تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد دوازدهم، شماره سوم، پائیز ۱۳۹۸
۸۳۱-۸٤٦
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2019.1578.1356

مقاله پژوهشی

تغییرات مورفولوژیکی، زراعی، محتوی اسانس و روغن گیاه خرفه (*Portulaca oleracea* L.) تحت تأثیر خشکی، مایکوریزا و کود آلی/ شیمیایی نیتروژن

محمدهادی حسین زاده [۱]، امیر قلاوند [۲]، مسعود مشهدی اکبر بوجار [۳]، سید علی‌محمد مدرس ثانوی [۲]*، علی مختصی بیدگلی [۴]

۱. دانش‌آموخته دکتری زراعت دانشگاه تربیت مدرس
۲. استاد گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس
۳. دانشیار گروه علوم سلولی مولکولی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه خوارزمی
۴. استادیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۲/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۳/۱۹

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر تلفیقی منابع کود نیتروژن (آلی و شیمیایی) و مایکوریزا تحت تنش کم‌آبی، بر صفات مورفولوژیکی، زراعی، محتوای اسانس و روغن برگ خرفه، آزمایشی در دو سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در استان قم به‌صورت فاکتوریل اسپلیت‌پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای اصلی شامل دو سطح آبیاری (I_1 بدون تنش: مقدار آب قابل‌استفاده گیاه در سطح ۷۰٪ ظرفیت زراعی، I_2 تنش پس از استقرار گیاه: مقدار آب قابل‌استفاده گیاه در سطح ۵۰٪ ظرفیت زراعی)، دو تیمار میکوریزا (M_1 با تلقیح و M_2 بدون تلقیح با قارچ) به‌عنوان عوامل اصلی بودند. شش سطح کودی، تلفیقی از کود آلی (گوسفندی و مرغی) و کود شیمیایی اوره شامل: (F_1 بدون استفاده از کود، F2 شامل ۱۰۰ درصد کود آلی و بدون کود اوره، F3 شامل ۷۵ درصد کود آلی و ۲۵ درصد کود اوره، F4 شامل ۵۰ درصد کود آلی و ۵۰ درصد کود اوره، F5 شامل ۲۵ درصد کود آلی و ۷۵ درصد کود اوره، F6 بدون کود آلی و ۱۰۰ درصد کود اوره) به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد به ترتیب در سال اول و دوم آزمایش، تنش خشکی سبب کاهش ارتفاع (۱۳/۸ و ۱۶/۴٪)، میزان کلونیزاسیون قارچ (۳۰/۳ و ۱۵/۳٪)، میزان فسفر برگ (۵/۸ و ۷/۷٪)، عملکرد بیولوژیک (۲۱/۳ و ۱۷/۷٪) و دانه (۲۲/۵ و ۲۱/۱٪) و ظرفیت کل آنتی‌اکسیدانی برگ (۱۵/۹ و ۱۰/۵٪) خرفه گردید ولی تولید متابولیت‌های ثانویه اسانس (۶/۲ و ۵/۴٪) و روغن (۴۸/۷ و ۵۷/۹٪) در برگ خرفه افزایش یافت. کاربرد مایکوریزا به علت جذب بیشتر آب و مواد غذایی (به‌ویژه فسفر) و تعدیل اثرات منفی تنش کم‌آبی، سبب افزایش صفات موردبررسی گردید. درمجموع می‌توان گفت که بالاترین مقادیر در اکثر صفات موردبررسی در تیمار بدون تنش کم‌آبی به همراه کاربرد مایکوریزا و کود تلفیقی (دامی و شیمیایی) مشاهده شد.

***واژه‌های کلیدی*: اوره، تنش کم‌آبی، کلونیزاسیون، کود تلفیقی، متابولیت‌های ثانویه**

مقدمه

خرفه گیاهی یک‌ساله، چهار کربنه از خانواده Portulacaceae بوده که سازمان بهداشت جهانی به دلیل خواص دارویی متعدد، نام «اکسیر جهانی یا نوش‌داروی جهانی»(Global Panacea) را به آن اطلاق کرده است (Jin et al., 2015; D'Andrea et al., 2015). خرفه منبع غنی از اسیدهای چرب امگا ۳ (اسید-لینولنیک) و امگا ۶ (اسید-لینولئیک) بوده و مصرف این گیاه به دلیل فراوانی اسیدهای چرب غیراشباع به‌ویژه امگا ۳ و همچنین وجود آنتی‌اکسیدان‌ها در آن، باعث خنثی کردن رادیکال‌های آزاد و تقویت سیستم ایمنی بدن می‌گردد و درنتیجه از بیماری‌های قلبی- عروقی، جلوگیری کرده و این گیاه را به یک سبزی

* نگارنده پاسخگو: سیدعلی محمد مدرس ثانوی. پست الکترونیک: modaresa@modares.ac.ir

بسیار عالی در رژیم غذایی انسان تبدیل می‌کند (Montoya-García et al., 2018).

خرفه ازلحاظ گستردگی در سرتاسر جهان یافت می‌شود و به‌خوبی در شرایط آب و هوایی مختلف رشد می‌کند که گستردگی کشت آن در جهان این گیاه را با تنش غیرزنده ازجمله تنش کم‌آبی مواجه می‌کند (Jin et al., 2015). محققین گزارش کردند که خرفه به دلیل تحمل درجه حرارت و تنش‌های رطوبتی بالا مناسب کشت در مناطق خشک و نیمه‌خشک بوده که این ویژگی توسط مکانیسم‌های چندگانه مثل تولید آنتی‌اکسیدان‌ها، متابولیت‌های ثانویه و تغییر وضعیت تثبیت کربن از سیستم C_4 به سیستم کراسولایی (CAM) کنترل می‌شود و گیاه را قادر می‌سازد پس از آبیاری و برطرف شدن شرایط نامساعد دوباره به سیستم فتوسنتزی C_4 برگشته و علاوه بر رشد و نمو مجدد، به جبران عقب‌ماندگی رشد بپردازد (Jin et al., 2015; D'Andrea et al., 2015; Montoya-García et al., 2018).

با توجه به اثرات مخرب زیست‌محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه نهاده‌های صنعتی ازجمله کودهای شیمیایی، دائماً بر اهمیت توجه به کشاورزی پایدار به‌خصوص در تولید گیاهان دارویی افزوده می‌شود. در این راستا، استفاده از کودهای آلی و بیولوژیک به‌عنوان روش‌هایی برای نیل به‌سوی کشاورزی پایدار موردتوجه قرارگرفته‌اند (Baghbani- Arani et al., 2017b). مطالعات بلندمدت نشان می‌دهند که استفاده مداوم از کودهای شیمیایی عملکرد گیاهان زراعی را به علت افت خصوصیات مطلوب فیزیکی و شیمیایی خاک و عدم وجود ریزمغذی‌ها در این کودها کاهش می‌دهد. 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 (Gholamhoseini et al., 2013). دسترسی گیاه به نیتروژن، فسفر و پتاسیم (از منابع آلی و شیمیایی) بخصوص در شرایط کمبود و تنش‌های محیطی، تأثیر مهمی در رشد و نمو گیاه دارد و نقش اساسی در تولید متابولیت‌های ثانویه، در بافت‌هایی که دچار استرس غیرزنده شده‌اند را ایفا می‌کند و سبب تحمل گیاه به این شرایط نامساعد می‌شود؛ به‌ویژه در مورد کمبود نیتروژن در گیاه خرفه که انباشت فنل و فلاونوئیدها افزایش‌یافته و افزایش مصرف نیتروژن باعث افزایش تولید اسیدهای چرب غیراشباع می‌شود (Montoya-García et al., 2018). در این راستا اینانلوفر و همکاران (Inanloofar et al., 2013) در بررسی اثر تنش خشکی و انواع منابع کود نیتروژن بر خرفه نشان دادند که خشکی سبب کاهش ارتفاع، عملکرد بیولوژیک و دانه خرفه گردید و بیان داشتند که کاربرد تیمار تلفیقی کود زیستی نیتروژن (نیتروکسین و اوره) و کاهش مصرف کودهای شیمیایی، علاوه بر کاهش آلودگی زیست‌محیطی، میزان عملکرد کمی و کیفی گیاه خرفه را افزایش داد.

