Iranian Journal of Field Crop Science
Vol 51, No 2, Summer 2020 (29-48)
DOI: 10.22059/10.22059/ijfcs.2019.267828.654535

علوم گیاهان زراعی ایران
دورهٔ ۵۱، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۳۹۹ (ص۴۸-۲۹)

تأثیر کم‌آبیاری، مایکوریزا و سیستم تغذیه نیتروژن بر ویژگی‌های شیمیایی خاک، محتوای روغن و عملکرد بیولوژیک خرفه (*Portulaca oleracea* L.)

محمد هادی حسین زاده[۱]، امیر قلاوند*[۲]، مسعود مشهدی اکبر بوجار[۳]، سید علی محمد مدرس ثانوی[۴] و علی مختصی بیدگلی[۵]

۱و۲و۴و۵- به ترتیب دانشجوی دکتری، استاد، استاد و استادیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس تهران،

۳- دانشیار، گروه علوم سلولی مولکولی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه خوارزمی تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۸/۹ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱/۱۷)

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر تلفیقی منابع کود نیتروژن (دامی و اوره) و مایکوریزا در شرایط تنش کم‌آبی بر ویژگی‌های شیمیایی خاک و عملکرد بیولوژیک و روغن خرفه، آزمایشی در سال‌های ۱۳۹۴-۱۳۹۵ در شهر قم، به‌صورت فاکتوریل اسپلیت‌پلات و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای اصلی شامل دو سطح آبیاری (آبیاری در سطح ۵۰ و ۷۰ درصد آب قابل‌استفاده) و دو سطح مایکوریزا (با و بدون مایکوریزا) بودند. شش سطح کودی نیتروژن، تلفیقی از کود دامی (گوسفندی و مرغی) و کود شیمیایی اوره شامل (بدون کود، ۱۰۰٪ کود دامی، ۷۵٪ کود دامی و ۲۵٪ اوره، ۵۰ درصد کود دامی و ۵۰٪ اوره، ۲۵٪ کود دامی و ۷۵٪ اوره و ۱۰۰٪ اوره) به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که تنش کم‌آبی سبب کاهش هدایت الکتریکی، کلونیزاسیون قارچ مایکوریزا (۳۰/۳ و ۱۵/۳ درصد به ترتیب در سال اول و دوم)، محتوای نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم خاک و عملکرد بیولوژیک (۲۱/۳ و ۱۷/۷ درصد به ترتیب در سال اول و دوم) و افزایش محتوای روغن برگ خرفه شد. همچنین کود دامی در تلفیق با کود اوره و مایکوریزا، با تعدیل اثرات منفی تنش کم‌آبی و افزایش دسترسی عناصر غذایی سبب افزایش عملکرد بیولوژیک (۵۰٪ کود دامی و ۵۰٪ اوره) و محتوای روغن برگ خرفه (۲۵٪ کود دامی و ۷۵٪ اوره) و کاهش مصرف کود اوره شدند. تجزیه بقایای گیاه شورزیست خرفه در خاک، باعث افزایش هدایت الکتریکی و میزان پتاسیم خاک شد و با تعدیل اثرات منفی تنش کم‌آبی توانست عملکرد بیولوژیک قابل قبولی را در شرایط کمبود آب تولید نماید.

واژه‌های کلیدی: اوره، تنش کم‌آبی، درصد روغن، کود دامی، هدایت الکتریکی.

Effect of deficit irrigation, mycorrhiza and nitrogen nutrition system on some chemical properties of soil, oil content and biological yield of Purslane (*Portulaca oleracea* L.)

Mohammad Hadi Hosseinzadeh [1], Amir Galavand [1]*, Masoud Mashhadi-Akbar-Boojar[2], Seyyed Ali Mohammad Modarres-Sanavy[1] and Ali Mokhtassi-Bidgoli [1]

1. Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, 2. Cell and Molecular Biology Department, Faculty of Biological sciences, Kharazmi University

(Received:November 30, 2018 - Accepted: April 6, 2019)

ABSTRACT

To investigate the effect of integrated nitrogen fertilizers (manure and urea) resources and mycorrhiza under water deficit stress on soil chemical properties and biological yield of Purslane, an experiment was conducted in Qom during 2015-2016 growing seasons. Treatments were arranged as a factorial split plot in a randomized complete block design with three replications. A factorial combination of two levels of irrigation (Irrigation at 50% and 70% of available water) and two treatments of mycorrhizal (inoculated and non-inoculated) were assigned as the main plots. The subplots consisted of six different sole and integrated combinations of fertilizers consisting of manure (sheep and chicken) and urea fertilizer (control, without fertilizers, 100% manure, 75% manure+25% urea, 50% manure+50% urea, 25% manure + 75% urea, and 100% urea). Results showed that water deficit stress increased oil content and decreased the electrical conductivity, total nitrogen, phosphorous, potassium of soil, mycorrhiza colonization (30.3% and 15.3 %) and biological yield (21.3% and 17.7 %) of purslane in first and second year, respectively. Also, manure in combination with urea fertilizer and mycorrhiza increased the biological yield (50% Manure+50% urea) and oil content (25% Manure+75% urea) in purslane leaf and reduced the consumption of urea fertilizer by modifying the negative effects of water deficit stress and increasing the availability of nutrients. Decomposition of halophyte purslane plant residues in soil increased the electrical conductivity and potassium content of the soil. Due to the key role of potassium in fertility and osmotic regulation of soil, it could produce acceptable biological yield in water stress conditions.

* Corresponding author E-mail: ghalavaa@modares.ac.ir

Keywords: Electrical conductivity, manure, oil percent, urea, water deficit stress.

مقدمه

خشکی و کمبود مواد غذایی (ازجمله نیتروژن)، فاکتورهای اصلی محدودکننده تولیدات گیاهی در مناطق خشک و نیمه‌خشک هستند (Baghbani *et al*., 2017a; Zhang *et al*., 2018). خشکی با اثر مستقیم در تخریب غشا دستگاه فتوسنتزی و تولید رادیکال‌های آزاد، سبب تنش اکسیداتیو و کاهش عملکرد گیاهان می‌شود و به‌طور غیرمستقیم، دسترسی به عناصر غذایی در خاک را برای گیاهان کاهش می‌دهد (Baghbani *et al*., 2017b). علاوه بر این، بروز تنش خشکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر فعالیت‌های میکروبی خاک در اکوسیستم‌های خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود که از طریق محدودیت دسترسی به عناصر غذایی، فعالیت میکروبی را کاهش می‌دهد (Rezaie & Raiesi, 2016). بعضی از مطالعات نشان می‌دهند که حاصلخیزی خاک در زمان خشکی، فاکتور اصلی محدودکننده عملکرد می‌باشد؛ بنابراین دسترسی به عناصر غذایی ماکرو و میکرو، یکی از اقدامات مهمی است که سبب افزایش حاصلخیزی خاک می‌شود (Zhang *et al*., 2018) که در این میان، مصرف کود نیتروژن به دلیل دخالت در سنتز کلروفیل‌ها و تأثیر مستقیم بر دستگاه فتوسنتزی و در نهایت تولید محصول، بیش از سایر عناصر غذایی مورد نیاز است (Baghbani *et al*., 2017b). تلفیق کودهای شیمیایی (NPK) با مواد آلی، شیوه‌ای رایج و استراتژی کودی سودمند برای تولید محصولات کشاورزی پایدار در خاک‌هایی با بهره‌وری پایین است. کشاورزان برای اطمینان از دستیابی به عملکرد بالا، سالیانه مقادیر زیادی از کودهای شیمیایی را مصرف می‌کنند. با این حال، مصرف بیش از حد این نوع کودها، سبب کاهش کیفیت خاک و تولید محصول می‌شود که منجر به انواع مسائل زیست‌محیطی و اقتصادی می‌شود (Mi *et al*., 2018; Zhang *et al*., 2018). از سوی دیگر، تحقیق در مورد تغییرات خاک و شیوه‌های مدیریت مزرعه با میزان متغییر نهاده‌ها مانند کود دهی و آبیاری بر اساس اطلاعات مکانی و وضعیت شیمیایی خاک می‌تواند به محدود کردن استفاده از مواد شیمیایی و آب کشاورزی و کاهش میزان آلودگی محیط‌زیست کمک کند (Lipiec & Usowicz, 2018).

مصرف کودهای زیستی نظیر قارچ‌های مایکوریزا در یک سیستم مبتنی بر کشاورزی پایدار، ضمن حفظ سلامت محیط‌زیست، موجب افزایش پایداری عملکرد و کیفیت، به‌ویژه در تولید گیاهان دارویی می‌شود (Kapoor *et al*., 2004; Safari & Elyasi Yeganeh, 2017). بنابراین قارچ مایکوریزا در افزایش جذب مواد معدنی به‌ویژه فسفر، حتی در خاک‌هایی با فسفر کم، تأثیر مثبت دارند و به‌دلیل جذب عناصر غذایی و آب بیشتر از خاک، باعث رشد و عملکرد بهتر و افزایش کارایی مصرف آب می‌شوند و گیاه، مقاومت بیشتری در برابر تنش از خود نشان می‌دهد (Grover *et al*., 2010). نیتروژن، فسفر و پتاسیم، از مواد معدنی مورد نیاز رشد گیاهان هستند و در شرایط کمبود و تنش‌های محیطی، تأثیر مهمی در رشد و نمو گیاه و تولید متابولیت‌های ثانویه در بافت‌هایی که دچار تنش شده‌اند، دارند. کمبود نیتروژن، سبب افزایش انباشت فنل و فلاونوئیدها در گیاه خرفه می شود و افزایش مصرف نیتروژن، باعث افزایش تولید اسیدهای چرب غیراشباع می‌شود (Montoya-García *et al*., 2018). در این راستا Inanloofar *et al*. (2013) بیان داشتند که خشکی سبب کاهش ارتفاع، عملکرد بیولوژیک و دانه خرفه شد و کاربرد تلفیقی تیمار کود زیستی نیتروژن، میزان عملکرد کمی و کیفی گیاه خرفه را افزایش داد.

خرفه بانام علمی *Portulaca oleracea* L. و نام انگلیسی Purslane گیاهی یک‌ساله و چهار کربنه از خانواده Portulacaceae است که به خشکی و شوری مقاوم است و مقادیر بالایی از اسیدهای چرب امگا سه و امگا شش و ویتامین‌ها و آنتی‌اکسیدان دارد. خرفه به هر دو شرایط خشکی و شوری سازگاری یافته است که به همین دلیل، کاندیدای اصلی یک گیاه خوراکی و دارویی در مناطقی با شرایط خشکی و شوری می‌باشد (Yazici *et al*., 2007). محققین گزارش کردند که

خرفه گیاهی متحمل به درجه حرارت و تنش‌های رطوبتی بالا است که این ویژگی توسط مکانیسم‌های چندگانه مثل تولید آنتی‌اکسیدان‌ها و متابولیت‌های ثانویه، تغییر وضعیت تثبیت کربن از C_4 به CAM کنترل می‌شود و آن را مناسب کشت در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان می‌نماید (D'Andrea *et al*., 2015; Jin *et al*., 2015; Montoya-García *et al*., 2018). همچنین خرفه قادر است پس از آبیاری و برطرف شدن شرایط نامساعد، دوباره به سیستم فتوسنتزی C4 برگردد و ضمن جبران عقب‌ماندگی رشد، به رشد و نمو خود ادامه دهد (D'Andrea *et al*., 2014).

