

Investigating Some Physical Characteristics of Soil and Growth Traits of Fenugreek Plant under Application of Biofertilizer and Water Stress

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

1- M.Sc. Graduate, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khoramabad, Iran

2- Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khoramabad, Iran

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

4- Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khoramabad, Iran

*Corresponding author: alinezhadian.a@lu.ac.ir

(Received: 21 October 2022

Revise: 21 November 2022

Accepted: 21 November 2022)

Extended Abstract

- 1. Introduction:** The stability of soil structure has a great effect on plant growth. In fact, soil structure is considered as key factor for determination of soil quality. Soil structure can influence the growth and development of plants through maintaining soil water, soil elements and air, etc. Water stress is one of the most important factors limiting the physiological and nutritional growth of plants, which will lead to a decrease in biomass and yield. Fenugreek L. (*Fuenum graecum* L.) is a plant belonging to the legume family, which is widely grown in temperate and tropical Mediterranean regions of Europe, Asia and Africa. In sustainable agricultural systems, any improvement should lead to an increase in production and a reduction in the destructive effect on the environment, which will ultimately lead to an increase in the sustainability of the agricultural system. One of these methods is the application of biofertilizers. Biofertilizers are a set of preservatives with a large number of beneficial microorganisms or their metabolic products. Mycorrhiza fungi and seaweed are two widely used biofertilizers.
- 2. Materials and Methods:** This research was carried out as a factorial experiment based on completely randomized design with three replications, at research greenhouse of the Faculty of Agriculture, Lorestan University during the year 2021. Experimental factors included five levels of irrigation I60, I70, I80, I90, I100 (60, 70, 80, 90 and 100 % based on soil moisture depletion) and four levels of biofertilizer (control, vecozium algae 5 L ha⁻¹, algae 5 L ha⁻¹, mycorrhiza 50 g pot⁻¹). At the end of the plant growth season (70 d after planting), the plants were harvested and characteristics such as soil moisture curve, mean weight diameter of soil aggregates, organic carbon, aerial part fresh weight, total chlorophyll, electrolyte leakage and proline were measured.
- 3. Results and Discussion:** The results showed that under control condition (I100), the highest total chlorophyll content, mean weight diameter of soil aggregates and organic carbon were 19.72 mg g⁻¹ FW, 0.77 mm and 1.72 % which were recorded in mycorrhiza treated plants. Using biofertilizers under stress conditions increased fresh weight of aerial part, total chlorophyll content, mean weight diameter of soil aggregates, organic carbon and soil moisture, and decreased proline and electrolyte leakage in comparison to control condition.

The increase in soil moisture content due to the application of biofertilizers could be attributed to the hydrophilic properties of biofertilizers that lead to changes in soil properties. The increase in mean weight diameter of aggregate in this research could be related to the effect of fungal hyphae that develop inside the soil to form a skeletal structure and physically hold the primary soil particles together and improve soil aggregation. According to the results of this research, the amount of organic carbon decreased due to drought stress, while the application of biofertilizer alleviated this effect. The application of biofertilizers increased the growth characteristics of fenugreek plants under drought stress conditions, which could probably be attributed to their role in increasing root growth, photosynthesis rate and nutrients absorption rate. In stress conditions, excessive accumulation of reactive oxygen species in plant cells causes membrane damage and lipid peroxidation resulting in loss of semi-permeable characteristic of the membrane, reduction of membrane stability and increasing electrolyte leakage. Therefore, biofertilizers enhance plant resistance against stress condition by increasing membrane stability. The results of the present research showed that drought stress increases proline content in fenugreek leaves. Osmoregulation is one of the efficient mechanisms of plants to maintain cell turgescence under drought

stress conditions which increases drought tolerance threshold through the accumulation of sugars and amino acids such as proline. The increase in the concentration of compatible osmolytes such as proline has been proven under the influence of environmental stresses such as drought.

- 4. Conclusion:** The research results generally showed that drought stress causes a decrease in mean weight diameter of aggregate, organic carbon, fresh weight of aerial parts and total chlorophyll, and an increase in electrolyte leakage and proline content. Also, the use of biofertilizers under stress conditions can significantly improve plant and soil characteristics and alleviate stress negative effects.

Keywords: Aggregate stability, Deficit irrigation, Mycorrhiza, Seaweed

Citation: Alipour-Yosefvand, N., Alinejadian-Bidabadi, A., Lakzian, A., Maleki, A. (2023). Investigating some physical characteristics of soil and growth traits of fenugreek plant under application of biofertilizer and water stress. *Journal of Vegetables Sciences*, 13(1), 92-112. doi: 10.22034/IUVS.2022.1971153.1240

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Journal of Vegetables Sciences. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



بررسی برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک و صفات رشدی گیاه شنبليله تحت کاربرد کود زیستی و تنش آبی

ندا علیپور یوسفوند^۱، افسانه عالی نژادیان بیدآبادی^{۲*}، امیر لکزبان^۳ و عباس ملکی^۴

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

۲- استادیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

۳- استاد، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۴- دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

*نویسنده مسئول: alinezhadian.a@lu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۳۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۸/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۲۹

چکیده

در مناطق خشک و نیمه‌خشک، شرایط خاک جهت رشد گیاه چندان مطلوب نیست و تنش خشکی سبب کاهش عملکرد گیاهان می‌شود. بر این اساس، به‌منظور بررسی تأثیر کودهای زیستی بر بهبود پایداری خاک و کاهش اثر تنش آبی در شنبليله، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با فاکتور تنش آبی در پنج سطح آبیاری I₈₀، I₉₀، I₁₀₀، I₆₀ و I₇₀ (۱۰۰، ۹۰، ۸۰، ۷۰ و ۶۰ درصد بر پایه تخلیه رطوبتی خاک) و چهار سطح کود زیستی (شاهد، جلبک و کوزیوم L ha⁻¹ ۵، جلبک آلگا L ha⁻¹ ۵ و قارچ میکوریزا ۵۰ g pot⁻¹) با سه تکرار در شرایط گلخانه‌ای به‌صورت گلدانی اجرا شد. ویژگی‌های منحنی رطوبتی خاک، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و کربن آلی در خاک و صفات وزن تر اندام هوایی، نشت یونی، رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل کل) و پرولین در گیاه مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و کربن آلی به‌ترتیب به‌مقدار ۰/۷۷ میلی‌متر و ۱/۷۲ درصد و بیش‌ترین وزن تر اندام هوایی و کلروفیل کل در شرایط بدون تنش و با استفاده از کود میکوریزا حاصل شد. همچنین یافته‌ها نشان داد بیشترین میزان نشت یونی به‌مقدار ۵۱/۶۶ درصد در شرایط تنش و عدم استفاده از کود زیستی حاصل شد. در پژوهش حاضر، استفاده از کود میکوریزا در شرایط تنش باعث کاهش معنی‌دار نشت یونی، محتوای پرولین و افزایش رطوبت وزنی خاک در مقایسه با عدم استفاده از کود زیستی گردید.

واژه‌های کلیدی: پایداری خاکدانه، جلبک دریایی، کم‌آبیاری، میکوریزا

استناد: علیپور یوسفوند، ن.، عالی نژادیان بیدآبادی، ا.، لکزبان، ا. و ملکی، ع. (۱۴۰۲). بررسی برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک و صفات رشدی گیاه شنبليله تحت کاربرد کود زیستی و تنش آبی. علوم سبزی‌ها، ۱۳(۱)، ۹۲-۱۱۲.

حق چاپ:



حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این مجله به‌صورت آزاد در وب سایت مجله برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل‌دسترس است.

مقدمه

پایداری ساختمان خاک، که ترتیب قرار گرفتن ذرات معدنی و آلی است، تأثیر زیادی بر رشد گیاهان دارد. در حقیقت ساختمان خاک یک عامل کیفی کلیدی خاک است که توانایی تأثیرگذاری بر رشد و نمو گیاهان را از طریق نگهداری آب خاک، عناصر و هوای خاک و برخی موارد دیگر، بر عهده دارد (Obia et al., 2016).

گیاهان برای رسیدن به رشد و عملکرد بهینه وابسته به حداقل نیاز آبی هستند و برای رسیدن به اهداف اقتصادی باید این نیاز تأمین شود. با این حال گیاهان در طی دوران رشد خود ممکن است با تنش‌های محیطی متعددی روبرو شوند که بر اساس حساسیت و مرحله رشد گیاه اثرات متفاوتی بر رشد و عملکرد آن‌ها دارد (Ziaei et al., 2016). تنش آبی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد فیزیولوژیکی و تغذیه‌ای گیاهان محسوب می‌شود که کاهش زیست‌توده و عملکرد را در پی خواهد داشت (Ihuoma & Madramootoo, 2017). از این رو وقوع تنش آبی در طی دوره رشد امری اجتناب‌ناپذیر است (Alam, 1999). کاهش وزن تر و خشک اندام‌های گیاه تحت تنش خشکی می‌تواند به دلیل کاهش قابل توجه در فتوسنتز و تورژسانس سلولی باشد (Sankar et al., 2007). یافته‌های پژوهشی که بر روی گیاه شنبلیله صورت گرفت، نشان داد که تنش خشکی سبب کاهش محتوای کلروفیل b و افزایش محتوای پرولین نسبت به شاهد (بدون تنش) شد (Bijani et al., 2014).

