وضعیت فیزیولوژیک و عملکرد بهتر گیاه و افزایش توان انتقال مواد فتوسنتزی به اندام‌های زایشی است.

مقایسه میانگین ویژگی‌های بیان شده در شکل ۴ نشان می‌دهد که تأثیر کمپوست بر صفات زایشی در سال دوم بسیار بارزتر از صفات رویشی است. تعداد کل غلاف در بوته (شکل ۴-ت) در سال دوم در تیمار کمپوست حدود ۲۸۰–۲۶۰ غلاف در بوته و در شاهد حدود ۱۶۰–۱۴۰ غلاف بود که بیانگر افزایش بیش از ٪۹۰–۷۰ نسبت به شاهد است. این افزایش چشمگیر نشان می‌دهد که کمپوست بیش از آنکه بر رشد سطحی گیاه اثر بگذارد، موجب تقویت ظرفیت زایشی شده است. میانگین تعداد دانه در غلاف (شکل ۴-ث) نیز در سال دوم تحت تأثیر کمپوست افزایش یافت؛ به‌طوری‌که این صفت با افزایشی در حدود ٪۲۵–۲۰ از حدود ۳/۴–۳/۲ دانه در شاهد به حدود ۴/۲–۴/۰ دانه در تیمار کمپوست رسید. این موضوع به احتمال به‌علت بهبود کیفیت تشکیل دانه، در نتیجه تغذیه بهتر گیاه در مراحل

زایشی است. بیشترین پاسخ به تیمار مربوط به تعداد گل در بوته بود. بر اساس شکل ۴-ج، تعداد گل در تیمار کمپوست حدود ۳۵۰-۳۳۰ گل در بوته و در شاهد حدود ۱۶۰-۱۴۰ گل در بوته برآورد شد که نشان‌دهنده افزایش بیش از دو برابری است. افزایش تعداد گل نقش کلیدی در افزایش تعداد غلاف و در پایان تولید بذر داشت و نشان داد که کمپوست به‌طور مستقیم فرآیندهای زایشی را تحریک می‌کند. به‌طور کلی، نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که تأثیر تیمار کمپوست ماهیتی تدریجی و تجمعی داشته‌است و در سال دوم اجرای آزمایش موجب بهبود معنی‌دار بیشتر ویژگی‌های رویشی و زایشی شد؛ درحالی که در سال اول پاسخ گیاه به تیمار محدود و غیرمعنی‌دار بود.

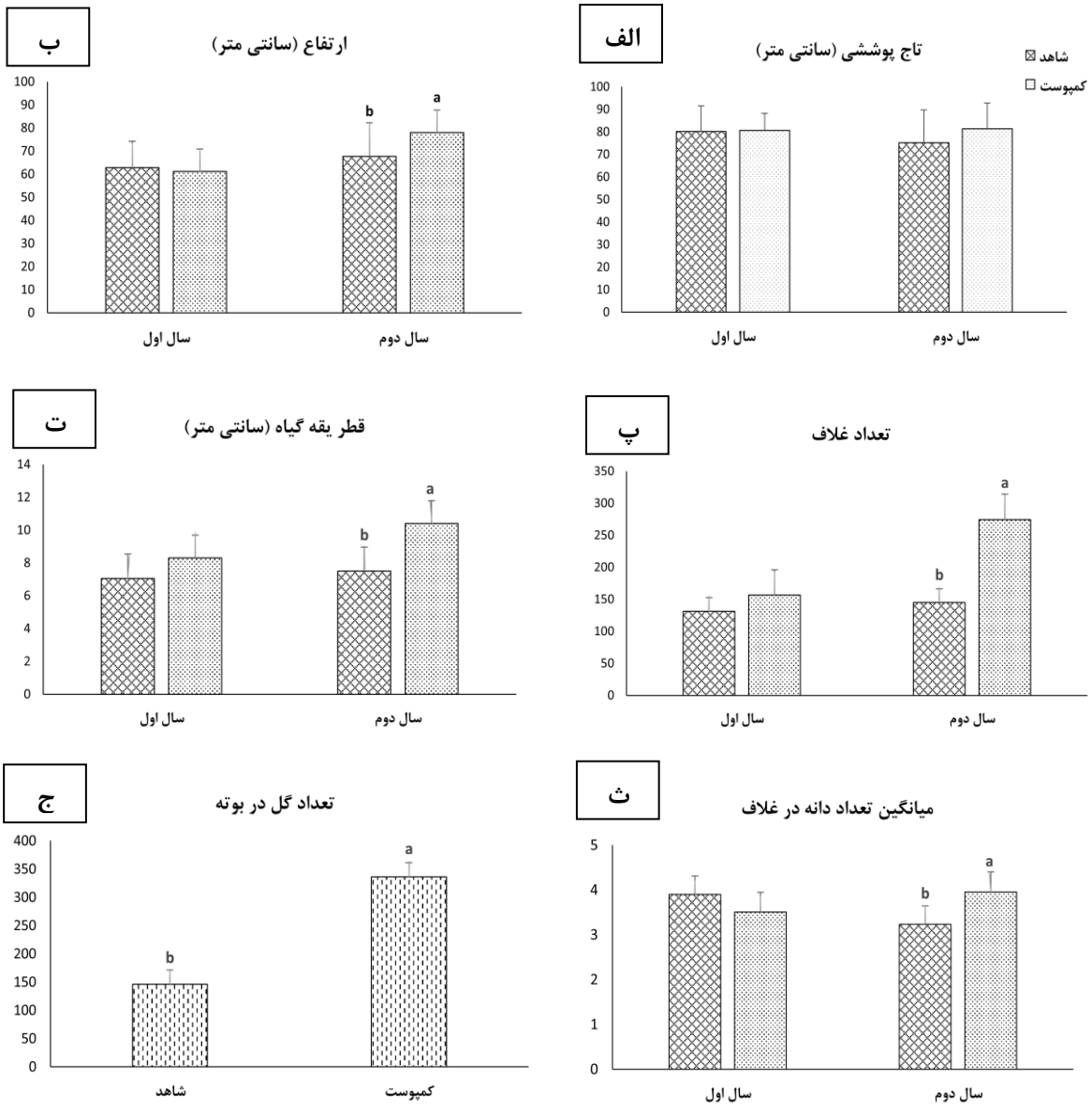
ارزیابی فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک در بستر کاشت گیاهان

