



Research Paper

Effect of Mycorrhiza Fungi and Seaweed Biofertilizer on Soil Physicochemical Properties Under Deficit Irrigation Conditions in Fenugreek Cultivation

Neda Alipour Yosefvand¹, Afsaneh Alinejadian Bidabadi^{2*}, Amir Lakzian³, and Abbas Maleki⁴

¹M.Sc. Student, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture and Natural resources, Lorestan University, Khoramabad, Iran

²Assist. Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture and Natural resources, Lorestan University, Khoramabad, Iran

³Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

⁴Assist. Professor, Department of water engineering, Faculty of Agriculture and Natural resources, Lorestan University, Khoramabad, Iran

Article information

Received: April 06, 2022

Revised: June 03, 2022

Accepted: June 11, 2022

Keywords:

Biological Fertilizers

Soil Properties

Water Stress

Water Use Efficiency

*Corresponding author:

alinezhadian.a@lu.ac.ir



Abstract

To investigate the effect of biofertilizers in reducing the effect of water stress in fenugreek, a factorial experiment based on randomized complete blocks with three replications of water stress treatments at five levels and biofertilizer was applied in four levels in a pot in the greenhouse. The characteristics of shoot dry weight, water use efficiency, photosynthetic pigments (chlorophyll (a, b), electrical conductivity, pH, aggregate stability, urease enzyme, acidic and alkaline phosphatase of the soil were investigated. The results showed that under no stress conditions and mycorrhiza fertilizer, the most shoot dry weight, water use efficiency, chlorophyll a, mean diameter weight and urease enzyme were 4.12 g/pot, 0.75 g/l, 13.25 (mg/g leaf wet weight), 0.77 mm and 89.94 (mg/g leaf wet weight), respectively. Mycorrhiza fertilizer under stress conditions increases shoot dry weight, water use efficiency, chlorophyll a, b, soil electrical conductivity, aggregate stability, urease enzyme, acidic and alkaline phosphatase, and decreases soil pH compared to not using biofertilizer in these conditions became.

© Authors, Published by **Environment and Water Engineering** journal. This is an open-access article distributed under the CC BY (license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



Introduction

Drought is one of the most important non-living stresses and it is the cause of yearly damage to the crops and orchards in the world. However, in Iran, due to its geographical location, definitely

this stress is more severe. Therefore, in water shortage conditions, changing the management pattern towards drought-tolerant plants can be a good solution to deal with the effects of water shortage. Because of its remarkable adaptation to different climatic conditions, Fenugreek can be



considered a cost-effective crop in water scarcity conditions. On the other hand, the use of biofertilizers to deal with abiotic stresses has been proposed. Biofertilizers such as mycorrhizae increase plant tolerance to dehydration to some extent, and for a long time, in sustainable agriculture, the use of mycorrhizal fungi to improve the physical, chemical, biological, and fertility properties of soil has long been suggested. In general, considering the environmental dimensions, the study of the role of biofertilizers such as fungi and algae in improving the soil's physical and chemical properties. In some cases, Biofertilizers (can guarantee sustainable production in agriculture systems as an alternative method and a supplement for chemical fertilizer. Therefore, this study was conducted to investigate the effect of mycorrhizal fungi and two types of seaweed extracts on some soil physicochemical properties under fenugreek cultivation in dehydration stress.

Material and Methods

This research was conducted as a factorial experiment based on randomized complete blocks with three replications, in 1400 in pot form in the research greenhouse in the Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University. Experimental factors included five irrigation levels (100, 90, 80, 70, and 60% soil moisture depletion) and four levels of biofertilizer (without fertilizer, extracts of algae and cocci and algae 5 l/ha and mycorrhiza 50 g.pot⁻¹). According to the instructions of the fertilizer Company and previous research, amounts of used fertilizers were considered. The pots (17 and 30 cm in diameter and height, respectively) were filled with 3 kg of soil and were inoculated with 50 g of mycorrhizal fungus (*Rhizophagus irregularis*) with 60 spores/g dry soil and then eight seeds were planted in the pots. Mycorrhizal fungi and control plants were irrigated with ordinary water. During the growing season, 11 µl alga extract was added to the soil four times in a week intervals. At the end of the growing season (70 days after planting), the plants were harvested and some of characteristics such as plant dry weight, water use efficiency, chlorophyll a, b, EC, pH, mean weight of aggregates diameter, urease enzyme and phosphatase were measured.

Results

According to the results of variance analysis showed that the main effects of different levels of water stress and biofertilizer application on shoot dry weight, water use efficiency,

chlorophyll a and b, soil EC, soil pH, aggregate stability, urease enzyme, acidic and alkaline phosphatase enzyme were positive and significant while their interactions on all the mentioned traits were significant except chlorophyll b, soil EC, soil pH, acid phosphatase and soil alkali. The results showed that the maximum shoot dry weight, water use efficiency, chlorophyll a, mean weight diameter of aggregates, and urease of soil were obtained under stress-free conditions and using mycorrhiza fertilizer. The application of biofertilizers increases the growth characteristics of fenugreek in drought stress conditions, which can probably be attributed to their role in increasing root growth, increasing photosynthesis, and nutrient uptake. It seems that due to less nutrient uptake, a decrease of soil moisture after the crop harvesting in the soil solution, the nutrition concentration will be replaced with hydrogen ions on the soil collides so hydrogen ions will be increased the cations in the soil solution will be released and the soil reaction will be decreased. It seems that because of less absorption of soil nutrition and after the plant harvesting, the soil moisture will be decreased, so hydrogen ions will be increased and the cations will be increased and the soil reaction will be decreased. The electrical conductivity of a soil solution which is proportional to the concentration of ions, increasing the average of the weight of soil aggregate are related to fungal hyphae effects which develop in the soil to form a skeletal structure and keep the aggregation together physically so improve aggregation in the soil. The urease and phosphatase enzymes activity will be reduced. One of the most important cases in the plant physiology inoculated with mycorrhiza fungi is the amount of nutrients absorbed by these plants along with measuring their dry weight. Today we know that the roots of mycorrhizal plants receive more phosphorus and some other elements than the roots of non-mycorrhizal plants. Improving the absorption of nutrients, especially phosphorus by mycorrhizal plants in drought stress is the most important factor in vegetative growth. Its reasons can be considered as the strong bonding of inorganic phosphate ions with soil colloids and its stabilization in the form of iron phosphate or aluminum phosphate, which in any case causes the immobilization of this element. In addition, large amounts of inorganic phosphate are naturally insoluble, so they are practically unusable for plants. The production and secretion

of the enzyme phosphatase by mycorrhiza filaments causes the insoluble and stabilized phosphate in the soil to become soluble and to be adsorbed to the root.

Conclusion

Due to the present study, the main effects of different levels of water stress and biofertilizer application on shoot dry weight, water use efficiency, chlorophyll a and b, soil EC, soil pH, aggregate stability, urease enzyme, acidic and alkaline phosphatase enzyme were positive and significant while their interactions on all the mentioned traits were significant except chlorophyll b, soil EC, soil pH, acid phosphatase and soil alkali. The results showed that the maximum shoot dry weight, water use efficiency, chlorophyll a, mean weight diameter of

aggregates and urease enzyme of soil were obtained under no stress conditions and using mycorrhiza fertilizer.

Acknowledgment

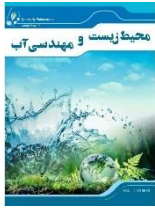
The authors of this article thank all the experts of the Central Laboratory of the Faculty of Agriculture of Lorestan University for their efforts in accompanying the student in performing some of the experiments.

Data Availability

Data can be sent by email from the corresponding author upon request.

Conflicts of interest

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



ISSN: 2476-3683

محیط زیست و مهندسی آب

Homepage: www.jewe.ir

مقاله پژوهشی

اثر کود زیستی قارچ میکوریزا و جلبک دریایی بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک در شرایط کم‌آبیری تحت کشت شنبليله

ندا علیپور یوسفوند^۱، افسانه عالی‌نژادیان بیدآبادی^{۲*}، امیر لکزیان^۳ و عباس ملکی^۴

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران
^۲ استادیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران
^۳ استاد، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
^۴ استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

چکیده

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: [۱۴۰۱/۰۱/۱۷]

تاریخ بازنگری: [۱۴۰۱/۰۳/۱۳]

تاریخ پذیرش: [۱۴۰۱/۰۳/۲۱]

واژه‌های کلیدی:

تنش آبی
 کارایی مصرف آب
 کودهای زیستی
 ویژگی‌های خاک

به‌منظور بررسی تأثیر کودهای زیستی در کاهش اثر تنش کم‌آبی در شنبليله، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و با تیمارهای تنش آبی در پنج سطح تخلیه رطوبتی خاک و کود زیستی در چهار سطح به‌صورت گلدانی در گلخانه اجرا شد. صفات وزن خشک اندام هوایی، کارایی مصرف آب، کلروفیل a و b، هدایت الکتریکی، pH، پایداری خاکدانه، آنزیم اوره‌آز، فسفاتاز اسیدی و قلیایی خاک مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد بیش‌ترین وزن خشک اندام هوایی، کارایی مصرف آب، کلروفیل a، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و اوره‌آز به‌ترتیب به میزان ۰/۷۷۵ g/l، ۴/۱۲ g/pot، ۰/۷۵ g/l، ۰/۷۷۵ g/l، ۱۳/۲۵ mg/g و ۰/۷۷۵ mgN-NH³⁺/g، در شرایط بدون تنش و با استفاده از کود میکوریزا حاصل شد. استفاده از کود میکوریزا در شرایط تنش باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی، کارایی مصرف آب، کلروفیل a و b، هدایت الکتریکی، پایداری خاکدانه، آنزیم اوره‌آز، فسفاتاز اسیدی و قلیایی خاک و کاهش pH خاک در مقایسه با عدم استفاده از کود زیستی شد.