در شرایط کمبود آب انتقال الگوی کشاورزی به سمت گیاهان سازگار با خشکی می‌تواند راهکار مناسبی برای مقابله با اثرات کمبود آب باشد (Khazaei et al., 2018). شنبلیله می‌تواند به‌عنوان یک محصول مقرون به‌صرفه در زمینه کمبود آب به‌دلیل سازگاری قابل توجه آن به طیف گسترده‌ای از شرایط آب و هوایی در نظر گرفته شود (Eyras et al., 2008). شنبلیله زراعی (*Fuenum graceum* L.) گیاهی یکساله و متعلق به خانواده بقولات است که به‌طور وسیعی در مناطق معتدله و گرمسیری مدیترانه‌ای، اروپا،

آسیا و آفریقا کشت می‌شود (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 است (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 میکوریزا و جلبک دریایی از جمله کودهای زیستی هستند. استفاده از قارچ میکوریزا 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 میکوریزا از طریق دو مکانیسم اصلی تثبیت فیزیکی با به دام انداختن ذرات منفرد خاک به‌وسیله شبکه‌های گسترده هیف و تثبیت شیمیایی توسط ترشحات چسب‌مانند به پایداری خاکدانه‌ها کمک می‌کند (Blanco-Canqui & Lal, 2009). کودهای جلبکی به‌دلیل 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 به‌علت داشتن ساختار رشته‌ای و تولید مواد چسبنده باعث افزایش تخلخل خاک و به‌دلیل ساختار ژله‌ای منجر به افزایش گنجایش نگهداری آب خاک و کاهش شوری خاک می‌شوند (Sridhar & Rengasamy, 2011).

Hontori و همکاران (۲۰۰۹) نیز بیان کردند افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه در تیمارهای قارچی می‌تواند در اثر ترشحات گلیکوپروتئینی بنام گلومالین (Glomalin) باشد. افزایش غلظت گلومالین در خاک در حضور قارچ‌های میکوریزا در پژوهش‌های انجام

استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی و اصلاح‌کننده‌ها باعث ایجاد آلودگی و برخی مشکلات زیست‌محیطی گردیده است که به‌همین دلیل بررسی نقش کودهای زیستی شامل قارچ‌ها و جلبک‌ها در بهبود خواص فیزیکوشیمیایی خاک و همچنین تأثیر موثر در رشد گیاهان با در نظر گرفتن ابعاد محیط‌زیستی آن‌ها ضروری به‌نظر می‌رسد. بر این اساس این مطالعه با هدف بررسی تأثیر قارچ میکوریزا و دو نوع عصاره جلبک‌دریایی بر برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک و صفات رشدی گیاه شنبليله تحت شرایط تنش آبی اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با فاکتورهای آزمایشی شامل پنج سطح آبیاری I100, I90, I80, I70 و I60 (۱۰۰، ۹۰، ۸۰، ۷۰ و ۶۰ درصد بر پایه تخلیه رطوبتی خاک) و چهار سطح کود زیستی (صفر، جلبک و کوزیوم 5 L ha^{-1} ، جلبک آلگا 5 L ha^{-1} و قارچ میکوریزا 50 g pot^{-1}) با سه تکرار در سال ۱۴۰۰ به‌صورت گلدانی در گلخانه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان اجرا شد. برای انجام این پژوهش، بذر شنبليله، از شرکت پاکان بذر اصفهان، عصاره جلبک دریایی و کوزیوم از شرکت بهاران شیراز، عصاره جلبک‌دریایی آلگا ۷۰ از شرکت ایرانیان اگری مهاباد و قارچ میکوریزا *Rhizophagus irregularis* از شرکت زیست فناوران شاهرود تهیه شد. مقادیر و نحوه اعمال کودهای استفاده‌شده براساس دستورالعمل شرکت تهیه‌کننده کود و با توجه به تحقیقات قبلی در نظر گرفته شدند. در گلدان‌هایی به ابعاد 20×17 سانتیمتر، سه کیلوگرم خاک که شامل یک قسمت خاک و یک قسمت ماسه و یک‌صدم قسمت ورمی‌کمپوست بود، ریخته شد و پس از افزودن مقدار 50 g dry soil قارچ میکوریزا (با غلظت spores/g) (۶۰ به گلدان‌های مربوط به تیمارهای قارچ میکوریزا،

شده توسط Rillig و همکاران (۲۰۱۰) نیز گزارش شده است. Rezaul و همکاران (۲۰۱۲) اثر میسلیموم های قارچ‌های میکوریزا آریسکولار را بر ساختمان خاک بررسی نموده و نتیجه گرفتند پایداری خاکدانه‌ها ۳۲ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. قارچ‌های میکوریزا به‌عنوان جزء اصلی در بیشتر اکوسیستم‌ها اثرات مثبتی بر روی خصوصیات کمی و کیفی گیاهان همزیست دارند (Harrier & Watson, 2004). قارچ میکوریزا با افزایش جذب عناصر غذایی مانند فسفر و برخی عناصر کم‌مصرف، افزایش جذب آب، کاهش تأثیر منفی تنش های محیطی و افزایش مقاومت در برابر عوامل بیماری‌زا، موجب بهبود در رشد و عملکرد گیاهان میزبان در سیستم‌های کشاورزی پایدار می‌شوند (Sridhar & Rengasamy, 2011).

Moharramnejad و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی اثر تنش اسمزی در لاین‌های ذرت اظهارکردند که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار میزان کلروفیل a و b می‌شود. اثر تنش خشکی بر کاهش کلروفیل a و b، در نعناع لفللی (Izadi et al., 2009) و بادرنجویه (Ardakani et al., 2009) نیز گزارش شده است. کاربرد عصاره جلبک‌دریایی در پیاز، باعث افزایش ارتفاع بوته، تعداد و اندازه پیاز، محتوای گوگرد و پروتئین در پیاز، غلظت کلروفیل و کارتنوئید برگ شد (Hidangmayum & Sharma, 2017). نتایج تحقیق Di Stasio و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که کاربرد عصاره جلبک دریایی، باعث افزایش ۱۳ درصدی در عملکرد گوجه‌فرنگی شد. نتایج یک تحقیق بر روی کاربرد عصاره جلبک دریایی در کشت گیاه مریم‌گلی نشان داد که در شرایط تنش کم‌آبی، کاربرد عصاره جلبک‌دریایی باعث افزایش رشد رویشی این گیاه به‌واسطه افزایش طول ساقه، شاخص سطح برگ و تعداد برگ گردید (Yacoubi, 2019). Talebi Alengareghi و همکاران (۲۰۲۱) بیان کردند عصاره جلبک دریایی سبب افزایش سطح برگ، تعداد میوه، وزن خشک میوه، میزان عملکرد، میزان کلروفیل a و b در لفلل دلمه‌ای شد.

بذرها (هشت بذر) روی آن قرار گرفت و سپس با خاک پوشانده شد. بافت خاک مورد استفاده در این آزمایش لومی شنی بود. برخی ویژگی‌های خاک مورد استفاده در این آزمایش در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مورد استفاده برای کشت

Table 1- Some physicochemical properties of soil used for cultivation

بافت خاک	سیلت	رس	شن	کربن آلی	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	اسیدبته	هدایت
Soil texture	Silt	Clay	Sand	Organic carbon	Total nitrogen	P	K	pH	الکتریکی
	درصد	درصد	درصد	درصد	درصد	میلی‌گرم بر کیلوگرم	میلی‌گرم بر کیلوگرم		EC
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(mg kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)		دسی‌زیمنس بر متر
									(dS m ⁻¹)
لومی شنی	20.16	16	63.84	1.28	0.095	19	270.01	7.95	0.901
Loamy sand									

میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (Mean Weight Diameter) با استفاده از رابطه (۱) محاسبه گردید.

$$MWD = \sum_{i=1}^n (X_i \cdot W_i) \quad \text{رابطه ۱:}$$

که در این رابطه X_i میانگین قطر خاکدانه‌های باقیمانده بر روی هر الک (میلی‌متر)، W_i نسبت وزنی خاکدانه‌ها در هر الک به وزن کل نمونه خاک، n تعداد الک موجود در آزمایش و MWD میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها بر حسب میلی‌متر می‌باشد. درصد کربن آلی خاک به روش اکسیداسیون تر اندازه‌گیری شد (Nelson & Sommers, 1996). برای تعیین رطوبت مربوط به هر پتانسیل در خاک جهت ترسیم منحنی رطوبتی خاک از دستگاه صفحات فشاری استفاده شد. سپس رطوبت وزنی نمونه‌های خاک با استفاده از رابطه (۲) محاسبه گردید (Klut, 1986).

$$\theta_m = \frac{M_w - M_s}{M_s} \times 100 \quad \text{رابطه ۲:}$$

که در این رابطه θ_m درصد رطوبت وزنی خاک، M_w وزن خاک مرطوب و M_s وزن خاک خشک شده می‌باشد. نشت یونی با استفاده از رابطه (۳) محاسبه شد (Lutts et al, 1996).

$$\text{رابطه ۳: } (\text{EC}_1 / \text{EC}_2) \times 100 = \text{نشت یونی } (\%)$$

تیمارهای قارچ مایکوریزا و گیاهان شاهد توسط آب معمولی آبیاری شدند. به این صورت که پس از استقرار گیاه به جهت اعمال تیمارهای آبیاری، مقدار آب مورد نیاز گیاه تا رسیدن به شرایط ظرفیت زراعی به‌عنوان تیمار آبیاری کامل (I_{100}) در نظر گرفته شد و میزان آب مورد نیاز در سایر تیمارهای آبیاری (I_{60} ، I_{70} ، I_{80} و I_{90}) به ترتیب با اعمال ضرایب $0/6$ ، $0/7$ ، $0/8$ و $0/9$ نسبت به تیمار (I_{100}) محاسبه و به گلدان‌ها اضافه گردید. کاربرد جلبک دریایی چهار مرتبه با فواصل یک هفته‌ای در فصل رشد و یک ماه پس از استقرار گیاه در گلدان و همزمان با اعمال تنش آبی صورت گرفت. بدین صورت که در هر مرتبه، مقدار ۱۱ ماکرولیتر جلبک دریایی برای هر گلدان اندازه‌گیری و در آب حل شد و به صورت مستقیم به خاک گلدان اضافه شد. در پایان فصل رشد گیاه (۷۰ روز پس از کاشت) گیاهان برداشت شدند و ویژگی‌هایی مانند وزن تر گیاه، نشت یونی، رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل کل)، پرولین، منحنی رطوبتی خاک، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و کربن آلی اندازه‌گیری شدند.