در مطالعه حاضر بررسی پویایی جمعیت قارچی نشان داد که میزان جمعیت اولیه تقریبی $۲/۰۷\times۱۰^{۴}$ CFU.g^{-1} در هر دو تیمار شاهد و دارای کمپوست می‌باشد (شکل ۴-الف). یک ماه پس از افزودن کمپوست، میانگین جمعیت قارچی در خاک دارای کمپوست به $۵/۵۳\times۱۰^{۴}$ CFU.g^{-1} افزایش یافت، که نشان‌دهنده افزایش ۱۰۰ درصدی نسبت به شاهد است ($p<۰/۰۱$). تا ماه ششم پس از افزودن کمپوست، جمعیت قارچ‌ها در خاک‌های کمپوست‌دار نسبت به نوبت قبل ٪۳۷/۵ کاهش یافت. روند مشابهی در نمونه شاهد مشاهده شد اما جمعیت در خاک تیمار شده همچنان اختلاف معنی‌داری با شاهد داشت ($p<۰/۰۵$). اما در ماه هجدهم پس از شروع آزمایش، جمعیت قارچ در تیمار دارای کمپوست مجددا روند افزایشی نشان داد و به نوعی تثبیت شد که حدودا ٪۲۵ بالاتر از ابتدای آزمایش بود و همچنان اختلاف معنی‌داری با شاهد داشت ($p<۰/۰۱$) (شکل ۵-الف).