مصرف کودهای زیستی نظیر قارچ‌های میکوریزایی در یک سیستم مبتنی بر کشاورزی پایدار، ضمن حفظ سلامت محیط‌زیست، موجب افزایش کیفیت و پایداری عملکرد به‌ویژه در تولید گیاهان دارویی می‌شود (Safari Sinegani and Elyasi Yeganeh, 2017). تورک و همکاران (Turk et al., 2006) اظهار نمودند که نقش اصلی همزیستی میکوریزایی، تأمین و فراهمی فسفر تثبیت‌شده در خاک، برای گیاه است. بنابراین قارچ میکوریزایی در افزایش جذب مواد معدنی، به‌ویژه فسفر، حتی در خاک‌های با فسفر کم، تأثیر مثبت داشته و به دلیل جذب عناصر غذایی و آب بیشتر از خاک، دارای رشد و عملکرد بهتر و کارایی مصرف آب بالاتر خواهند بود و مقاومت بیشتری در برابر تنش‌های زنده و غیرزنده از خود نشان می‌دهند (Grover et al., 2010).

با عنایت 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 و باکیفیت مطلوب، شناسایی و اهلی سازی گیاهان دارویی مقاوم به شرایط نامساعد، ضمن داشتن عملکرد پایدار و معقول ضروری به نظر می‌رسد. لذا بابت بررسی اثر توأم سطوح مختلف کودی (شیمیایی، دامی، تلفیقی) و همزیستی میکوریزایی با اعمال تنش کم‌آبی و اثر متقابل آن‌ها در تحمل به تنش کم‌آبی و همچنین اثرات آن‌ها روی صفات کمی و ترکیبات گیاه دارویی خرفه این آزمایش طراحی گردید.

مواد و روش‌ها

آزمایش در دو سال زراعی ۹۴-۹۳ و ۹۵-۹۴ به‌صورت مزرعه‌ای و در روستایی به نام زواریان واقع در ۸ 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

هواشناسی نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی واقع در شهر سلفچگان، این منطقه با ۲۱۰ میلی‌متر بارندگی سالانه دارای آب و هوایی نیمه‌خشک بوده و متوسط درجه حرارت سالیانه آن ۱۴/۸ درجه سانتی‌گراد و حداکثر درجه حرارت ۳۶ و حداقل ۲ درجه سانتی‌گراد است. قبل از انجام آزمایش به‌منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک نمونه‌برداری صورت گرفت که در جدول ۱ ارائه‌شده است. آزمایش به‌صورت فاکتوریل اسپلیت‌پلات 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 سطح ۷۰٪ ظرفیت زراعی مزرعه، I_2 تنش پس از استقرار گیاه: زمان آبیاری: مقدار آب قابل‌استفاده گیاه در سطح ۵۰٪ ظرفیت زراعی مزرعه) و دو تیمار میکوریزا (M_1 با تلقیح و M_2 بدون تلقیح با قارچ) به‌عنوان عوامل اصلی در نظر گرفته شد. شش سطح کودی، تلفیقی از کود آلی (گوسفندی و مرغی) و کود شیمیایی اوره (۱۲۰ کیلوگرم در هکتار با ۴۶ درصد نیتروژن خالص) شامل: (F_1 بدون استفاده از کود، F2 شامل ۱۰۰ درصد کود آلی و بدون کود اوره، F3 شامل ۷۵ درصد کود آلی و ۲۵ درصد کود اوره، F4 شامل ۵۰ درصد کود آلی و ۵۰ درصد کود اوره، F5 شامل ۲۵ درصد کود آلی و ۷۵ درصد کود اوره، F6 بدون کود آلی و ۱۰۰ درصد کود اوره) به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. عملیات کاشت در نیمه خردادماه با دست و به‌صورت ردیفی در کرت‌هایی به طول ۴ متر و عرض ۲ متر صورت پذیرفت. بذرها روی خطوطی به فاصله ۴۰ سانتی‌متر و فاصله روی خطوط ۲۵ سانتی‌متر و همچنین عمق ۱- ۲ سانتی‌متر کشت شد. قبل از کشت برای تعدیل اسیدیته خاک و طبق آزمایش خاک، به میزان ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کود گوگرد گرانوله استفاده شد.

تیمار تنش خشکی بر اساس رطوبت ظرفیت زراعی، نقطه پژمردگی دائم و میزان رطوبت خاک و همچنین 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 فرمول‌های (۱) و (۲) استفاده شد (Mokhtassi-Bidgoli et al., 2012)

$$MAD = \frac{1}{n}\sum_{1}^{n}\left(\frac{FC_i - \theta i}{FCi - PWPi}\right) \qquad [۱]$$

که در آن MAD: میزان حداکثر تخلیه مجاز رطوبت، N: تعداد لایه‌ی مورداستفاده برای نمونه رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه، FC_i: رطوبت حجمی خاک در رطوبت ظرفیت زراعی در لایه iام، θi: رطوبت حجمی خاک در لایه iام که توسط TDR به دست آمد، PWP_i رطوبت حجمی خاک در نقطه پژمردگی دائم در لایه iام. حجم آب موردنیاز بر اساس MAD از دو معادله زیر محاسبه شد:

$$ASW = FC_i - PWPi \qquad [۲]$$

$$Vd = MAD \times ASW \times Rz \times 10 \qquad [۳]$$

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

برای اعمال تیمار قارچ میکوریزا آربسکولار از مایه تلقیح قارچ گونه *Glomus intraradices* استفاده گردید. مایه تلقیح ز شرکت زیست فناور توران شاهرود (بانام 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) است که به ازای هر مترمربع، حداقل ۱۰۰ گرم مایه تلقیح، همراه با کشت بذر به خاک اضافه شد. کشت بذر به‌صورت ردیفی و روی پشته انجام شد.

برای تعیین درصد همزیستی قارچ باریشه خرفه، نخست از بوته‌های موجود در هر کرت نمونه‌برداری به عمل آمد و با استفاده از روش فیلیپس و هایمن ریشه‌ها رنگ‌آمیزی و برای تعیین درصد کلونیزاسیون ریشه، از روش تلاقی خطوط مشبک استفاده شد. (Giovannetti and Mosse, 1980; Philips and Hayman. 1970). بر اساس این روش پس از قرار دادن نمونه‌های ریشه‌تر در محلول ۱۰ درصد KOH و آبکشی آن‌ها با HCL یک نرمال، ریشه‌های سفید شده به مدت ۳۰ دقیقه در محلول رنگی تریپن بلو قرار گرفت و سپس شستشو شد. ریشه‌های رنگ‌آمیزی شده در سطح پتری‌دیش‌هایی با شبکه مربع، پخش گردید و زیر بینوکولار موردبررسی قرار گرفتند و تعداد دفعات برخورد ریشه‌ها با خطوط افقی و خطوط عمودی شمارش شدند. ریشه‌های آلوده (ریشه‌های حاوی ساختمان‌های قارچی) و غیر آلوده که با

خطوط عمودی و افقی صفحه شطرنجی تقاطعی را ایجاد کرده بودند، هرکدام به‌طور جداگانه شمارش شد و از تقسیم مجموع ریشه‌های آلوده به مجموع ریشه‌های غیر آلوده، ضربدر ۱۰۰ درصد کلونیزاسیون ریشه تعیین گردید.

مبنای تعیین مقدار موردنیاز کود دامی و شیمیایی درصد نیتروژن موجود در خاک و کود (جداول ۱ و ۲) و مقدار آزادسازی نیتروژن توسط کود گوسفندی (۳۵٪) و مرغی (۵۰٪) بوده و مقدار کود نیتروژن برای خرفه برابر با ۹۰ کیلوگرم در هکتار است (Fernandez-Martinez et al., 1990). درصد روغن نمونه‌های حاصل از برگ‌های کامل هر کرت در آزمایشگاه با روش سوکسله (Mokhtassi-Bidgoli et al., 2013) انجام شد.