پایداری خاکدانه به روش غربال مرطوب و محاسبه میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها طبق روش آزمایشگاهی مورد ارزیابی قرار گرفت (Kramer, 1983). سپس

اثر سطوح آبیاری بر رطوبت وزنی خاک در این پتانسیل‌ها نشان داد که بیشترین رطوبت وزنی خاک در پتانسیل‌های ذکر شده مربوط به تیمار I₁₀₀ با میانگین به ترتیب ۲۴، ۲۲ و ۲۰ درصد وزنی (شکل ۱-الف) و کمترین آن مربوط به تیمار I₆₀ با میانگین به ترتیب ۱۹، ۱۸ و ۱۵ درصد وزنی بود (شکل ۱-ه). در تیمارهای آبیاری نیز با کاهش مقدار آب، درصد وزنی رطوبت خاک در مقایسه با شاهد کاهش معنی‌داری یافت.

رطوبت وزنی خاک در پتانسیل‌های ماتریک ۶، ۱۰ و ۱۵ بار

نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر کود زیستی بر رطوبت وزنی خاک در پتانسیل ۶، ۱۰، ۱۵ بار مطابق شکل (۱) نشان داد که بیشترین رطوبت وزنی خاک در این پتانسیل‌ها مربوط به تیمار قارچ میکوریزا با میانگین به ترتیب ۱۵، ۱۳ و ۱۱ درصد وزنی و کمترین آن مربوط به تیمار شاهد با میانگین به ترتیب ۱۲، ۱۰ و ۸ درصد وزنی به دست آمد. نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر سطوح آبیاری بر رطوبت وزنی خاک در این پتانسیل‌ها نشان داد که بیشترین رطوبت وزنی خاک مربوط به سطح I₁₀₀ با میانگین به ترتیب ۱۶، ۱۳ و ۱۱ درصد وزنی (شکل ۱-الف) و کمترین آن مربوط به تیمار I₆₀ با میانگین به ترتیب ۱۱، ۹ و ۸ درصد وزنی مشاهده شد (شکل ۱-ه). با کاهش سطوح آبیاری، درصد وزنی رطوبت خاک در مقایسه با شاهد کاهش معنی‌داری یافت.

که در این رابطه EC₁ مقدار هدایت الکتریکی محلول پس از ۲۴ ساعت و EC₂ مقدار هدایت الکتریکی محلول پس از فرار گرفتن در حمام بخار آب در دمای ۱۲۰ درجه می‌باشد. اندازه‌گیری رنگی‌های فتوسنتزی به روش Lichtenthaler (۱۹۸۷) اندازه‌گیری شد. مقدار کلروفیل کل (C_(A+B)) برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ از طریق رابطه (۴) محاسبه شد:

$$C_{(A+B)} = 7.05 \times A_{662} + 18.9 \times A_{645} \quad \text{رابطه ۴:}$$

اندازه‌گیری میزان پرولین با استفاده از روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) انجام شد. مقدار پرولین (FW) برحسب میکرومول بر گرم وزن تر برگ و با استفاده از رابطه (۵) به دست آمد:

$$\mu\text{mol prolin/ g FW} = [(\mu\text{g prolin/ ml} \times \text{ml toluene/ 115.5})] / [(g \text{ samples}/5)] \quad \text{رابطه ۵:}$$

داده‌های حاصل از این آزمایش با نرم‌افزار آماری JMP ورژن ۱۱ مورد تجزیه قرار گرفت و مقایسات میانگین با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

بررسی اثر کاربرد نوع کود زیستی بر رطوبت

خاک در پتانسیل‌های ماتریک مختلف

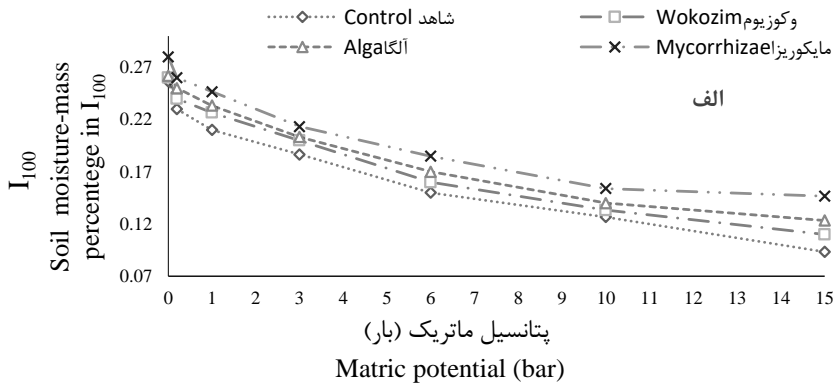
اثر کود زیستی و سطوح آبیاری بر رطوبت خاک نشان‌دهنده این بود که اثرات اصلی کود زیستی و تنش آبی بر پتانسیل ۰/۲، ۱، ۳، ۶، ۱۰، ۱۵ بار (اتمسفِر) تأثیر معنی‌داری داشت. همچنین اثر متقابل کود زیستی و سطوح آبیاری بر رطوبت خاک در پتانسیل‌های ماتریک ۶ و ۱۵ بار (اتمسفِر) تأثیر معنی‌داری نشان داد.

رطوبت وزنی خاک در پتانسیل‌های ماتریک ۰/۲، ۱

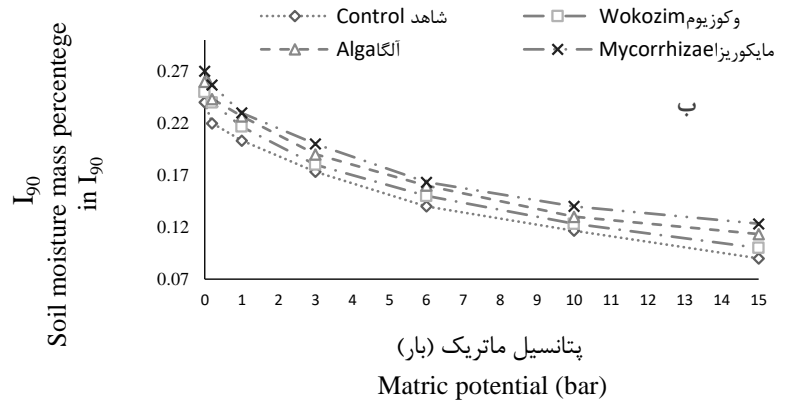
و ۳ بار

نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر کود زیستی بر رطوبت وزنی خاک در پتانسیل ماتریک ۰/۲ و ۳ بار مطابق شکل (۱) نشان داد که بیشترین رطوبت وزنی خاک در این پتانسیل‌ها در تیمار قارچ میکوریزا با میانگین به ترتیب ۲۴، ۲۰ و ۱۸ درصد وزنی و کمترین آن در تیمار شاهد با میانگین به ترتیب ۲۱، ۱۹ و ۱۶ درصد وزنی به دست آمد. نتایج حاصل از مقایسه میانگین

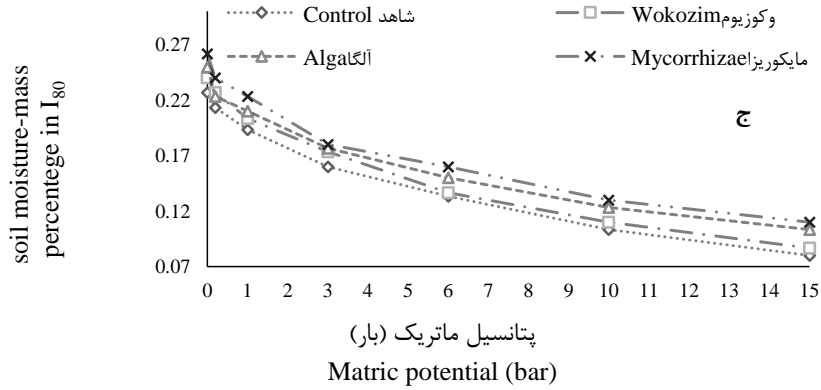
درصد رطوبت وزنی خاک در سطح I_{100}



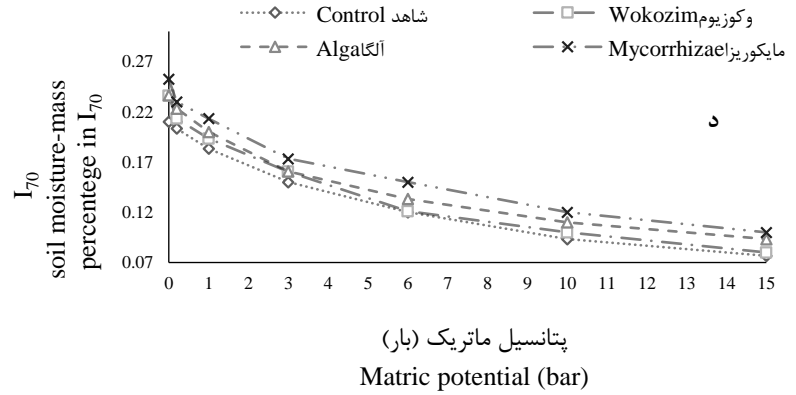
درصد رطوبت وزنی خاک در سطح I_{90}



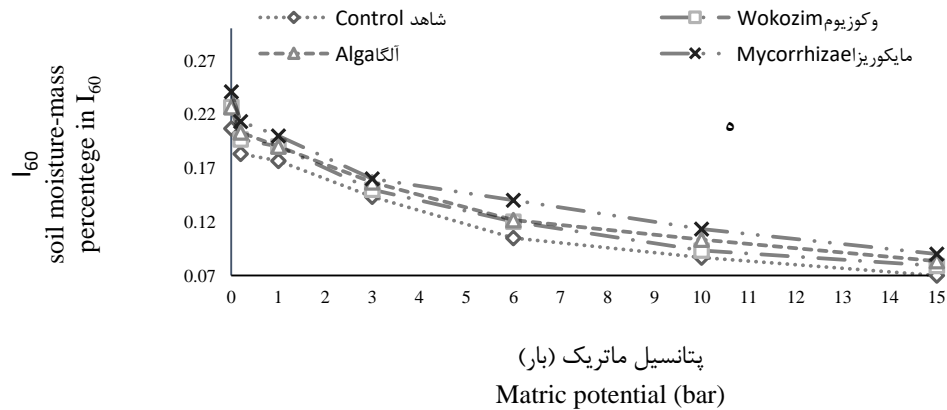
درصد رطوبت وزنی خاک در سطح I_{80}



درصد رطوبت وزنی خاک در سطح I_{70}



درصد رطوبت وزنی خاک در سطح I_{60}



آب و نگهداری آن دارند. این ویژگی به واسطه داشتن درصد بالای ترکیبات پلیمری است که قادرند مولکول های آب را جذب نموده و به حالت ژله‌ای درآیند (Rathore et al., 2009).

میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها

مقایسه میانگین کودهای زیستی و تنش رطوبتی بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (شکل ۲) نشان داد که بیشترین میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در تیمار بدون تنش رطوبتی و قارچ میکوریزا به دست آمد. همچنین کمترین میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها مربوط به سطح رطوبتی I60 و بدون کاربرد کود زیستی بود. نتایج همچنین نشان داد که کاربرد کودزیستی در شرایط تنش آبی سبب افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها شد.

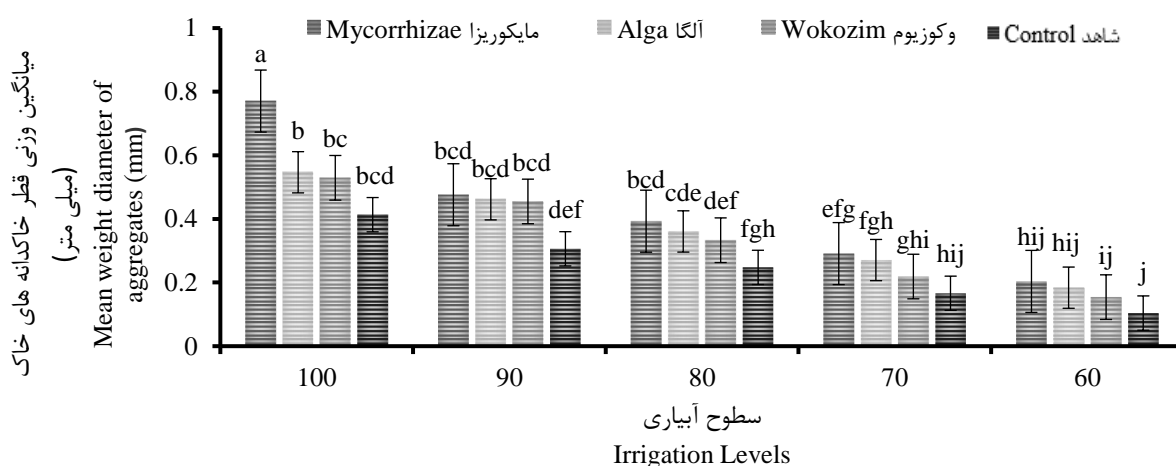
نتایج تحقیق حاضر نشان داد که استفاده از کود زیستی قارچ میکوریزا سبب افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها شد. احتمالاً یکی از دلایل بهبود دانه‌بندی خاک در تیمارهای قارچی مربوط به افزایش گلومالین است که موجب به هم پیوستن ذرات خاک و تشکیل خاکدانه می‌گردد. دلیل دیگری می‌تواند این باشد که هیف‌های قارچی به درون 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). در راستای این نتیجه Samaei و همکاران (۲۰۱۴) بیان کردند میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در تیمارهای حاوی قارچ میکوریزا نسبت به تیمارهای غیرمیکوریزایی افزایش یافت. Farhadi و همکاران (۲۰۱۷) بیان کردند با افزایش سطح رطوبت خاک میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در تمام سطوح مایه‌زنی شده با قارچ میکوریزا به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. کودهای جلبکی نیز 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 & Shalabi, 2013). جلبک‌ها به‌علت داشتن

رابطه بین محتوای آب خاک و پتانسیل ماتریک آب خاک را منحنی رطوبتی خاک می‌نامند (Klute, 1986). منحنی رطوبتی خاک نشان‌دهنده آسانی رها شدن رطوبت خاک هنگام خشک شدن است و یکی از خواصی است که به‌طور کامل روابط آب خاک را توصیف می‌کند (Hamblin, 1985). تراکم و ساختار خاک از طریق تأثیرات خود بر توزیع اندازه منافذ بر حفظ رطوبت تأثیر می‌گذارد. آب حفظ‌شده در مکش‌های بالا تحت تأثیر ساختار خاک قرار می‌گیرد، زیرا نگهداری آب بستگی به توزیع اندازه منافذ دارد (Hillel, 1982). هیف‌های قارچی، به‌ویژه آن‌هایی که از قارچ‌های آربسکولار 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 دارند (Auge, 2004). در پژوهش حاضر نیز کود زیستی قارچ میکوریزا توانسته است باعث افزایش نگهداشت رطوبت در خاک نسبت به تیمار شاهد شود. افزایش رطوبت خاک در اثر کاربرد کود زیستی را می‌توان به خواص آبدوستی کودهای زیستی که منجر به تغییر خواص خاک می‌گردند نسبت داد. گلومالین تولیدشده توسط قارچ میکوریزا به‌صورت پوششی بر روی هیف‌های قارچ قرار گرفته و باعث جلوگیری از هدررفت آب می‌شود (Draskar et al., 2014).

پژوهش‌های گوناگون نشان می‌دهد که ترشحات قارچ میکوریزا (گلومالین و کربوهیدرات) بر آبگریزی خاک مؤثر می‌باشد (Hallett et al., 2005). همزیستی میکوریزا معمولاً بر ساختار خاک تأثیر می‌گذارد و ساختار خاک بر ویژگی‌های نگهداری آب تأثیر می‌گذارد (Auge et al., 2001). قارچ میکوریزا با رابطه همزیستی که با ریشه اغلب گیاهان زراعی برقرار می‌کند، باعث افزایش جذب آب و کاهش تأثیر منفی تنش‌های خشکی می‌شود (Sharma, 2002). Auge و همکاران (۲۰۰۱) بیان کردند میکوریزه شدن خاک بر منحنی مشخصه رطوبت خاک تأثیر جزئی ولی معنی‌داری داشت که با تحقیق حاضر همخوانی دارد. جلبک‌ها به‌عنوان کود بیولوژیک توانایی بالایی در جذب

Heydari, (2011) و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند تیمار مایکوریزا نسبت به تیمار شاهد و شاهد بدون گیاه نخود باعث افزایش معنی‌دار میانگین

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 & Rengasamy,) وزنی قطر خاکدانه‌ها (به ترتیب ۶/۵۱ و ۱/۸۹ درصد) شد.



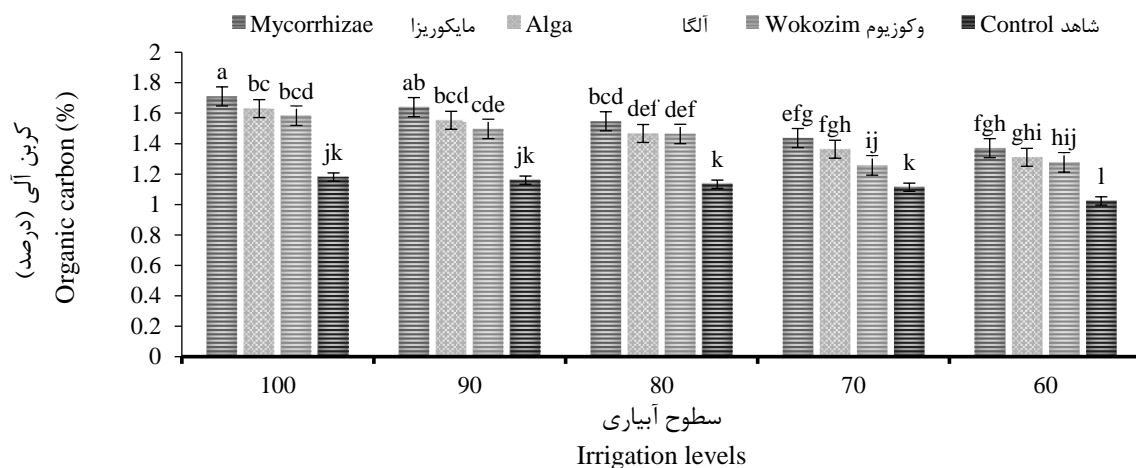
شکل ۲- اثر متقابل سطوح آبیاری و کود زیستی بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (ستون‌هایی که در هر تیمار دارای یک حرف مشترک هستند، از لحاظ آماری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون توکی فاقد تفاوت معنی‌دار می‌باشند).

Figure 2- Interaction of irrigation levels and biofertilizer on mean weight diameter of aggregates (columns that in each treatment have a common letter, are not statistically different at the 5 % level probability based on the Turkey's test).

همچنین کمترین کربن آلی خاک در تیمار I60 و بدون کاربرد کود زیستی مشاهده شد. یافته‌ها همچنین نشان داد در شرایط تنش خشکی، کود زیستی سبب افزایش کربن آلی شد (شکل ۳).

کربن آلی خاک

نتایج نشان داد که بیشترین کربن آلی خاک در تیمار بدون تنش رطوبتی و قارچ مایکوریزا به دست آمد.