*نویسنده مسئول:

alinezhadian.a@lu.ac.ir



۱- مقدمه

می‌تواند راهکار مناسبی برای مقابله با اثرات کمبود آب باشد (Khazaei et al. 2018). شنبليله می‌تواند به‌عنوان یک محصول مقرون به‌صرفه در زمینه کمبود آب به‌دلیل سازگاری قابل‌توجه آن به طیف گسترده‌ای از شرایط آب و هوایی در نظر گرفته شود (Eyras et al. 2008). شنبليله زراعی (L.)

خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزنده است که هر ساله آسیب فراوانی به گیاهان زراعی و باغی در جهان و به‌ویژه ایران به‌عنوان کشوری خشک و نیمه‌خشک وارد می‌کند (Ahmadi Azar et al. 2015). در شرایط کمبود آب انتقال الگوی کشاورزی به سمت گیاهان سازگار با خشکی



عملکرد گوجه‌فرنگی مشاهده کردند که وزن کل و تعداد گوجه‌فرنگی و زیست توده گیاهان هوایی (به‌استثنای میوه‌ها) برای تیمارهای کمپوست به‌طور قابل‌توجهی بالاتر از شاهد بود. همچنین گیاهان تیمار شده با کمپوست مقاومت بالاتری نسبت به گروه شاهد در برابر بیماری‌ها داشتند. قارچ مایکوریزا با افزایش جذب عناصر غذایی مانند فسفر و برخی عناصر کم‌مصرف، افزایش جذب آب، کاهش تأثیر منفی تنش‌های محیطی و افزایش مقاومت در برابر عوامل بیماری‌زا، موجب بهبود در رشد و عملکرد گیاهان میزبان در سامانه‌های کشاورزی پایدار می‌شوند (Sridhar and Rengasamy 2011). (Siddiky et al. 2012) اثر میسلیم‌های قارچ‌های مایکوریزا آربسکولار را بر ساختمان خاک بررسی نموده و نتیجه گرفتند پایداری خاکدانه‌ها ۳۲٪ نسبت به شاهد افزایش یافت. در پژوهش (Sulfab 2013) استفاده از کودهای آلی به همراه کود زیستی تأثیر معنی‌داری بر واکنش خاک نداشت. Rishcefid et al. (2017) بیان کردند که تنش کم آبی بر مقدار تولید گولمالین به‌وسیله قارچ مایکوریزا اثر گذاشته و باعث افزایش گولمالین شده قارچ این گیلکوپروتئین را در برابر تنش‌ها برای حفاظت خود تولید می‌کند. کاربرد عصاره جلبک دریایی در پیاز، باعث افزایش ارتفاع بوته، تعداد و اندازه پیاز، افزایش مقدار گوگرد و پروتئین در پیاز، غلظت کلروفیل و کارتنوئید برگ شد (Hidangmayum and Sharma 2017). نتایج پژوهشی نشان داد کاربرد عصاره جلبک دریایی، باعث افزایش ۱۲٪ در عملکرد گوجه‌فرنگی شد (Di Stasio et al. 2018).

نتایج (Ahmadimoghadam et al. 2021) نشان داد با کاهش سطح آبیاری، میزان عمق انتقال باکتری کاهش می‌یابد و بیشترین تجمع باکتری در سطح خاک اتفاق می‌افتد به‌طوری که در تیمار با سطح آبیاری ۶۰٪ ظرفیت زراعی حدود ۷۰٪ میزان غلظت باکتری در عمق پنج سانتی‌متری خاک مشاهده شد. از این‌رو در شرایط کم‌آبیاری برای جلوگیری از انتقال آلودگی به آب‌های سطحی، باید توجه ویژه گردد. استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی و اصلاح‌کننده‌ها باعث ایجاد آلودگی و برخی مشکلات شده است. به همین علت بررسی نقش کودهای زیستی شامل قارچ‌ها و جلبک‌ها در بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی خاک با در نظر گرفتن ابعاد محیط‌زیستی آن‌ها ضروری به‌نظر می‌رسد. کودهای زیستی در برخی موارد به‌عنوان جایگزین و در اکثر

گیاهی یک‌ساله و متعلق به خانواده بقولات است که به‌طور وسیعی در مناطق معتدله و گرمسیری مدیترانه‌ای، اروپا، آسیا و آفریقا کشت می‌شود. سطح زیر کشت سنبله در ایران حدود ۴۰۰ ha و تولید سالانه ماده خشک و دانه آن به‌ترتیب ۸۰۰ kg/ha و ۸۰۰ ton/ha می‌باشد (Sadeghzadeh- Ahari et al. 2010).

در نظام‌های کشاورزی پایدار، هرگونه بهبود باید منجر به افزایش تولید و کاهش اثر مخرب زیست‌محیطی شود که در نهایت افزایش پایداری نظام کشاورزی را در پی داشته باشد. یکی از این روش‌ها استفاده از کودهای زیستی می‌باشد (Sibi et al. 2017). کودهای زیستی به مجموعه مواد نگه‌دارنده با تعداد زیادی از ریزجانداران مفید و یا فرآورده‌های متابولیک آن‌ها گفته می‌شود (Egamberdiyeva 2007). قارچ مایکوریزا و جلبک دریایی از جمله کودهای زیستی هستند. استفاده از قارچ مایکوریزا که به‌عنوان کودهای زیستی در کشاورزی پایدار برای اصلاح یا بهبود کیفیت فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و حاصلخیزی خاک مطرح هستند، می‌تواند مفید باشد (Hosseini Nejad et al. 2017). قارچ مایکوریزا از طریق دو مکانیسم اصلی تثبیت فیزیکی با به دام انداختن ذرات انفرادی خاک به‌وسیله شبکه‌های گسترده هیف و تثبیت شیمیایی به‌وسیله ترشحات چسب مانند (گولمالین و کربوهیدرات) به پایداری خاکدانه‌ها کمک می‌کند (Blanco-Canqui and Lal 2009). کودهای جلبکی به دلیل مقدار بالای فیبر از یک طرف نقش مهمی در نرم کردن بافت خاک، حفظ رطوبت و بهبود ساختمان خاک داشته و از طرف دیگر با داشتن مواد معدنی و عناصر غذایی فراوان، مقاومت به آفات و بیماری‌ها و مقدار عملکرد گیاه را افزایش می‌دهند. جلبک‌ها به علت داشتن ساختار رشته‌ای و تولید مواد چسبنده باعث افزایش تخلخل خاک و به دلیل ساختار ژله‌ای منجر به افزایش گنجایش نگهداری آب خاک و کاهش شوری خاک می‌شوند (Sridhar and Rengasamy 2011).

Giri et al. (2003) گزارش کردند که مایه‌زنی با قارچ مایکوریزا *G. macrocarpum* و *G. fasciculatum* در شرایط تنش شوری باعث کاهش هدایت الکتریکی خاک می‌شود. (Eyras et al. 2008) در ارزیابی اثرات کمپوست جلبک دریایی در غلظت و سن‌های مختلف کمپوست بر

بهاران شیراز، عصاره جلبک دریایی آلگا ۷۰ از شرکت ایرانیان آگری مهاباد و قارچ میکوریزا *Rhizophagus irregularis* از شرکت زیست فناوریان شاهرود تهیه شد. مقادیر و نحوی اعمال کودهای استفاده شده بر اساس دستورالعمل شرکت تهیه کننده کود و با توجه به تحقیقات قبلی در نظر گرفته شدند. در گلدان‌هایی به قطر ۱۷ cm و با ارتفاع ۲۰ cm، ۳ kg خاک که شامل یک قسمت خاک و یک قسمت ماسه و یک صدم قسمت ورمی کمپوست بود، ریخته و پس از افزودن مقدار ۵۰ g قارچ میکوریزا با غلظت ۶۰ هاگینه به ازای هر گرم خاک خشک به گلدان‌های مربوط به تیمارهای قارچ میکوریزا، بذرها (هشت بذر) روی آن قرار گرفت و با خاک پوشانده شد. بافت خاک مورد استفاده در این آزمایش، لوم شنی بود. برخی ویژگی‌های خاک مورد استفاده در این آزمایش در جدول (۱) آورده شده است.

موارد به‌عنوان مکمل کودهای شیمیایی می‌توانند پایداری تولید نظام‌های کشاورزی را تضمین نمایند. بر این اساس این پژوهش با هدف تعیین اثر قارچ میکوریزا و دو نوع عصاره جلبک دریایی بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک تحت کشت سنبله همراه با تنش کم آبی اجرا شد.