جدول ۱. نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیائی خاک محل آزمایش

Table 1. Chemical and physical characteristics of the soil of the experimental.

بافت خاک **Soil Texture**	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر) **EC** ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته خاک **pH**	مواد آلی (درصد) **Organic Matter** (%)	وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب) **Bulk Density** ($g.cm^{-3}$)	نیتروژن کل (درصد) **Total Nitrogen** (%)
لومی Loamy	3.8	8.14	1.59	1.5	0.095

جدول ۱. ادامه **Table 1. Continued**

پتاسیم قابل‌جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم) **K** ($mg.kg^{-1}$)	فسفر قابل‌جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم) **P** ($mg.kg^{-1}$)	فسفر کل (میلی‌گرم بر کیلوگرم) **P** ($mg.kg^{-1}$)	رطوبت در ظرفیت زراعی (درصد حجمی) **PWP** (% by volume)	رطوبت در نقطه پژمردگی دائم (درصد حجمی) **FC** (% by volume)
372.6	9	25	31	14

جدول ۲. خصوصیات شیمیائی کودهای دامی مورداستفاده در آزمایش.

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

نوع کود **Manure**		نسبت شوری (۱:۱۰) **EC** (دسی زیمنس بر سانتی‌متر $dS.m^{-1}$)	اسیدیته **pH**	فسفر قابل‌جذب **P**	پتاسیم قابل‌جذب **K**	نیتروژن کل **N**	کربن آلی **Organic Carbon**	ماده آلی **Organic Matter**	نسبت کربن به نیتروژن **C/N**
				---------- درصد (%) ----------					
Sheep	گوسفندی	12.66	8.28	0.39	3.8	1.43	20.1	34.57	14
Chicken	مرغی	7.88	7.02	0.69	1.3	2.08	17.6	30.2	8.46

ارزیابی فعالیت کل آنتی‌اکسیدانی برگ به روش دی فنیل پیکریل هیدرازیل (DPPH) (Re et al., 1999; Von Gadow et al., 1997) انجام شد. بدین منظور از محلول‌های رادیکال آزاد $ABTS^{+}$ برای ارزیابی توان کل آنتی‌اکسیدانی استفاده شد. به هر ۳ میلی‌لیتر از این محلول ۳۰ میکرو لیتر عصاره بافت گیاه اضافه شد و در حرارت آزمایشگاه به مدت ۶ دقیقه نگهداری و در پایان نسبت به شاهد، بررسی شد. از محلول ترولوکس برای منحنی استاندارد برای حذف رادیکال‌های $ABTS^{+}$ استفاده گردید. سپس فعالیت کل آنتی‌اکسیدانی هرکدام از نمونه‌ها برحسب میکرومول ترولوکس بر گرم وزن خشک بافتی که عصاره آن تهیه شد، ارزیابی گردید.

استخراج اسانس با روش تقطیر با آب و با استفاده از دستگاه کلونجر انجام شد. برای اسانس‌گیری از ۱۰ گرم برگ خشک‌شده گیاه در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر استفاده شد. مدت‌زمان تقطیر در نقطه‌جوش حدود دو ساعت به طول انجامید. فاز روغنی جداسازی شد و توسط سولفات سدیم خشک گردید و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری و

توسط دستگاه کروماتوگرافی گازی آنالیز شد. (Telci et al., 2011). تمامی تجزیه‌های آماری صورت گرفته با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۲ انجام پذیرفت. آزمون بارتلت نشان داد که برای اکثر صفات واریانس بین سال‌ها یکنواخت نبود و داده‌های هرسال جداگانه آنالیز شدند.

نتایج و بحث

ارتفاع

تجزیه واریانس نشان داد که در هر دو سال آزمایش، اثر برهمکنش سه‌گانه تیمارها بر ارتفاع خرفه در سطح یک درصد معنی‌دار بود. در هر دو سال، تنش خشکی سبب کاهش ارتفاع گیاه خرفه گردید، به‌گونه‌ای که بیشترین ارتفاع گیاه در تیمارهای بدون تنش خشکی با و بدون مایکوریزا و در تیمارهای تلفیقی کود آلی و شیمیایی مشاهده گردید و همچنین کمترین ارتفاع گیاه در تیمارهای تنش خشکی با و بدون مایکوریزا و بدون کود نیتروژن حاصل شد (جدول ۴). در تحقیقی اینانلوفر و همکاران (Inanloofar et al., 2013) نشان دادند که بیشترین ارتفاع بوته خرفه در آبیاری مطلوب با تیمار کود تلفیقی (نیتروکسین و اوره) و کمترین آن در تیمار تنش کم‌آبی و بدون کود نیتروژن حاصل گردید. تنش کم‌آبی به‌وسیله کاهش محتوای آب، فشار تورگر و ظرفیت کل آب گیاه و پژمردگی و بسته شدن روزنه‌ها، سبب کاهش بزرگ شدن سلولی، رشد و عملکرد گیاهان می‌گردد و همچنین کیفیت و کمیت رشد گیاهی بستگی به تقسیم، بزرگ شدن و تمایز سلولی دارد که متأثر از تنش آبی است (Manivannan et al., 2007). ارتفاع بوته شاخصی از رشد رویشی محسوب می‌شود و با توجه به این واقعیت که نیتروژن از عناصر اساسی برای رشد رویشی است، دسترسی به نیتروژن بیشتر، افزایش جذب و فتوسنتز بیشتر توسط گیاه از دلایل احتمالی افزایش ارتفاع در تیمارهای تلفیقی کود نیتروژن است (Gholamhoseini et al., 2013).

کلونیزاسیون قارچ مایکوریزا

در هر دو سال آزمایش، اثر برهمکنش سه‌گانه بین تیمارهای آبیاری، مایکوریزا و سیستم کودی بر میزان کلونیزاسیون قارچ معنی‌دار گردید. مقایسه میانگین نشان داد که در هر دو سال آزمایش، کمترین میزان کلونیزاسیون قارچ در تیمارهایی که با تنش خشکی مواجه بودند، حاصل شد (جدول ۴). همچنین نتایج جدول (۴) حاکی از این است که در هر دو سال، بالاترین میزان کلونیزاسیون قارچ در تیمار کود تلفیقی (۷۵ درصد کود آلی و ۲۵ درصد کود اوره) اتفاق افتاده است. در موافقت با نتایج این تحقیق، در تحقیقی بر روی ۴۸ گونه گیاه دارویی (متعلق به ۹ خانواده) در همدان، همزیستی باریشه 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 باریشه گیاهان تحت تنش خشکی اشاره داشته‌اند (Soleymani and Pirzad, 2016; Habibzadeh et al., 2013; Al-Karaki et al., 1998). از شاخص‌های مهم فعالیت قارچ‌های میکوریزایی، میزان کلونیزاسیون سیستم ریشه‌ای گیاه توسط این قارچ‌ها است که به‌وسیله عوامل مختلفی ازجمله خصوصیات ظاهری و ساختمانی سیستم ریشه‌ای، مقدار و کیفیت ترشحات ریشه‌ای، مصرف کودهای شیمیایی فسفره و غلظت بالای عناصر سنگین تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Al-Karaki et al., 1998). همچنین گزارش کردند 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. کاهش رطوبت همچنین به‌طور مستقیم بر جوانه‌زنی اسپور تأثیر می‌گذارد (Wu and Xia, 2006). اسمیت و رید (Smith and Read, 2008)، گزارش کردند که کاهش مشاهده‌شده در رشد اندام هوایی گیاهان در شرایط تنش رطوبتی را می‌توان درنتیجه همین کاهش کلونیزاسیون ریشه و کاهش جذب عناصر غذایی دانست. کاربرد تلفیقی منابع تغذیه‌ای از طریق بهبود فراهمی مواد غذایی برای رشد و نمو گیاه در تمامی مراحل رشدی و بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، باعث افزایش شاخص‌های رشدی گیاه می‌شود و علاوه بر رشد مطلوب اندام فوقانی گیاه، سبب افزایش طول مؤثر ریشه می‌شود (Azeez et al., 2010)؛ بنابراین به دلیل افزایش طول و سطح ریشه گیاه، قارچ مایکوریزا با سطح بیشتری از ریشه گیاه در تماس بوده و همزیستی برقرار می‌نماید که درنتیجه، شرایط افزایش درصد کلونیزاسیون فراهم می‌گردد و گیاه می‌تواند از اثرات مثبت هم‌زیستی در جذب بهتر عناصر بهره‌مند شود (Ghasemi at al., 2014). 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 و بیشترین آن در تیمار تلفیقی مایکوریزا و نیتروکسین مشاهده گردید (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) به دلیل افزایش فراهمی مواد غذایی، افزایش بیوماس میکروبی و بهبود ساختار بیولوژیکی خاک بیشتر بود.