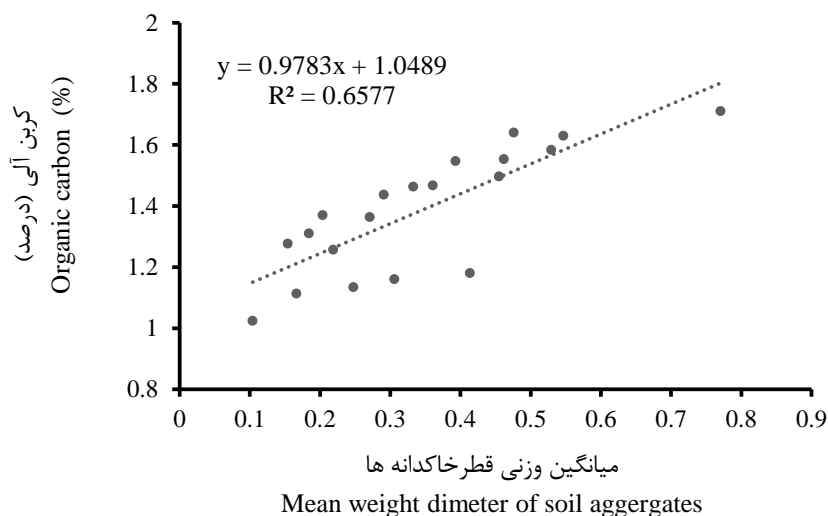


شکل ۳- اثر متقابل سطوح آبیاری و کود زیستی بر کربن آلی (ستون‌هایی که در هر تیمار دارای یک حرف مشترک هستند، از لحاظ آماری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون توکی فاقد تفاوت معنی‌دار می‌باشند).

Figure 3- Interaction of irrigation levels and biofertilizer on organic carbon (columns that in each treatment have a common letter, are not statistically different at the 5 % level probability based on the Turkey's test).

در Arunachalam و Arunachalam (۲۰۰۰) بررسی‌های خود دریافتند که با افزایش رطوبت در خاک، میزان زیست‌توده میکروبی و در نهایت میزان کربن آلی خاک افزایش می‌یابد. Hosseinzadeh و همکاران (۲۰۱۹) بیان کردند در شرایط بدون تنش و با کاربرد قارچ میکوریزا کربن آلی خاک افزایش یافت. نتایج نشان داده است که با تلفیق میکوریزا و کمپوست در طولانی مدت، میزان ماده آلی خاک افزایش یافت (Behera & Panda, 2009). در پژوهش حاضر بررسی همبستگی بین مقدار کربن آلی خاک با میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های خاک نشان داد که تغییر در مقدار کربن آلی، می‌تواند به میزان ۶۵ درصد از تغییرات میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های خاک را توجیه نماید (شکل ۴).

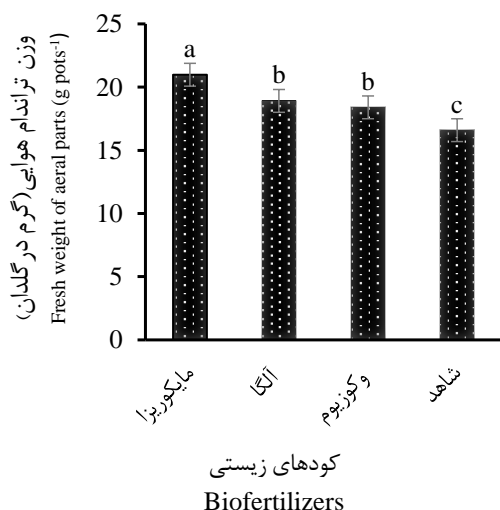
کربن آلی بر دامنه وسیعی از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک تأثیرگذار است و به‌عنوان مهم‌ترین شاخص کیفیت و باروری خاک مطرح شده است (Arif *et al.*, 2016). کاهش رطوبت و وجود تنش در خاک، بر کربن آلی خاک تأثیرگذار است. نتایج تحقیق حاضر نیز نشان داد که تنش خشکی ناشی از کمبود آب سبب کاهش کربن آلی شد. مواد اصلاحی (مانند قارچ میکوریزا و جلبک دریایی) با افزایش قابلیت نگهداری آب در خاک، باعث تعدیل شرایط تنش خشکی در خاک می‌شوند و مقدار کربن زیست‌توده میکروبی و در نهایت میزان کربن آلی خاک در شرایط تنش را افزایش می‌دهند (Rezaie & Raiesi, 2016).



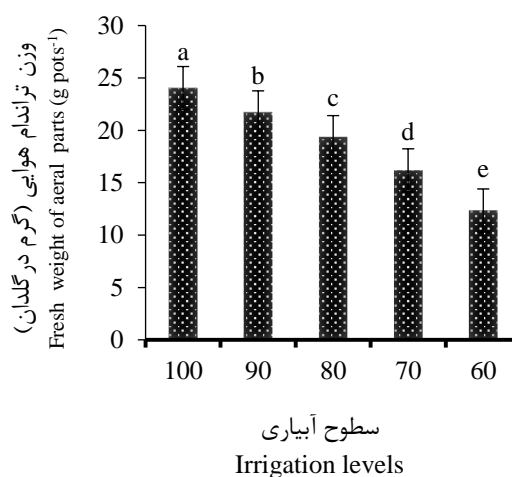
شکل ۴- همبستگی خطی بین میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های خاک و کربن آلی در شرایط تنش آبی
 Figure 4- Linear regression between mean weight diameter of soil aggregates and organic carbon under water stress condition

آلگا ۷۰ و جلبک دریایی و کوزیوم، میانگین وزن تر اندام هوایی گیاه را به‌طور معنی‌داری در مقایسه با شاهد به ترتیب به میزان ۲۰/۸۴، ۱۳/۳۵ و ۵/۳۸ درصد افزایش داد. هرچند از لحاظ آماری بین دو کود زیستی جلبک دریایی آلگا ۷۰ و جلبک دریایی و کوزیوم تفاوت معنی‌داری دیده نشد (شکل ۶).

افزایش سطوح آبیاری، وزن تر اندام هوایی را به‌طور معنی‌داری کاهش داد، به‌طوری‌که سطوح آبیاری I₆₀، I₉₀ و I₈₀ میانگین وزن تر اندام هوایی را در مقایسه با سطح عدم تنش (I₁₀₀)، به‌طور معنی‌داری به‌ترتیب به‌مقدار ۱۸/۲۱، ۳۵/۳۲، ۲۸/۸۲ و ۴۱/۷ درصد کاهش دادند (شکل ۵). کاربرد قارچ میکوریزا، جلبک دریایی



شکل ۶- اثر کودهای زیستی بر وزن تر اندام هوایی
 Figure 6- Effect of biofertilizers on fresh weigh of aerial part



شکل ۵- اثر سطوح آبیاری بر وزن تر اندام هوایی
 Figure 5- Effect of irrigation levels on fresh weight of aerial part

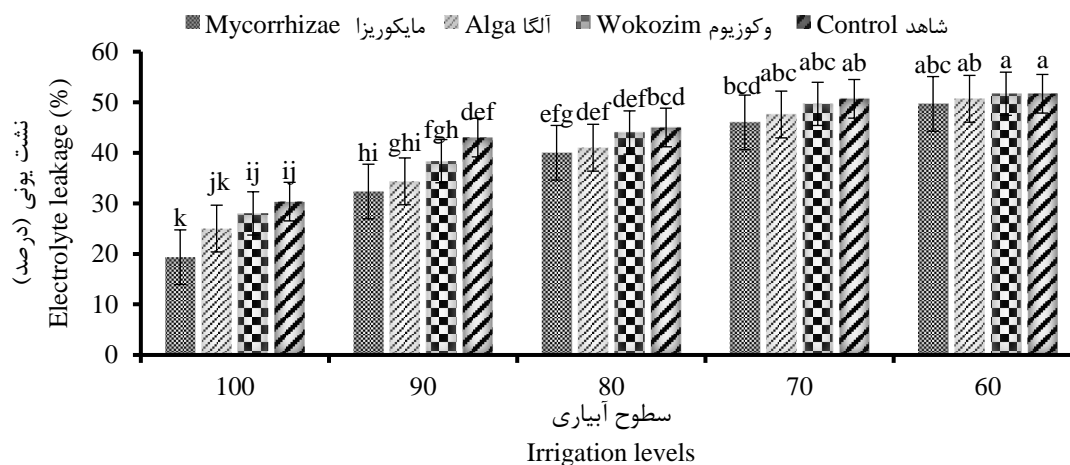
میزان لازم برای بزرگ شدن سلول‌ها و کاهش رشد گیاه می‌گردد (Mizanzadeh & Imam, 2010). محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی باعث بهبود رشد گیاهان ریحان در شرایط تنش خشکی شد که این را می‌توان به افزایش توان گیاه برای مقابله با تنش از طریق افزایش رشد ریشه، افزایش میزان فتوسنتز، جذب بیشتر عناصر غذایی مانند پتاسیم و فسفر و همچنین افزایش عناصر ریزمغذی و هورمون‌های گیاهی مانند اکسین، سیتوکینین و اسید آبسازیک نسبت داد (Haghparast *et al.*, 2012).

نشت یونی

مقایسه میانگین اثرمتقابل کودهای زیستی و سطوح آبیاری بر نشت یونی نشان داد که بیش‌ترین نشت یونی مربوط به سطح رطوبتی I₆₀ و بدون کاربرد کود زیستی بود. همچنین کمترین نشت یونی در تیمار بدون تنش رطوبتی و جلبک آلگا ۷۰ مشاهده شد (شکل ۷).

تنش ناشی از کمبود آب در این پژوهش منجر به کاهش وزن تر اندام هوایی شد که احتمالاً علت اصلی آن می‌تواند ناشی از اختلال در تعادل بین تولید گونه‌های فعال اکسیژن و فعالیت دفاعی آنتی‌اکسیدانی گیاه باشد که توانسته در سیستم انتقال الکترون در گیاه اختلال ایجاد کند و در نتیجه منجر به کاهش کارایی فتوسنتز و عملکرد گیاهان شود (Soares *et al.*, 2018).