با در نظر گرفتن به اهمیت گیاهان دارویی در سلامت بشر و افزایش روزافزون کاربرد آن به‌جای داروهای شیمیایی و همچنین توجه به کمبود منابع آب، برای پرورش اصولی و افزایش عملکرد این گیاهان در راستای کشاورزی پایدار و تولید محصولات سالم، شناسایی و اهلی سازی گیاهان دارویی مقاوم به شرایط نامساعد به همراه داشتن عملکرد پایدار و معقول ضروری به نظرمی‌رسد. بنابراین در راستای حرکت به‌سوی کشاورزی پایدار و بررسی اثر توأم سطوح مختلف کودی (شیمیایی، دامی و تلفیقی) و همزیستی مایکوریزایی با اعمال تنش کم‌آبی و همچنین اثر متقابل آن‌ها بر کیفیت شیمیایی خاک و به‌دنبال آن عملکرد خرفه، این آزمایش طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش در دو سال زراعی ۹۴-۹۳ و ۹۵-۹۴ به‌صورت مزرعه‌ای و در روستای زواریان واقع در هشت کیلومتری شهر سلفچگان در استان قم با مختصات جغرافیایی ۵۰ درجه و ۲۴ دقیقه طول شرقی و ۳۴ درجه و ۲۶ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع ۱۵۰۰ متر از سطح دریا انجام شد. بر اساس آمار ایستگاه هواشناسی واقع در شهر سلفچگان، این منطقه با ۲۱۰ میلی‌متر بارندگی سالانه، دارای آب و هوایی نیمه‌خشک است و متوسط، حداکثر و حداقل درجه حرارت آن به‌ترتیب ۱۴، ۳۶/۸ و دو درجه سانتی‌گراد است. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بر اساس نمونه‌برداری صورت گرفته قبل از اجرای آزمایش، در جدول ۱ ارائه شده است. آزمایش به‌صورت فاکتوریل اسپلیت‌پلات و در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای اصلی شامل دو سطح آبیاری (I_1، بدون تنش: زمان آبیاری: مقدار آب قابل‌استفاده گیاه در سطح۷۰٪ ظرفیت زراعی مزرعه و I_2، تنش پس از استقرار گیاه: زمان آبیاری: مقدار آب قابل‌استفاده گیاه در سطح۵۰٪ ظرفیت زراعی مزرعه) و دو سطح میکوریزا (M_1: با تلقیح و M_2: بدون تلقیح با قارچ) بودند. شش سطح کودی تلفیقی از کود دامی (گوسفندی و مرغی) و کود شیمیایی اوره (۱۲۰ کیلوگرم در هکتار با ۴۶ درصد نیتروژن خالص) شامل F1: بدون استفاده از کود، F2: ۱۰۰ درصد کود دامی و بدون کود اوره، F3: ۷۵ درصد کود دامی و ۲۵ درصد کود اوره، F4:۵۰ درصد کود دامی و ۵۰ درصد کود اوره، F5: ۲۵ درصد کود دامی و ۷۵ درصد کود اوره و F6: بدون کود دامی و ۱۰۰ درصد کود اوره، به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. بذرهای خرفه از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد و عملیات کاشت در نیمه خردادماه با دست و در کرت‌هایی به طول چهار متر و عرض دو متر، با فاصله ۲۵ سانتی‌متر از یکدیگر، روی ردیف‌هایی با فاصله ۴۰ سانتی‌متر،در عمق حدود یک سانتی‌متری به‌صورت خشکه کاری، روی پشته کشت شدند.

جدول ۱- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیائی خاک محل آزمایش

Table 1- Soil chemical and physical characteristics of the experimental site

Characteristics	Soil Texture	EC ($dS.m^{-1}$)	pH	Organic Carbon (%)	Bulk Density ($g.cm^{-3}$)	Total Nitrogen (%)	K ($mg.kg^{-1}$)	Available P ($mg.kg^{-1}$)	Total P ($mg.kg^{-1}$)	PWP % by volume	FC % by volume
	Loamy	3.8	8.14	0.92	1.5	0.095	372.6	9	25	31	14

جدول ۲- خصوصیات شیمیائی کودهای دامی مورداستفاده در آزمایش

Table 2- Chemical characteristics of animal manure used in the experiment.

Manure	EC ($dS.m^{-1}$)	pH	P (%)	K (%)	N (%)	Organic Carbon (%)	Organic Matter (%)	C/N
Sheep	12.66	8.28	0.39	3.8	1.43	20.1	34.57	14
Chicken	7.88	7.02	0.69	1.3	2.08	17.6	30.2	8.46

تیمار تنش خشکی بر اساس رطوبت ظرفیت زراعی، نقطه پژمردگی دائم و میزان رطوبت خاک اعمال شد و برای تعیین میزان رطوبت خاک در عمق ۳۰ سانتی‌متری، از دستگاه بازتاب زمانی امواج (TDR) استفاده شد. برای مشخص شدن میزان آب آبیاری هر یک از کرت‌ها، از معادلات زیر استفاده شد (Mokhtassi-Bidgoli *et al*., 2013).

$$MAD = \left(\frac{FC - \theta}{FC - PWP}\right)$$ معادله ۱

که در آن، MAD: میزان حداکثر تخلیه مجاز رطوبت، FC: رطوبت حجمی خاک، θ: رطوبت حجمی خاک که توسط TDR به دست آمد، PWP: رطوبت حجمی خاک در نقطه پژمردگی دائم است.

حجم آب موردنیاز بر اساس MAD از معادلات زیر محاسبه شد.

$$ASW = FC - PWP$$ معادله ۲

$$Vd = MAD \times ASW \times Rz \times 10$$ معادله ۳

که در آن‌ها، ASW: آب قابل‌دسترس، V_d: حجم آب آبیاری برحسب میلی‌متر، R_z: عمق توسعه ریشه و ۱۰: ثابت تبدیل سانتی‌متر به میلی‌متر است. به این ترتیب و با در نظر گرفتن عمق توسعه ریشه (۳۰ سانتی‌متر)، رطوبت ظرفیت زراعی خاک و نقطه پژمردگی دائم، میزان آب آبیاری پس از تعیین، توسط کنتور اعمال شد. تیمارهای تنش کم‌آبی در مرحله رویشی، پس از استقرار کامل گیاه در زمین اصلی و تا انتهای سیکل حیاتی گیاه، بر اساس روش فوق اجرا شد.

برای اعمال تیمار قارچ میکوریزا آربسکولار از مایه تلقیح قارچ گونه *Glomus intraradices* استفاده شد. مایه تلقیح از شرکت زیست فناور توران شاهرود (با نام تجاری مایکوپرسیکا) تهیه شد که شامل مخلوطی از اسپور (۵۰ تا ۱۵۰ اسپور زنده قارچ در هر گرم خاک) و هیف و ریشه‌های گیاهان میکوریزی شده و ریسه‌های قارچ میکوریزا (۲۰ تا ۵۰ متر در هر گرم خاک) بود که به ازای هر مترمربع، حداقل ۱۰۰ گرم مایه تلقیح، همراه با کشت بذر به خاک اضافه شد. برای تعیین درصد همزیستی قارچ با ریشه خرفه، در پایان دوره رشد گیاه، از بوته‌های موجود در هر کرت نمونه‌برداری شد و با استفاده از روش فیلیپس و هایمن، ریشه‌ها رنگ‌آمیزی و برای تعیین درصد کلونیزاسیون ریشه، از روش تلاقی خطوط مشبک استفاده شد (Giovannetti & Mosse, 1980). مبنای تعیین مقدار مورد نیاز کود دامی و شیمیایی، درصد نیتروژن موجود در خاک و کود (جدول ۱ و ۲) و مقدار آزادسازی نیتروژن توسط کود گوسفندی و مرغی بود. پس از برداشت محصول در هر دو سال، نمونه خاک از کرت‌های مربوط به هرکدام از تیمارها از عمق صفرتا ۳۰ سانتی‌متری در سه تکرار تهیه شد و ویژگی‌های شیمیایی آن‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. هدایت الکتریکی محلول خاک با استفاده از روش هس (Hesse, 1971)، نیتروژن با روش کجلدال (Bremmer & Mulvancey, 1982)، فسفر قابل‌جذب با روش اولسن (Olsen & Sommers, 1982)، پتاسیم قابل‌جذب با روش فیلم فتومتری و کربن آلی به روش والکلی بلک (Nelson & Sommers, 1982) اندازه‌گیری شد. درصد روغن نمونه‌های برگی هر کرت در آزمایشگاه با روش سوکسله (Mokhtassi-Bidgoli *et al*., 2013) انجام شد. در پایان فصل رشد، نمونه برداری در سطحی معادل یک مترمربع انجام و با رعایت اثرات حاشیه ای انجام شد و عملکرد بیولوژیک محاسبه شد. تجزیه‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار

آماری SAS نسخه ۹/۲ صورت گرفت. آزمون بارتلت نشان داد که برای اکثر صفات، واریانس بین سال‌ها یکنواخت نبود و داده‌های هرسال، جداگانه آنالیز شدند. تجزیه مقایسه میانگین با استفاده از روش حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح پنج درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

هدایت الکتریکی خاک: در هر دو سال، مطالعه هدایت الکتریکی خاک، تحت تأثیر تمامی اثرات اصلی و برهمکنش دو و سه‌گانه عوامل آزمایشی قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر برهمکنش سه‌گانه بین تیمارها نشان داد که بالاترین میزان هدایت الکتریکی خاک در تیمار بدون تنش کم‌آبی با کاربرد مایکوریزا و کود نیتروژن شیمیایی (اوره) به‌تنهایی یا در تلفیق با کود دامی مشاهده گردید (جدول ۴).

همچنین نتایج این جدول نشان داد که در اکثر تیمارها در سال دوم، میزان هدایت الکتریکی روند صعودی داشته است (جدول ۴). Eshghizadeh *et al.* (2015) در بررسی اثر کم آبیاری و تنش شوری بر برخی ویژگی‌های خاک در تولید ارزن پادزهری بیان داشتند که در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک، کم‌آبی سبب کاهش معنی‌دار هدایت الکتریکی خاک در سطوح مختلف شوری شد درحالی‌که در تحقیقی دیگر نشان داده شد که در شرایط تنش کم‌آبی میزان هدایت الکتریکی خاک با کاربرد کود نیتروژن (ورمی‌کمپوست و اوره) افزایش می‌یابد و همچنین در اکثر سطوح آبیاری، اوره نسبت به کود ورمی‌کمپوست، باعث افزایش هدایت الکتریکی خاک شد (Baghbani *et al.*, 2017a). با توجه به شوری آب آبیاری (۳/۸۸ دسی زیمنس بر متر) مزرعه خرفه در هر دو سال، افزایش هدایت الکتریکی خاک با آبیاری بیشتر قابل پیش‌بینی بود. گزارش شده است که تلقیح مایکوریزا، علاوه بر افزایش معنی‌دار درصد کلونیزاسیون، سبب افزایش EC خاک، وزن خشک و جذب فسفر اندام هوایی گیاه شد و همچنین قارچ مایکوریزا با تأثیر بر حلالیت عناصر خاک و کاهش pH خاک ریزوسفر، سبب افزایش EC خاک شد (Amouzegar *et al.*, 2016). محققان نشان دادند که استفاده تلفیقی کود شیمیایی نیتروژن و کود بیولوژیک، بالاترین هدایت الکتریکی خاک را ایجاد کرد (Ebrahimpoor *et al.*, 2012). همچنین Jami *et al.* (2018) گزارش کردند که استفاده از کود دامی، سبب افزایش هدایت الکتریکی خاک شد و در پایان سال دوم آزمایش، میزان هدایت الکتریکی خاک در تیمارهای کود دامی به ۱/۰۹ دسی زیمنس بر متر افزایش یافت. سایر محققان، علت افزایش هدایت الکتریکی خاک در اثر استفاده از کود آلی و بیولوژیک را افزایش میزان کلسیم، منیزیم و پتاسیم حاصل از تجزیه کودها گزارش کردند (Kapoor *et al.*, 2004; Courtney & Mullen, 2008).علاوه بر این، نتایج حاکی از آن است که کشت خرفه باعث افزایش هدایت الکتریکی خاک شده است. با توجه به این‌که خرفه یک گیاه هالوفیت است و دارای سیستم ریشه‌ای بسیار عمیق می‌باشد، بنابراین خرفه توانایی کشت در خاک‌های شور را دارد (Rahimi *et al.*, 2011; Amirul Alam *et al.*, 2015). همچنین نشان داده‌شده است که خرفه می‌تواند مقدار زیادی از نمک‌ها را از خاک جذب نماید و در بافت‌های خود جمع کند (Kilic *et al.*, 2008) که به نظرمی‌رسد که در این تحقیق، بقایای گیاه خرفه در خاک، سبب افزایش هدایت الکتریکی خاک در شرایط بدون تنش شده است. نتایج یک تحقیق نشان داد که کاشت گیاه ارزن پادزهری (گیاه هالوفیت با سیستم ریشه‌ای عمیق) در رودشت اصفهان، سبب افزایش هدایت الکتریکی خاک شد (Eshghizadeh *et al.*, 2015). همچنین در مطالعه اثرات کشت گونه گیاهی آتریپلکس (*Atriplex canescens*) بر خصوصیات شیمیایی خاک در دو منطقه متفاوت اقلیمی داشلی برون ترشکلی و اخترآباد کرج، خلخالی و همکاران اظهار داشتند که شوری، ماده آلی، نیتروژن، فسفر و پتاسیم قابل‌جذب در خاک زیر بوته‌ها افزایش معنی‌دار داشت و این افزایش در ارتباط با تمرکز و تجمع بقایای گیاهی و بخش‌های ضایعاتی گیاهان که توانایی پدیدآوردن تغییرات معنی‌دار در خواص شیمیایی خاک را دارند، بود (Khalkhali *et al.*, 2004).