میزان فسفر برگ

تجزیه واریانس نشان داد که میزان فسفر در برگ خرفه تحت تأثیر تمامی اثرات اصلی تیمارها و اثرات برهمکنش دوگانه آن‌ها به‌جز اثر برهمکنش آبیاری و مایکوریزا در هر دو سال و برهمکنش مایکوریزا و کود در سال اول قرار گرفت. نتایج جدول (۵) حاکی از این است که در هر دو سال به‌این‌ترتیب بیشترین و کمترین میزان فسفر برگ در تیمارهای بدون تنش

جدول ۳. آنالیز واریانس میانگین مربعات اثرات رژیم‌های آبیاری و سامانه‌های کودی بر صفات فیزیولوژیک و عملکرد خرفه در سال‌های ۱۳۹۵-۱۳۹۴

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

S.0.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	کلونیزاسیون قارچ میکوریزا Mycorrhizal colonization	فسفر Phosphorus	عملکرد بیولوژیک Biological yield
			Year 2015	سال ۱۳۹۴		
Replication	تکرار	2	195.68*	0.99ns	4121.26ns	1975008.1ns
Irrigation (I)	آبیاری	1	234.72*	143.27*	84975.03**	58558960.2**
Michorriza (M)	مایکوریزا	1	320.89*	4473.24**	21476.28**	26002914.2**
I×M	آبیاری × مایکوریزا	1	88.89ns	143.27*	34.03ns	4173719.06ns
Ea	خطای اصلی	6	35.10	10.56	1438.37	1802161.87
Fertilizer (F)	کود	5	164.19**	24.63**	382104.8**	5074032.3**
I×F	آبیاری × کود	5	108.61**	18.7**	4778.43**	1660130.07ns
M×F	مایکوریزا × کود	5	18.12ns	24.63**	1826.13ns	2666736.4**
I×M×F	آبیاری × مایکوریزا× کود	5	26.47*	18.7**	963.88ns	92626.62ns
Eb	خطای فرعی	40	9.34	4.23	1167.49	847306.8
C.V (%)	ضریب تغییرات (٪)	-	*4.42*	*26.1*	*7.32*	*12.17*
			Year 2016	سال ۱۳۹۵		
Replication	تکرار	2	20.17**	2.21ns	688.01ns	227768.13ns
Irrigation (I)	آبیاری	1	8.00ns	28.54ns	33088.78**	36023623.72**
Michorriza (M)	مایکوریزا	1	231.13**	4154.16**	33735.03**	7086338.73**
I×M	آبیاری × مایکوریزا	1	144.5**	28.54ns	1164.03ns	487487.61ns
Ea	خطای اصلی	6	1.53	5.26	804.62	383464.06
Fertilizer (F)	کود	5	223.25**	11.09ns	224433**	11066918.84**
I×F	آبیاری × کود	5	78.28**	25.27**	1320.43*	215011.66ns
M×F	مایکوریزا × کود	5	69.05**	11.09ns	3454.68**	2645657.64**
I×M×F	آبیاری × مایکوریزا× کود	5	158.98**	25.27**	225.63ns	52915.38ns
Eb	خطای فرعی	40	1.19	5.26	458.79	362262.1
C.V (%)	ضریب تغییرات (٪)	-	*6.63*	*30.19*	*4.96*	*8.2*

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

*Significant at the 0.05 probability levels.** Significant at the 0.01 probability levels.

Table 3. Continued **جدول ۳. ادامه**

S.0.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	عملکرد دانه Grain yield	غلظت روغن oil concentration	ظرفیت کل آنتی اکسیدانی Total antioxidant capacity	اسانس Essential oil
			Year 2015		سال ۱۳۹۴	
Replication	تکرار	2	111525.3^{ns}	0.0003^{ns}	2.48^{ns}	0.0005^{ns}
Irrigation (I)	آبیاری	1	1820480**	0.68**	1074.16**	0.0536*
Michorriza (M)	مایکوریزا	1	954294.1*	0.005^{ns}	170.20*	0.107**
I×M	آبیاری × مایکوریزا	1	39327 ^{ns}	0.05**	9.03^{ns}	0.0017^{ns}
Ea	خطای اصلی	6	108227.8	0.002	13.92	0.0074
Fertilizer (F)	کود	5	147016.6**	0.076**	3022.64**	0.5661**
I×F	آبیاری × کود	5	59087.5 ^{ns}	0.016**	3.67^{ns}	0.003^{ns}
M×F	مایکوریزا × کود	5	100608.1 *	0.003*	10.94^{ns}	0.003^{ns}
I×M×F	آبیاری × مایکوریزا× کود	5	42997.8 ^{ns}	0.016**	0.27^{ns}	0.0023^{ns}
Eb	خطای فرعی	40	39043.9	0.001	12.81	0.0029
C.V (%)	ضریب تغییرات (٪)	-	*15.8*	*6.15*	*8.02*	*5.77*
			Year 2016		سال ۱۳۹۵	
Replication	تکرار	2	25194.03^{ns}	0.0002^{ns}	8.12^{ns}	0.003^{ns}
Irrigation (I)	آبیاری	1	1663448.48**	0.866**	745.95**	0.131**
Michorriza (M)	مایکوریزا	1	909021.61**	0.006^{ns}	320.68**	0.116**
I×M	آبیاری × مایکوریزا	1	22379.87^{ns}	0.005^{ns}	19.69^{ns}	0.014*
Ea	خطای اصلی	6	12813.74	0.005	6.70	0.002
Fertilizer (F)	کود	5	436342.58**	0.073**	2223.60**	0.887**
I×F	آبیاری × کود	5	14122.40^{ns}	0.02**	30.87**	0.019**
M×F	مایکوریزا × کود	5	11867.59^{ns}	0.01*	10.88^{ns}	0.010*
I×M×F	آبیاری × مایکوریزا× کود	5	57435.02**	0.029**	8.07^{ns}	0.005^{ns}
Eb	خطای فرعی	40	10776.67	0.004	5.68	0.003
C.V (%)	ضریب تغییرات (٪)	-	*12.41*	*12.79*	*5.54*	*15.41*

آبی با کود تلفیقی (۲۵٪ آلی + ۷۵٪ اوره) و تنش کم‌آبی بدون مصرف کود مشاهده گردید به‌گونه‌ای که به‌این‌ترتیب در هر دو سال تنش کم‌آبی سبب کاهش میزان فسفر (۶/۱۵ و ۷/۷ درصدی) گیاه گردید. همچنین نتایج نشان داد که کاربرد مایکوریزا به‌طور تلفیقی و حتی به‌تنهایی سبب افزایش میزان جذب فسفر گیاه گردید (جداول ۷ و ۸) به‌گونه‌ای که کاربرد مایکوریزا سبب افزایش بیش از ۷ درصدی میزان فسفر برگ گردید (جدول ۸).