Rezazadeh Roghani و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند بیش‌ترین وزن تر بوته شنبلیله در شرایط بدون تنش و با استفاده از کود مایکوریزا حاصل شد. Enjili و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند همزیستی با قارچ مایکوریزا در شرایط آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی، باعث دستیابی به عملکرد مناسب و صرفه‌جویی در آب مصرفی در تولید گیاه فلفل دلمه‌ای شد. کاهش مقدار آب آبیاری و تنش ناشی از آن موجب کم شدن پتانسیل آب بافت‌های مریستمی در طول روز می‌شود که در پی آن کاهش پتانسیل فشاری به‌حدی کمتر از



شکل ۷- اثر متقابل سطوح آبیاری و کود زیستی بر نشت یونی (ستون‌هایی که در هر تیمار دارای یک حرف مشترک هستند، از لحاظ آماری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون توکی فاقد تفاوت معنی‌دار می‌باشند).

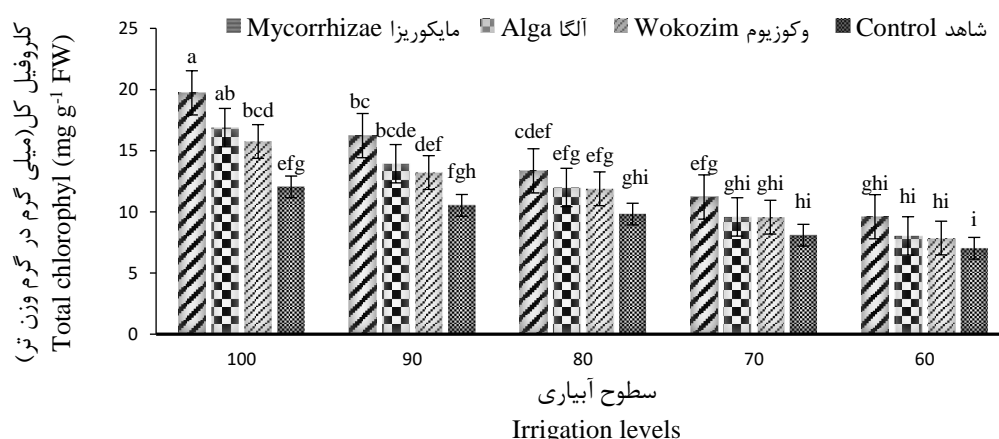
Figure 7- Interaction of irrigation levels and biofertilizer on electrolyte leakage (columns that in each treatment have a common letter, are not statistically different at the 5 % level probability based on the Turkey's test).

پراکسیده شدن چربی‌های غشا و افزایش نشت الکترولیت در گیاهان گردد. تنش خشکی از تکامل دیواره ممانعت نموده و باعث نشت بیشتر الکترولیت‌ها از دیواره سلولی شده و نشت یونی افزایش می‌یابد (Shibbarrio *et al.*, 1998).

کلروفیل کل

نتایج حاصل نشان داد که بیشترین کلروفیل کل در تیمار بدون تنش رطوبتی و قارچ میکوریزا به دست آمد. همچنین، کمترین کلروفیل کل در تیمار I60 و بدون کاربرد کود زیستی مشاهده گردید. یافته‌ها همچنین نشان داد که کاربرد کود زیستی در شرایط تنش آبی سبب افزایش کلروفیل کل شنبلیله شد (شکل ۸).

در شرایط تنش، تجمع بیش از حد گونه‌های اکسیژن فعال در سلول‌های گیاهی باعث آسیب غشایی و پراکسیداسیون لیپیدها شده و این تغییر سبب از دست رفتن خاصیت نیمه تراوایی غشاء می‌شود. در نتیجه پایداری غشاء کاهش می‌یابد و نشت الکترولیت‌ها از غشاء افزایش می‌یابد. بنابراین کودهای زیستی از طریق افزایش پایداری غشاء باعث مقاومت گیاه در شرایط تنش می‌شوند (Rezazadeh Roghani *et al.*, 2019). تحقیقات Fu و Huang (۲۰۰۱) نشان داد که تنش خشکی می‌تواند باعث ناکارآمدی غشای سلولی در برگ و به دنبال آن افزایش نفوذپذیری غشای سلولی برای الکترولیت‌ها گردد. Daneshmand و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که تنش خشکی می‌تواند سبب



شکل ۸- اثر متقابل سطوح آبیاری و کود زیستی بر کلروفیل کل (ستون‌هایی که در هر تیمار دارای یک حرف مشترک هستند، از لحاظ آماری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون توکی فاقد تفاوت معنی‌دار می‌باشند).

Figure 8- Interaction of irrigation levels and biofertilizer on total chlorophyll (columns that in each treatment have a common letter, are not statistically different at the 5 % level probability based on the Turkey's test).

تولید رادیکال‌های اکسیژن در سلول می‌باشد، زیرا این رادیکال‌ها سبب پراکسیداسیون و در نتیجه تجزیه این رنگیزه در گیاه می‌گردند (Sheteawi & Tawfik, 2007). در زمان تنش خشکی، روزنه برگ‌ها به‌طور کامل یا جزئی بسته می‌شود و این فرآیند طبیعی فتوسنتز را مختل می‌کند. گزارش‌های مختلفی در رابطه با افزایش و یا کاهش میزان کلروفیل در شرایط

کاهش سنتز کلروفیل a از واکنش‌های عمومی گیاهان نسبت به کمبود آب می‌باشد (Gardner, 2010). مقدار کلروفیل در گیاه زنده یکی از عوامل مهم برای فتوسنتز به‌شمار 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

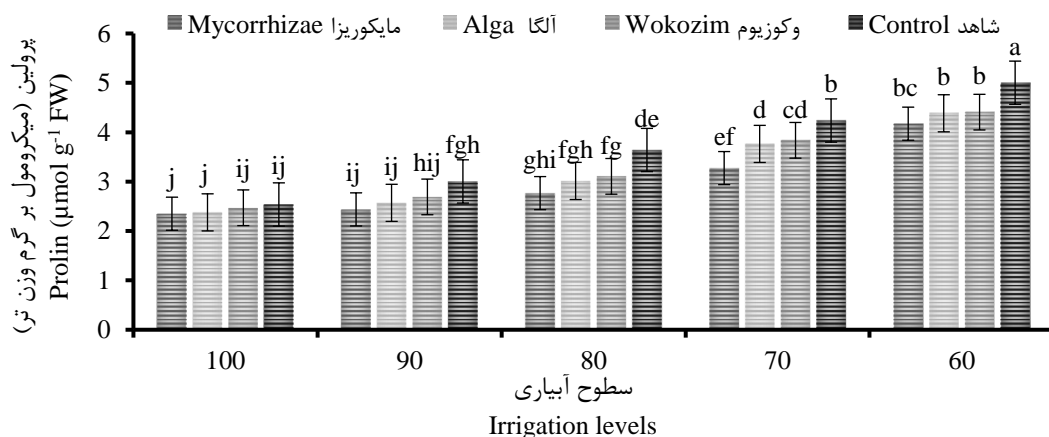
محدودیت در توانایی جذب نیتروژن توسط گیاه، موجب اختلال در فرآیند ساخت کلروفیل می‌گردد. Enjili و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند با افزایش تنش خشکی میزان کلروفیل فلفل کاهش و با تلقیح با قارچ میکوریزا میزان کلروفیل در شرایط تنش خشکی افزایش یافت. Ghonjalipour Goshk و همکاران (۲۰۲۱) بیان کردند کاربرد کود میکوریزا باعث افزایش کلروفیل a و کلروفیل کل برگ کاهو در سطوح مختلف تنش خشکی شد.

پرولین

بررسی اثر متقابل کودهای زیستی و تنش رطوبتی بر میزان پرولین بیانگر آن بود که بیشترین مقدار پرولین در سطح رطوبتی I60 و بدون کاربرد کود زیستی به ثبت رسید. همچنین کم‌ترین پرولین در تیمار بدون تنش رطوبتی و قارچ میکوریزا مشاهده شد (شکل ۹).

تنش آبی وجود دارد. البته بیشتر مطالعات کاهش مقدار کلروفیل در شرایط تنش خشکی را به خوبی نشان داده اند (Keshavarz Afshar *et al.*, 2017). Koushki و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه خود گزارش کردند تنش خشکی سبب کاهش میزان کلروفیل کل در نعنای فلفلی گردید.

تنش خشکی تأثیر مستقیم بر کاهش شاخص کلروفیل برگ گیاه دارد (Adebayo *et al.*, 2014). Moharramnejad و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی اثر تنش اسمزی در لاین‌های ذرت اظهار کردند که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل گردید. اثر تنش خشکی بر کاهش کلروفیل a و b در نعنای فلفلی (Izadi *et al.*, 2009) و بادرنجبویه (Ardakani *et al.*, 2009) نیز گزارش شده است. Sakinejad (۲۰۰۳) در پژوهش خود گزارش کرد که تنش خشکی از طریق ایجاد



شکل ۹- اثر متقابل سطوح آبیاری و کود زیستی بر پرولین (ستون‌هایی که در هر تیمار دارای یک حرف مشترک هستند، از لحاظ آماری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون توکی فاقد تفاوت معنی‌دار می‌باشند).

Figure 9- Interaction of irrigation levels and biofertilizer on proline (columns that in each treatment have a common letter, are not statistically different at the 5 % level probability based on the Turkey's test).