۲- مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت آزمایش فاکتوریل، در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، در سال ۱۴۰۰ به‌صورت گلدانی در گلخانه پژوهشی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان اجرا شد. فاکتورهای آزمایشی شامل پنج سطح آبیاری ۱۰۰، ۹۰، ۸۰، ۷۰، ۶۰٪ تخلیه رطوبتی خاک و چهار سطح کود زیستی به‌صورت صفر، جلبک و کوزیوم ۵ l/ha، جلبک آلگا ۵ l/ha، قارچ میکوریزا ۵ g/pot ۵۰ بودند. برای انجام این آزمایش، بذر سنبله، از شرکت پاکان بذر اصفهان، عصاره جلبک دریایی و کوزیوم از شرکت

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک نهایی مورد استفاده برای کشت

Table 1 Some physicochemical properties of the final soil used for cultivation

EC (dS/m)	pH	k (mg/kg)	p (mg/kg)	Total Nitrogen (%)	Organic Carbon (%)	Sand (%)	Clay (%)	Silt (%)	Soil Texture
0.901	7.95	270.01	19	0.095	1.28	63.84	16	20.16	Loamy sand

a) C_A و کلروفیل b) C_B برحسب mg به‌ازای هر گرم وزن تر به‌ترتیب از طریق روابط (۲)، (۳) محاسبه شدند.

$$C_A = 11.24 \times A_{662} - 2.04 \times A_{645} \quad (2)$$

$$C_B = 20.13 \times A_{645} - 4.19 \times A_{662} \quad (3)$$

پایداری خاکدانه به روش غربال مرطوب و محاسبه میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها طبق روش آزمایشگاهی مورد ارزیابی قرار گرفت (Kramer 1983). سپس پایداری خاکدانه‌ها با استفاده از رابطه (۴) محاسبه شد.

$$MWD = \sum_{i=1}^n (X_i \cdot W_i) \quad (4)$$

که، X_i میانگین قطر خاکدانه‌های باقیمانده بر روی هر الک بر حسب mm، W_i نسبت وزنی خاکدانه‌ها در هر الک به وزن کل نمونه خاک، n تعداد الک موجود در آزمایش و MWD قطر میانگین وزنی خاکدانه‌ها بر حسب mm می‌باشد. pH و EC نمونه‌های خاک به نسبت یک به دو حجمی با آب مقطر مخلوط گردیده و مقدار اسیدیته در عصاره با کمک دستگاه pH متر، مدل WPA مارک CD911 و مقدار EC به‌وسیله دستگاه هدایت‌سنج (مدل ۴۵۱۰ مارک JENWAY) اندازه‌گیری شد (McLean)

تیمارهای قارچ میکوریزا و گیاهان شاهد به‌وسیله آب معمولی آبیاری شدند. اعمال جلبک چهار مرتبه با فواصل یک هفته‌ای در فصل رشد صورت گرفت. بدین‌صورت که در هر بار مقدار ۱۱ μl جلبک دریایی برای هر گلدان اندازه‌گیری و در آب حل شد و به‌صورت مستقیم به خاک گلدان اضافه شد. در پایان فصل رشد گیاه (۷۰ day پس از کاشت)، گیاهان برداشت شدند و ویژگی‌هایی مانند وزن خشک گیاه، کارایی مصرف آب، رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a, b)، هدایت الکتریکی (EC)، pH، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، آنزیم اوره‌آز و فسفاتاز اندازه‌گیری شدند. کارایی مصرف آب از طریق رابطه (۱) برحسب (g/l) محاسبه شد (Kramer 1983).

$$WUE = Y/I \quad (1)$$

که، Y مقدار ماده خشک گیاهی بر حسب g، I میزان آب مصرف شده در طول دوره کشت به ازای هر گلدان بر حسب l و WUE کارایی مصرف آب بر حسب g/l می‌باشد. اندازه‌گیری رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a, b) به روش Lichtenthaler (1987) اندازه‌گیری شد. مقدار کلروفیل

اسیدی و قلیایی خاک مثبت و معنی‌دار گردید در حالی که اثرات متقابل آن‌ها بر تمام صفات مذکور به جز کلروفیل b، EC خاک، pH خاک، آنزیم فسفاتاز اسیدی و قلیایی خاک معنی‌دار شد.

۳-۱- وزن خشک اندام هوایی

نتایج مقایسه میانگین اثر کودهای زیستی و تنش رطوبتی بر وزن خشک اندام هوایی در شکل (۱) نشان داده شد. بیشترین وزن خشک در تیمار بدون تنش رطوبتی و قارچ میکوریزا به دست آمد. همچنین کمترین وزن خشک مربوط به سطح رطوبتی ۶۰٪ تخلیه رطوبتی خاک و بدون کاربرد کود زیستی بود. نتایج همچنین نشان داد کاربرد کود زیستی در شرایط تنش خشکی سبب افزایش عملکرد خشک گیاه شد.

جدول ۲- نتایج تحلیل واریانس اثر تیمارهای مختلف بر برخی ویژگی‌های خاک و گیاه

Table 2 Results of analysis of variance of the effect of different treatments on some soil and plant characteristics

Source of variations	Degree of freedom	Dry weight of aerial parts	Water use efficiency	Chlorophyll (a)	Chlorophyll (b)	EC
Water stress	4	8.3975**	0.1817**	51.9**	14.2**	0.0563**
Bio-fertilizer	3	1.1898**	0.0478**	25.8**	4.62**	0.0222*
Bio-fertilizer	12	0.1605*	0.0025*	1.73**	.018 ^{ns}	0.0003. ^{ns}
Water stress× Error	40	0.0610	0.0022	0.46	0.32	0.0058
Source of variations	Degree of freedom	pH	Mean weight diameter	Urease	Acidic phosphatase	Alkaline phosphatase
Water Stress	4	0.0575**	0.3008**	1114**	310764**	1275934**
Bio-Fertilizer	3	0.0243**	0.0832**	4373*	447345**	1556756**
Bio-Fertilizer	12	0.0005 ^{ns}	0.0073*	92**	6652 ^{ns}	34621 ^{ns}
Water Stress× Error	40	0.0047	0.0031	8.91	72166	86994

* و ** به ترتیب از لحاظ آماری با استفاده از آزمون توکی در سطح ۵ و ۱٪ معنی‌دار می‌باشد. ns از لحاظ آماری معنی‌دار نمی‌باشد.

*And ** are statistically significant using the Tukey test at the level of five and one %, respectively. ns is not statistically significant.

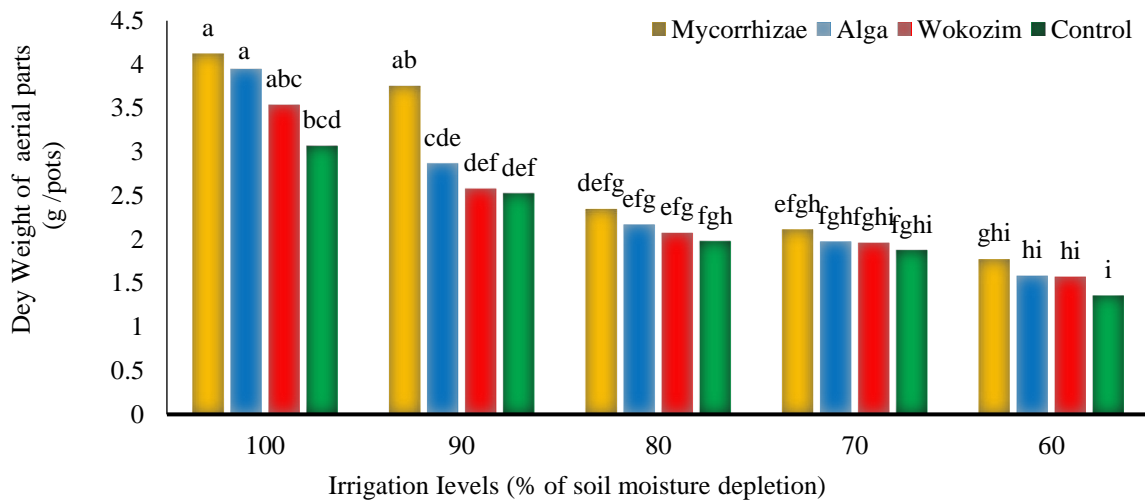
فتوستنتر، جذب بیشتر عناصر غذایی مانند پتاسیم و فسفر و همچنین افزایش عناصر کم‌نیاز و هورمون‌های گیاهی مانند اکسین، سیتوکینین و اسیدآبسیزیک نسبت داد (Haghparast et al. 2012). استفاده از کودهای زیستی باعث افزایش مقاومت گیاه و جلوگیری از کاهش رشد گیاهان دارویی در شرایط تنش خشکی می‌شوند (Esmailpour et al. 2021). (Mardani et al. 2017) بیان کردند که بیشترین و کمترین وزن خشک اندام هوایی گیاه فلفل به ترتیب مربوط به تیمارهای آبیاری کامل و ۴۰٪ نیاز آبی گیاه به دست آمد که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد.

1982. فعالیت آنزیم اوره آز خاک به روش (Tabatabai 1982) اندازه‌گیری شد. برای سنجش فعالیت فسفاتازی (اسیدی و قلیایی) خاک از روش‌های مرسوم در اندازه‌گیری فعالیت این آنزیم استفاده شد (et al. 1994). داده‌های حاصل از این آزمایش با نرم‌افزار آماری JMP ورژن ۱۱ مورد تجزیه قرار گرفت و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی انجام شد.