جدول ۳- آنالیز واریانس (میانگین مربعات) اثرات آبیاری و سامانه‌های کودی بر صفات خاکی و عملکرد خرفه در سال‌های ۱۳۹۴-۱۳۹۵

Table 3. Analysis of variance (mean squares) of the effects of irrigation and fertilizer systems on soil and yield traits of purslane in 2015-2016

S.0.V	df	Ec	N	OC	P	K	oil concentration	Mycorrhizal colonization	Biological yield
Year 2015									
Replication (R)	2	0.93^{ns}	0.00001^{ns}	0.06^{ns}	8.97^{ns}	298.38^{ns}	0.0003ns	0.99ns	1975008.1^{ns}
Irrigation (I)	1	40.44**	0.003**	1.13**	541.89**	141684.8**	0.68**	143.27*	58558960.2**
mycorrhiza (M)	1	7.86**	0.004**	0.46*	438.14**	16407.94**	0.005ns	4473.24**	26002914.2**
I×M	1	3.86*	0.002**	0.54*	676.99**	5112.63^{ns}	0.05**	143.27*	4173719.06^{ns}
Main Error(Ea)	6	0.56	0.00004	0.04	2.92	1010.31	0.002	10.56	1802161.87
Fertilizer (F)	5	0.95**	0.0003**	0.1**	63.21**	26951.79**	0.076**	24.63**	5074032.3 **
I×F	5	2.68**	0.001**	0.13**	110.99**	20082.54**	0.016**	18.7**	1660130.07^{ns}
M×F	5	1.05**	0.0003**	0.06**	34.35**	14161.8**	0.003*	24.63**	2666736.4 **
I×M×F	5	2.14**	0.0002**	0.07**	76.35**	2145.54^{ns}	0.016**	18.7**	92626.62 ^{ns}
(Eb)	40	0.25	0.00004	0.02	1.61	1156.22	0.001	4.23	847306.8
(%C.V)		13.05	7.34	14.22	6.83	7.24	6.15	26.1	12.17
					Year 2016				
(R)	2	0.04^{ns}	0.00001^{ns}	0.004^{ns}	1.39^{ns}	1728.11^{ns}	0.0002ns	2.21ns	227768.13^{ns}
(I)	1	8.43**	0.00663**	0.47**	5.56*	20626.88**	0.866**	28.54ns	36023623.7**
(M)	1	8.11**	0.00092**	0.1*	770.89**	128511.9**	0.006ns	4154.16**	7086338.73**
I×M	1	1.45*	0.00006^{ns}	0.07*	92.33**	20942.05**	0.005ns	28.54ns	487487.61^{ns}
(Ea)	6	0.16	0.00002	0.01	0.7	878.42	0.005	5.26	383464.06
(F)	5	3.03**	0.00084**	0.07**	189.52**	30099.57**	0.073**	11.09ns	11066918.8**
I×F	5	0.55**	0.0008**	0.05**	242.14**	1781.37*	0.02**	25.27**	215011.66^{ns}
M×F	5	1.82**	0.00064**	0.06**	201.88**	19528.66**	0.01*	11.09ns	2645657.64**
I×M×F	5	1.35**	0.00037**	0.03**	98.52**	29167.99**	0.029**	25.27**	52915.38^{ns}
(Eb)	40	0.15	0.00002	0.01	0.35	676.53	0.004	5.26	362262.1
(%C.V)	-	7.65	4.04	8.33	4.78	6.03	12.79	30.19	8.2

ns،** و*: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد

ns ,* and**:: non significant., Significant at the 0.05 and 0.01 of probability levels, respectively.

جدول ۴- اثر برهمکنش آبیاری، قارچ مایکوریزا و کود نیتروژن بر برخی خصوصیات خاک

Table 4. Interaction effects of irrigation, Mycorrhiza and N fertilizer on some soil characteristics

Treatment			Ec		N		P		Mycorrhizal colonization		Organic carbon		Oil concentration		K
			ds/m		%		mg/kg		%		%		%		mg/kg
Year			2015	2016	2015	2016	2015	2016	2015	2016	2015	2016	2015	2016	2016
I_1	M_1	F_1	5.24ab	5.14efg	0.1e	0.105bc	29.31b	17.59e	15.84cd	16.21bcd	0.91e-h	0.92e-h	0.31p	0.32ij	444.04fgh
		F_2	4.66b-f	5.41def	0.14a	0.11ab	28.49bc	21.84d	16.88cd	17.48a-d	0.75hi	1.11bc	0.36mno	0.37hij	654.47a
		F_3	3.39ikl	5.68de	0.11d	0.105bc	20.44ef	10.23h	24.82a	20.68a	0.82f-i	1.03cde	0.39lmn	0.36hij	517.3bc
		F_4	4.94a-e	7.23a	0.13b	0.12a	24.29d	15.21fg	21.60ab	13.94de	0.85f-i	1.10bc	0.43jkl	0.46fgh	447.26efg
		F_5	4.23d-j	5.36def	0.11d	0.087def	31.97a	33.33a	18.48bc	19.73ab	0.74hi	0.87f-i	0.39lmn	0.42ghi	504.16bcd
		F_6	5.71a	5.17efg	0.11d	0.106bc	27.19c	10.05h	13.89de	10.67e	1.12b-e	0.97def	0.34nop	0.37hij	387.24ijk
	M_2	F_1	5.2abc	5.66de	0.09g	0.086def	18.71fg	4.34m	0.00g	0.00f	1.19bcd	1.03cde	0.315op	0.30j	342.81l
		F_2	5.07a-d	5.42def	0.12c	0.066jk	14.88ijk	4.6lm	0.00g	0.00f	1.00d-g	1.39a	0.37mn	0.34ij	453.77efg
		F_3	3.73g-j	4.63g-j	0.12c	0.077f-i	16.06hi	5.25lm	0.00g	0.00f	1.26bc	1.06bcd	0.37mn	0.37hij	453.11efg
		F_4	5.3ab	5.11efg	0.12c	0.087def	14.52i-l	21.46d	0.00g	0.00f	1.63a	1.19b	0.41klm	0.39hij	361.33jkl
		F_5	3.57h-k	5.87cd	0.09fg	0.088de	12.81k-n	4.95lm	0.00g	0.00f	0.8f-i	1.07bcd	0.47hij	0.40hij	502.46bcd
		F_6	4.12e-j	4.97f-i	0.11d	0.077f-i	17.78gh	22.99c	0.00g	0.00f	1.32b	1.06bcd	0.50ghi	0.50efg	424.61ghi
I_2	M_1	F_1	3.41mn	4.57g-k	0.11d	0.075ghij	10.71n	6.97j	14.70d	11.44e	0.8ghi	0.82ghi	0.45ijk	0.46fgh	488.54cde
		F_2	4.29c-i	6.93ab	0.11d	0.075g-k	17.18gh	14.34g	10.86ef	16.09bcd	0.78ghi	0.98c-f	0.56f	0.54def	402.15hij
		F_3	4.01f-j	4.27jk	0.07h	0.096cd	21.2e	26.02b	19.00bc	18.58abc	1.04c-f	0.96def	0.57ef	0.59cde	498.06bcd
		F_4	3.35jkl	6.41bc	0.06i	0.075g-j	15.79hij	17.71e	10.33ef	11.55e	0.7hi	0.94d-g	0.64cd	0.67abc	335.85l
		F_5	4.51b-g	5.04e-h	0.1e	0.084efg	12.32lmn	10.39h	13.41de	15.39cd	0.79ghi	0.78hi	0.76a	0.74a	540.42b
		F_6	3.38jkl	4.37ijk	0.11d	0.084e-h	14.24i-l	5.1lm	9.37f	10.55e	0.64i	0.89fgh	0.72ab	0.73ab	462.88d-g
	M_2	F_1	3.76km	4.34ijk	0.08h	0.073ijk	13.65j-m	5.43kl	0.00g	0.00f	0.75hi	0.99c-f	0.30p	0.29j	228.39n
		F_2	3.01mn	4.1jk	0.1e	0.074h-k	31.43a	15.5f	0.00g	0.00f	0.68i	1.03cde	0.53fg	0.71ab	478.97c-f
		F_3	3.73kmn	3.97k	0.09fg	0.107b	16.02hi	8.41i	0.00g	0.00f	0.8f-i	0.75ij	0.62de	0.64bcd	420.61ghi
		F_4	3.16mn	4.95f-i	0.09ef	0.066jk	13.99i-l	6.38jk	0.00g	0.00f	0.78ghi	0.62j	0.61de	0.70ab	357.99kl
		F_5	3.93n	4.42h-k	0.08h	0.086def	11.33n	5.35lm	0.00g	0.00f	0.81f-i	0.98c-f	0.69bc	0.66abc	277.66m
		F_6	3.62g-j	4.08jk	0.09fg	0.064k	11.67mn	5.6kl	0.00g	0.00f	0.83f-i	1.08bcd	0.52fgh	0.52efg	366.7jkl

I_1 = بدون تنش کم‌آبی با آب قابل‌استفاده در سطح ۷۰٪ FC، I_2= تنش کم‌آبی با آب قابل‌استفاده در سطح ۵۰٪ FC؛ M_1 و M_2= با و بدون مایکوریزا؛ F_1= بدون کود نیتروژن ، F_2= ۱۰۰ درصد دامی، F_3= ۷۵ درصد دامی + ۲۵ درصد اوره، F_4= ۵۰ درصد دامی + ۵۰ درصد اوره، F_5= ۲۵ درصد دامی + ۷۵ درصد اوره، F_6= ۱۰۰ درصد اوره. میانگین‌های دارای حروف یکسان در هر ستون و در هر تیمار آبیاری، بر اساس آزمون LSD در سطح پنج درصد، اختلاف معنی‌دار باهم ندارند.

I_1= unstressed, irrigation at 70% of FC; I_2= deficit water stress, irrigation at 50% of FC; M_1 and M_2: inoculated and non-inoculated with the fungus; F_1, F_2, F_3, F_4, F_5 and F_6: no fertilizer nitrogen, 100% Manure, 75% Manure + 25% urea, 50% Manure + 50% urea, 25% Manure + 75% urea, 100% urea, respectively. Meanswith the same letter (s) in the same column are not significantly different at 5% of probability level using LSD Test.

با اضافه کردن بقایای گیاهی به خاک، هدایت الکتریکی خاک افزایش یافت که این موضوع می‌تواند به دلیل تجزیه بقایای گیاهی و آزادسازی عناصر غذایی در خاک باشد (Baghbani *et al*., 2017a). نتایج همبستگی بین هدایت الکتریکی با عملکرد بیولوژیک ($r_{year\ 1}$= 0.640** و $r_{year\ 2}$= 0.545**) و با درصد کلونیزاسیون مایکوریزا (*$r_{year\ 1}$= 0.283 و $r_{year\ 2}$=0.322**) نشان داد که رابطه مثبت و معنی‌دار بین آن‌ها، به دلیل تحمل بالای گیاه خرفه به شوری وبه علت تنظیم اسمزی با تولید موادی همچون پرولین (Yazici *et al*., 2007) و سیستم آنتی‌اکسیدان قوی (Yazici *et al*., 2007; Amirul Alam *et al*., 2015) وجود دارد. این افزایش هدایت الکتریکی در شرایط بدون تنش، به دلیل اضافه کردن کودهای دامی و قارچ مایکوریزا و بهبود ساختار فیزیکی و بیولوژیکی خاک، سبب افزایش عملکرد بیولوژیک خرفه شده است. در این راستا، Rahimi *et al*. (2011) در بررسی میزان تحمل گیاه خرفه به تنش شوری نشان دادند که وزن‌تر برگ و ساقه، وزن خشک برگ، تعداد برگ و شاخه فرعی در بوته، شاخص سطح برگ، سطح ویژه برگ و ارتفاع ساقه اصلی، تا سطح شوری ۱۴ دسی زیمنس بر متر، تفاوت معنی‌داری با شاهد (۰/۶ دسی زیمنس بر متر) نداشتند ولی در ۲۱ دسی زیمنس کلرید سدیم بر متر، کاهش معنی‌داری یافتند درحالی‌که وزن ویژه برگ با افزایش شوری، افزایش معنی‌داری یافت. آن‌ها نتیجه گرفتند که این گیاه تا حد زیادی به شوری مقاومت دارد و در زمین‌های شور نسبت به سایر گیاهان علوفه‌ای و دارویی که قابلیت کشت ندارند، بسیار مناسب است. همچنین گزارش شد که عملکرد خرفه در شرایط شوری متوسط (۶/۵ دسی زیمنس بر متر) کاهش نخواهد داشت (Kilic *et al*., 2008). در راستای نتایج این تحقیق، گزارش شد که با افزایش هدایت الکتریکی خاک، سه پارامتر مرتبط با مایکوریزا (تعداد اسپور، جمعیت فعال قارچ و درصد کلونیزاسیون) افزایش معنی‌داری در سطح پنج درصد نشان دادند ولی با pH خاک رابطه معنی‌داری نداشتند (Soltani Toularoud *et al*., 2014).