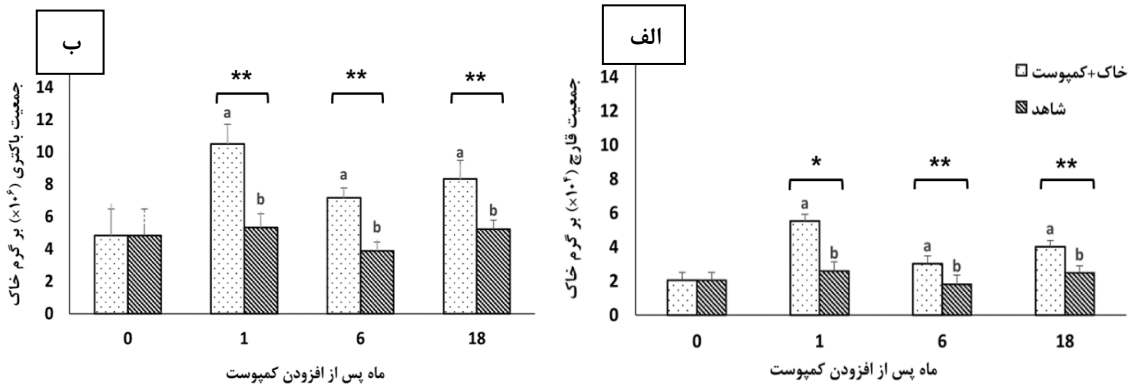
جمعیت اولیه باکتریایی خاک در ابتدای آزمایش در هر دو تیمار شاهد و دارای کمپوست، مقدار تقریبی برابر $۴/۸۳\times۱۰^{۶}$ CFU.g^{-1} را نشان داد (شکل ۵-ب). پس از افزودن کمپوست، در خاک‌های دارای کمپوست افزایش شدید جمعیت در بازه زمانی یک ماهه مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با نمونه شاهد داشت ($p<۰/۰۱$). در روند مشابهی جمعیت باکتری‌ها در هر دو نمونه خاک، ۶ ماه پس از افزودن کمپوست، ٪۲۵ نسبت به جمعیت باکتری در ماه اول در نمونه تیمار کاهش یافت. با افزودن مجدد کمپوست در سال دوم، جمعیت باکتری‌های خاک در ماه هجدهم پس از شروع آزمایش، در خاک تیمار شده با کمپوست به $۸/۳\times۱۰^{۶}$ CFU.g^{-1} افزایش یافت که همچنان به‌طور معنی‌داری بیشتر از نمونه شاهد بود. این الگوها نشان می‌دهد که تحریک جمعیت میکروبی همچنان وابسته به افزودن کمپوست و فصل نمونه‌برداری می‌باشد.

■ بحث و نتیجه‌گیری

با افزایش میزان کربن آلی خاک، مقدار رطوبت اشباع خاک نیز افزایش می‌یابد که به نوعی بیانگر افزایش ظرفیت نگهداشت آب خاک است. در پژوهش حاضر میزان ظرفیت نگهداشت آب خاک با شاخص رطوبت اشباع خاک سنجیده شده است. با افزودن کمپوست انتظار می‌رود که میزان رطوبت اشباع خاک در نمونه تیمار بیشتر از خاک شاهد باشد که نتایج جدول ۱ نیز موید همین مساله است. از سوی دیگر، بررسی نتایج سایر پژوهشگران نشان داده است که رابطه معنی‌دار و مثبتی بین مقدار کربن آلی خاک و مقدار محتوی ماده خشک گیاه وجود دارد (۱۶، ۲۹، ۳۳، ۳۶). از طرف دیگر نوع پوشش گیاهی و ویژگی‌های رشدی آن نیز تأثیر مثبتی بر ویژگی‌های خاکی همچون ارتقای ذخیره کربن آلی خاک از طریق فرآیند ترسیب کربن و متعاقب آن بهبود جرم ویژه ظاهری خاک دارد (۱، ۱۳، ۱۹، ۲۲). با نگاهی به نتایج جدول ۱ می‌توان حدس زد که افزودن کمپوست موجب بهبود شرایط استقرار گیاه *A. podolobus* شده است و این امر توانسته است از طریق افزایش ورودی‌های آلی، تشدید فعالیت‌های میکروبی، تقویت پایداری خاکدانه‌ها و ظرفیت نگهداشت رطوبت خاک را با ترسیب بیشتر کربن به خاک ارتقا دهد.



شکل ۴. تغییرات ویژگی‌هاریخت‌شناسی و زایشی گیاه *Astragalus podolobus* زیر تأثیر کاربرد کمپوست در سال‌های اول و دوم اجرای آزمایش. الف) پوشش تاجی، ب) ارتفاع گیاه، پ)تعداد غلاف، ت) قطر یقه، ث) تعداد دانه در غلاف، ج) تعداد گل در بوته. داده ها میانگین ۱۸ گیاه می باشند.