۳- یافته‌ها و بحث

نتایج تجزیه واریانس جدول (۲) نشان داد که اثرات اصلی سطوح مختلف تنش رطوبتی و کاربرد قارچ میکوریزا، جلبک آلگا ۷۰، جلبک و کوزیوم به‌عنوان کود زیستی بر وزن خشک اندام هوایی، کارایی مصرف آب، کلروفیل a و b، EC خاک، pH خاک، پایداری خاکدانه، آنزیم اوره‌آز، آنزیم فسفاتاز

(Badvi et al. 2016) بیان کردند اثر تلقیح گونه‌های قارچ میکوریزا بر وزن خشک شاخساره کاهو نشان داد که بیشترین مقدار وزن خشک در گیاهان میکوریزی شده با گونه *Glomus mosseae* و کمترین مقدار در گیاهان شاهد به دست آمد. (Esmailpour et al. 2020) گزارش کردند که با افزایش شدت تنش خشکی از رشد گیاه ریحان کاسته شده و بیشترین و وزن خشک بوته مربوط به گیاهان محلول‌پاشی شده با عصاره جلبک دریایی در شرایط آبیاری کامل گیاهان بود. این را می‌توان به افزایش توان گیاه برای مقابله با تنش از طریق افزایش رشد ریشه، افزایش میزان



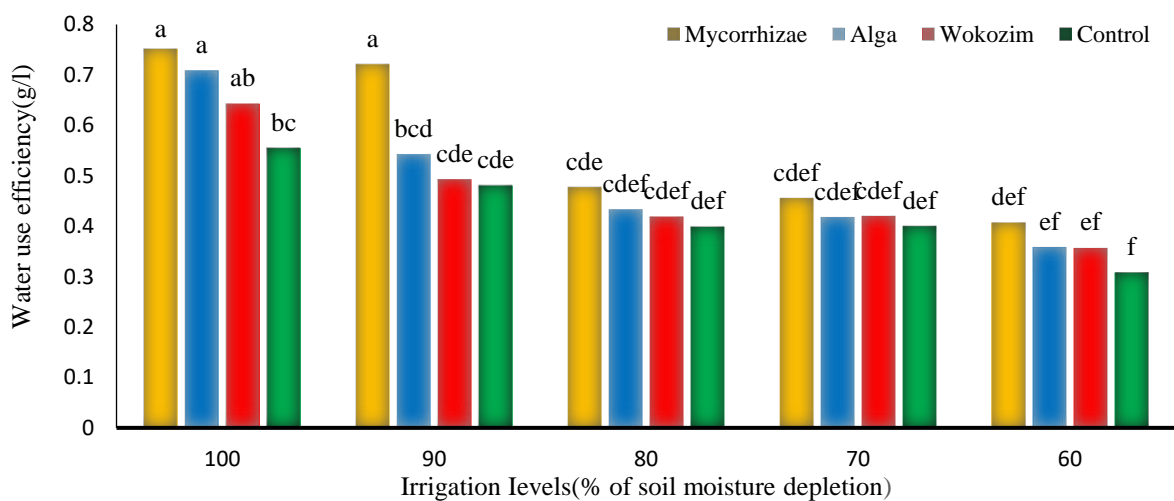
شکل ۱- اثر متقابل سطوح آبیاری و کود زیستی بر وزن خشک اندام هوایی (ستون‌هایی که در هر تیمار دارای یک حرف مشترک هستند از لحاظ آماری در سطح ۵٪ بر اساس آزمون توکی فاقد تفاوت معنی‌دار می‌باشند).

Fig.1 Interaction of moisture levels and biofertilizer on shoot dry weight (columns that in each treatment have a common letter, are not statistically significant at the 5% level based on the Tukey test).

گلموس موسه و شرایط تنش شدید و کم‌ترین میزان آن از بوته‌های شاهد ذرت در شرایط بدون تنش به دست آمد. (Mardani et al. (2017) در پژوهش خود گزارش کردند که بیشترین و کمترین کارایی مصرف آب گیاه فلفل به ترتیب مربوط به تیمارهای آبیاری کامل و ۴۰٪ نیاز آبی گیاه بود. (Feizian et al. (2016) بیان کردند کارایی مصرف آب لوبیا در تیمارهای ۳۰، ۶۰، ۸۰٪ آب قابل‌استفاده به ترتیب برابر 640 g/m^3 ، 782 ، 615 بود. نتایج پژوهش Khazaei et al. (2018) نشان تنش خشکی کارایی مصرف آب دانه ارزن را کاهش داد ولی تأثیر معنی‌داری بر کاهش کارایی مصرف آب عملکرد بیولوژیک نداشت.

۲-۳- کارایی مصرف آب

نتایج مقایسه میانگین کودهای زیستی و تنش رطوبتی بر کارایی مصرف آب (شکل ۲) نشان داد که بیش‌ترین کارایی مصرف آب در تیمار بدون تنش رطوبتی و قارچ مایکوریزا به دست آمد. همچنین کمترین کارایی مصرف آب مربوط به سطح رطوبتی ۶۰٪ تخلیه رطوبتی خاک و بدون کاربرد کود زیستی بود. نتایج همچنین نشان داد کاربرد کود زیستی در شرایط تنش خشکی سبب افزایش کارایی مصرف آب شد. (Shahhosseini al. (2012) بیان کردند تلقیح مایکوریزایی و کاربرد اسید هیومیک به‌طور معنی‌داری کارایی مصرف آب را افزایش داد. بیشترین کارایی مصرف آب از کاربرد گونه



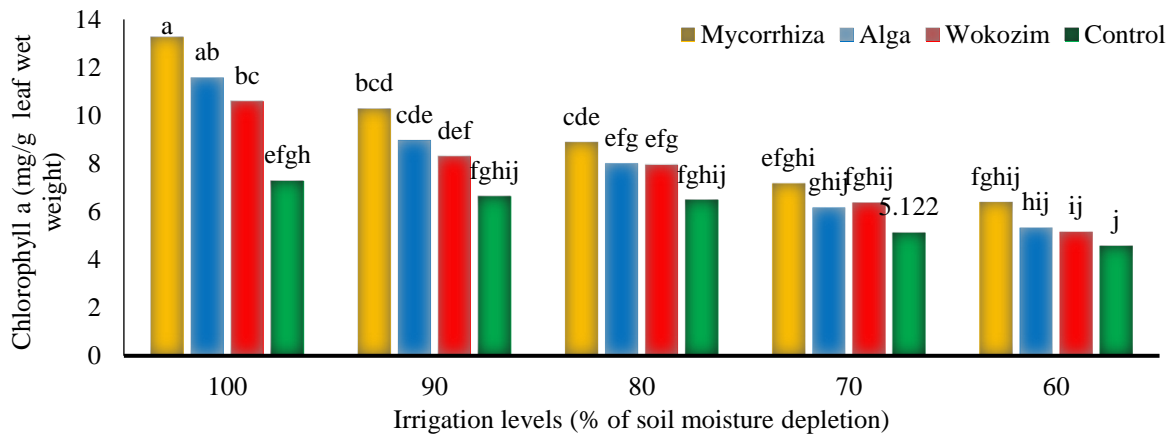
شکل ۲- اثر متقابل سطوح آبیاری و کود زیستی بر کارایی مصرف آب (ستون‌هایی که در هر تیمار دارای یک حرف مشترک هستند، از لحاظ آماری در سطح ۵٪ بر اساس آزمون توکی فاقد تفاوت معنی‌دار می‌باشند).

Fig. 2 Interaction of moisture levels and biofertilizer on water use efficiency (columns that in each treatment have a common letter, are not statistically significant at the 5% level based on the Tukey test).

۳-۳- کلروفیل

کاهش سنتز کلروفیل a از واکنش‌های عمومی گیاهان نسبت به کمبود آب می‌باشد (Gardner 2010). میزان کلروفیل در گیاه زنده یکی از عوامل مهم برای فتوسنتز به شمار می‌آید. در این بین، بسته به شدت، مدت و مرحله تأثیر تنش خشکی بر هر کدام از مقادیر کلروفیل در گیاهان متفاوت است. در واقع، کاهش کلروفیل a بر اثر تنش خشکی مربوط به افزایش تولید رادیکال‌های اکسیژن در سلول می‌شود، زیرا این رادیکال‌ها سبب پراکسیداسیون و در نتیجه تجزیه این رنگیزه می‌شود (Anjilie (Sheteawi and Tawfik 2007). (2019) et al. گزارش کردند با افزایش تنش خشکی میزان کلروفیل فلفل کاهش و با تلقیح با قارچ میکوریزا *G intraradicese* کلروفیل در شرایط تنش خشکی افزایش یافت. (2021) Esmailpour et al. گزارش کردند با افزایش شدت تنش خشکی، از میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی ریحان کاسته شد و بیشترین مقدار کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل در گیاهان در شرایط بدون تنش و محلول‌پاشی شده با غلظت ۲g/l از عصاره جلبک دریایی حاصل شد و کمترین مقدار آن‌ها نیز در گیاهان شاهد در تیمار تنش قطع آبیاری در ابتدای رشد زایشی به دست آمد.

نتایج مقایسه میانگین کودهای زیستی و تنش رطوبتی بر کلروفیل a (شکل ۳) نشان داد که بیشترین کلروفیل a در تیمار بدون تنش رطوبتی و قارچ میکوریزا به دست آمد. همچنین کمترین کلروفیل a مربوط به سطح رطوبتی ۶۰٪ تخلیه رطوبتی خاک و بدون کاربرد کود زیستی بود. نتایج همچنین نشان داد کاربرد کود زیستی در شرایط تنش خشکی سبب افزایش کلروفیل a شنبلیله شد. نتایج جدول (۳) نشان داد اثر اصلی سطوح تنش رطوبتی سبب کاهش کلروفیل b شنبلیله گردید. به طوری که در سطح ۷۰، ۸۰، ۹۰ و ۶۰٪ تخلیه رطوبتی خاک به ترتیب نسبت به شاهد (۱۰۰٪ تخلیه رطوبتی خاک) ۳۷/۲۶، ۲۷/۴۹، ۹/۲۲، ۴۹/۰۷٪ کلروفیل b شنبلیله کاهش یافت. اثر اصلی کاربرد کود زیستی (قارچ میکوریزا، جلبک آلگا ۷۰، جلبک وکوزیوم) بر کلروفیل b شنبلیله نشان داد با استفاده از کودهای زیستی کلروفیل b افزایش یافت. بطوری که کاربرد قارچ میکوریزا، جلبک دریایی آلگا ۷۰ و جلبک دریایی وکوزیوم به ترتیب نسبت به شاهد کلروفیل b شنبلیله ۳۸/۵۰، ۱۶/۹۵ و ۱۴/۳۶٪ افزایش یافت.