کربن آلی خاک: تجزیه واریانس حاکی از تأثیر معنی‌دار تمامی اثرات اصلی و اثرات دوگانه و سه‌گانه بین عوامل آزمایشی در هر دو سال آزمایش بر درصد کربن آلی خاک بود (جدول ۳). جدول ۴ نشان داد که پلات‌هایی که دارای کود تلفیقی نیتروژن (شیمیایی و دامی) و آبیاری کامل بودند، کربن آلی بیشتری در خاک به‌جا گذاشتند. همچنین با افزایش میزان کود دامی در تیمارهای تلفیقی، درصد کربن آلی خاک افزایش بیشتری یافت. نتایج حاکی از آن است که در اکثر تیمارهایی که با مایکوریزا تیمار شده بودند، با افزایش میزان کود شیمیایی، کربن آلی خاک در هر دو سال کاهش پیدا کرد (جدول ۴). کربن آلی بر دامنه وسیعی از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک تأثیرگذار است و به‌عنوان مهم‌ترین شاخص کیفیت و باروری خاک مطرح‌شده است (Arif *et al*., 2016) و با وجود این‌که وجود آن برای پایداری تولید مهم است، میزان آن در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک پایین است. (Jami *et al*., 2018). در موافقت با نتایج این تحقیق، گزارش‌شده است که کاهش رطوبت و وجود تنش در خاک، بر کربن زیست توده میکروبی خاک تأثیرگذار است. مواد اصلاحی (مواد آلی مثل کوکوپیت) با افزایش قابلیت نگهداری آب در خاک، باعث تعدیل شرایط تنش رطوبتی در خاک می‌شوند و میزان کربن زیست توده میکروبی در شرایط تنش را افزایش می‌دهند (Rezaie & Raiesi, 2016). بروز تنش خشکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر فعالیت‌های میکروبی خاک در اکوسیستم‌های خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود که فعالیت‌های میکروبی را از طریق محدود کردن دسترسی آن‌ها به عناصر غذایی و یا افزایش مرگ‌ومیر میکروب‌ها کاهش می‌دهد. در تحقیقی دیگر Arunachalam & Arunachalam (2000) در بررسی‌های خود دریافتند که با افزایش رطوبت در خاک، میزان زیست‌توده میکروبی و در نهایت میزان کربن آلی خاک افزایش می‌یابد. بیشترین مقدار کربن آلی آزمایش آن‌ها در نمونه‌های خاک دارای بالاترین مقدار رطوبت به‌دست

آمد. نتایج یک تحقیق نشان داد که کاربرد تلفیقی کودهای آلی با شیمیایی، سبب بهبود خصوصیات خاک افزایش عملکرد ذرت شد و همچنین افزودن کود دامی، با افزایش ماده آلی خاک توانست چرخه عناصر غذایی را تقویت و ظرفیت نگهداری آب را افزایش دهد (Arif *et al*., 2016). کود دامی می‌تواند ضمن تأمین عناصر غذایی گیاه در طول فصل رشد، فعالیت‌های بیولوژیک و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک را بهبود بخشد و با افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک، اثرات کمبود آب را کاهش دهد (Jami *et al*., 2018). بر اساس نتایج Gholamhoseini *et al*. (2013) مواد اصلاحی خاک (مثل کود دامی و زئولیت) به علت افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌های خاکزی، موجب فعال شدن واکنش‌های بیوشیمیایی (تجزیه ترکیبات پیچیده آلی و تبدیل آن به هوموس) شوند و به‌تبع آن کربن آلی خاک را افزایش می‌دهند.

میزان کربن آلی خاک قبل از شروع آزمایش ۰/۹۲ درصد بوده که در اکثر تیمارهای تنش خشکی کاهش‌یافت و در پایان سال دوم کشت و در شرایط بدون تنش آبی، با کاربرد کود دامی و مایکوریزاافزایش یافت و بالاترین مقدار آن در تیمار ۱۰۰ درصد کود دامی به‌دست آمد. استفاده از کود دامی در تیمار ۱۰۰ درصد کود دامی (در سال اول و دوم) و نیز وجود بقایای تجزیه نشده آن در سال اول، دلیل قابل‌انتظار در افزایش کربن آلی خاک بود. ورود کود دامی به خاک، باعث ایجاد محیط مطلوب برای فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک شد که در اثر آن، کربن آلی خاک افزایش یافت. این درحالی است که در تیمار شاهد و همچنین تیمار کود شیمیایی، به علت کاهش ورود مواد آلی و همچنین کاهش فعالیت میکروارگانیسم‌های دخیل در چرخه کربن، میزان کربن آلی خاک کاهش یا بدون تغییر ماند (Jami *et al*., 2018). نتایج نشان داده است که مصرف کود دامی، کمپوست و تلفیق مایکوریزا و کمپوست در طولانی‌مدت، میزان ماده آلی خاک را در مقایسه با تیمار ۱۰۰ درصد کود اوره، به میزان ۶۹ درصد افزایش داد (Behera & Panda, 2009).

در راستای ا نتایج این تحقیق، Yousefzadeh *et al*. (2015) نشان دادند که تیمارهای تلفیقی (کود آلی و شیمیایی) نسبت به سایر تیمارها، ازنظر درصد کربن آلی برتری داشتند. کاربرد مواد آلی در اراضی زراعی، نقش مهمی در افزایش عناصر معدنی، آلی و بهبود ساختمان خاک دارد. مواد آلی علاوه بر افزودن نیتروژن، فسفر، پتاسیم و سایر ریزمغذی‌ها به خاک، باعث بهبود ساختار خاک، تسهیل عملیات کاشت، رشد و توسعه ریشه و افزایش جذب عناصر غذایی و فعالیت میکروبی خاک می‌شوند. با توجه به یافته‌های محققین، کاربرد کود دامی، کمپوست و تلفیق مایکوریزا و کمپوست در طولانی‌مدت در مقایسه با سطح ۱۰۰٪ کود اوره، میزان ماده آلی خاک را ۶۹٪ افزایش داد (Behera & Panda, 2009). در پژوهشی دیگر، با کاربرد تا ۳۰ تن در هکتار کمپوست، میزان کربن آلی خاک با یک‌روند خطی افزایش پیدا کرد (Kapoor *et al*., 2004). در اثر فعالیت باکتری‌ها و ایجاد چرخه در فعالیت میکروبی، تجزیه ترکیبات پیچیده آلی و تبدیل آن به هوموس افزایش می‌یابد که در نهایت موجب افزایش ماده آلی در خاک می‌شود(Ebrahimpoor *et al*. 2012). در این تحقیق، کربن آلی خاک با عملکرد بیولوژیک خرفه ($r_{year\ 1}$= 0.337** و $r_{year\ 2}$= 0.287**) و میزان نیتروژن کل خاک ($r_{year\ 1}$= 0.270** و $r_{year\ 2}$= 0.307**)، ظرفیت تبادل کاتیونی ($r_{year\ 1}$= 0.580** و $r_{year\ 2}$= 0.589**) و اسیدیته خاک ($r_{year\ 1}$= 0.569** و $r_{year\ 2}$= 0.375**) در هر دو سال آزمایش و با میزان پتاسیم ($r_{year\ 1}$= 0.245**) و هدایت الکتریکی خاک ($r_{year\ 1}$= 0.604**) در سال اول، همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. بنابر نتایج تحقیق Baghbani *et al*. (2017a) ، کاربرد ورمی‌کمپوست در سال اول و دوم، به‌ترتیب سبب افزایش ۲۱/۴۶ و ۳۰/۳۰ درصدی معنی‌دار درصد کربن آلی خاک شد؛ همچنین همبستگی مثبت و معنی‌داری با درصد نیتروژن کل خاک و دانه شنبلیله، فسفر قابل‌جذب و پتاسیم قابل‌تبادل خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک و هدایت الکتریکی خاک مشاهده شد. در خصوص رابطه کربن آلی خاک با عملکرد گیاهان، این تحقیق نشان داد که خاک‌هایی با عملکرد

پایین‌تر گندم، دارای کمترین محتوای کربن آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی و اسیدیته خاک در هر دولایه سطحی و عمقی خاک بودند که این بدان معنی است که کاهش عملکرد در این مناطق، می‌تواند به‌دلیل دسترسی محدود به آب و مواد مغذی مرتبط با ظرفیت تبادل کاتیونی و محتوای کربن آلی پایین‌تر و رشد ریشه محدود به دلیل کم بودن pH خاک باشد (Lipiec & Usowicz, 2018). پس می‌توان نتیجه گرفت که کود آلی با آزاد کردن تدریجی مواد غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم در طول فصل رشد گیاه، سبب افزایش درصد نیتروژن خاک، وزن خشک کل و عملکرد می‌شود.

میزان نیتروژن خاک: در هر دو سال مطالعه، اثرات اصلی، دوگانه و سه‌گانه بین عوامل آزمایشی بر میزان نیتروژن خاک معنی‌دار شد (جدول ۳). جدول مقایسه میانگین سه‌گانه تیمارهای آزمایشی نشان داد که در سال اول، تیمار ۱۰۰ درصد کود دامی با مایکوریزا در شرایط بدون تنش آبی ($I_1M_1F_2$)، بالاترین میزان نیتروژن خاک را به خود اختصاص داد و در سال دوم، بالاترین مقدار این صفت، در تیمار ۵۰٪ کود دامی + ۵۰٪ کود شیمیایی با مایکوریزا در شرایط آبیاری کامل ($I_1M_1F_4$)، مشاهده شد. همچنین در هر دو سال، کمترین میزان نیتروژن خاک در تیمارهای دارای تنش آبی و بدون مایکوریزا یا بدون کود دامی مشاهده شد.

مکانیسم‌های جذب و انتقال مواد در خاک و گیاه مانند انتشار، جریان توده‌ای و اسمز، همگی تابعی از مقدار رطوبت در خاک و ریشه می‌باشند. در شرایط کمبود آب و کاهش رطوبت در خاک، جذب و انتقال مواد و عناصر غذایی با اختلال روبه‌رو می‌شود که این امر سبب محدودیت در فتوسنتز و در نهایت کاهش رشد و عملکرد محصول می‌شود (Izzo *et al*., 1991). به دنبال کاهش رطوبت، جذب عناصر به‌ویژه فسفر و نیتروژن در شرایط تنش کم‌آبی کاهش می‌یابد و همزیستی میکوریزی می‌تواند جذب این عناصر را در شرایط تنش افزایش دهد (Boomsma & Vyn, 2008). ازآن‌جا که تحرک عناصر غذایی در شرایط تنش خشکی کم است، مایکوریز آربوسکولار می‌تواند تأثیر زیادی روی رشد و نمو گیاه در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط آبیاری بدون تنش داشته باشد (Boomsma and Vyn , 2008).

در تحقیقی Jami *et al*. (2018) نشان دادند که نیتروژن کل خاک در تیمار کود شیمیایی، به‌دلیل جذب سریع آن توسط گیاه و یا شستشو و خارج شدن آن از دسترس گیاه، در مقایسه با کود دامی کمتر بود. در مصرف تلفیقی کود شیمیایی با کود دامی، نیتروژن با سرعت کمتری از محیط رشد ریشه گیاه خارج می‌شود و درنتیجه میزان نیتروژن کل در تیمارهای تلفیقی در مقایسه با تیمار ۱۰۰ درصد شیمیایی بیشتر بود، به‌عبارت‌دیگر با مصرف کود دامی، سرعت خروج نیتروژن کاهش می‌یابد (Gholamhoseini *et al*., 2013; Jami *et al*., 2018). در همین رابطه گزارش‌شده است که مصرف کمپوست و تلفیق کمپوست با کود شیمیایی در مقایسه با تیمار شیمیایی، میزان نیتروژن کل خاک را افزایش می‌دهد (Mengistu *et al*., 2017). در این راستا Yousefzadeh *et al*. (2015) نشان دادند که افزودن کود آلی آزوکمپوست به خاک به همراه باکتری‌های محرک رشد، نیتروژن کل خاک را افزایش داد. این پدیده به دلیل رهاسازی تدریجی نیتروژن آزوکمپوست و نقش باکتری‌ها در تثبیت مولکولی نیتروژن هوا اتفاق افتاده است. این درحالی بود که کاربرد کود شیمیایی اوره، به دلیل جذب سریع توسط گیاه و شستشو و خارج شدن از دسترس گیاه نتوانسته است نیتروژن کل خاک را در مقایسه با آزوکمپوست افزایش دهد که با نتایج این تحقیق همخوانی کامل دارد.