ازآنجایی‌که تحرک عناصر غذایی در شرایط تنش خشکی پایین است، میکوریزا آربوسکولار می‌تواند تأثیر زیادی روی رشد و نمو گیاه در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط آبیاری نرمال داشته باشد (Boomsma and Vyn, 2008). مکانیسم‌های جذب و انتقال مواد در خاک و گیاه مانند انتشار، جریان توده‌ای و اسمز، همگی تابعی از مقدار رطوبت در خاک و ریشه هستند و در شرایط کمبود آب در خاک و کاهش رطوبت، در جذب و انتقال مواد و عناصر غذایی اختلال ایجاد و سبب محدودیت در فتوسنتز که کاهش رشد و عملکرد را به دنبال دارد (Izzo et al., 1991). به دنبال کاهش رطوبت، جذب عناصر به‌ویژه فسفر و نیتروژن در شرایط تنش کم‌آبی، کاهش می‌یابد و همزیستی میکوریزایی می‌تواند جذب این عناصر را در شرایط تنش افزایش دهد (Boomsma and Vyn, 2008). مزیت قارچ میکوریزا، افزایش منطقه تخلیه عناصر غذایی به‌وسیله ریشه‌های میکوریزایی نسبت به گیاهان غیر میکوریزایی است. تخمین زده می‌شود که حدود

۸۰ درصد جذب فسفر توسط گیاه به‌وسیله قارچ‌های میکوریزا صورت می‌گیرد. همچنین، این قارچ سبب بهبود جذب نیتروژن، پتاسیم، منیزیم، مس و روی در خاک‌های فقیر می‌شود (Rillig, 2004). کمایی و همکاران (Kamaei et al., 2016) بیان داشتند که هر وقت همراه کود میکوریزا منبعی از نیتروژن وجود داشت این کود عملکرد بهتری از خود نشان می‌داد.

عملکرد بیولوژیک

در هر دو سال آزمایش، عملکرد بیولوژیک خرفه تحت تأثیر اثر برهمکنش سه‌گانه بین تیمارها قرار گرفت. جدول مقایسه میانگین نشان داد که در هر دو سال آزمایش تنش کم‌آبی سبب کاهش (۲۱/۳ و ۱۷/۷ درصدی) عملکرد بیولوژیک خرفه گردید و همچنین به ترتیب بیشترین عملکرد بیولوژیک در تیمارهای بدون تنش کم‌آبی و با مایکوریزا و کود تلفیقی ۵۰٪ آلی و ۵۰٪ اوره (۱۰۶۳۱/۳۹ و ۹۵۱۱/۴۶ کیلوگرم در هکتار) و کمترین آن در تیمار تنش کم‌آبی بدون مایکوریزا و کود اوره (۵۴۸۶/۳۳ و ۴۵۵۶/۱۸ کیلوگرم در هکتار) حاصل شد (جدول ۴). نتایج حاکی از آن است که به ترتیب در سال اول و دوم تلقیح مایکوریزا در شرایط بدون تنش آبی (۱۸/۴۲ و ۱۷/۲۱ درصد) و با تنش کم‌آبی (۷/۹ و ۱۴/۹۳ درصد) سبب افزایش عملکرد بیولوژیک خرفه گردید (جدول ۴). در موافقت با نتایج این تحقیق، اینانلوفر و همکاران (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 (بدون مصرف کود) حاصل شد. محققین مختلفی گزارش کرده‌اند که در بین اکثر گیاهان زراعی، خرفه به خاطر به‌کارگیری راهکارهای زیادی (تولید ترکیباتی مثل فلاونوئیدها، بتائین، پینیتول، آمینواسیدهای آزاد و اوره و آنزیم‌ها و مکانیسم‌های آنتی‌اکسیدانی و تغییر مدل فتوسنتزی از C_4 به متابولیسم اسید کراسولایی (CAM) متحمل به تنش کم‌آبی است (D'Andrea et al., 2015; Jin et al., 2015) ولی درمجموع تنش کم‌آبی به‌عنوان مهم‌ترین تنش غیر زیستی خصوصاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک، به دلیل تغییرات در سیستم فتوسنتزی گیاه، سبب کاهش بیوماس گیاه می‌گردد (Baghbani- Arani 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 شده و به این طریق سبب افزایش رشد و بیوماس گیاهان می‌گردند (Rillig, 2004).

عملکرد دانه

تجزیه واریانس نشان داد که در سال اول مطالعه، عملکرد دانه تحت تأثیر آبیاری و اثر برهمکنش آبیاری و مایکوریزا در سطح ۵ درصد قرار گرفت ولی در سال دوم علاوه براثر معنی‌دار آبیاری، اثر سایر تیمارهای اصلی (مایکوریزا و کود) و اثر برهمکنش سه‌گانه آبیاری، مایکوریزا و کود نیز بر عملکرد دانه مؤثر واقع شد (جدول ۴). به ترتیب در سال اول و دوم آزمایش، تنش کم آبی سبب کاهش ۲۲/۵ و ۲۱/۱ درصدی عملکرد دانه در خرفه گردید. همچنین در سال ۱۳۹۴، به ترتیب کاربرد مایکوریزا در شرایط بدون تنش و تنش کم‌آبی سبب افزایش ۱۳/۹ و ۲۹/۱ درصدی عملکرد دانه گردید (جدول ۶). همچنین نتایج جدول (۴) حاکی از این است که در سال ۱۳۹۵ نیز کاربرد مایکوریزا سبب افزایش عملکرد دانه تحت هر دو شرایط تنش و بدون تنش آبی قرار گرفت. علاوه بر این، در سال ۱۳۹۵، به ترتیب بیشترین و کمترین میزان عملکرد دانه در تیمارهای بدون تنش آبی با کاربرد مایکوریزا و کود تلفیقی ۵۰٪ آلی و ۵۰٪ اوره و تیمار تنش کم‌آبی بدون مایکوریزا و کود اوره (۱۸۸۱/۲۷ و ۷۳۹/۵۳ کیلوگرم در هکتار) حاصل شد (جدول ۵). اینانلوفر و همکاران (Inanloofar et al., 2013) در تحقیقی گزارش نمودند که اثر خشکی و کود نیتروژن و برهمکنش خشکی و کود بر عملکرد دانه خرفه معنی‌دار گردید به‌گونه‌ای که بیشترین میزان عملکرد دانه از آبیاری مطلوب و کمترین میزان عملکرد دانه نیز از تنش شدید حاصل شد و در مقایسه میانگین اثرات تیمارهای کودی، بیشترین میزان عملکرد دانه از تیمار کودی تلفیقی و کمترین میزان عملکرد دانه از تیمار شاهد حاصل شد. همچنین آن‌ها بیان داشتند که در مقایسه میانگین اثر برهمکنش کاربرد تیمار کودی و خشکی، بیشترین میزان عملکرد دانه از سطح تنش آبیاری مطلوب با تیمار کودی تلفیقی و کمترین میزان عملکرد دانه از تنش شدید با تیمار شاهد حاصل شد (Inanloofar et al., 2013).

ازآنجایی‌که مصرف کود نیتروژن بر فعل‌وانفعالات بیوشیمیایی، فتوسنتز، افزایش طول دوره رویش و تجمع ماده

خشک بیشتر اندام‌های هوایی و اجزای عملکرد دانه مؤثر است به نظر می‌آید تأثیر آن بر عملکرد دانه بدیهی باشد (Baghbani-Arani et al., 2017b). تولید دانه حاصل مجموعه‌ای رویدادهای فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی گیاه است که پس از لقاح و گلدهی صورت می‌گیرد و منجر به تولید دانه می‌شود. در این رابطه، حاصلخیزی خاک تأثیر بسزایی در عملکرد دانه دارد (Inanloofar et al., 2013) که با کاربرد کودهای آلی، مایکوریزا و شیمیایی در این تحقیق میسر شده است. مصرف کودهای آلی و زیستی نیز می‌توانند کمبود عناصر غذایی را جبران کنند و از طریق تولید تنظیم‌کننده‌های رشد توسط میکروب‌های موجود در محیط ریشه، باعث بهبود نمو گیاه شود، زیرا این میکروب‌ها موجب تحریک توسعه ریشه و درنتیجه جذب بهتر آب و مواد غذایی از خاک می‌شوند (Rani et al., 2017). محققین مختلفی به اثر مثبت قارچ مایکوریزا به‌طور مستقیم (در افزایش فراهمی آب) و غیرمستقیم (بهبود وضعیت تغذیه‌ای، تنظیم هورمونی و اسمزی روزنه‌ها) در کاهش و تحمل تنش خشکی در گیاهان اشاره داشتند (Rani et al., 2017; Inanloofar et al., 2013).