آمیننه نظیر پرولین است (Kakulund *et al.*, 2014). افزایش غلظت اسمولیت‌های سازگار مانند پرولین تحت تأثیر تنش‌های محیطی مانند خشکی (Farhoudi *et al.*, 2007) به اثبات رسیده است (Heidari & Karami, 2013). به نظر می‌رسد تجمع ترکیب‌هایی

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که تنش آبی سبب افزایش پرولین برگ شنبلیله گردید. یکی از مکانیزم‌های کارآمدی که گیاهان به‌هنگام مواجه شدن با شرایط خشکی برای حفظ تورژسانس و آماس سلولی انجام می‌دهند، تنظیم اسمزی از طریق تجمع قندها و اسیدهای

همزیستی مایکوریزا برای افزایش تحمل به تنش‌های غیرزنده باعث تحریک سنتز متابولیت‌های ثانویه گیاه می‌شود (Gianninazzi *et al.*, 2010)، اما اثر مفید قارچ‌های مایکوریزا بر مواد معدنی و محتوی متابولیت‌های ثانویه نه‌تنها به گونه قارچ مایکوریزا، بلکه به ژنوتیپ گیاه و رژیم کودی نیز وابسته می‌باشد (Chaudhary *et al.*, 2008).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد که با افزایش شدت تنش آبی میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، کربن آلی، وزن تر اندام هوایی و کلروفیل کل گیاه شنبلیله کاهش یافت. استفاده از کود مایکوریزا در شرایط تنش آبی سبب افزایش وزن تر اندام هوایی و کلروفیل کل و کاهش نشیت یونی و پرولین در مقایسه با شرایط عدم استفاده از کود زیستی شد. همچنین استفاده از کود مایکوریزا در شرایط تنش آبی سبب بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک گردید.

مانند پرولین در بافت سبز گیاه تحت تنش خشکی می‌تواند تا حدی شرایط لازم برای ادامه جذب آب از محیط ریشه را برای گیاه فراهم آورد، ولی اتکای گیاهان به این ترکیب‌های آلی برای تنظیم اسمزی هزینه‌بر بوده و گیاه این هزینه را از طریق کاهش عملکرد جبران می‌کند (Good & Zaplachinski, 1994). Bijani و همکاران (۲۰۱۴) با بررسی واکنش شنبلیله به تنش خشکی بیان کردند که افزایش تنش خشکی سبب افزایش معنی‌دار تجمع پرولین در بافت سبز گیاه شد. آن‌ها همچنین اظهار داشتند غلظت اسمولیت‌های سازگار تحت تأثیر همزیستی گیاه با قارچ‌های مایکوریزا تحت شرایط تنش آبی قرار نگرفت.

نتایج این تحقیق از این نظر که کودهای زیستی در شرایط تنش آبی سبب کاهش پرولین برگ می‌شود با نتایج مطالعات Aliabad و همکاران (۲۰۰۷) بر روی گشنیز و Heidari و Karami (۲۰۱۳) بر روی آفتابگردان مطابقت دارد. این پژوهشگران گزارش کردند غلظت اسمولیت‌های سازگار تحت تأثیر همزیستی گیاه با کودهای زیستی تحت شرایط تنش آبی قرار نگرفت.

References

- Adebayo, M. A., Menkir, A., Blay, E., Gracen, V., Danquah, E. & Hearne, S. (2014). Genetic analysis of drought tolerance in adapted × exotic crosses of maize inbred lines under managed stress conditions. *Euphytica*, 196, 261-270.
- Alam, S. M. (1999). Nutrient uptake by plants under stress conditions. pp. 285-313. In: Pessaraki, M. (Ed.), *Handbook of Plant and Crop Stress*, 2nd ed., Marcel Dekker Inc., New York.
- Aliabad Farahani, H. A., Lebaschi, M. H., Shiranirad, A. H., Valadabadi, S. A., Hamidi, A. & Alizade Sohrabi, A. (2007). Effect of *Glomus hoi*, different levels of phosphorus and drought stress on some physiological characteristics of coriander (*Coriandrum Sativum* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 23, 415-405.
- Ardakani, M. R., Abbas Zadeh, B., Sharifi Ashourabadi, A., Lebaschi, M. H., Moaveni, P. & Mohebbati, F. (2009). Effect of drought stress on growth indicators of lemon balm (*Melissa officinalis* L). *Scientific Research Quarterly Journal of Plant and Biosystem*, 5, 47-58. (In Farsi)
- Arif, M., Ali, K., Jan, M. T., Shah, Z., Jones, D. L. & Quilliam, R. S. (2016). Integration of biochar with animal manure and nitrogen for improving maize yields and soil properties in calcareous semi-arid

- agroecosystems. *Field Crops Research*, 195, 28-35.
- Armin, M., Rohipour, H., Hamdi, H., Saljagah, A., Mahdian., M.H. & Qurbania Khyber, V. (2015). Relationships between the stability of soil grains and some soil properties in the soils of the Taleghan watershed. *Pasture and watershed management (natural resources of Iran)*, 69, 275-295. (In Farsi)
 - Arunachalam, A. & Arunachalam, K. (2000). Influence of gap size and soil properties on microbial biomass in a subtropical humid forest of north-east India. *Plant and Soil*, 223, 185- 193.
 - Auge, R. M. (2004). Arbuscular mycorrhizae and soil/plant water relations. *Canadian Journal of Soil Science*, 84, 373-381.
 - Auge, R. M., Stodola A. J. W., Tims, J. E. & Saxton, A. M. (2001). Moisture retention properties of a mycorrhizal soil, *Plant and Soil*, 230: 87-97.
 - Bates, L.S., Waldren, R. P. & Teare, I. D. (1973) Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil*, 39, 205-207.
 - Behera, S. K. & Panda, R. K. (2009). Effect of fertilization and irrigation schedule on water and fertilizer solute transport for wheat crop in a sub-humid sub-tropical region. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 130, 141-155.
 - Bijani, B., Yadalhi De Cheshme, P., Asgharipour, M. R. & Heydari, M. (2014). Effect of mycorrhizal inoculation on some physiological characteristics and performance of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) under drought stress. *Scientific Research Journal of Crop Plants Ecophysiology*, 3, 337-352. (In Farsi)
 - Blanco-Canqui, H. & Lal, R. (2009). Corn stover removal for expanded uses reduces soil fertility and structural stability. *Soil Science Society of America Journal*. 73, 418-426.
 - Chaudhary, V., Kapoor, R. & Bhatnagar. A. K. (2008). Effectiveness of two arbuscular mycorrhizal fungi on concentrations of essential oil and artemisin in three accessions of Artemisia annual L. *Applied Soil Ecology*, 40, 174-181.
 - Daneshmand, F. M., Arvin, J. & Kalantari, K. (2009). Effect of acetylsalicylic acid (aspirin) on salt and osmotic stress tolerance in *Solanum bulbocastanum* in vitro enzymatic antioxidants. *American Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 6, 92-99.
 - Di Stasio, E., Van Oosten, M. J., Silletti, S., Raimondi, G., Dell'aversana, E., Carrillo, P. & Maggio, A. (2018). *Ascophyllum nodosum*-based algal extracts act as enhancers of growth, fruit quality, and adaptation to stress in salinized tomato plants. *Journal of Applied physiology*, 30, 2675- 2686.
 - Dorostkar, V., Efioni, M., Khoshgoftarmanesh, A., Mossadeghi, M. R. & Rejali, F. (2014). Effect of mycorrhiza arbuscular fungus on the concentration of glomalin and soil carbohydrates at different salinity levels. *Journal of Water and Soil Sciences (Agricultural Sciences and Techniques and Natural Resources)*, 19, 11-22. (In Farsi)
 - Egamberdiyeva, D. (2007). The effect of plant growth promoting bacteria on growth and nutrient uptake of maize in two different soils. *Applied Soil Ecology*, 36, 184-189.
 - Enjili, M., Esmailpour, B., Fatemi, H. & Jalilvand, P. (2019). The effect of mycorrhiza on the growth and yield of bell peppers (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Science and*

- Technology of Greenhouse Cultu*, 2, 53-39. (In Farsi)
- Eyraş, M. C., Defosse, G. E. & Dellatorre, F. (2008). Seaweed compost as an amendment for horticultural soils in Patagonia, Argentina. *Journal Compost Science and Utilization*, 16, 119-124.
 - Farhadi, A., Enayatizamir, N., Farrokhian Firouzi, A. & Howezeh, 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*). *Journal of Soil and Water Conservation*, 23, 267-280. (In Farsi)
 - Farhoudi, R., Sharifzadeh, F., Poustini, K., Makkizadeh, M. & Kochakpor, M. (2007). The effects of NaCl priming on salt tolerance in canola (*Brassica napus*) seedlings grown under saline conditions. *Seed Science and Technology*, 35, 754-759.
 - Ghonjalipour Goshki, M., Abdollahi, F., & Sadeghi Lari, A. (2021). Effect of mycorrhiza fertilizer on physiological traits and economical yield of lettuce (*Lactuca sativa* L.) under water stress conditions. *Journal of Vegetables Sciences*, 5, 157-173. (In Farsi)
 - Gardner, F. P. (2010). Physiology of crop plants. *Scientific Publishers* (India), Crops. pp. 237.
 - Gianninazzi, S., Gollette, A., Binet, M. N., Tuinen, D. & Redecke, D. (2010). Key role of arbuscular mycorrhiza in ecosystem services. *Mycorrhiza*, 20, 519-530.
 - Good, A. G. & Zaplachinski, S. T. (1994). The effects of drought on free amino acid accumulation and protein synthesis in *Brassica napus*. *Physiologia Plantarum*, 90, 9-14.
 - Haghparast, M., Maleki-Farahani, S., Sinaki, J. M. & Zarei, G. (2012). Mitigation of drought stress in chickpea through application of humic acid and seaweed extract. *Crop Production and Regulation under Environmental Stress*, 4, 59-71.
 - Hamblin, A. P. (1985). The influence of soil structure on water movement, crop root growth and water uptake. *Advances in Agronomy*, 38, 95-158.
 - Harrier, L. A. & Watson, C. A. (2004). The potential role of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi in the bioprotection of plants against soil-borne pathogens in organic and other sustainable farming systems. *Pest management science*, 60, 57-149.
 - Heidari, M. & Karami, A. V. (2013). Examine the effects of stress and strains of mycorrhiza on yield, yield components, chlorophyll and biochemical composition of sunflower. *Environmental Stress in Crop Science*, 6, 17-26.
 - Heydari, L., Bayat, H., & Hamzaei, J. (2021). Short-term effects of biofertilizer application on some physical and chemical properties of soil. *Journal of Soil and Water Conservation*, 27, 89-71. (In Farsi)
 - Hidangmayum, A. & Sharma. R. (2017). Effect of different concentrations of commercial seaweed liquid extract of *Ascophyllum nodosum* as a plant bio stimulant on growth, yield and biochemical constituents of onion (*Allium cepa* L.). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6, 658- 663.
 - Hillel, D. (1982). Introduction to soil physics. *Academic Press*, New York. 76 p.
 - Hontoria, C., Vela squez, R., Benito, M., Almorox, J. & Moliner, A. (2009). Bradford reactive soil proteins and aggregate stability under abandoned versus tilled olive groves in a semi-arid calcisol. *Soil*