شکل ۵. تغییر جمعیت الف) قارچ‌ها و ب) باکتری‌های خاک زیر تثیر کاربرد کمپوست در سال‌های اول و دوم اجرای آزمایش (داده‌ها میانگین ۳ تکرارند)

نتایج مربوط به تراکم جمعیت میکروبی در پژوهش حاضر با یافته‌های پیشین مبنی بر تقویت رشد میکروفلور خاک و افزایش فعالیت زیستی آن با افزودن کمپوست به‌عنوان ماده مغذی، سازگاری دارد (۵، ۳۹، ۴۰). در پژوهش حاضر، جمعیت اولیه باکتریایی و قارچی خاک پس از افزودن کمپوست به خاک افزایش است که این نتایج با دیگر بررسی‌های انجام شده هماهنگ است (۱۷). بر اساس مطالعات، کاربرد بلندمدت بیوکمپوست منجر به افزایش بیومس میکروبی و تغییر ترکیب جامعه می‌شود، اما اثرات پایدار وابسته به سطح کمپوست است (۱۷). کاهش جمعیت در ماه ششم پس از افزودن کمپوست احتمالاً به عوامل فصلی مانند گرما و خشکی مربوط است. پژوهش‌ها نشان می‌دهند که نوسانات فصلی (مانند تغییرات دما، بارندگی و رطوبت) تأثیر زیادی بر ویژگی‌های خاک و جوامع میکروبی در مناطق خشک گرمسیری و در نتیجه چرخه مواد مغذی مانند کربن و نیتروژن دارد، به‌طوری که کاهش چشمگیر رطوبت خاک موجب تغییر در تنوع و فراوانی میکروارگانیسم‌ها می‌شود (۳۱). در فصل تابستان، برهم‌کنش قوی خاک-میکروبی عمدتاً در لایه‌های بالایی خاک حفظ می‌شود، اما کاهش رطوبت باعث افت فعالیت باکتریایی و قارچی می‌گردد، در حالی که در فصل‌های مرطوب‌تر مانند زمستان، افزایش رطوبت تنوع جامعه میکروبی را بهبود می‌بخشد و جوامع میکروبی را پایدارتر می‌کند. بهبود مجدد جامعه میکروبی در ماه ۱۸ در پژوهش حاضر تایید کننده اثرات تجمعی و نشان‌دهنده پایداری بلندمدت میکروبیوم می‌باشد که در سایر منابع نیز تایید شده است (۱۷). این الگو بیانگر نقش کمپوست در تعدیل نوسانات فصلی جامعه میکروبی، بهبود کیفیت زیست‌محیطی خاک و عملکرد آن است.

افزودن کمپوست به ناحیه رشد ریشه برای برهم‌کنش با خاک در راستای تشدید فعالیت‌های میکروبی و افزایش پایداری خاک‌دانه‌ها به زمانی حداقل دو الی سه ماه نیازمند است (۲۰) و برای بیشترین تاثیر بر گیاه، به زمانی حداقل یک تا یک و نیم سال نیاز دارد (۲۹). زمان اعمال تیمار در پای بوته در سال اول دیرهنگام انجام شد، به‌طوری که بلافاصله گیاه بعد از اعمال تیمار از خواب فیزیولوژیکی بیدار شد. به همین دلیل اثر کمپوست در افزایش قطر یقه که به نوعی بیانگر رشد مطلوب ریشه و سرشاخه است چندان ملموس نبود اما این اختلاف در سال دوم درگیاهان تیمار نسبت به شاهد معنی‌دار بود. نتایج این پژوهش با سایر مطالعات انجام شده (۲۹) همخوانی دارد. به استناد نتایج پژوهش حاضر می‌توان چنین استنباط کرد که تیمار توانسته است بعد از مدت زمان یکسال، اثرات مطلوب خود را بر بهبود ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و زیستی خاک و پیامد آن بر رشد شاخص‌های فیزیولوژی و ریخت‌شناسی گیاه *A. podolobus* نمایان کند. در مقابل، تحلیل پوشش تاجی در هر دو سال اختلاف معنی‌داری نشان نداد که احتمالاً ناشی از عدم وجود تنش‌های محیطی کافی به ویژه چرای دام، در مزرعه مادری بوده است. مشاهدات حاکی از آن است که مزرعه مادری این گیاه، به دلیل عدم اعمال سطوح کافی از تنش‌های محیطی، به ویژه تنش ناشی از چرای دام، نتوانسته است پتانسیل کامل خود را در گسترش پوشش تاجی افزایش دهد. تنش‌های محیطی ملایم، به‌عنوان عامل کلیدی در تکامل و سازگاری گیاهان شناخته شده‌است (۲۷). در مورد چرای دام، این فرآیند می‌تواند با حذف انتخابی برخی از گونه‌ها و ایجاد فضای بیشتر برای رشد دیگر گونه‌ها، همچنین با تحریک سازوکار دفاعی و رشد جبرانی در گیاهان چراشده، به تغییر ساختار و عملکرد بوم‌سازگان‌های مرتعی منجر شود (۲۰). در این پژوهش، فقدان چرای دام به میزان کافی در مزرعه مادری، احتمالاً موجب کاهش رقابت بین گیاهان و در نتیجه، عدم تحریک گیاه مورد مطالعه برای گسترش فعالانه‌تر پوشش تاجی خود شده‌است. گیاهان در مواجهه با تنش‌هایی نظیر چرای دام، ممکن است با تخصیص منابع بیشتر به رشد افقی و توسعه‌ی ساختارهای رویشی گسترده‌تر، به منظور کسب نور و منابع بیشتر و همچنین کاهش آسیب‌پذیری در برابر چرای مجدد، واکنش نشان دهند (۲۰). بنابراین، عدم وجود این فشار انتخابی می‌تواند یکی از عوامل محدودکننده در دستیابی به حداکثر پتانسیل گسترش تاجی در این گیاه خاص باشد. پژوهش‌های آتی می‌تواند به بررسی دقیق‌تر نقش سطوح مختلف تنش ناشی از چرا در ریخت‌شناسی و فیزیولوژی این گونه گیاهی بپردازد.