جدول ۴. اثر برهمکنش آبیاری، قارچ مایکوریزا و کود اوره بر ارتفاع، کلونیزاسیون قارچ مایکوریزا، عملکرد بیولوژیک و غلظت روغن در هر دو سال و عملکرد دانه در سال ۱۳۹۵

Table 4. Interactions of irrigation, Mycorrhizal and urea fertilizer on height, Mycorrhizal colonization, biological yield and oil concentration in both years and grain yield in 2016.

آبیاری I	مایکوریزا M	کود نیتروژن N	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)		کلونیزاسیون قارچ میکوریزا (درصد) Mycorrhizal colonization (%)		عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم بر هکتار) Biological yield (Kg/ha)	
			۱۳۹۴ 2015	۱۳۹۵ 2016	۱۳۹۴ 2015	۱۳۹۵ 2016	۱۳۹۴ 2015	۱۳۹۵ 2016
I1	M1	F1	69.17^{def}	57.00^{l}	15.84^{cd}	16.21^{bcd}	7745.65 $^{d-h}$	6803.70^{f-i}
		F2	75.67^{abc}	60.00^{jk}	16.88^{cd}	17.48^{a-d}	9988.19^{abc}	8230.21^{b-e}
		F3	73.5^{a-d}	65.00f	24.82^{a}	20.68^{a}	9009.39^{bcd}	8212.02^{b-e}
		F4	73.17^{a-d}	63.00^{gh}	21.60^{ab}	13.94^{de}	10631.39^{a}	9511.46^{a}
		F5	77.50^{a}	73.00^{b}	18.48^{bc}	19.73^{ab}	10473.53^{ab}	8886.15^{abc}
		F6	62.50^{gh}	63.00^{gh}	13.89^{de}	10.67^{e}	7977.02^{def}	8729.2^{abc}
	M2	F1	67.67^{d-g}	70.00^{de}	0.00^{g}	0.00^{f}	6318.64^{h-k}	5633.03^{jk}
		F2	70.50^{b-e}	71.00^{cd}	0.00^{g}	0.00^{f}	7314.55^{e-i}	9079.56^{ab}
		F3	70.50^{b-e}	76.50^{a}	0.00^{g}	0.00^{f}	7591.29^{d-h}	7368.48^{efg}
		F4	77.00^{a}	66.00^{f}	0.00^{g}	0.00^{f}	8593.84^{cde}	8392.37^{bcd}
		F5	70.83^{b-e}	64.50^{fg}	0.00^{g}	0.00^{f}	7887.89^{d-g}	8207.86^{e-h}
		F6	63.00^{gh}	72.00^{bc}	0.00^{g}	0.00^{f}	8018.25^{def}	6939.37^{f-i}
I2	M1	F1	62.33^{gh}	53.00^{m}	14.70^{d}	11.44^{e}	5956.64^{ijk}	5355.97^{kl}
		F2	72.67^{a-d}	62.00^{hi}	10.86^{ef}	16.09^{bcd}	7201.59^{e-i}	6464.07^{hij}
		F3	64.17^{fgh}	76.00^{a}	19.00^{bc}	18.58^{abc}	7534.34^{d-h}	6784.33^{f-i}
		F4	71.50^{a-e}	75.00^{a}	10.33^{ef}	11.55^{e}	7503.77^{d-h}	7969.51^{cde}
		F5	76.50^{ab}	63.00^{gh}	13.41^{de}	15.39^{cd}	7534.74^{d-h}	7475.85^{d-g}
		F6	76.00^{abc}	73.00^{b}	9.37^{f}	10.55^{e}	6382.79^{g-k}	6847.54^{f-i}
	M2	F1	58.33^{h}	58.50^{kl}	0.00^{g}	0.00^{f}	5486.33^{k}	4556.18^{l}
		F2	70.00^{c-f}	69.00^{e}	0.00^{g}	0.00^{f}	5672.12^{jk}	7710.70^{def}
		F3	60.00^{h}	73.00^{b}	0.00^{g}	0.00^{f}	7019.03^{f-j}	6373.43^{ij}
		F4	65.67^{efg}	69.00^{e}	0.00^{g}	0.00^{f}	5911.12^{ijk}	6715.22^{ghi}
		F5	67.50^{d-g}	76.00^{a}	0.00^{g}	0.00^{f}	6453.91^{g-k}	7462.61^{d-g}
		F6	63.00^{gh}	61.00^{ij}	0.00^{g}	0.00^{f}	7249.04^{e-i}	5301.86^{kl}

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؛ M_1 و M_2= با و بدون قارچ مایکوریزا؛ F_1= بدون کود نیتروژن، F_2= ۱۰۰ درصد کود آلی، F_3= ۷۵ درصد کود آلی + ۲۵ درصد کود اوره، F_4= ۵۰ درصد کود آلی + ۵۰ درصد کود اوره، F_5= ۲۵ درصد کود آلی + 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.

I_1= unstressed, irrigation at 70% of FC; I_2= deficit water stress, irrigation at 50% of FC; M_1 and M_2: whit and non-inoculated with the fungus; F_1, F_2, F_3, F_4, F_5 and F_6: no fertilizer nitrogen, 100% Organic, 75% Organic+ 25% urea, 50% Organic+ 50% urea, 25% Organic+ 75% urea, 100% urea, respectively.

جدول ۴. ادامه

Table 4. Continued

آبیاری I	مایکوریزا M	کود نیتروژن N	غلظت روغن (درصد) Oil concentration (%)		عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار) Grain yield (Kg/ha)
			۱۳۹۴ 2015	۱۳۹۵ 2016	۱۳۹۵ 2016
I1	M1	F1	0.31^{p}	0.32^{ij}	1277.40^{efg}
		F2	0.36^{mno}	0.37^{hij}	1664.59^{b}
		F3	0.39^{lmn}	0.36^{hij}	1639.60^{bc}
		F4	0.43^{jkl}	0.46^{fgh}	1881.27^{a}
		F5	0.39^{lmn}	0.42^{ghi}	1437.02^{de}
		F6	0.34^{nop}	0.37^{hij}	1294.99^{efg}
	M2	F1	0.315^{op}	0.30^{j}	988.74^{i}
		F2	0.37^{mn}	0.34^{ij}	1523.64^{bcd}
		F3	0.37^{mn}	0.37^{hij}	1363.33^{def}
		F4	0.41^{klm}	0.39^{hij}	1484.26^{cd}
		F5	0.47^{hij}	0.40^{hij}	1497.73^{bcd}
		F6	0.50^{ghi}	0.50^{efg}	1200.38^{fgh}
I2	M1	F1	0.45^{ijk}	0.46^{fgh}	1011.99^{i}
		F2	0.56^{f}	0.54^{def}	1419.41^{de}
		F3	0.57^{ef}	0.59^{cde}	1127.07^{ghi}
		F4	0.64^{cd}	0.67^{abc}	1399.56^{de}
		F5	0.76^{a}	0.74^{a}	1426.69^{de}
		F6	0.72^{ab}	0.73^{ab}	1197.72^{fgh}
	M2	F1	0.30^{p}	0.29^{j}	739.53^{j}
		F2	0.53^{fg}	0.71^{ab}	1186.58^{gh}
		F3	0.62^{de}	0.64^{bcd}	1085.27^{hi}
		F4	0.61^{de}	0.70^{ab}	1200.62^{fgh}
		F5	0.69^{bc}	0.66^{abc}	1044.29^{hi}
		F6	0.52^{fgh}	0.52^{efg}	766.24^{j}

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؛ M_1 و M_2= با و بدون قارچ مایکوریزا؛ F_1= بدون کود نیتروژن، F_2= ۱۰۰ درصد کود آلی، F_3= ۷۵ درصد کود آلی + ۲۵ درصد کود اوره، F_4= ۵۰ درصد کود آلی + ۵۰ درصد کود اوره، F_5= ۲۵ درصد کود آلی + 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.

I_1= unstressed, irrigation at 70% of FC; I_2= deficit water stress, irrigation at 50% of FC; M_1 and M_2: whit and non-inoculated with the fungus; F_1, F_2, F_3, F_4, F_5 and F_6: no fertilizer nitrogen, 100% Organic, 75% Organic+ 25% urea, 50% Organic+ 50% urea, 25% Organic+ 75% urea, 100% urea, respectively.