در تحقیقی، بیشینه غلظت نیتروژن خاک (۰/۰۹ درصد) در تیمار کاربرد ۱۵ تن در هکتار کود دامی گوسفندی مشاهده شد که با تیمار ۱۰۰ درصد کود شیمیایی و بدون کود، اختلاف معنی‌داری داشت ولی با سایر تیمارهای تلفیقی کود دامی و شیمیایی، اختلاف آماری معنی‌داری نداشت. همچنین همبستگی مثبت و معنی‌داری بین مقدار نیتروژن خاک و عملکرد دانه ذرت گزارش شد (Mahmood *et al*., 2017). در

این مطالعه نیز میزان نیتروژن خاک، همبستگی مثبت و معنی‌داری با هدایت الکتریکی (**0.340= $r_{year\ 1}$ و **0.252= $r_{year\ 2}$)، کربن آلی (**0.270= $r_{year\ 1}$ و **0.307= $r_{year\ 2}$)، پتاسیم خاک (**0.386= $r_{year\ 1}$ و **0.425= $r_{year\ 2}$) و عملکرد بیولوژیک (**0.486= $r_{year\ 1}$ و **0.436= $r_{year\ 2}$) در هر دو سال مطالعه داشت. گزارش‌شده است که درصد نیتروژن خاک با صفات تعداد و وزن خشک گره، وزن خشک برگ و عملکرد دانه شنبلیله همبستگی مثبت معنی‌داری داشت. مواد اصلاح‌کننده خاک (ورمی‌کمپوست و زئولیت)، با نگهداری آب بیشتر در خاک و بهبود ساختمان فیزیکی و بیولوژیکی خاک، سبب توسعه بیشتر ریشه در خاک و احتمالاً همزیستی بیشتر باکتری ریزوبیوم باریشه شنبلیله (با دلیل ایجاد تعداد و وزن خشک گره بیشتر درروی ریشه) شده است. این موضوع باعث تأمین و آزادسازی تدریجی نیتروژن و مواد غذایی دیگر در طول دوره رشد شنبلیله شد و در نهایت منجر به توسعه برگ و به‌تبع آن افزایش عملکرد دانه شنبلیله شده است (Baghbani *et al*., 2017a). محققان بیان داشتند تلفیق کود مایکوریزا با منبعی از نیتروژن، راندمان بهتری را از خود نشان می‌دهد (Kamaei *et al*., 2016).

کلونیزاسیون قارچ مایکوریزا: در هر دو سال آزمایش، اثر برهمکنش سه‌گانه بین عوامل آزمایشی بر میزان کلونیزاسیون قارچ معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین نشان داد که در هر دو سال آزمایش، کمترین میزان کلونیزاسیون قارچ در تیمارهایی که با تنش خشکی مواجه بودند، به‌دست آمد (جدول ۴، ۵). بر اساس جدول ، در هر دو سال، بالاترین میزان کلونیزاسیون قارچ در تیمار کود تلفیقی (۷۵ درصد کود دامی و ۲۵ درصد کود اوره) اتفاق افتاده. در راستای نتایج این تحقیق، در تحقیقی بر روی ۴۸ گونه گیاه دارویی (متعلق به نه خانواده) در همدان، همزیستی با ریشه خرفه از نوع آربوسکولار و در حدود ۳۰ درصد گزارش شد (Safari Sinegani and Elyasi Yeganeh., 2017). محققین مختلفی به کاهش میزان آلودگی قارچ مایکوریزا با ریشه گیاهان تحت تنش خشکی اشاره داشته‌اند (Al-Karaki *et al*., 1998; Habibzadeh *et al*., 2013; Soleymani and Pirzad., 2016).

جدول ۵- اثر اصلی آبیاری بر غلظت روغن برگ و عملکرد بیولوژیک خرفه

Table 5. The main effect of irrigation on purslane Leaf oil concentration and biological yield.

Treatments	Oil concentration		Biological yield		AMF colonization	
	%		kg ha^{-1}		%	
Irrigation	2015	2016	2015	2016	2015	2016
I1	0.39b	0.38b	8462.5a	7999.5a	9.29a	8.23a
I2	0.58a	0.6a	6658.8b	6584.8b	6.47b	6.97a

I_1 = بدون تنش کم‌آبی با آب قابل‌استفاده در سطح ۷۰٪ FC، I_2= تنش کم‌آبی با آب قابل‌استفاده در سطح ۵۰٪ FC. میانگین‌های دارای حروف یکسان در هر ستون و در هر تیمار آبیاری بر اساس آزمون LSD در سطح پنج درصد، اختلاف معنی‌دار باهم ندارند.

I_1= unstressed, irrigation at 70% of FC; I_2= deficit water stress, irrigation at 50% of FC. Means with the same letter (s) in the same column are not significantly different at 5% of probability level using LSD Test.

از شاخص‌های مهم فعالیت قارچ‌های مایکوریزایی، میزان کلونیزاسیون سیستم ریشه‌ای گیاه توسط این قارچ‌ها می‌باشد که تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله خصوصیات ظاهری و ساختمانی سیستم ریشه‌ای، مقدار و کیفیت ترشحات ریشه‌ای، مصرف کودهای شیمیایی فسفره و غلظت بالای عناصر سنگین قرار می‌گیرد (Al-Karaki *et al*., 1998). همچنین شده است که بالاترین درصد کلونیزاسیون ریشه مرکبات در کاربرد قارچ میکوریزا زمانی بود که گیاه تحت تنش کم‌آبی نباشد (Wu and Xia., 2006). با کاهش

رطوبت خاک، کمیت و کیفیت ترشحات ریشه‌ای تغییر می‌کند که بر روی جوانه‌زنی اسپور تأثیر می‌گذارد. همچنین کاهش رطوبت به‌طور مستقیم بر جوانه‌زنی اسپور اثرگذار است (Wu and Xia., 2006). Smith and Read. (2008) گزارش کردند که کاهش مشاهده شده در رشد اندام هوایی گیاهان در شرایط تنش رطوبتی را می‌توان در نتیجه همین کاهش کلونیزاسیون ریشه و کاهش جذب عناصر غذایی دانست. همچنین در بررسی اثر کاربرد کودهای زیستی، شیمیایی و آلی و تلفیقی آن‌ها بر درصد کلونیزاسیون سورگوم گزارش شد که کود تلفیقی مایکوریزا و کود شیمیایی NPK، بعد از تیمار بدون تلقیح قارچ (شاهد)، کمترین درصد کلونیزاسیون ریشه را داشت و بیشترین آن در تیمار تلفیقی مایکوریزا و نیتروکسین مشاهده شد (Kamaei *et al*., 2016). در تحقیقی بیلالیس و همکاران Bilalis *et al*. (2015) نشان دادند که درصد کلونیزاسیون قارچ مایکوریزا آربوسکولار در هر چهار رقم نخود در شرایط تغذیه با کود آلی نسبت به شرایط سنتی (تغذیه با کود شیمیایی)، به‌دلیل افزایش زیست‌توده میکروبی و بهبود ساختار بیولوژیکی خاک بیشتر بود.

میزان فسفر خاک: نتایج تجزیه واریانس حاکی از تأثیر معنی‌دار تمامی اثرات اصلی، دو و سه‌گانه بین عوامل آزمایشی بر میزان فسفر خاک در هر دو سال تحقیق بود (جدول ۳). در هر دو سال، بیشترین میزان فسفر خاک در تیمار تلفیقی کود دامی و شیمیایی (تیمار F_5) با مایکوریزا و بدون تنش آبی مشاهده شد (جدول ۴). همچنین در هر دو سال، استفاده از کود نیتروژن (دامی و شیمیایی)، سبب افزایش فسفر قابل دسترس خاک شد. در هر دو شرایط تیمار آبی، کاربرد مایکوریزا سبب افزایش میزان فسفر قابل‌دسترس خاک شد.

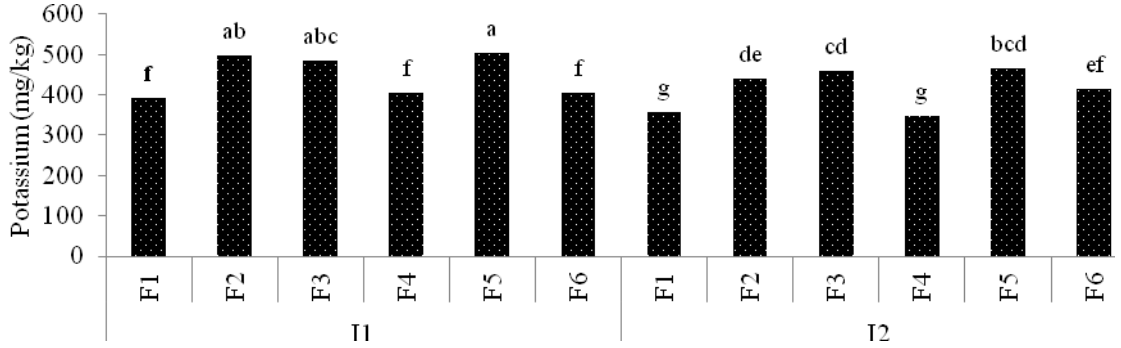
عناصر غذایی درون خاک، تحت تأثیر برخی عوامل مانند جریان توده‌ای آب، ظرفیت جذب و pH خاک قرار می‌گیرند. در میان عناصر غذایی، فسفر به‌عنوان یکی از عناصر پرمصرف، دارای نقشی اساسی و مهم در رشد گیاه است که جذب آن در شرایط کمبود آب کاهش می‌یابد و در خاک بدون شخم که با کاه و کلش محصول قبلی پوشیده شده است، فراهمی فسفر به دلیل محتوای بالاتر رطوبت، بیشتر از خاک شخم‌خورده است (Sirousmehr & Roshanzamir, 2014). گزارش‌شده است که در دو سطح صفر-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متری خاک، تنش خشکی در سطوح مختلف شوری، سبب کاهش فسفر قابل‌دسترس خاک شد (Eshghizadeh *et al*., 2015). در شرایط تنش خشکی، کاهش سرعت انتشار فسفر از خاک به سطح ریشه، نسبت به سایر عناصر غذایی بیشتر است، چراکه یون فسفات به ذرات رس چسبیده و کمتر در دسترس ریشه گیاه قرار می‌گیرد و علاوه بر این، کاهش قابلیت تحرک فسفر در خاک‌هایی با محتوای پایین آب، به دلیل تأثیر محتوای آب خاک بر واکنش‌های تجزیه‌ای و فعالیت‌های بیولوژیکی خاک است (Marschner, 1995). تنش خشکی، جذب مواد غذایی به‌وسیله ریشه‌ها و انتقال این مواد به ساقه را کاهش می‌دهد که این کاهش به دلیل محدود شدن سرعت تعرق، آسیب به انتقال فعال و کاهش قابلیت نفوذ غشایی است. جذب مواد غذایی از محلول خاک، با وضعیت آب خاک ارتباط دارد، به‌طوری‌که با کاهش رطوبت خاک، جریان انتشاری مواد غذایی از خاک به سطح ریشه‌ها کاهش می‌یابد(Arndt *et al*., 2001).

Gholami Ganjeh & Salei (2015) بیان داشتند که افزودن ورمی‌کمپوست و قارچ‌های مایکوریزا از طریق قدرت زیاد جذب آب و فراهمی مطلوب عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف، بر روی میزان فتوسنتز و تولید زیست‌توده تأثیر مثبت گذاشتند و موجب بهبود جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم در گیاه شدند. در تحقیقی، بیشترین میزان فسفر خاک از کرت‌هایی که در آن‌ها تیمار ۱۰۰ درصد کود شیمیایی (NPK) اعمال‌شده بود به‌دست آمدولی اختلاف آماری معنی‌داری بین تیماری تلفیقی کودی (شیمیایی و دامی) وجود نداشت. کود دامی در تلفیق با کود شیمایی نسبت به تیمار کود دامی یا آلی خالص مؤثرتر است (Mahmood *et al*., 2017). در تحقیقی، بیشترین میزان فسفر و نیتروژن خاک در تیمارهای تلفیقی کود

شیمیایی و آلی مشاهده دش (Arif *et al*., 2016). محققین مختلفی نشان دادند که کاربرد کود آلی (از قبیل کود آلی کمپوست شده) ممکن است حلالیت فسفر در خاک را افزایش دهد (Gholamhoseini *et al*. 2013; Mengistu *et al*., 2017). مکانیسم‌های متعددی در خصوص قابل‌دسترس شدن فسفر و جذب آن با کاربرد مواد آلی وجود دارد: ۱- استفاده از مواد ارگانیک با محتوای فسفر بالا می‌تواند میزان فسفر خاک را افزایش دهد؛ ۲- تجزیه مواد ارگانیک در خاک می‌تواند غلظت اسیدهای ارگانیک را در خاک افزایش دهد که این امر منجر به کاهش فسفر غیر قابل جذب (تثبیت شده) در خاک می‌شود و فراهمی فسفر را در خاک افزایش می دهد که از این طریق منجر به افزایش فسفر قابل‌دسترس می‌شود؛ ۳- افزایش زیست‌توده میکروبی در کرت‌های تلفیقی یا ارگانیک می‌تواند قابلیت دسترس بودن فسفر در خاک را افزایش دهد. زیست‌توده میکروبی هنگامی‌که مواد ارگانیک در خاک تجمع می‌یابند افزایش می‌یابد و منجر به آزادسازی CO_2 می‌شود که به نوبه خود باعث تشکیل اسیدکربنیک می‌شود. این اسید ضعیف نیز می‌تواند فسفر اولیه مواد معدنی را قابل حل کند و باعث افزایش فسفر قابل‌جذب شود (Gholamhoseini *et al*. 2013).