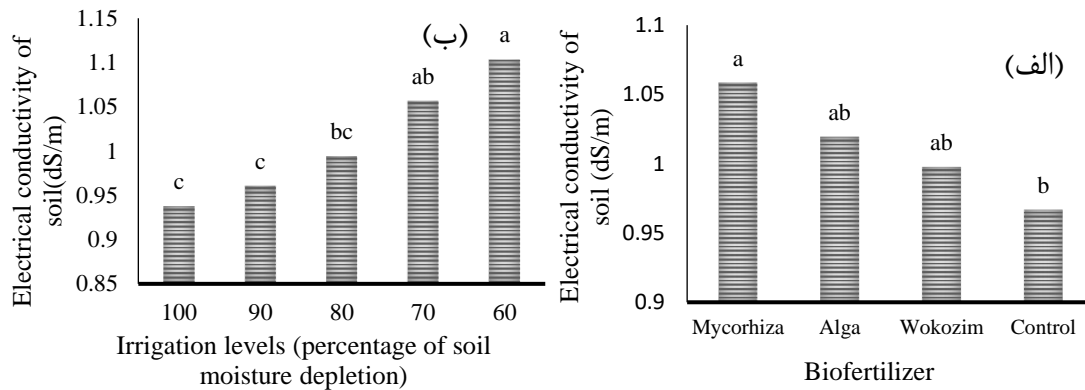
شکل ۳- اثر متقابل سطوح آبیاری و کود زیستی بر کلروفیل a شنبلیله (ستون‌هایی که در هر تیمار دارای یک حرف مشترک هستند، از لحاظ آماری در سطح ۵٪ بر اساس آزمون توکی فاقد تفاوت معنی‌دار می‌باشند).

Fig. 3 Interaction of moisture levels and biofertilizer on chlorophyll a fenugreek (columns that in each treatment have a common letter, are not statistically significant at the 5% level based on the Tukey test).

شاهد EC خاک ۹/۴، ۵/۴ و ۳/۱٪ افزایش یافت. شکل (۴) نشان می‌دهد تنش رطوبتی سبب افزایش EC خاک گردید. به طوری که در سطح ۹۰، ۸۰، ۷۰ و ۶۰٪ تخلیه رطوبتی خاک، EC به ترتیب نسبت به شاهد (۱۰۰٪ تخلیه رطوبتی خاک) ۲/۴، ۶، ۱۲/۶۷ و ۱۷/۶۶٪ افزایش یافت.

۳-۴- EC خاک

شکل (۴-الف) نشان می‌دهد اثر اصلی کاربرد کودزیستی (قارچ میکوریزا، جلبک آلگا ۷۰، جلبک وکوزیوم) بر هدایت الکتریکی خاک با استفاده از قارچ میکوریزا، EC خاک را افزایش داد. به طوری که با کاربرد قارچ میکوریزا، جلبک دریایی آلگا و جلبک دریایی وکوزیوم به ترتیب نسبت به



شکل ۴- اثر: الف- کودزیستی و ب- سطوح آبیاری بر EC خاک
 Fig. 4 Effect of: a) biofertilizers, and b) irrigation levels on soil EC

۳-۵- pH خاک

نتایج جدول (۳) که بیانگر مقایسه میانگین اثرات اصلی تنش رطوبتی و کود زیستی بر EC و pH، کلروفیل b، فسفاتاز اسیدی و فسفاتاز قلیایی است، نشان داد اثر اصلی سطوح تنش رطوبتی سبب کاهش pH خاک گردید. به طوری که در سطح ۹۰، ۸۰، ۷۰ و ۶۰٪ تخلیه رطوبتی خاک pH خاک به ترتیب نسبت به شاهد (۱۰۰٪) ۱/۱، ۱/۳، ۱/۶ و ۲/۴٪ کاهش یافت. اثر اصلی کاربرد کودزیستی (قارچ میکوریزا، جلبک آلگا ۷۰٪، جلبک وکوزیم) بر pH خاک نشان داد استفاده از کودهای زیستی سبب کاهش pH خاک نسبت به شاهد شدند به طوری که با کاربرد قارچ میکوریزا، جلبک دریایی آلگا و جلبک دریایی وکوزیم به ترتیب نسبت به شاهد، pH خاک ۰/۴، ۰/۷ و ۱/۲٪ کاهش یافت.

در شرایط تنش آبی به دلیل کاهش رشد ریشه و سخت شدن خاک جذب عناصر غذایی به وسیله گیاه کاهش یافته و غلظت عناصر در محلول خاک افزایش می یابد. مقدار EC محلول خاک، متناسب با غلظت یون ها در یک محلول خاک است که هر چه غلظت بیشتر باشد، مقدار EC آن نیز بیشتر خواهد بود. Giri et al. (2003) گزارش کردند که مایه زنی با قارچ مایکوریزا باعث کاهش EC خاک می شود. این در حالی است که Bi et al. (2018) گزارش کردند که تیمار مایکوریزا باعث افزایش EC خاک شد. در مقابل Akhzari et al. (2015) گزارش کردند که ممکن است EC تحت تأثیر قارچ مایکوریزا قرار نگیرد.

جدول ۳- مقایسه اثرات اصلی تنش آبی و کود زیستی بر EC و pH، کلروفیل b، فسفاتاز اسیدی و فسفاتاز قلیایی

Table 3 Comparison of the main effects of water stress and biofertilizer on Chlorophyll b, EC, pH, Acidic phosphatase, Alkaline phosphatase

Treatment	Level	Chlorophyll b (mg/g leaf wet weight)	EC (dS.m ⁻¹)	pH	Acidic phosphatase (µg pNP/g.h)	Alkaline phosphatase (µg pNP/g.h)
Water Stress	100	5.42a	0.9377c	7.9108a	1377.5a	1800.75a
	90	4.92a	0.9608c	7.8383ab	1308.95a	174.20a
	80	3.93b	0.9940bc	7.8033bc	1207.02ab	1609.68ab
	70	3.4bc	1.0566ab	7.7775bc	1091.93ab	1485.18ab
	60	2.76c	1.1033a	7.7241c	977.93b	1366.43b
Biofertilizer	Mycorrhiza fungi	4.82a	1.05840a	7.7606b	1825.60a	2228.40a
	Seaweed alga	4.07b	1.0193ab	7.8013ab	1225.38b	1630.98b
	Seaweed wokozim	3.98bc	0.9976ab	7.8246ab	1115.40b	1547.33b
	Control	3.48c	0.9668b	7.8566a	604.28c	966.28c

*Numbers that have a common in each row are not statistically significant at the 5% level according to Duncan's test

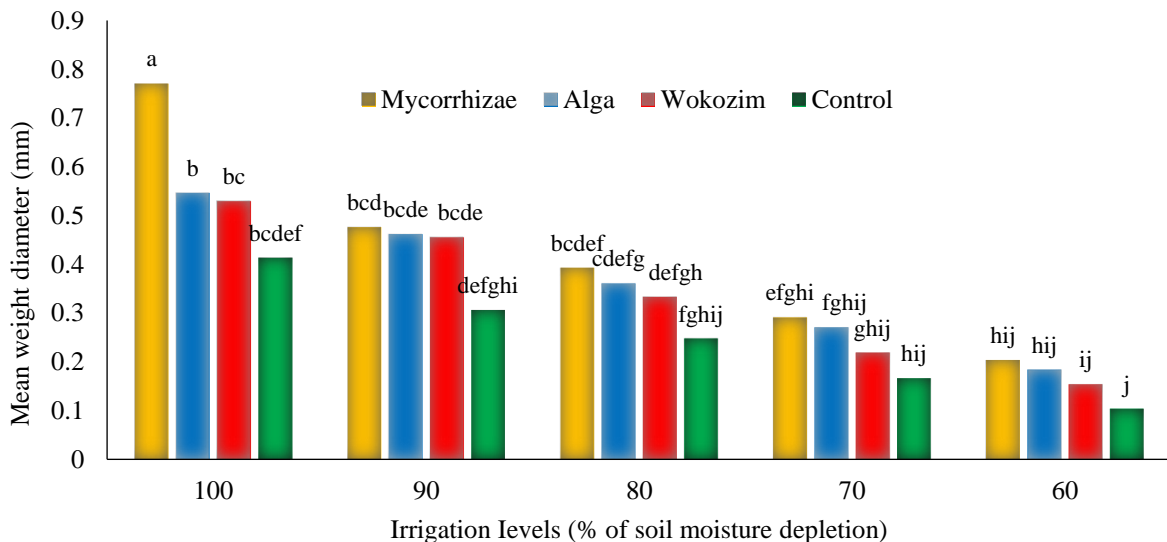
احتمالاً با کاهش رطوبت خاک به دلیل جذب کمتر عناصر غذایی به وسیله گیاه، غلظت عناصر غذایی محلول خاک پس از برداشت گیاه افزایش یافته و کاتیون های موجود در محلول خاک جایگزین یون هیدروژن بر روی کلونیدهای خاک شده

کیفیت آب، کیفیت خاک و ترکیبات آن و کودهای شیمیایی بر pH خاک مؤثرند.

۳-۶- میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها

طبق شکل (۶) که مقایسه میانگین اثرات متقابل کودهای زیستی و تنش آبی بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها را نشان می‌دهد، بیش‌ترین میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در تیمار بدون تنش آبی و قارچ میکوریزا به‌دست‌آمد. همچنین کمترین میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها مربوط به سطح رطوبتی ۶۰٪ تخلیه رطوبتی خاک و بدون کاربرد کود زیستی بود. نتایج همچنین نشان داد کاربرد کود زیستی در شرایط تنش خشکی سبب افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها شد.