ظرفیت کل آنتی‌اکسیدانی برگ

در هر دو سال آزمایش، اثرات اصلی تمامی تیمارها بر ظرفیت کل آنتی‌اکسیدانی برگ خرفه معنی‌دار گردید و علاوه بر این در سال دوم، اثر برهمکنش آبیاری و کود نیز بر آن صفت معنی‌دار گردید. در هر دو سال ظرفیت کل آنتی‌اکسیدانی برگ با افزایش محتوای آب خاک افزایش یافت به‌گونه‌ای که در هر دو سال، بیشترین مقدار ظرفیت کل آنتی‌اکسیدانی در تیمار بدون تنش آبی و کاربرد تلفیقی نیتروژن (جداول ۵ و ۸) و با کاربرد مایکوریزا (جدول ۸) و کمترین مقدار آن در هر دو سال در تیمار تنش آبی و بدون کود (جداول ۵ و ۸) و بدون مایکوریزا (جدول ۸) به دست آمد. گزارش‌شده است که‌برگ‌های خرفه یک منبع بسیار غنی ازنظر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و ترکیبات دارویی است که میزان این ترکیبات با میزان نیتروژن در برگ‌های خرفه افزایش می‌یابد (Montoya-García et al., 2018).

جدول ۵. اثر برهمکنش آبیاری و کود اوره بر میزان فسفر در هر دو سال و ظرفیت کل آنتی‌اکسیدانی و اسانس در سال ۱۳۹۵

Table 5. Interactions of irrigation and urea fertilizer on Phosphorus in both years and on total antioxidant capacity and essential oil in 2016.

آبیاری Irrigation	کود نیتروژن Nitrogen fertilizer	فسفر Phosphorus (میلی‌گرم/کیلوگرم mg/kg) ۱۳۹۴ 2015	فسفر Phosphorus (میلی‌گرم/کیلوگرم mg/kg) ۱۳۹۵ 2016	ظرفیت کل آنتی‌اکسیدانی Total antioxidant capacity (%DPPH) ۱۳۹۵ 2016	اسانس Essential oil (درصد %) ۱۳۹۵ 2016
I1	F1	222.25^{h}	259.75^{i}	26.93^{h}	0.6^{f}
	F2	468.75^{d}	418.00^{e}	41.43^{e}	0.72^{e}
	F3	536.50^{c}	472.00^{d}	49.48^{d}	0.76^{e}
	F4	679.00^{b}	597.00^{b}	58.68^{b}	0.93^{d}
	F5	745.50^{a}	633.50^{a}	66.63^{a}	1.32^{a}
	F6	354.50^{f}	337.75^{g}	34.13^{g}	1.04^{c}
I2	F1	209.25^{h}	239.75^{i}	24.10^{i}	0.61^{f}
	F2	418.25^{e}	388.50^{f}	37.33^{f}	0.73^{e}
	F3	478.00^{d}	422.00^{e}	40.15^{e}	0.91^{d}
	F4	555.75^{c}	518.50^{c}	51.95^{d}	1.02^{c}
	F5	639.50^{b}	585.00^{b}	55.60^{c}	1.36^{a}
	F6	293.50^{g}	307.00^{h}	29.55^{h}	1.25^{b}

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، F_2= ۱۰۰ درصد کود آلی، F_3= ۷۵ درصد کود آلی + ۲۵ درصد کود اوره، F_4= ۵۰ درصد کود آلی + ۵۰ درصد کود اوره، F_5= ۲۵ درصد کود آلی + 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.

I_1= unstressed, irrigation at 70% of FC; I_2= deficit water stress, irrigation at 50% of FC; M_1 and M_2: whit and non-inoculated with the fungus; F_1, F_2, F_3, F_4, F_5 and F_6: no fertilizer, 100% Organic, 75% Organic+ 25% urea, 50% Organic+ 50% urea, 25% Organic+ 75% urea, 100% urea, respectively.

Means in each column followed by similar letter (s) are not significantly different at 5% probability level using LSD Test.

جدول ۶. اثر برهمکنش آبیاری و قارچ مایکوریزا بر عملکرد دانه در سال ۱۳۹۴ و اسانس خرفه در سال ۱۳۹۵

Table 6. Interactions of irrigation and Mycorrhizal on grain yield in 2015 and essential oil in purslane in 2016.

آبیاری Irrigation	مایکوریزا Mycorrhizal	عملکرد دانه Grain yield (کیلوگرم بر هکتار Kg/ha) ۱۳۹۴ 2015	اسانس Essential oil (درصد %) ۱۳۹۵ 2016
I1	M1	1499.96^{a}	0.92^{b}
	M2	1316.45^{ab}	0.87^{c}
I2	M1	1228.68^{b}	1.03^{a}
	M2	951.68^{c}	0.92^{b}

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؛ M_1 و M_2= با و بدون قارچ مایکوریزا.

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: whit and non-inoculated with the fungus, respectively. Means in each column followed by similar letter (s) are not significantly different at 5% probability level using LSD Test.

نتایج این تحقیق با نتایج سایر محققین که گزارش کرده‌اند که تنش اکسیداتیو در صورت شدید بودن منجر به آسیب به غشا، افزایش پراکسیداسیون لیپیدها و کاهش ظرفیت کل آنتی‌اکسیدان‌ها می‌شود مطابقت کامل دارد (Krizek et al., 1993; Baghbani- Arani et al., 2017a). در بررسی اثر تنش کم‌آبی و انواع کود نیتروژن بر

ظرفیت کل آنتی‌اکسیدان بذر شنبلیله گزارش کرد که بیشترین میزان این صفت در تیمار بدون تنش آبی و با کاربرد ورمی‌کمپوست به دست آمد (Baghbani- Arani et al., 2017a). خادم پیر و همکاران (Khadempir et al., 2014) گزارش کردند رابطه بسیار قوی بین میزان نیتروژن در دسترس گیاه و میزان کارکرد سازوکارهای مقابله با تنش (تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت، رنگیزه‌های کمکی و ...) در گیاه سویا طی تنش غرقاب است، به این صورت که هرچه میزان نیتروژن بیشتری در اختیار گیاه قرار بگیرد گیاه بهتر می‌تواند غرقابی را تحمل کرده و خسارات ناشی از آن بر عملکرد گیاه را کاهش دهد. وجود عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن به مقدار مطلوب در خاک موجب رشد بهینه گیاه شده که درنهایت باعث کاهش اثرات سوء تنش‌های محیطی می‌شود (Baghbani- Arani et al., 2017a). محققین در تحقیقی روی گیاه زوفا نشان دادند که به‌طورکلی گونه‌های میکوریزا با خنثی کردن اثرات رادیکال‌های آزاد، افزایش پایداری غشاء سلولی و میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت (کاتالاز، سوپر اکسید دسموتاز و آسکوربات پراکسیداز) در تعدیل تنش کمبود آب مؤثر بودند (Soleymani and Pirzad, 2016).

جدول ۷. اثر برهمکنش قارچ مایکوریزا و کود اوره بر میزان فسفر خاک و اسانس برگ خرفه در سال ۱۳۹۵

Table 7. Interactions of Mycorrhizal and urea fertilizer on Phosphorus and essential oil in purslane in 2016.

مایکوریزا Mycorrhizal	کود Nitrogen fertilizer	فسفر Phosphorus (mg/kg) میلی‌گرم بر کیلوگرم	اسانس Essential oil (%) درصد
M1	F1	249.25^{i}	0.64^{gh}
	F2	423.00^{f}	0.77^{f}
	F3	465.50^{e}	0.89^{e}
	F4	607.00^{b}	0.98^{d}
	F5	640.00^{a}	1.42^{a}
	F6	334.50^{h}	1.17^{c}
M2	F1	250.25^{i}	0.57^{h}
	F2	383.50^{g}	0.68^{g}
	F3	428.50^{f}	0.78^{f}
	F4	508.50^{d}	0.97^{d}
	F5	578.50^{c}	1.25^{b}
	F6	310.25^{h}	1.12^{c}

M_1 و M_2= با و بدون قارچ مایکوریزا؛ F_1= بدون کود، F_2= ۱۰۰ درصد کود آلی، F_3= ۷۵ درصد کود آلی + ۲۵ درصد کود اوره، F_4= ۵۰ درصد کود آلی + ۵۰ درصد کود اوره، F_5= ۲۵ درصد کود آلی + 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.