بررسی اجزای زایشی نیز نشان داد که در سال اول تغییرات معنی‌داری مشاهده نشد اما در سال دوم، تعداد

گل، تعداد غلاف و میانگین تعداد بذر در گیاهان تیمار شده به‌طور چشمگیری افزایش یافت که مؤید تأثیر مثبت کمپوست بر عملکرد تولید مثلی گیاه و افزایش میل گیاه به ترسیب کربن در اندام‌های هوایی است. اگرچه در پژوهش حاضر اثرات تنش‌های محیطی بر صفات مورفولوژیکی گیاه بررسی نشده است اما بر اساس یافته‌های به‌دست آمده، عدم مشاهده تأثیر معنی‌دار کمپوست سلولزی بر شاخص پوشش تاجی نشان می‌دهد که این ویژگی ممکن است به عوامل دیگری نظیر فقدان تنش‌های محیطی کافی، به ویژه چرای دام در مزرعه مادری، وابسته باشد و یا نیازمند بازه‌های زمانی طولانی‌تری برای بروز اثرات کمپوست باشد (۲۰). لذا، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده علاوه بر بررسی اثرات کمپوست در دوره‌های زمانی طولانی‌تر، نقش سطوح مختلف تنش‌های محیطی، به ویژه سطوح کنترل‌شده چرای دام، بر شاخص‌های رویشی و زایشی این گیاه به ویژه پوشش تاجی، مورد ارزیابی دقیق‌تر قرار گیرد.

به‌طور کلی، افزودن کربن آلی به بستر خاک برای کشت *A. podolobus* موجب بهترشدن شاخص‌های رشد گیاه و ارتقای کیفیت بوم‌سازگان خاک شده بود. نتایج نشان داد که افزایش کربن آلی خاک نه‌تنها رشد و کیفی ریشه و اندام‌های هوایی گیاه را به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد ارتقا داده است، بلکه سبب افزایش فعالیت و تنوع میکروارگانیسم‌های مفید خاک نیز شده بود. این روند از منظر ترسیب کربن حائز اهمیت است؛ زیرا غنی‌سازی خاک با کربن آلی موجب افزایش پایداری کربن در خاک، بهبود ساختار و ظرفیت تبادل کاتیونی، و تقویت فرآیندهای بیولوژیک مؤثر بر تثبیت بلندمدت کربن می‌شود (۲، ۱۵). حضور جوامع میکروبی فعال و همزیستی‌های ریزوبیومی تقویت‌شده، به‌ویژه در گیاهان جنس گون که عموماً دارای پتانسیل بالایی در تثبیت نیتروژن و بهبود حاصل‌خیزی خاک هستند، می‌تواند چرخه‌های زیستی-ژئوشیمیایی را به گونه‌ای جهت‌دهی کند که ظرفیت خاک برای ذخیره کربن در بلندمدت افزایش یابد. به نگاهی دیگر، کمپوست‌ها منبع مهمی از مواد مغذی قابل استفاده برای میکروارگانیسم‌ها هستند که به‌طور رایج موجب تقویت رشد میکروفلور و افزایش فعالیت کلی خاک می‌شوند. نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که کاربرد کربن آلی به‌عنوان یک مدیریت اکولوژیک مبتنی بر طبیعت نه تنها به بهبود عملکرد گیاه *A. podolobus* کمک می‌کند، بلکه می‌تواند به عنوان راهبردی مؤثر در افزایش ترسیب کربن خاک، بازسازی عملکردهای زیستی خاک، و در ارتقای تاب‌آوری بوم‌سازگان‌های خشک و نیمه‌خشک مورد استفاده قرار گیرد (۳۲، ۳۳). لذا تحلیل سازوکارهای فیزیولوژیک، ریزمیکروبی و مولکولی مرتبط با پاسخ‌های متفاوت رشد گیاه *A. podolobus* به غنی‌سازی کربنی خاک می‌تواند دیدگاه‌های دقیق‌تری درباره چگونگی جذب، تثبیت و ترسیب کربن در سامانه‌های گیاهی-خاکی فراهم‌کند. این موضوع برای ارتقای مدیریت‌های مبتنی بر طبیعت برای توانمندسازی ترسیب کربن و احیای بوم‌سازگان‌های خشک و نیمه‌خشک اهمیت زیادی دارد و بنابراین نیازمند بررسی بیشتر است.

■ سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی شناسه ۱۳۹ /۶/۰۳/ مصوب معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه گنبد کاووس است. نویسندگان، صمیمانه قدردان حمایت‌های مادی و معنوی این معاونت هستند. همچنین از شرکت پاجی گستر شمال برای دراختیار قراردادن کمپوست‌های سلولزی، سپاسگزاری می‌شود.

References

1. Ahmadi, H., Heshmati, Gh., & Naseri, H. R. (2014). Soil carbon sequestration potential in desert lands under two species of Haloxylon aphyllum and Juncus effusus (Case Study: Aran & Bidgol). *Desert Ecosystem Engineering, 5*, 29-36. [In Persian].

2. Alef, K., & Nannipieri, P. (1995). *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. Academic Press, London. doi:10.1016/B978-0-12-513840-6.x5014-9.

3. Agh, K., Esmaeili, M. M., Hossini Moghaddam, H., & Mostafalo, H. (2022). The Assessment on Propagation Methods and Establishment of Astragalus podolobus Species in Arid Rangelands in North of Gonbad-e Qabus. *Desert Ecosystem Engineering, 6*(16), 1-10. DOI: 10.22052/6.16.1. [In Persian].

4. Babrnezhad, H., & Nikoo, S. (2025). Evaluation of the Effects of Biological Projects on Some Soil Properties in North Khorasan Province. *Desert Management, 13*(2), 45–58. doi: 10.22034/jdmal.2025.2053165.1500. [In Persian]

5. Bailey, K. L., & Lazarovits, G. (2003). Suppressing soil-borne diseases with residue management and organic amendments. *Soil and Tillage Research, 72*(2), 169–180. doi:10.1016/S0167-1987(03)00086-2.

6. Balali, M. R., Rezaei, H., & Moshiri, F. (2014). *Soil fertility status in Iran and the need to enhance its capacity to support agricultural production* (pp. 17–48). In K. Khavazi & colleagues (Eds.), Comprehensive program of soil fertility and plant nutrition to increase self-sufficiency in strategic crops (2018–2025) (Volume 1). *Soil and Water Research Institute*, Karaj, Iran. [In Persian].

7. Banaei, M. H., Baybordi, M., Malakouti, M. J., & Momeni, A. (2005). *Soils of Iran: Recent developments in identification, management, and utilization*. Soil and Water Research Institute of Iran. [In Persian].

8. Bazgir, M., Shadivand, K. & Rostami, A. (2020). Effect of Tamarix Shrub *Tamarix Ramosissima* Ledeb. on Soil Physiochemical Properties and Carbon Sequestration of Desert Soils. *Desert Management, 7*(14), 93-106. doi: 10.22034/jdmal.2020.38478. [In Persian].

9. Beillouin, D., Corbeels, M., Demenois, J., Berre, D., Boyer, A., Fallot, A., Feder, F., & Cardinael, R. (2023). A global meta-analysis of soil organic carbon in the Anthropocene. *Nature Communications, 14*, 3700. doi: 10.1038/s41467-023-39338-z.

10. Culley J. L. B. 1993. Density and comperssibility. p. 529-540. In M. R. Carter (ed.) soil sampling and methods of analysis. Lewis published in United State of American.

11. Gee, G.W. & Bauder, J.W. (1986). Particle-size analysis. p. 383-411. In A. Klute (ed.) Methods of soil analysis. Part 1. 2nd ed., Agron. Monogr. 9. ASA-SSSA, Madison, WI.