در نتیجه یون هیدروژن به محلول خاک آزاد و واکنش خاک کاهش یافته است (Guili et al. 2017). (Heydari et al. 2020b) گزارش کردند مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای مختلف بر واکنش خاک در شرایط گلخانه نشان داد که استفاده از تیمار میکوریزا باعث کاهش واکنش خاک نسبت به تیمار شاهد شد. گیاهان میکوریزایی با تولید مقدار زیادی دی‌اکسید کربن در ناحیه ریزوسفر ریشه، باعث افزایش جمعیت میکروبی و افزایش میزان نیتریفیکاسیون می‌شوند که می‌تواند منجر به افزایش اسیدیته و کاهش واکنش خاک شوند (Nisha et al. 2007). (Possinger and Amador 2016) با ارزیابی تغییرات خواص بیولوژیکی و شیمیایی خاک و تولید ذرت شیرین با استفاده از جلبک دریایی نشان دادند pH خاک با افزودن جلبک دریایی به‌طور قابل‌توجهی نسبت به شاهد کاهش یافت. محیط و شرایط آب و هوایی،



شکل ۶- اثر متقابل سطوح آبیاری و کود زیستی بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (ستون‌هایی که در هر تیمار دارای یک حرف مشترک هستند، از لحاظ آماری در سطح ۵٪ بر اساس آزمون توکی فاقد تفاوت معنی‌دار می‌باشند).

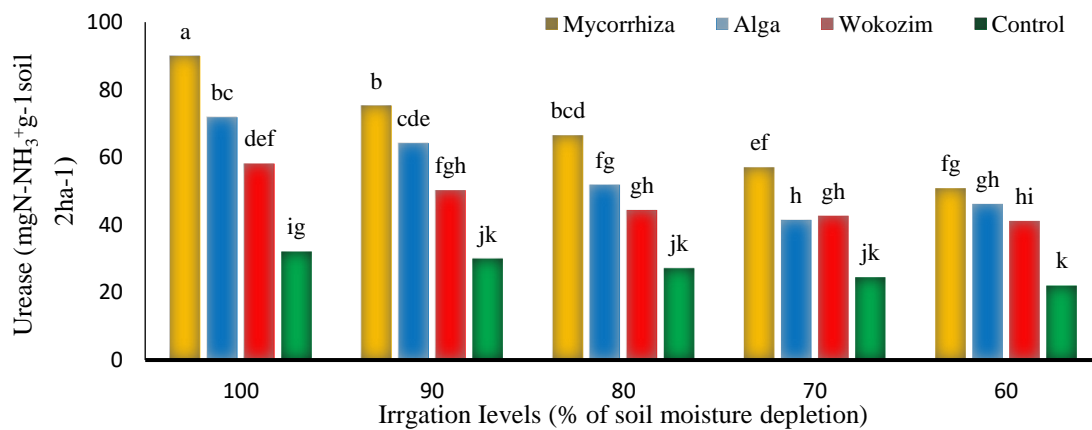
Fig. 6 Interaction of moisture levels and biofertilizer on weight average diameter of aggregates (columns that in each treatment have a common letter, are not statistically significant at the 5% level based on the Tukey test)

به‌ویژه آن‌هایی که از قارچ‌های Arbuscular هستند، به درون ماتریس خاک رشد می‌کنند تا ساختار اسکلتی را تشکیل دهند و ذرات اولیه خاک را از طریق درگیری فیزیکی در کنار هم نگه می‌دارند (Auge 2004). کودهای جلبکی به دلیل مقدار بالای فیبر از یک طرف نقش مهمی در نرم کردن بافت خاک، حفظ رطوبت و بهبود ساختمان خاک داشته و از طرف دیگر با داشتن مواد معدنی، عناصر غذایی فراوان، رشد گیاه، مقاومت به آفات و بیماری‌ها و مقدار عملکرد گیاه را افزایش می‌دهند (Ahmad and Shalabi 2013). جلبک‌ها به علت داشتن ساختار رشته‌ای و تولید مواد چسبنده باعث

(Farhadi et al. 2017) بیان کردند با افزایش سطح رطوبت خاک میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در تمام سطوح مایه‌زنی‌شده با قارچ میکوریز به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. نتایج به‌دست آمده از استخراج گلوبالین نیز نشان می‌دهد احتمالاً یکی از دلایل بهبود دانه‌بندی خاک در تیمارهای قارچی مربوط به افزایش ترشح این ماده است که موجب به هم پیوستن ذرات خاک و تشکیل خاکدانه می‌گردد. (Samaei et al. 2015) نیز افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها را در تیمارهای حاوی قارچ میکوریز نسبت به تیمارهای غیرمیکوریزی گزارش کردند. هیف‌های قارچی،

شوری نسبت جذب سدیم افزایش می‌یابد بنابراین پایداری خاکدانه‌ها کاهش یافته، متوسط قطر خاکدانه با افزایش نسبت جذب سطحی سدیم خاک، کاهش می‌یابد. بنابراین غلظت بالای سدیم موجب تضعیف خاکدانه‌ها و پراکنش آن‌ها می‌گردد. سدیم با قرار گرفتن در محل تبدالی سطح رس‌ها، باعث افزایش ضخامت لایه الکتریکی دوگانه پخشیده شده که این عمل منجر به آماس و پخشیدگی رس‌ها و تخریب خاکدانه‌ها می‌شود (Dordipour et al. 2007).

افزایش تخلخل خاک و به دلیل ساختار ژله‌ای منجر به افزایش گنجایش نگهداری آب خاک و کاهش شوری خاک می‌شوند (Sridhar and Rengasamy 2011). Heydari et al. (2020a) گزارش کردند تیمار مایکوریزا نسبت به تیمار شاهد و شاهد بدون گیاه نخود باعث افزایش معنی‌دار میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (به ترتیب ۶/۵۱ و ۱/۸۹٪) شد. نتایج این تحقیق نشان داد با افزایش تنش خشکی، شوری خاک افزایش یافت. از آنجایی که در شرایط



شکل ۷- اثر متقابل سطوح آبیاری و کود زیستی بر فعالیت آنزیم اوره‌آز (ستون‌هایی که در هر تیمار دارای یک حرف مشترک هستند، از لحاظ آماری در سطح ۱٪ بر اساس آزمون توکی فاقد تفاوت معنی‌دار می‌باشند).

Fig. 7 Interaction of irrigation levels and biofertilizer on urease activity (columns that in each treatment have a common letter, are not statistically significant at the 1% level based on the Tukey test).

۳-۸- فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی و قلیایی خاک

نتایج جدول (۳) نشان داد افزایش سطوح آبیاری سبب کاهش فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی خاک پس از برداشت شنبلیله گردید به طوری که در سطح ۹۰، ۸۰، ۷۰ و ۶۰٪ تخلیه رطوبتی خاک به ترتیب نسبت به شاهد (۱۰۰٪) تخلیه رطوبتی خاک (۶/۸۹، ۱۷/۷۴، ۲۳/۷۱ و ۳۱/۰۳٪ فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی کاهش یافت. اثر اصلی کاربرد کود زیستی (قارچ مایکوریزا، جلبک آلگا ۷۰، جلبک وکوزیوم) بر فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی نشان داد با استفاده از کودهای زیستی فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی افزایش یافت. به طوری که کاربرد قارچ مایکوریزا، جلبک دریایی آلگا ۷۰ و جلبک دریایی وکوزیوم به ترتیب نسبت به شاهد فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی ۴۷/۶۰، ۲۹/۲۱ و ۱۹/۶۴٪ افزایش یافت.

نتایج جدول (۳) نشان داد افزایش سطوح آبیاری سبب کاهش فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی پس از برداشت شنبلیله گردید. به طوری که در سطح ۹۰، ۸۰، ۷۰ و ۶۰٪ تخلیه

۳-۷- آنزیم اوره‌آز خاک

نتایج مقایسه میانگین کودهای زیستی و تنش رطوبتی بر فعالیت آنزیم اوره‌آز (شکل ۷) نشان داد که بیشترین فعالیت آنزیم اوره‌آز در تیمار بدون تنش رطوبتی و قارچ مایکوریزا به دست آمد. همچنین کمترین فعالیت آنزیم اوره‌آز مربوط به سطح رطوبتی ۶۰٪ نیاز آبی گیاه و بدون کاربرد کود زیستی بود. اوره‌آز (وره آمیداز و هیدرولاز) آنزیمی است که هیدرولیز اوره به کربن دی‌اکسید و آمونیاک را کاتالیز می‌کند.

رطوبت یکی از عوامل تأثیرگذار بر فعالیت‌های آنزیمی است. در زمین‌های مرطوب درجه خیس بودن، فاکتور مؤثری بر فعالیت‌های آنزیمی است (Kramer and Green 2000). نتایج پژوهش (Rezaei et al. 2011) نشان داد که با افزایش رطوبت خاک فعالیت آنزیم اوره‌آز در خاک افزایش می‌یابد.

۴- نتیجه‌گیری

با توجه به مطالعات و نتایج آنالیزهای آزمایشگاهی در این پژوهش نتایج زیر قابل بیان است:

۱- با افزایش شدت تنش خشکی وزن خشک اندام هوایی، کارایی مصرف آب، کلروفیل a و b کاهش یافت.

۲- با افزایش تنش خشکی پایداری خاکدانه، آنزیم اوره‌آز، فسفاتاز اسیدی، فسفاتاز قلیایی، pH خاک کاهش و EC افزایش یافت.

۳- استفاده از کود مایکوریزا در شرایط تنش خشکی سبب بهبود اکثر ویژگی‌ها در مقایسه با شرایط عدم استفاده از کود زیستی شد.