- Biology and Biochemistry*, 41, 1583-1585.
- Hosseini Nejad, S. M., Masoud Sinaki, J., Biabani, A. & Abedini Esfahalani, M. (2017). Investigation of the effects of drought stress and mycorrhiza on yield and some agronomic and physiological traits of sunflower cultivars. *Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi)*, 29, 95-102. (In Farsi)
 - Hosseinzadeh, M.E., Qalavand, A., Mashhadhi, M., Bojar, A., Secondary teacher, S. A. M. & Hodesi Bidgoli, A. (2019). Effect of low irrigation, mycorrhiza and nitrogen feeding system on soil chemical characteristics, oil content and biological performance of purslane. *Iranian Crop Science*, 15, 29-48. (In Farsi)
 - Huang, B. & Fu, J. (2001). Growth and physiological responses of tall fescue to surface soil drying. *International Turfgrass Society Research Journal*, 9, 291-29.
 - Ihuoma, S. O. & Madramootoo, C. A. (2017). Recent advances in crop water stress detection. *Computers and Electronics in Agriculture*, 141, 267-275.
 - Izadi, Z., Asnaashari, M., & Ahmadvand, G. (2009). Influence of drought stress on yield, proline content, soluble sugars, chlorophyll, relative water content and essential oil in peppermint (*Mentha piperita* L.). *Iranian Journal of Horticultural Science*, 10, 223-234.
 - Kakulund, R., Fallah, S. A. & Abbasi Suraki, A. (2014). Effect of species competition on photosynthetic pigments, proline, relative content, and essential oil content of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*) and black seed (*Nigella sativa*) under drought stress conditions. *Plant Process and Function*, 6, 55-65. (In Farsi)
 - Keshavarz Afshar, R., Hashemi, M., DaCosta, M. Spargo, J. & Sadeghpour, A. (2017). Biochar application and drought stress effects on physiological characteristics of *Silybum*. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 47, 743-752.
 - Khazaei, M., Galavi, M., Dahmardeh, M., Moosavi-Nik, S. M., Zamani, Gh. & 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.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 16, 113-124. (In Farsi)
 - Klute, A. (1986). Water retention: laboratory methods. In *Methods of Soil Analysis, Part 1, 2nd edn.* Ed. A Klute. American Society of Agronomy. *Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin*, pp 635-662.
 - Koushki, A., Alinejadian-Bidabadi, A., & Maleki, A. (2021). Effects of rice husk biochar and different irrigation regimes on growth, essential oil percentage, and concentration of some nutrients in peppermint (*Mentha piperita* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 37, 733-752. (In Farsi)
 - Kramer, P.J. (1983). Water relations of plants. *Academic Press, Florida, USA*.
 - Lichtenthaler, H. K. (1987). Chlorophylls and carotenoid pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*, 148, 350-38.
 - Lutts, S., Kinet, J. M. & Bouharmont, J. (1996) NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance, *Annals of Botany*, 78, 389-398.

- Mizanzadeh, H. & Imam, Y. (2010). Investigation of indices of leaf area, height, photosynthetic rate, stomatal conductance of four species of wheat under the drought stress. *Ecophysiol, Agricultural Plants*, 2, 111-121.
- Moharramnejad, S., Sofalian, O., Valizadeh, M., Asgari, A. & Shiri, M. (2015). Proline, glycine betaine, total phenolics and pigment contents in response to osmotic stress in maize seedlings. *Journal of Bioscience and Biotechnology*, 4, 313-319.
- Nelson, D. W. & Sommers, L. E. (1996). Total carbon, organic carbon, and organic matter. *Methods of soil analysis part 3—chemical methods*, (methodsofsoilan3), 961, 1010.
- Nelson, D.W. & Sommers, L. E. (1982). Total carbon, organic carbon, and organic matter, In: Page, L.A., Miller, R.H., Kenney, D.R. (Eds.), *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Methods*, 2nd edition. *American Society of Agronomy*, Madison, WI. 539–579.
- Obia, A., Mulder, J., Martinsen, V., Cornelissen, G. & Børresen, T. (2016). In situ effects of biochar on aggregation, water retention and porosity in light-textured tropical soils. *Soil and Tillage Research*, 155, 35-44.
- Rathore, S. S., Chaudhary, D. R., Boricha, G. N., Ghosh, A., Bhatt, B. P., Zodape, S. T. & Patolia, J. S. (2009). Effect of seaweed extract on the growth, yield and nutrient uptake of soybean (*Glycine max*) under rainfed conditions. *South African Journal of Botany*, 75, 351-355.
- Rezaie, R. & Raiesi, F. (2016). Effect of superabsorbent polymers on soil microbial respiration and biomass under drought stress condition. *Journal of Soil Biology*, 3, 151-162.
- Rezaul Karim Siddiky, M. D., Kohler, J., Cosme, M. & Rillig, C. (2012). Soil biota effects on soil structure: Interactions between arbuscular mycorrhizal fungal mycelium and collembolan, *Soil Biology and Biochemistry*, 50, 33-39.
- Rezazadeh Roghani, Sh., Aminian, R., Mahakhari, S. & Asghari, B. (2018). Effects of biofertilizers on the morphophysiological traits of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) in different humidity conditions. *Horticultural Plant Nutrition Scientific Journal*, 2, 145-163. (In Farsi)
- Rillig, M. C., Mardatin, N., Fleifheit, E. F. & Antunes, P. M. (2010). Mycelium of arbuscular mycorrhizal fungi increases soil water repellency and is sufficient to maintain water-stable soil aggregates, *Soil Biology & Biochemistry*, 42, 1189-1191.
- Ritchie, S.W., Nyvgen, H. I. & Halady, A.S. (1990). Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science*, 30, 105-111.
- Romkens, M. J. M., Roth, C. B. & Nelson, D. W. (1977). Erodibility of selected clay subsoils in relation to physical and chemical properties. *Soil Science Society of American Journal*, 41, 954-960.
- Sadeghzadeh-Ahari, D., Hassandokht Kashi, A. K., Amri, A. & Alizadeh, K. H. (2010). Genetic variability of some agronomic traits in the Iranian fenugreek landraces under drought stress and non-stress conditions African. *Journal of Plant Sciences*, 4, 12-20. (In Farsi)
- Sakinejad, T. (2003). Effect of water stress on absorption of nitrogen, phosphorus, sodium, potassium in different stages of growth, according to the morphological characteristics of corn in the weather conditions of Ahvaz. Ph.D. Thesis. School of

- Agriculture. Ahvaz University. (In Farsi)
- Samai, F., Asghari, Sh. A., Ali Asgharzadeh, N. & Sarikhani, M. R. (2013). The effect of arbuscular mycorrhizal fungi on some physical properties and absorption of elements in a coarse-textured soil under tomato cultivation. *Danesh Ab and Khak Journal*, 23, 346-381. (In Farsi)
 - Sankar, B., Jaleel, C. A., Manivanna, P., Kishorekumari, A., Somasundaram, R. & Panneerselva, R. (2007). Drought-induced biochemical modifications and proline metabolism in *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench. *Acta Botanica Croatica*, 66: 43-56.
 - Sharma, L., Banerjee, M., Malik, G. C., Gopalakrishnan, V. A. K., Zodape, S. T. & Ghosh, A. (2017). Sustainable agro-technology for enhancement of rice production in the red and lateritic soils using seaweed based biostimulants. *Journal of Cleaner Production*, 149, 968-975.
 - Sheteawi, S. A., & Tawfik, K. M. (2007). Interaction effect of some biofertilizers and irrigation water regime on mungbean (*Vigna radiata*) growth and yield. *Journal of Applied Sciences Research*, 3, 251-262.
 - Shibario, S. I., Opadhyaya, M. K. & Toivonen, P. M. A. (1998) Influence of pre harvest water stress on post harvest moisture loss of carrots (*Daucus carota* L.). *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 73, 347-352.
 - Sibi, M., Khazaei, H. R. & Nezami, A. (2017). Effect of concentration, time and method of consumption of seaweed extract on some morphological features Safflower plant roots and shoots. *Journal of Plant Physiology*, 8, 238-252. (In Farsi)
 - Soares, C., Carvalho, M. E., Azevedo, R. A. & Fidalgo, F. (2018). Plants facing oxidative challenges—A little help from the antioxidant networks. *Environmental and Experimental Botany*, 161, 4-25.
 - Sridhar, S., & Rengasamy, R. (2011). Potential of seaweed liquid fertilizers (SLFS) on some agricultural crop with special reference to protein profile of seedlings. *International Journal of Development Research*, 7, 55-57.
 - Toogood, J. A. (1978). Relation of aggregate stability to properties of Alberta soils. In: *W. W. Emerson*.
 - Talebi Alengareghi, S., Ismailpour, B., Azarmi, R., Pourbiryami-Hir, Y., Salimi, G. & Ahadzadeh, M. (2021). Effect of *Ascophyllum nodosum* seaweed extract and fulvic acid on growth and physiology of two pepper ecotypes. *Journal of Vegetables Sciences*. In Press. (In Farsi)