12. Garratt, M. P., Bommarco, R., Kleijn, D., Martin, E., Mortimer, S. R., Redlich, S., & Potts, S. G. (2018). Enhancing soil organic matter as a route to the ecological intensification of European arable systems. *Ecosystems, 21*, 1404–1415. doi: 10.1007/s10021-018-0228-2.

13. Khosravi Mashizi, A., Sharafatmandrad, M. & Jahantab, E. (2025). The impact of plant traits and litter of two wheatgrass species on soil stability in the semi-arid rangelands of Jiroft County. *Desert Management, 13*(1), 87-108. doi: 10.22034/jdmal.2024.2042597.1484. [In Persian]

14. Kumleh, A. A., Asgarpanah, J., & Ziarati, P. (2016). Chemical composition and nutritive value of Astragalus podolobus seeds growing wild in South of Iran. *Biomedical and Pharmacology Journal, 9*(3), 1117–1125. https://dx.doi.org/10.13005/bpj/1058

15. Kutos, S., Stricker, E., Cooper, A., Ryals, R., Creque, J., Machmuller, M., & Silver, W. L. (2023). Compost amendment to enhance carbon sequestration in rangelands. *Journal of Soil and Water Conservation, 78*(2), 163–177. doi:10.2489/jswc.2023.00072.

16. Lal, R. (2020). Soil organic matter content and crop yield. *Journal of Soil and Water Conservation, 75*(2), 27A–32A. doi: 10.2489/jswc.75.2.27A.

17. Liu, X., Shi, Y., Kong, L., Tong, L., Cao, H., Zhou, H., & Lv, Y. (2022). Long-Term Application of Bio-Compost Increased Soil Microbial Community Diversity and Altered Its Composition and Network. *Microorganisms, 10*(2), 462. doi:10.3390/microorganisms10020462

18. Lucchetta, M., Romano, A., Alzate Zuluaga, M. Y., Fornasier, F., Monterisi, S., Pii, Y., Marcuzzo, P., Lovat, L., & Gaiotti, F. (2023). Compost application boosts soil restoration in highly disturbed hillslope vineyard. *Frontiers Plant Science*, *14*:1289288. doi:10.3389/fpls.2023.1289288.

19. Matinkhah, S. H., & Kaveh Sedehi, Z. (2017). The relation between soil parameters and growth characteristics of *Tamarix ramosissima* in Abyaneh, Isfahan Province. *Iranian Journal of Applied Ecology*, 6(3), 89-100. doi: 10.29252/ijae.6.3.89. [In Persian].

20. McNickle, G. G., & Evans, W. D. (2018). Toleration games: Compensatory growth by plants in response to enemy attack is an evolutionarily stable strategy. *AoB Plants*, *10*(4), ply035. https://doi.org/10.1093/aobpla/ply035

21. Moshiri, F., & Samavat, S. (2017). Management of soil organic carbon in Iranian agricultural lands: Challenges and solutions. In Proceedings of the 15th Iranian Soil Science Congress, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. [In Persian]

22. Mostafa, S., Wang, Y., Zeng, W., & Jin, B. (2022). Plant responses to herbivory, wounding, and infection. *International journal of molecular sciences*, *23*(13), 7031. doi: 10.3390/ijms23137031

23. Nelson D. W. and Sommers L. E. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. p. 539–579. In A.L. Page (ed.) Methods of soil analysis. Part 2. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.

24. Oldfield, E. E., Bradford, M. A., & Wood, S. A. (2019). Global meta-analysis of the relationship between soil organic matter and crop yields. *Soil*, *5*(1), 15–32. doi: 10.5194/soil-2018-21.

25. Oueld Lhaj, M., Moussadek, R., Zouahri, A., Sanad, H., Saafadi, L., Mdarhri Alaoui, M., & Mouhir, L. (2024). Sustainable agriculture through agricultural waste management: A comprehensive review of composting's impact on soil health in Moroccan agricultural ecosystems. *Agriculture*, *14*(12), 2356, doi:10.3390/agriculture14122356.

26. Pérez-Piqueres, A., Edel-Hermann, V., Alabouvette, C., & Steinberg, C. (2006). Response of soil microbial communities to compost amendments. *Soil Biology and Biochemistry*, *38*(3), 460-470, doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.05.025

27. Raza, A., Ashraf, F., Zou, X., Zhang, X., & Tosif, H. (2020). Plant adaptation and tolerance to environmental stresses: mechanisms and perspectives. In *Plant ecophysiology and adaptation under climate change: mechanisms and perspectives I*: General consequences and plant responses (pp. 117-145). Singapore: Springer Singapore. doi : 10.1007/978-981-15-2156-0_5.