۴- استفاده از عصاره جلبک در شرایط تنش باعث افزایش وزن خشک اندام هوایی، کارایی مصرف آب، کلروفیل a و b شد. همچنین باعث پایداری خاکدانه و هدایت الکتریکی خاک (EC)، آنزیم اوره‌آز، فسفاتاز اسیدی و قلیایی خاک و کاهش pH خاک در مقایسه با عدم استفاده از کود زیستی در این شرایط شد.

براساس نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان پیشنهاد نمود تیمارهای کودی مورد استفاده در این پژوهش بر روی سایر گیاهان دارویی نیز مورد بررسی قرار بگیرد هرچند با توجه به هزینه بر بودن کودهای زیستی پیشنهاد می‌شود در صورت اقتصادی بودن گیاه مورد بررسی نتایج این تحقیق در سطح مزرعه نیز اعمال شود.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از تمامی کارشناسان آزمایشگاه مرکزی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان به پاس زحمات آن‌ها در همراهی دانشجو در انجام برخی از آزمایش‌ها قدردانی می‌نمایند.

دسترسی به داده‌ها

داده‌های تولید شده در این پژوهش بر حسب درخواست، از طرف نویسنده مسئول از طریق ایمیل قابل ارسال است.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارد که هیچ‌گونه تضاد منافی در رابطه با نوشتن و یا انتشار این مقاله ندارد.

رطوبتی خاک به ترتیب نسبت به شاهد (۱۰۰٪ تخلیه رطوبتی خاک) ۷/۴۴، ۲۰/۱۱، ۲۹/۹۷ و ۳۵/۴۱٪ فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی کاهش یافت. اثر اصلی کاربرد کود زیستی (قارچ مایکوریزا، جلبک آلگا-۷۰، جلبک و کوزیوم) بر فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی نشان داد با استفاده از کودهای زیستی فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی افزایش یافت. به‌طوری‌که کاربرد قارچ مایکوریزا، جلبک دریایی آلگا-۷۰ و جلبک دریایی و کوزیوم به ترتیب نسبت به شاهد فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی ۵۱/۳۲، ۲۱/۱۶ و ۱۲/۳۱٪ افزایش یافت. آنزیم‌های فسفاتاز به رطوبت خاک حساس هستند و در خاک‌های خشک فعالیت آن‌ها کمتر است (Pascual et al. 2006).

یکی از عمده‌ترین مواردی که بیش از سایر موارد در فیزیولوژی گیاهان تلقیح شده با قارچ مایکوریزا مطالعه شده، مقدار عناصر غذایی جذب شده در این گیاهان همراه با اندازه‌گیری وزن خشک آن‌ها است. افزایش رشد عموماً با افزایش غلظت بعضی عناصر معدنی در بافت همراه است. در حال حاضر مشخص شده است که ریشه گیاهان مایکوریزایی در مقایسه با ریشه گیاهان غیرمایکوریزایی، فسفر و بعضی دیگر از عناصر را به مقدار بیشتری دریافت می‌کنند (Shamshiri et al. 2020). James et al. (2008) گزارش کردند که بهبود جذب عناصر غذایی به‌ویژه فسفر به وسیله گیاهان مایکوریزایی در تنش خشکی مهم‌ترین عامل تأثیرگذار در رشد رویشی است. دلایل این امر را می‌توان پیوند شدید یون‌های فسفات غیرآلی با کلئیدهای خاک و تثبیت آن به فرم فسفات آهن و یا فسفات آلومینیوم که در هر حال موجب عدم تحرک این عنصر می‌شود، دانست. علاوه بر آن مقدار زیادی از عنصر فسفات غیرآلی به‌صورت طبیعی در حالت غیرمحلول است، از این‌رو در عمل برای گیاهان قابل‌استفاده نیست. تولید و ترشح آنزیم فسفاتاز به وسیله ریشه‌های مایکوریزا باعث می‌شود که فسفات غیرمحلول و تثبیت شده در خاک به فرم محلول در آمده و برای ریشه قابل جذب شود (Huixing 2005). گزارش‌هایی مبنی بر نقش قارچ‌های مایکوریزا بر فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز وجود دارد. به‌طور مثال، در آزمایشی، تلقیح گیاه یونجه با مایکوریزا در شرایط تنش خشکی موجب افزایش فعالیت آنزیم اسید فسفاتاز مایکوریزا شد (Shamshiri et al. 2020).

References

- Akhzari, D., Attaeian, B., Arami, A., Mahmoodi, F. and Aslani, F. (2015). Effects of Vermicompost and Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Soil Properties and Growth of *Medicago polymorpha* L. *J. Compost. Sci. Util.*, 23(1), 142-153. DOI: [10.1080/1065657X.2015.1013585](https://doi.org/10.1080/1065657X.2015.1013585)
- Ahmadi Azar, F., Hasanlu, T., Imani, A. and Faizi Asl, V. (2015). Water stress and mineral zeolite application on growth and some physiological characteristics of Mallow (*Malva sylvestris*). *J. Plant. Res.*, 28 (3), 459-474 [In Persian]. DOI: [20.1001.1.23832592.1394.28.3.1.0](https://doi.org/20.1001.1.23832592.1394.28.3.1.0)
- Auge, R. M. (2004). Arbuscular mycorrhizae and soil/plant water relations. *Can. J. Soil. Sci.*, 84(4), 373-381. DOI: [10.4141/S04-002](https://doi.org/10.4141/S04-002)
- Ahmadimoghadam, Z., Tabatabaei, S. H. and Ebrahimi, A. (2021). Simultaneous effects of deficit irrigation and preferential flow on *E. coli* retention in soil. *Iran J. Irrig. Drain.*, 6(14), 2203-2216 [In Persian].
- Blanco-Canqui, H., and Lal, R. (2009). Corn stover removal for expanded uses reduces soil fertility and structural stability. *Soil. Sci. Soc. Am. J.*, 73(2), 418 - 426. DOI: [10.2136/sssaj2008.0141](https://doi.org/10.2136/sssaj2008.0141).
- Badvi, H., Alemzade Ansari, N., Mahmoodi Soresani, M., and Eskandari, F. (2016). The effect of drought stress and mycorrhiza on some morphophysiological characteristics of lettuce. *J. plant prod. Sci.*, 38 (3), 27-39 [In Persian]. DOI: [10.22055/ppd.2015.11444](https://doi.org/10.22055/ppd.2015.11444)
- Bi, Y., Zhang, Y., and Zou, H. (2018). Plant growth and their root development after inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi in coal mine subsided areas. *Int. J. Coal. Sci. Technol.*, 5(12), 1. 1-7. DOI: [10.1007/s40789-018-0201-x](https://doi.org/10.1007/s40789-018-0201-x).
- Di Stasio, E., Van Oosten, M. J., Silletti, S., Raimondi, G., dell'Aversana, E., Carrillo, P. and Maggio, A. (2018). Ascophyllum nodosum-based algal extracts act as enhancers of growth, fruit quality, and adaptation to stress in salinized tomato plants. *J. Appl. Physiol.*, 30 (4), 2675- 2686. DOI: [10.1007/s10811-018-1439-9](https://doi.org/10.1007/s10811-018-1439-9).
- Dordipour, E., Ghadiri, H. and Hussein, J. (2007). The influence of salinity and sodicity on soil erodibility, sediment transport and downstream water quality from three contrasting soils. *J. Agric. Sci. Natur. Resour.*, 14(4), 41-52 [In Persian].
- Eyras, M. C., Defosse, G. E., and Dellatorre, F. (2008). Seaweed compost as an amendment for horticultural soils in Patagonia, Argentina. *J. Compost. Sci. Util.*, 16(2), 119-124. DOI: [10.1080/1065657X.2008.10702366](https://doi.org/10.1080/1065657X.2008.10702366).
- Esmailpour, B., Fatemi, H., and Moradi, M. (2020). Effects of Seaweed Extract on Physiological and Biochemical Characteristics of Basil (*Ocimum basilicum* L.) under Water-Deficit Stress Conditions. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture.*, 11 (1), 59-69 [In Persian]. DOI: [20.1001.1.20089082.1399.11.1.5.9](https://doi.org/20.1001.1.20089082.1399.11.1.5.9)
- Egamberdiyeva, D. (2007). The effect of plant growth promoting bacteria on growth and nutrient uptake of maize in two different soils. *Appl. Soil. Ecol.*, 36(2), 184-189. DOI: [10.1016/j.apsoil.2007.02.005](https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2007.02.005).
- Farhadi, A., Enayatizamir, N., Farrokhan Firouzi, A., and Howeizeh, H. (2017). The Effect of *Arbuscular Mycorrhizal* Fungi and drought stress on glomalin content and some physical and mechanical properties of soil under blue panic grass cultivation (*Panicum antidotal*). *J. Soil Water Conserv.*, 23(5), 267-280 [In Persian]. DOI: [10.22069/jwfst.2017.10471.2493](https://doi.org/10.22069/jwfst.2017.10471.2493)
- Feizian, M., Hemmati, A., Asadi Rahmani, H., and Azizi, K. (2016). Evaluation of the effects of Rhizobium bacterial strains on yield and yield components of *Phaseolus vulgaris* L. under drought stress conditions. *J. Soil. Biol.*, 4(2), 165-176. [In Persian]. DOI: [10.22092/sbj.2017.109311](https://doi.org/10.22092/sbj.2017.109311)
- Giri, B., Kapoor, R., Mukerji, K. J. B., and Soils, F. O. (2003). Influence of arbuscular mycorrhizal fungi and salinity on growth, biomass and mineral nutrition of *Acacia auriculiformis*. *J. Biol. Fertil. Soils.*, 38(1), 170-175. DOI: [10.1007/s00374-003-0636-z](https://doi.org/10.1007/s00374-003-0636-z).
- Guili, E., Mousavi, S. A., and Kamgar Haghghi, A. A. (2017). Effect of cattle manure biochar and moisture stress on growth characteristics and spinach water use efficiency in greenhouse conditions. *J. Water Res. Agri.*, 30(2), 243-259 [In Persian]. DOI: [10.22092/jwra.2016.106647](https://doi.org/10.22092/jwra.2016.106647)