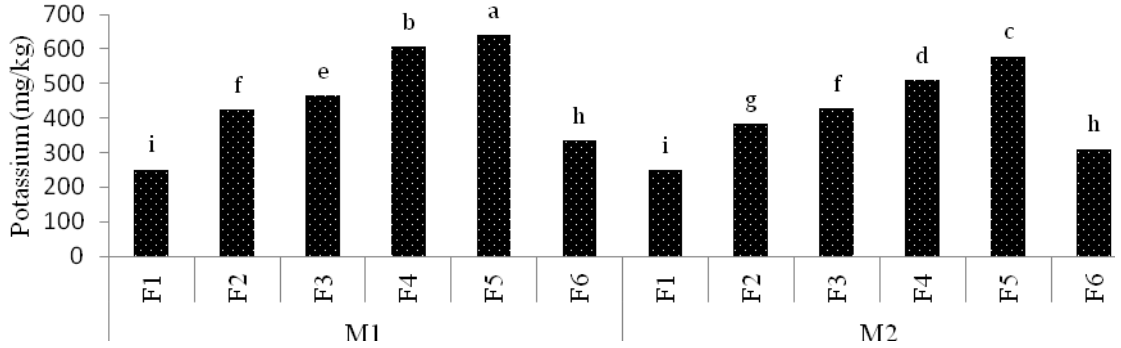
در هر دو سال آزمایش، میزان فسفر با هدایت الکتریکی ($r_{year\ 1}$ = 0.338** و $r_{year\ 2}$ = 0.345**)، عملکرد دانه ($r_{year\ 1}$ = 0.354** و $r_{year\ 2}$ = 0.324**) و میزان کلونیزاسیون قارچ مایکوریزا ($r_{year\ 1}$ = 0.414** و $r_{year\ 2}$ = 0.374**) همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت و در سال اول علاوه بر این، همبستگی آن با میزان نیتروژن ($r_{year\ 1}$ = 0.454**)، پتاسیم ($r_{year\ 1}$ = 0.596**) و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک ($r_{year\ 1}$ = 0.319**) و عملکرد بیولوژیک ($r_{year\ 1}$ = 0.448**) نیز مثبت و معنی‌دار بود. در تحقیقی Jami *et al*. (2018) گزارش کردند که تیمار ۱۰۰ درصد کود دامی، بالاترین میزان فسفر خاک را داشت که نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد کود شیمیایی (با کمترین میزان فسفر خاک)، ۲/۲ برابر فسفر بیشتری در خاک به‌جای گذاشت. افزودن کود آلی به خاک باعث تکثیر باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و باکتری‌های حل‌کننده فسفات می‌شود و با تولید انواع اسیدهای آلی توسط باکتری‌ها و کاهش موضعی اسیدیته خاک، حلالیت فسفر نامحلول بیشتر می‌شود و با آزاد شدن و افزایش نیتروژن و فسفر، رشد گیاه بهبود می‌یابد. در اثر افزایش فسفر خاک، رشد و توسعه ریشه نیز افزایش می‌یابد و باعث افزایش دسترسی و جذب پتاسیم توسط ریشه گیاه می‌شود (Courtney & Mullen, 2008). همچنین Mahmood *et al*. (2017) به ترتیب، میزان همبستگی بین عملکرد دانه ذرت با عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاک ($r = 0.53, 0.91, 0.55$) را گزارش کردند.

میزان پتاسیم خاک: در هر دو سال، تمامی اثرات اصلی و برهمکنش دو و سه‌گانه بین عوامل آزمایشی بر میزان پتاسیم خاک به‌جز اثر برهمکنش‌های دوگانه آبیاری و مایکوریزا و سه‌گانه آبیاری، مایکوریزا و کود نیتروژن در سال اول در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین برهمکنش دوگانه آبیاری و کود نیتروژن نشان داد که در سال اول، تنش خشکی سبب کاهش میزان ۷/۴ درصدی میزان پتاسیم در خاک شد به‌گونه‌ای که بیشترین میزان پتاسیم خاک از تیمار (I_1F_5) به‌دست آمد که با تیمارهای (I_1F_2 و I_1F_3) اختلاف آماری معنی‌داری نداشت (شکل ۱). بر اساس شکل ۲، در سال اول، بیشترین و کمترین میزان پتاسیم خاک به‌ترتیب مربوط به تیمارهای M_1F_5 با ۶۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و M_2F_1 با ۲۴۹/۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. همچنین در سال دوم، بیشترین و کمترین میزان پتاسیم خاک به ترتیب در تیمارهای $I_1M_1F_2$ و $I_2M_2F_1$ دیده شد (جدول ۴).



شکل ۱- اثر برهمکنش آبیاری و کود نیتروژن بر میزان پتاسیم خاک در سال ۱۳۹۴. I_1 = بدون تنش کم‌آبی با مقدار آب قابل‌استفاده گیاه در سطح ۷۰٪ ظرفیت زراعی، I_2= تنش کم‌آبی با مقدار آب قابل‌استفاده گیاه در سطح ۵۰٪ ظرفیت زراعی؛ F_1= بدون کود نیتروژن ، F_2= ۱۰۰ درصد کود دامی، F_3= ۷۵ درصد کود دامی + ۲۵ درصد کود اوره، F_4= ۵۰ درصد کود دامی + ۵۰ درصد کود اوره، F_5= ۲۵ درصد کود دامی + ۷۵ درصد کود اوره، F_6= ۱۰۰ درصد کود اوره. میانگین‌های دارای حروف یکسان در هر ستون و در هر تیمار آبیاری بر اساس آزمون LSD در سطح پنج درصد، اختلاف معنی‌دار باهم ندارند.

Figure 1. Interactions effects of irrigation and N fertilizer on the soil K content in 2015. I_1= unstressed, irrigation at 70% of FC; I_2= deficit water stress, irrigation at 50% of FC; F_1, F_2, F_3, F_4, F_5 and F_6: no fertilizer nitrogen, 100% Manure, 75% Manure + 25% urea, 50% Manure + 50% urea, 25% Manure + 75% urea, 100% urea, respectively. Means with the same letter (s) in the same column are not significantly different at 5% of probability level using LSD Test.



شکل ۲- اثر برهمکنش قارچ مایکوریزا و کود نیتروژن بر میزان پتاسیم خاک. M_1و M_2= با و بدون مایکوریزا، F_1= بدون نیتروژن، F_2= ۱۰۰ درصد دامی، F_3= ۷۵ درصد دامی + ۲۵ درصد اوره، F_4= ۵۰ درصد دامی + ۵۰ درصد اوره، F_5= ۲۵ درصد دامی + ۷۵ درصد اوره، F_6= ۱۰۰ درصد اوره. میانگین‌های دارای حروف یکسان در هر ستون و در هر تیمار آبیاری بر اساس آزمون LSD در سطح پنج درصد، اختلاف معنی‌دار باهم ندارند

Figure 2. Interactions effects of Mycorrhiza and nitrogen fertilizer on the soil K content. M_1 and M_2: inoculated and non-inoculated with the fungus; F_1, F_2, F_3, F_4, F_5 and F_6: no fertilizer nitrogen, 100% Manure, 75% Manure + 25% urea, 50% Manure + 50% urea, 25% Manure + 75% urea, 100% urea, respectively. Means with the same letter (s) in the same column are not significantly different at 5% of probability level using LSD Test.

در راستای نتایج این تحقیق گزارش شده است که در دو سطح صفر-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متری خاک، تنش آبی در سطوح مختلف شوری، سبب کاهش پتاسیم قابل دسترس خاک شد (Eshghizadeh *et al*., 2015). در میان سه مکانیسم اصلی مؤثر بر جذب عناصر در گیاهان، انتشار در جذب پتاسیم تأثیر فراوانی دارد. در تحقیقی، اثر انواع مختلف کود نیتروژن در تلفیق با زئولیت تحت شرایط کم‌آبی بر محتوای پتاسیم گیاه آفتابگردان مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در هر دو سال، کم‌آبی محتوای پتاسیم بذر را کاهش

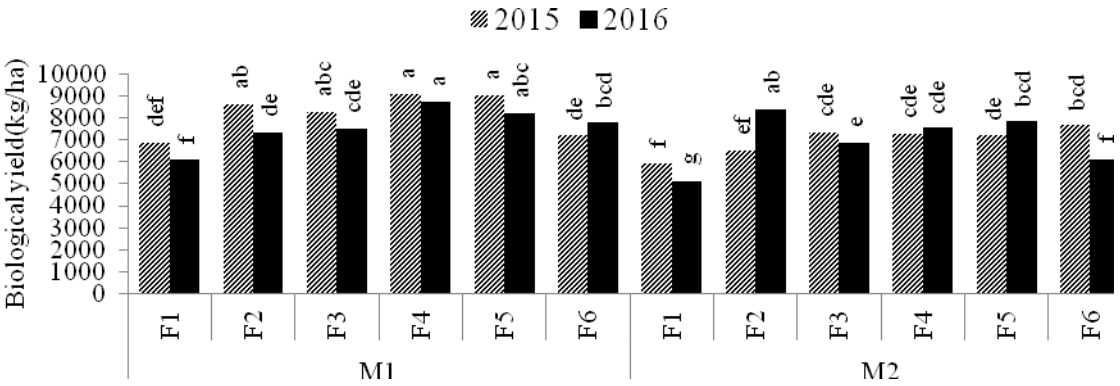
داد (Gholamhoseini *et al*., 2013). هنگامی‌که پتانسیل آب خاک کاهش یافت، ضمن کاهش کارایی انتشار، جذب پتاسیم هم کاهش می‌یابد. همچنین گزارش‌شده که بالاترین غلظت پتاسیم بذر در هر دو سال مطالعه، در تیمار تلفیقی کود آلی و اوره همراه با زئولیت مشاهده شد. آن‌ها بیان نمودند که به نظرمی‌رسد افزایش غلظت پتاسیم دانه در تیمارهای تلفیقی کود آلی و اوره با زئولیت، مربوط به قابلیت بالای دسترسی به این عنصر به دلیل کاربرد مواد آلی و زئولیت در نگهداشت آب در خاک باشد. محققین مختلفی بیان داشته‌اند که مواد آلی به‌طور مستقیم در غلظت پتاسیم خاک و جذب آن توسط گیاه دخیل می‌باشند (Gholami & Salehi, 2015; Mahmood *et al*., 2017). مصرف کود دامی ۱۰۰ درصد نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد شیمیایی، باعث افزایش ۱۷/۲ درصدی میزان پتاسیم قابل‌تبادل در خاک شد (Jami *et al*., 2018). همچنین گزارش شده است که کاربرد تیمارهای تلفیقی کود دامی و شیمیایی (NPK)، بالاترین میزان پتاسیم را در خاک به‌جا گذاشتند که سبب افزایش عملکرد دانه ذرت شد (Mahmood *et al*., 2017). بر اساس نتایج تحقیقات Yousefzadeh *et al*. (2015) بقایای مواد آلی، باعث افزایش معنی‌دار میزان پتاسیم قابل‌دسترس خاک نسبت به شاهد شد که این موضوع باعث بهبود کارکردهای مختلف گیاه می‌شود زیرا پتاسیم در پایداری اسیدیته خاک، تنظیم اسمزی، فعالیت‌های آنزیمی، فتوسنتز، سنتز پروتئین، توسعه سلولی و حرکات روزنه‌ها نقش مهمی دارد (Marschner, 1995). بدین ترتیب استفاده از مواد آلی، ضمن بهبود فعالیت‌های بیولوژیکی و میکروبی خاک، با افزایش انحلال و تحرک عناصر غذایی، دسترسی به آن‌ها را برای گیاه تسهیل می‌کند (Mengistu *et al*., 2017). همچنین محققین به افزایش غلظت پتاسیم خاک و در نتیجه در گیاه در اثر کاربرد مایکوریزا اشاره داشته‌اند. این افزایش غلظت پتاسیم، به بهبود همزیستی مایکوریزایی کمک می‌کند و موجب گسترش و نفوذ مطلوب هیف‌های قارچ به منافذ خاک و در نتیجه افزایش حجم خاک قابل‌دسترس گیاه می‌شود و به دنبال آن سبب جذب بیشتر عنصری مانند پتاسیم که در لایه‌های پایین‌تر خاک قرار دارد خواهد شد. (Azoon *et al*., 2003). افزایش پتاسیم خاک سال دوم نسبت به سال اول و قبل از کاشت (جدول ۴)، نشان‌دهنده تغییر مثبت خصوصیات خاک در نتیجه اعمال تیمارهای مناسب و کشت گیاه خرفه در منطقه می‌باشد زیرا وجود پتاسیم در خاک، باعث سهولت در انتقال آب و مواد غذایی در خاک می‌شود؛ از این رو پتاسیم می‌تواند به‌عنوان یک ماده حاصلخیز کننده خاک به‌حساب آید (Eshghizadeh *et al*., 2015).