28. Saeedi, H. , Sadeghipour,A. , Kamali,N. & Zolfaghari,A. A. (2023). Influence of Different Land Uses on Some Soil Microbial Indices (Case Study: Lasjerd, Semnan Province, Iran). *Desert Management*, *11*(2), 49-60. doi: 10.22034/jdmal.2023.2003379.1416. [In Persian].

29. Sanchez-Moreno, S., & Jastrow, J. D. (2025). Enhancing plant and soil health through organic amendments in a humid environment. *Rhizosphere*, *35*, 101126. doi:10.1016/j.rhisph.2025.101126.

30. Smith, P., Poch, R. M., Lobb, D. A., Bhattacharyya, R., Alloush, G., Eudoxie, G. D., & Hallett, P. (2024). *Status of the World's Soils*. *Annual Review of Environment and Resources*, *49*, 73–104, doi: 10.1146/annurev-environ-030323-075629.

31. Solanki, A. C., Gurjar, N. S., Sharma, S., Wang, Z., Kumar, A., Solanki, M. K., Kumar Divvela P, Yadav K & Kashyap, B. K. (2024). Decoding seasonal changes: soil parameters and microbial communities in tropical dry deciduous forests. *Frontiers in Microbiology*, *15*, 1258934. doi: 10.3389/fmicb.2024.1258934.

32. Sokol, N.W., & Bradford, M.A. (2019). Microbial formation of stable soil carbon is more efficient from belowground than aboveground input. *Nature Geoscience*, *12*, 46–53. doi: 10.1038/s41561-018-0258-6.

33. Srivastava, R.K., & Yetgin, A. (2024). An overall review on influence of root architecture on soil carbon sequestration potential. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, *36*, 165–178. doi: 10.1007/s40626-024-00323-6.

34. Tehrani, M. M., Balali, M., Moshiri, F., & Daryashenas, A. (2012). Fertilizer recommendation and estimation in Iran: Challenges and solutions. *Soil Research (Water and Soil Sciences)*, *26*(2A), 123–144. DOI: 10.22092/IJSR.2012.126365. [In Persian].

35. Vahedi, R., Rasouli-Sadaghiani, M., & Barin, M. (2019). Evaluation of the qualitative characteristics of the treated calcareous soils with compost and biochar in the presence of plant growth promoting bacteria. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *50*(2), 259–272, doi:10.22059/ijswr.2018.257511.667908. [In Persian]

36. Vahedi, R., Rasouli-Sadaghiani, M., Barin, M., & Vetukuri, R. R. (2021). Interactions between Biochar and Compost Treatment and Mycorrhizal Fungi to Improve the Qualitative Properties of a Calcareous Soil under Rhizobox Conditions. *Agriculture*, *11*(10), 993. doi: 10.3390/agriculture11100993. [In Persian]

37. Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science*, *37*(1), 29-38.

38. Wang, D., Li, S., Sun, X., Hao, D., Li, Y., & Wang, H. (2024). Effects of Compost Application of Green Waste on Soil Properties: A Meta-Analysis. *Sustainability*, *16*, 8877, doi: 10.3390/su16208877.

39. Wei, T. J., Li, G., Cui, Y. R., Xie, J., Teng, X., Wang, Y. J., Li, Z. H., Guan, F. C., & Liang, Z. W. (2024). Compost mediates the recruitment of core bacterial communities in alfalfa roots to enhance their productivity potential in saline - sodic soils. Frontiers in Microbiology, 15, 1502536, doi: 10.3389/fmicb.2024.1502536.

40. Xu, D., Yu, X., Chen, J., Li, X., Chen, J., & Li, J. (2023). Effects of compost as a soil amendment on bacterial community diversity in saline-alkali soil. *Frontiers in Microbiology*, *14*, 1253415, doi:10.3389/fmicb.2023.1253415.

41. Xu, F., Vaziriyeganeh, M., & Zwiazek, J. J. (2020). Effects of pH and Mineral Nutrition on Growth and Physiological Responses of Trembling Aspen (*Populus tremuloides*), Jack Pine (*Pinus banksiana*), and White Spruce (*Picea glauca*) Seedlings in Sand Culture. *Plants*, *9*(6), 682, doi: 10.3390/plants9060682.