- Gardner, F. P. (2010). Physiology of crop plants. Scientific Publishers (India), Crops. 327 pp.
- Hosseini Nejad, S. M., Masoud Sinaki, J., Biabani, A., and Abedini Esfahalani, M. (2017). Investigation of the effects of drought stress and mycorrhiza on yield and some agronomic and physiological traits of sunflower cultivars. *Agron. J. (Pajouhesh & Sazandegi)*, 29(110), 95-102 [In Persian].
- Heydari, L., Bayat, H. and Hamzei, J. (2020b). Short-term effects of biofertilizer application on some physical and chemical properties of soil. *J. Soil Water Conserv.*, 27(1), 71-89 [In Persian]. DOI: [10.22069/jwsc.2020.16986.3238](https://doi.org/10.22069/jwsc.2020.16986.3238)
- Heydari, L., Bayat, H., Hamzei, J., Ghytasi Rangbar, T., Bahramian Ragheb, S. and Madine Khorrani, F. (2020a). Effects of chickpea inoculation with rhizobium (*Mesorhizobium caesar*) and mycorrhizae (*Glomus mosseae*) on soil structural stability and aggregates size distribution under both greenhouse and field conditions. *J. Soil Water*, 33(6), 897-911 [In Persian]. DOI: [10.22067/jsw.v33i6.79810](https://doi.org/10.22067/jsw.v33i6.79810).
- Haghparsat, M., Maleki-Farahani, S., Sinaki, J. M. and Zarei, G. (2012). Mitigation of drought stress in chickpea through application of humic acid and seaweed extract. *J. Crop Prod. Environ. Stress.*, 4(1), 59-71.
- Huixing, S. (2005). Effects of VAM on host plant in the condition of drought stress and its mechanisms. *Electron. J. Biol.*, 1(3), 44-48.
- Hidangmayum, A. and Sharma. R. (2017). Effect of different concentrations of commercial seaweed liquid extract of *Ascophyllum nodosum* as a plant biostimulant on growth, yield and biochemical constituents of onion (*Allium cepa L.*). *J. Pharmacogn. Phytochem*, 6(4), 658-663. DOI
- James, B., Rodel, D., Loretto, U., Reynaldo, E., and Tariq, H. (2008). Effect of vesicular arbuscular mycorrhiza (VAM) fungi inoculation on coppicing ability and drought resistance of *Senna spectabilis*. *Pak. J. Bot.*, 40(5), 2217-2224.
- Kramer, P. J. (1983). Water Relations of Plants. Academic Press, Florida, USA.
- Kramer, S., and Green, D. M. (2000). Acid and alkaline phosphatase dynamics and their relationship to soil microclimate in a semiarid woodland. *J. Soil. Biol. Biochem.*, 32(2), 179-188. DOI: [10.1016/S0038-0717\(99\)00140-6](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(99)00140-6).
- Khazaei, M., Galavi, M., Dahmardeh, M., Moosavi-Nik, S. M., Zamani, Gh., and Mahdi-Nejad, N. (2018). Effect of Drought Stress on Water Use Efficiency and Its Components in Several Genotypes and Cultivars of Foxtail Millet (*Setaria italica L.*). *Iran. J. Field Crop. Res.*, 16(1), 113-124 [In Persian].
- Lichtenthaler, H. K. (1987). Chlorophylls and carotenoid pigments of photosynthetic biomembranes. *Method. Enzymol.*, 148, 350-382.
- Mardani, S., Tabatabaei, S, H., Pesarakli, M., and Zareabyaneh, H. (2017). Physiological responses of pepper plant (*Capsicum annum L.*) to drought stress. *J. Plant. Nutr.*, 40 (10), 1453-1464. DOI: [10.1080/01904167.2016.1269342](https://doi.org/10.1080/01904167.2016.1269342).
- Mclean, E. O. (1982). Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties, 9.2.2, Second Edition, 199-224. DOI: [10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c12](https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c12)
- Nisha, R., Kaushik, A. and Kaushik, C. P. (2007). Effect of indigenous cyanobacterial application on structural stability and productivity of an organically poor semi-arid soil. *Geoderma.*, 138(1), 49-56. DOI: [10.1016/j.geoderma.2006.10.007](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2006.10.007).
- Possinger, A. R. and Amador, J. A. (2016). Preliminary evaluation of seaweed application effects on soil quality and yield of sweet corn (*Zea mays L.*). *Commun. Soil. Sci. Plant. Anal.*, 47(1), 121-135. DOI: [10.1080/00103624.2015.1104338](https://doi.org/10.1080/00103624.2015.1104338).
- Pascual, I., Carmen Antolin, M., and Garcia, C. (2006). Effect of water deficit on microbial characteristics in soil amended with sewage sludge or inorganic fertilizer under laboratory conditions. *Bioresour. Techno. J.* 98(1), 29-37. DOI: [10.1016/j.biortech.2005.11.026](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.11.026).
- Rishcefid, M., Aliasgharzag, N., and Neyshabouri, M. R. (2017). Effects of Water Deficit Stress on Glomalin Secretion by Glomerales in Symbiosis with Corn Plant. *J. Soil Water Sci.*, 21(1), 229-238 [In Persian]. DOI: [10.18869/acadpub.jstnar.21.1.229](https://doi.org/10.18869/acadpub.jstnar.21.1.229)
- Rezaei, R., Raisi, F., and Ghorbani, Sh. (2011). Effects of drought stress on soil enzyme



- activity. Proc. 2011, First National Congress of New Agricultural Sciences and Technologies [In Persian].
- Sadeghzadeh-Ahari, D., Hassandokht Kashi, A. K., Amri, A. and Alizadeh, K. H. (2010). Genetic variability of some agronomic traits in the Iranian fenugreek landraces under drought stress and non-stress conditions African. J. Plant. Sci., 4, 12-20 [In Persian].
- Sibi, M., Khazaei, H. R., and Nezami, A. (2017). Effect of concentration, time and method of consumption of seaweed extract on some morphological features Safflower plant roots and shoots. J. Plant Physiol., 8(29), 238-252 [In Persian].
- Siddiky, M. R. K., Kohler, J., Cosme, M. and Rillig, C. (2012). Soil biota effects on soil structure: Interactions between arbuscular mycorrhizal fungal mycelium and collembolan. J. Soil. Biol. Bio., 50(1), 33-39. DOI: [10.1016/j.soilbio.2012.03.001](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.03.001).
- Sridhar, S. and Rengasamy, R. (2011). Effect of seaweed liquid fertilizer on growth, pigment concentration and yield of *Amaranthus rosburghinus* and *Amaranthus tricolor* under field trial. J. Curr. Res., 3(7), 131-134.
- Sulfab, H. A. (2013). Effect of bioorganic fertilizers on soil fertility and yield of groundnut (*Arachis hypogaea L.*) in Malakal Area, Republic of South Sudan. J. Nat. Resour. Environ. Studies., 12, 14-19.
- Shahhosseini, Z., Gholami, A. and Asghari, H. (2012). Effect of arbuscular mycorrhizae and humic acid on water use efficiency and physiological growth indices of maize under water deficit condition. J. Arid Biom., 2(1), 39-57 [In Persian]. DOI: [20.1001.1.2008790.1391.2.1.4.9](https://doi.org/20.1001.1.2008790.1391.2.1.4.9)
- Samaei, F., Asghari, Sh., and Aliasghar zad, N. (2015). The effects of two arbuscular mycorrhizal fungi on some physical properties of a sandy loam soil and nutrients uptake by spring barley. J. Soil Environ., 1(1), 1-9 [In Persian].
- Shamshiri, M. H., Bagheri, V., Alaei, H. and Salehi, H. (2020). Investigating the role of three species of arbuscular mycorrhizal fungi on growth, acid phosphatase enzyme activity and phenolic compounds in zinnia plant under drought stress conditions. J. Crop Product. Process., 9(4), 65-81. DOI: [20.1001.1.22518517.1398.9.4.4.9](https://doi.org/20.1001.1.22518517.1398.9.4.4.9).
- Sheteawi, S. A. and Tawfik, K. M. (2007). Interaction effect of some biofertilizers and irrigation water regime on mung bean (*Vigna radiata*) growth and yield. J. Appl. Sci. Res., 3(3), 251-262.
- Tabatabai, M. A., Weaver R. W., Angle S., Bottomley P., Bezdicek D., Smith S., Tabatabai, A., and Wollum, A. (1994). Soil enzyme, In: Weaver RW et al., (Ed.) Methods in soil Analysis, Part 2: Microbiological and Biochemical properties, pp. 775-834.
- Tabatabai, M. A. (1982). Soil enzymes In: Page, A.L., Miller, R.H. and Keeney, D.R., Eds., Methods of Soil Analysis, ASA, SSSA, Publisher, Madison, WI, 903-947.

How to cite this paper:

Alipour Yosefvand, N., Alinejadian Bidabadi, A., Lakzian, A. and Maleki, A. (2023). Effect of mycorrhiza fungi and seaweed as biofertilizer on soil physicochemical properties under deficit irrigation conditions in fenugreek cultivation. Environ. Water Eng., 9(1), 29-44. DOI: [10.22034/jewe.2022.336142.1760](https://doi.org/10.22034/jewe.2022.336142.1760)