در این تحقیق در هر دو سال مطالعه، میزان پتاسیم خاک همبستگی مثبت و معنی‌داری با میزان نیتروژن کل ($r_{year\ 1}$= 0.386** و $r_{year\ 2}$= 0.425**) و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک ($r_{year\ 1}$= 0.418** و $r_{year\ 2}$= 0.258**)، میزان کلونیزاسیون ($r_{year\ 1}$= 0.247** و $r_{year\ 2}$= 0.377**) و عملکرد بیولوژیک ($r_{year\ 1}$= 0.374** و $r_{year\ 2}$= 0.329**) خرفه داشت. پژوهش‌ها نشان دادند که بین افزایش جذب نیتروژن و پتاسیم، یک رابطه خطی وجود دارد (Yousefzadeh *et al*., 2015).

در این تحقیق نیز تیمارهایی که نیتروژن بالاتری در خاک داشتند، پتاسیم بالاتری نیز به‌جا گذاشتند (جدول ۴). با توجه به این مطلب Yousefzadeh *et al*. (2015) گزارش کردند که آزوکمپوست با تأثیر بر میزان نیتروژن خاک و افزایش فراهمی آن بر گیاه، میزان جذب پتاسیم را افزایش داده است و به‌نظرمی‌رسد کمپوست با تأثیر بر گسترش ریشه، استفاده از آب موجود در خاک و قابلیت جذب پتاسیم را افزایش داده است. Marschner (1995) بیان نمود که پتاسیم می‌تواند به‌واسطه عمل کردن به‌عنوان فعال‌کننده آنزیم‌ها، متابولیسم گیاه را تحت شرایط تنش کنترل نمایند. او بیان داشت که از وظایف دیگر عنصر پتاسیم، تسریع در انتقال فرآورده‌های فتوسنتزی از منابع به مخازن و اندام‌های در حال رشد، متابولیسم مواد فتوسنتزی و تبدیل آن‌ها به روغن می‌باشد.

عملکرد بیولوژیک: در هر دو سال آزمایش، عملکرد بیولوژیک خرفه تحت تأثیر اثرات اصلی عوامل

آزمایشی و برهمکنش دوگانه کود نیتروژن و مایکوریزا قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین نشان داد که در هر دو سال آزمایش، تنش کم‌آبی به‌ترتیب سبب کاهش ۲۱/۳۱ و ۱۷/۷ درصدی عملکرد بیولوژیک خرفه شد (جدول ۵). همچنین در هر دو سال، بیشترین عملکرد بیولوژیک به‌ترتیب در تیمار کاربرد مایکوریزا و کود تلفیقی ۵۰٪ دامی و ۵۰٪ اوره (به‌ترتیب ۹۰۶۷/۶ و ۸۷۴۰/۵ کیلوگرم در هکتار) و کمترین آن از تیمار بدون مایکوریزا و کود نیتروژن (به‌ترتیب ۵۹۰۲/۵ و ۵۰۹۴/۶ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد (شکل ۳). نتایج حاکی از آن است که در سال اول و دوم، تلقیح مایکوریزا به ترتیب سبب افزایش ۲۵ و ۱۵/۷ درصدی عملکرد بیولوژیک خرفه شد (شکل ۳). در هر دو سال، عملکرد بیولوژیک با هدایت الکتریکی ($r_{year\ 1}$= 0.640** و $r_{year\ 2}$= 0.545**)، کربن آلی ($r_{year\ 1}$= 0.337** و $r_{year\ 2}$= 0.287**)، میزان نیتروژن کل ($r_{year\ 1}$= 0.486** و $r_{year\ 2}$= 0.436**) و پتاسیم خاک ($r_{year\ 1}$= 0.374** و $r_{year\ 2}$= 0.329**)، درصد کلونیزاسیون قارچ ($r_{year\ 1}$= 0.495** و $r_{year\ 2}$= 0.427*) و عملکرد دانه ($r_{year\ 1}$= 0.568** و $r_{year\ 2}$= 0.774**)، همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت.



شکل ۳- اثر برهمکنش قارچ مایکوریزا و کود نیتروژن بر عملکرد بیولوژیک خرفه. M_1 و M_2= با و بدون مایکوریزا؛ F_1= بدون نیتروژن ، F_2= ۱۰۰ درصد دامی، F_3= ۷۵ درصد دامی + ۲۵ درصد اوره، F_4= ۵۰ درصد دامی + ۵۰ درصد اوره، F_5= ۲۵ درصد دامی + ۷۵ درصد اوره، F_6= ۱۰۰ درصد اوره. میانگین‌های دارای حروف یکسان در هر ستون و در هر تیمار آبیاری بر اساس آزمون LSD در سطح پنج درصد، اختلاف معنی‌دار باهم ندارند.

Figure 3. Interactions effects of Mycorrhiza and nitrogen fertilizer on purslane biological yield. M_1 and M_2: inoculated and non-inoculated with the fungus; F_1, F_2, F_3, F_4, F_5 and F_6: no fertilizer nitrogen, 100% Manure, 75% Manure + 25% urea, 50% Manure + 50% urea, 25% Manure + 75% urea, 100% urea, respectively. Means with the same letter (s) in the same column are not significantly different at 5% of probability level using LSD Test.

Inanloofar *et al.* (2013) نشان دادند که تیمار کودی، تنش خشکی و اثر برهمکنش آن‌ها تأثیر معنی‌داری بر وزن‌تر و خشک برگ، ساقه و کل گیاه خرفه داشتند به‌گونه‌ای که بیشترین وزن‌تر و خشک برگ، ساقه و کل خرفه از آبیاری مطلوب و تیمار کود تلفیقی زیستی نیتروکسین + اوره و کمترین میزان آن‌ها از تنش شدید و تیمار کودی شاهد حاصل شد. محققین گزارش کرده‌اند که از میان اکثر گیاهان زراعی، خرفه به دلیل راهکارهایی از قبیل تولید ترکیباتی مثل فلاونوئیدها، بتائین، پینیتول، آمینواسیدهای آزاد و اوره و آنزیم‌ها و مکانیسم‌های آنتی‌اکسیدانی و تغییر مدل فتوسنتزی از C4 به متابولیسم اسید کراسولایی (CAM)، متحمل به تنش کم‌آبی است (D'Andrea *et al.*, 2015; Jin *et al.*, 2015). تنش کم‌آبی به دلیل ایجاد تغییرات در سیستم فتوسنتزی گیاه، سبب کاهش زیست توده گیاه می‌شود (Baghbani *et al.*, 2017b) و قارچ‌های مایکوریزا به دلیل افزایش مؤثر سطح جذب ریشه از طریق ایجاد هیف، سبب افزایش جذب آب و مواد غذایی (خصوصاً فسفر و نیتروژن) به‌وسیله گیاهان

می‌شود و به این طریق، سبب افـزایش رشـد و زیسـت توده گیاهان می‌شوند (Amouzegar *et al*., 2016).

غلظت روغن برگ: اثر برهمکنش سه‌گانه بین عوامل آزمایشی بر میزان غلظت روغن برگ خرفه در هر دو سال معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین نشان داد که در هر دو سال، تنش خشکی سبب افزایش غلظت روغن برگ خرفه شد، به‌گونه‌ای که بالاترین درصد روغن برگز، ا تیمار تنش کم‌آبی با کاربرد مایکوریزا و سیستم تلفیقی کودی (۲۵٪ کود دامی + ۷۵٪ کود اوره) به‌دست آمد، به‌طوری که اعمال تنش در حضور مایکوریزا و کود تلفیقی، در سال اول و دوم آزمایش به ترتیب سبب افزایش (۹۴/۸ و ۷۶/۱ درصدی) میزان روغن برگ خرفه شد (جدول ۴). در راستای نتایج این تحقیق، میزان روغن برگ خرفه پایین و در حدود ۰/۳۷ تا ۰/۴۴ درصد گزارش‌شده است (Montoya-García *et al*., 2018). در تحقیقی روی روغن بابونه، علت افزایش درصد روغن در شرایط تنش آبی را به تولید مواد ثانویه (مثل اسانس و روغن‌ها) نسبت دادند زیرا این مواد از اکسیداسیون درونـی سـلول‌ها جلـوگیری می‌نماینـد و در شـرایط تـنش افـزایش مـی‌یابنـد (Rahmani *et al*., 2008). می‌توان گفت که سیستم تغذیه‌ای آلی (دامی و مایکوریزا) و تلفیقی، تمام عناصر ضروری گیاه در طول دوره رشد را به‌صورت کامل تأمین کرده است به‌طوری‌که در ابتدای فصل رشد، نیتروژن موجود در کود مرغی آزاد و سبب رشد رویشی بیشتر و تولید سطح سبز بیشتر شده است و در ادامه، آزادسازی نیتروژن از کود گوسفندی، سبب تداوم فتوسنتز بیشتر و رشد زایشی مناسب شده است؛ درنتیجه هم میزان عملکرد دانه و هم مقدار روغن دانه افزایش‌یافته است. در شرایط تنش آبی، خرفه برای جذب عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن و فسفر با مشکل مواجه خواهد شد که در این شرایط (محدودیت عناصر ضروری)، گیاه تولید ترکیبات پایه کربنی از قبیل بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه (مثل روغن‌ها) در بافت‌هایش را به‌عنوان پاسخی به تنش‌های غیرزنده افزایش خواهد داد و چون بخش عمده روغن از زنجیره اسیدهای چرب تشکیل‌شده است، در شرایط تنش غیرزنده (خشکی و کمبود نیتروژن)، افزایش میزان روغن، قابل‌انتظار است (Montoya-García *et al*., 2018).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که تیمارهای موردمطالعه، تأثیر معنی‌داری بر خصوصیات شیمیایی خاک داشتند و از این طریق بر میزان کلونیزاسیون و عملکرد بیولوژیک خرفه مؤثر بودند، به‌گونه‌ای که تنش خشکی با کاهش هدایت الکتریکی خاک، میزان کلونیزاسیون قارچ (۳۰/۳ و ۱۵/۳ درصد به ترتیب در سال اول و دوم) و میزان نیتروژن کل و فسفر و پتاسیم، سبب کاهش عملکرد بیولوژیک در سال اول و دوم به‌ترتیب به میزان ۲۱/۳ و ۱۷/۷ درصد و افزایش محتوای روغن برگ خرفه در سال اول و دوم به‌ترتیب به میزان ۴۸/۷ و ۵۷/۹ درصد شد. کود دامی در تلفیق با کود شیمیایی، با کاهش هدایت الکتریکی خاک و افزایش کربن آلی، میزان نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم، سبب افزایش عملکرد بیولوژیک خرفه شد. همچنین در شرایط بدون تنش و کود تلفیقی، مایکوریزا با افزایش هدایت الکتریکی خاک و میزان نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم و کلونیزاسیون قارچ، منجر به افزایش عملکرد بیولوژیک (۲۵ و ۱۵/۷ درصد به ترتیب در سال اول و دوم آزمایش) و همچنین سبب افزایش ۹۴/۸ و ۷۶/۱ درصدی میزان روغن برگ خرفه به‌ترتیب در سال اول و دوم آزمایش شد. تلفیق کود دامی و مایکوریزا، با تعدیل اثرات منفی تنش خشکی و افزایش دسترسی عناصر غذایی، سبب افزایش عملکرد بیولوژیک خرفه شد. بقایای گیاه شورزیست خرفه در خاک، افزایش هدایت الکتریکی خاک را افزایش داد اما چون میزان پتاسیم خاک نیز افزایش داد و با توجه به نقش کلیدی پتاسیم در تنظیم اسمزی در تنش‌های زیستی و غیر زیستی، ضمن حاصلخیزتر کردن خاک، توانست عملکرد بیولوژیک قابل قبولی را در شرایط خشکی تولید نماید. بنـابراین در استقرار نظام شورزیست خرفه در منـاطق مرکـزی ایران با شرایط مشابه آب و هوایی، بایستی از سازوکارهایی نظیر افزودن کود دامی و مایکوریزا به خـاک، جهت کاهش اثرات اختلال آفرین و مدیریت بهینـه خـاک بهـره

برد. در صورت مدیریت چالش‌های مربوط به خاک، با توجه بـه نیاز آبی کم و عملکرد مناسب این گیاه در مناطق خشک و شور، این گیـاه می‌تواند کاندید مناسبی برای تولید داروهای گیاهی، علوفه و سبزی در شرایط مشابه می‌باشد.

REFERENCES

1. Al-Karaki, G. N., Al-Ridded, A. & Clarck, R. B. (1998). Effects of *arbuscular mycorrhizal* fungi and drought stress on growth and nutrient uptake of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Mycorrhiza*, 7, 83-88.
2. Amirul Alam, M., Juraimi, A. S., Rafii, M.Y., Hamid, A., Aslani, F. & Alam, M. Z. (2015). Effects of salinity and salinity-induced augmented bioactive compounds in purslane (*Portulaca oleracea* L.) for possible economical use. *Food Chemistry*, 169, 439–447.
3. Amouzegar, M., Abbaspour, A., Shahsavani, S., Asghari, H. R. & Parsaeiyan, M. (2016). Effects of phosphorus fertilizers and Arbuscular Mycorrhiza fungi symbiosis with sunflower on Pb availability in a contaminated soil. *Journal of Water and Soil Science*, 19(74), 39-50. (In Persian).
4. 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.
5. Arndt, S. K., Clifford, S. C., Wanek, W., Jones, H. G. & Popp, M. (2001). Physiological and morphological adaptations of the fruit tree *Ziziphus rotundifolia* in response to progressive drought stress. *Tree Physiology*, 21, 705-715.
6. 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.
7. Azoon, R., Ambrosano, E. & Charest, C. (2003). Nutrient acquisition in mycorrhizal lettuce plants under different phosphorus and nitrogen concentration. *Plant Science*, 165(5), 1137-1145.
8. Baghbani Arani, A., Modarres-Sanavy, S. A. M., Mashhadi Akbar Boojar, M. & Mokhtassi, A. Bidgoli. (2017a). *Quantitative and qualitative assesment of (Trigonella foenum-graecum) under deficit water stress during the vegetative and reproductive stage in response to zeolite and vermicompost*. Ph.D. Thesis. Tarbiat Modares University. Tehran. Iran. 643 pp. (In Persian).
9. Baghbani Arani, A., Modarres-Sanavy, S. A. M., Mashhadi Akbar Boojar, M. & Mokhtassi, A. Bidgoli. (2017b). Towards improving the agronomic performance, chlorophyll fluorescence parameters and pigments in fenugreek using zeolite and vermicompost under deficit water stress. *Industrial Crop*, 109, 346–357.
10. 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.
11. Bilalis, D., Karkanis, A., Angelopoulou, F., Travlos, I., Antoniadis, A., Ntatsi, G., Lazaridi, E. & Savvas, D. (2015). Effect of organic and mineral fertilization on root growth and mycorrhizal colonization of Pea crops (*Pisum sativum* L.). *Bulletin UASVM Horticulture*, 72(2), 288-294.
12. Boomsma, C. R. & Vyn, T. J. (2008). Maize drought tolerance: Potential improvements through *arbuscular mycorrhizal* symbiosis. *Field Crops Research*, 108, 14–31.
13. Bremmer, J. M. & Mulvancey, C. S. (1982). Total nitrogen. In: Page, A. L., R. H. Miller and D. R. Keeney (Ed.), *Method of Soil Analysis*. Part II. Agron. Monograph 9, ASA and SSSA, Madison, WI. USA.
14. Courtney, R. G. & Mullen, G. J. (2008). Soil quality and barley growth as influenced by the land application of two compost types. *Bioresource Technology*, 99, 2913-2918.
15. D'Andrea, R. M., Triassi, A., Casas, M. I., Andreo, C. S. & Lara, M. V. (2015). Identification of genes involved in the drought adaptation and recovery in *Portulaca oleracea* by differential display. *Plant Physiology and Biochemistry*, 90, 38-49.
16. Eshghizadeh, H. R., Kafi, M., Nezami, A., Khoshgoftarmanesh, A. H. & Karami, M. (2015). The effect of low irrigation and salinity stress on the production of antidote millet on some soil chemical properties. *Journal of Water and Soil Science*, 19(73), 191-205. (In Persian).
17. Gholamhoseini, M., Ghalavand, A., Khodaei-Joghan, A., Dolatabadian, A., Zakikhani, H. & Farmanbar, E. (2013). Zeolite-amended cattle manure effects on sunflower yield, seed quality, water use efficiency and nutrient leaching. *Soil and Tillage Research*, 126, 193–202.
18. Gholami Ganjeh, S. & Salehi, A. (2015). Effects of different levels of vermicompost and biofertilizers on essential oil content and uptake of some elements in cumin (*Cuminum cyminum*

L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 31(5), 822-830. (In Persian).
19. Giovannetti, M. & Mosse, B. (1980). An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New phytologist*, 84(3), 489-500.
20. Grover, M., Ali, S. Z., Sandhya, V., Rasul, A., Venkateswarlu, B. (2010). Role of microorganisms in adaptation of agriculture crops to abiotic stresses. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 27(5), 1231‑1240.
21. Habibzadeh, Y., Pirzad, A., Zardashti, M. R., Jalilian, J. & Eini, O. (2013). Effect of *arbuscular mycorrhiza* fungi on seed and protein yield under water-deficit stress in Mung bean. *Agronomy Journal*, 105, 79-84.
22. Hesse, P. R. (1971). *A Text book of Soil Chemical Analysis*. John Murray, London, pp. 520.
23. Inanloofar, M., Omidi, H. & Pazoki, A. (2013). Agronomical changes and oil content in Purslane (*Portulaca oleracea* L.) under drought stress and biological /chemical fertilizer of nitrogen. *Journal of Medicinal Plants*, 4 (48), 170-184. (In Persian).
24. Izzo, R., Navari-Izzo, F. & Quartacci, M. F. (1991). Growth and mineral absorption in maize seedlings as affected by increasing NaCl concentrations. *Journal of Plant Nutrition*, 14(7), 687-699.
25. Jami, M. Q., Modarres-Sanavy, S. A. M., Galavand, A., Mokhtassi-Bidgoli, A., Baghbani Arani, A. & Namdari, A. (2018). Effect of manure, zeolite and irrigation on soil properties and seed yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Iranian Journal of Crop Sciences*, 20 (2), 151-167. (In Persian).
26. Jin, R., Shi, H., Han, C., Zhong, B., Wang, Q. & Chan, Z. (2015). Physiological changes of purslane (*Portulaca oleracea* L.) after progressive drought stress and rehydration. *Scientia Horticulturae*, 194, 215–221.
27. Kamaei, R., Rajari Sharifabadi, H., Parsa, M., Jahan, M. & Naerian, A. (2016). The effect of applying biological fertilizer, chemical, and manure on some of qualitative characteristics of forage sorghum under greenhouse condition. *Plant Production Technology*, 16(1), 69-80. (In Persian).
28. Kapoor, R., Giri, B. & Mukerji, K. (2004). Improved growth and essential oil yield and quality in foeniculum vulgare mill on mycorrhiza inoculation supplemented with P-fertilizer. *Bioresource Technology*, 93, 307-311.
29. Khalkhali, S. A., Godarzi, M. & Jafari, M. (2004). A study on the interchange effects between soil properties and plant characteristics of fourwing saltbush (*Atriplex canescens*) in two different climatic conditions. *Desert*, 10(2), 311-325. (In Persian).
30. Kilic¸ C. C., Kukul, Y. S. & Anac, D. (2008). Performance of purslane (*Portulaca oleracea* L.) as a salt-removing crop. *Agricultural Water Management*, 95, 854-858.
31. Lipiec, J & Usowicz, B. (2018). Spatial relationships among cereal yields and selected soil physical and chemical properties. *Science of the Total Environment*, 633, 1579-1590.
32. Mahmood, F., Khan, I., Ashraf, U., Shahzad, T., Hussain, S., Shahid, M., Abid, M. & Ullah, S. (2017). Effects of organic and inorganic manures on maize and their residual impact on soil physio-chemical properties. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 17 (1), 22-32.
33. Marschner, H. (1995). *Minirial nutration of higher plants* (2nd Ed.). Academic press. London UK.
34. Mengistu, T., Gebrekidan, H., Kibret, K. W., Oldetsadik, K., Shimelis, B. & Yadav, H. (2017). The integrated use of excreta-based vermicompost and inorganic NP fertilizer on tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit yield, quality and soil fertility. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 6, 63–77.
35. Mi, W., Sun, Y., Xia, S., Zhao, H., Mi, W., Brookes, P. C., Liu, Y. & Wu, L. (2018). Effect of inorganic fertilizers with organic amendments on soil chemical properties and rice yield in a low-productivity paddy soil. *Geoderma*, 320, 23-29.
36. Mokhtassi Bidgoli, A., Aghaalikhani, M., Nassiri-Mahallati, M., Zand, E., Gonzalez-Andujar, J. L. and Azari, A. (2013). Agronomic performance, seed quality and nitrogen uptake of *Descurainia Sophia* in response to different nitrogen rates and water regimes. *Industrial Crops and Products*, 44, 583–592.
37. Montoya-García, C. O., Volke-Hallera, V. H., Trinidad-Santosa, A. & Villanueva-Verduzco, C. (2018). Change in the contents of fatty acids and antioxidant capacity of purslane in relation to fertilization. *Scientia Horticulturae*, 234, 152–159.
38. Nelson, D. W. & Sommers, L. E. (1982). Total carbon, organic carbon and organic matter. In: Page, A. L. (Ed). *Method of Soil Analysis, Chemical and Microbiological Methods*, Part II. ASA

and SSSA, Madison, WI., USA.
39. Olsen, S. R. & Sommers, L. E. (1982). *Phosphorus*. In: Page, A. L., R. H. Miller and R. D. Keeney. Methods of Soil Analysis, Part II, ASA and SSSA, Madison, WI. USA.
40. Rahimi, Z., Kafi, M., Nezami, A. & Khozaie, H. R. (2011). Effect of salinity and silicon on some morphophysiologic characters of purslane (*Portulaca oleracea* L.). *Iranian Journal of Medical and Aromatic Plants*, 27(3), 374-359.
41. Rahmani, N., Valadabadi, S. A., Daneshian, J. & Bigdeli, M. (2008). The effects of water deficit stress and nitrogen on oil yield of *Calendula officinalis* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*. 24(1), 101-108. (In Persian)
42. Rezaie, R & Raiesi, F. (2016). Effect of superabsorbent polymers on soil microbial respiration and biomass under drought stress condition. *Journal of Soil Biology*, 3(2), 151-162. [In Persian with English Summary].
43. Safari Sinegani, A. A. & Elyasi Yeganeh M. (2017). The occurrence of *arbuscular mycorrhiza* fungi in soil and root of medicinal plants in Bu-Ali Sina garden in Hamadan, Iran. *Biological Journal of Microorganism*, 5(20), 43-59.
44. Sirousmehr, A. & Roshanzamir, F. (2014). Effect of water deficit stress and Phosphorus fertilizer on physiological traits and oil percentage of Sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). *Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi)*, 104,134-140. (In Persian).
45. Smith, S. E. & Read, D. J. (2008). Mycorrhizal Symbiosis. 3rd ed., Academic Press, London.
46. Soleymani, F. & Pirzad, A. R. (2016). The effect of mycorrhizal fungi on the oxidant enzymes activity in the medicinal herb, hyssop, under water deficit conditions. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 31(6), 1013-1023. (In Persian).
47. Soltani Toularoud, A. A., Abbaszadeh Dahaji, P., Rejali, F. & Akhgarn, A. R. (2014). Effect of soil physical and chemical properties on common bean root colonization, spore number and infection potential of *Arbuscular Mycorrhiza*. *Journal of Soil Biology*, 2(1), 65-78. (In Persian)
48. Wu, Q. S. & Xia, R. X. (2006). *Arbuscular mycorrhiza* fungi influence growth, osmotic adjustment and photosynthesis of citrus under well-watered and water stress conditions. *Journal of Plant Physiology*, 163(4), 417-425.
49. Yazici, I., Turkan, I., Sekmen, A. H., & Demiral, T. (2007). Salinity tolerance of purslane (*Portulaca oleracea* L.) is achieved by enhanced antioxidative system, lower level of lipid peroxidation and proline accumulation. *Environmental and Experimental Botany*, 61, 49–57.
50. Yousefzadeh, S., Modarres-Sanavy, S. A. M. & Baghbani- Arani, A. (2015). Effect of biofertilizers, azocompost and nitrogen on the soil properties and yield of essential oil of *Dracocephalum moldavica* L. *Journal of Agroecology*, 2(5), 37-50. (In Persian).
51. Zhang, Y., Wang, S., Wang, H., Wang, R., Wang, X. & Li, J. (2018). Crop yield and soil properties of dryland winter wheat-spring maize rotation in response to 10-year fertilization and conservation tillage practices on the Loess Plateau. *Field Crops Research*, 225, 170-179.