M_1 and M_2: with and non-inoculated with the fungus; F_1, F_2, F_3, F_4, F_5 and F_6: no fertilizer, 100% Organic, 75% Organic + 25% urea, 50% Organic+ 50% urea, 25% Organic+ 75% urea, 100% urea, respectively.

Means in each column followed by similar letter (s) are not significantly different at 5% probability level using LSD Test.

میزان اسانس برگ

جدول تجزیه واریانس نشان داد که در هر دو سال اثر تمامی تیمارهای اصلی بر میزان اسانس برگ خرفه معنی‌دار بود و علاوه بر این در سال دوم، اثرات برهمکنش دوگانه بین تیمارها نیز بر میزان اسانس برگ معنی‌دار گردید. نتایج مقایسه میانگین هر دو سال حاکی از افزایش میزان اسانس برگ با کاهش محتوای آب خاک همراه و یا بدون مایکوریزا است (جداول ۶ و ۸). نتایج مقایسه میانگین دوگانه آبیاری و سیستم کودی نیز نشان داد بیشترین میزان اسانس برگ خرفه در تیمار بدون تنش آبی و کاربرد ۲۵٪ کود دامی + ۷۵٪ کود اوره (۱/۴۲٪) حاصل شد و تحت شرایط تنش و بدون تنش آبی، تیمارهای تلفیقی کودی با میزان کود شیمیایی بیشتر و یا با استفاده از مایکوریزا، میزان اسانس

بیشتری را تولید نمودند (جداول ۵، ۶ و ۸). عواملی مانند تنش‌های زنده از قبیل آفات و بیماری‌ها و تنش‌های غیرزنده از قبیل کمبود آب و مواد غذایی بر عملکرد اسانس و اجزاء آن در گیاهان دارویی مؤثر است (Leicacha et al., 2010). کشت گیاهان دارویی در شرایط تنش آب عامل مهمی برای کنترل سطح ترکیبات شیمیایی گیاهی است (Baghbani-Arani et al., 2017b). تنش‌های محیطی طیف گسترده‌ای از پاسخ‌های گیاه را به دنبال دارد، اعم از تغییر بیان ژن و سوخت‌وساز سلولی، تغییرات در میزان رشد و عملکرد محصول. بااین‌حال، برخی از مطالعات در مورداستفاده از تنش به‌منظور افزایش و یا تولید محصولات طبیعی مفید در گیاهان دارویی افزایش‌یافته است، ازجمله اسانس مرزه، آنتی‌اکسیدان‌ها در مخمر آبجو، ترکیبات فنل و فلاونوئید در علف چای و گونه زالزالک و آرتمیسینین در درمنه (El-Sayed et al., 2008). افزایش میزان اسانس در اثر مصرف کود نیتروژن به دلیل نقش مهم نیتروژن در توسعه و تقسیم سلول‌های جدید حاوی اسانس، کانال‌های اسانس، مجاری ترشحی و کرک‌های غده‌ای است. نیتروژن سنتز ترکیبات ترپنی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و کربن موردنیاز برای سنتز ترکیبات ترپنی از فتوسنتز تأمین می‌شود. علاوه بر این فسفر یک جزء کلیدی ATP و NADPH است که انرژی موردنیاز برای سنتز ترکیبات ترپنی را تأمین می‌کند. اسانس‌ها ترکیبات ترپنوئیدی بوده و واحدهای سازنده آن‌ها نیاز ضروری به عناصری نظیر نیتروژن و فسفر دارد. ازاین‌رو کودهای آلی و بیولوژیک (مایکوریزا و دامی) با تأثیر برجذب نیتروژن و فسفر باعث افزایش درصد و عملکرد اسانس می‌گردد (Arancon et al., 2004).

جدول ۸. مقایسه میانگین اثرات اصلی آبیاری، کود و مایکوریزا بر میزان فسفر خاک و ظرفیت کل آنتی اکسدانتی و اسانس برگ خرفه.

Table 8. The main effects of irrigation, fertilizer and Mycorrhizal on Phosphorus, total antioxidant capacity and the essential oil in leaves.

تیمارها treatments	فسفر Phosphorus	ظرفیت کل آنتی‌اکسیدانی Total antioxidant capacity		اسانس Essential oil
	میلی‌گرم/کیلوگرم (mg/kg)	DPPH %		درصد (%)
آبیاری Irrigation	۱۳۹۴ 2015	۱۳۹۴ 2015	۱۳۹۵ 2016	۱۳۹۴ 2015
I1	-	48.46[a]	-	0.91[b]
I2	-	40.73[b]	-	0.97[a]
کود نیتروژن Nitrogen fertilizer				
F1	-	21.53[f]	-	0.65[f]
F2	-	42.90[d]	-	0.78[e]
F3	-	49.33[c]	-	0.88[d]
F4	-	58.43[b]	-	0.97[c]
F5	-	63.38[a]	-	1.22[a]
F6	-	32.03[e]	-	1.15[b]
مایکوریزا Mycorrhizal				
M1	484.00[a]	46.13[a]	45.11[a]	-
M2	449.46[b]	43.06[b]	40.89[b]	-

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؛ M_1 و M_2= با و بدون قارچ مایکوریزا؛ F_1= بدون کود نیتروژن، F_2= ۱۰۰ درصد کود آلی، F_3= ۷۵ درصد کود آلی + ۲۵ درصد کود اوره، F_4= ۵۰ درصد کود آلی + ۵۰ درصد کود اوره، F_5= ۲۵ درصد کود آلی + 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.

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

غلظت روغن برگ

در هر دو سال اثر برهمکنش سه‌گانه بین تیمارها بر میزان غلظت روغن برگ خرفه معنی‌دار گردید. مقایسه میانگین (جدول ۴) نشان داد که در هر دو سال، تنش خشکی سبب افزایش غلظت روغن برگ خرفه گردید به‌گونه‌ای که بالاترین درصد روغن برگ، در تیمار تنش کم‌آبی با کاربرد مایکوریزا و سیستم تلفیقی کودی (۲۵٪ کود دامی + ۷۵٪ کود اوره) حاصل شد (جدول ۴) و همچنین تحت شرایط تنش، به ترتیب در سال اول و دوم آزمایش، استفاده از مایکوریزا سبب افزایش (۴۸/۷ و ۵۷/۹ درصدی) میزان روغن برگ خرفه گردید (جدول ۴). در موافقت با 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؛ چون این مواد از اکسیداسیون درونی سلول‌ها جلوگیری می‌نمایند و در شرایط تنش افزایش می‌یابند (Rahmani et al., 2008). می‌توان گفت که سیستم تغذیه‌ای آلی (دامی و مایکوریزا) و تلفیقی به‌صورت کامل تمام عناصر ضروری گیاه در طول دوره رشد تأمین کرده است به‌طوری‌که در ابتدای فصل رشد نیتروژن موجود در کود مرغی آزاد گشته 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 هم‌مقدار 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 عمده‌ی روغن از زنجیره اسیدهای چرب تشکیل‌شده است؛ پس در شرایط تنش غیرزنده (خشکی و کمبود نیتروژن) افزایش میزان روغن قابل‌انتظار است (Montoya-García et al., 2018).

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که تنش خشکی سبب کاهش ارتفاع، میزان کلونیزاسیون قارچ، میزان فسفر برگ، عملکرد بیولوژیک و دانه و ظرفیت کل آنتی‌اکسیدانی برگ خرفه گردید ولی تولید متابولیت‌های ثانویه و دارویی (اسانس و روغن) در برگ خرفه افزایش یافت. کاربرد مایکوریزا به علت جذب بیشتر آب و مواد غذایی (به‌ویژه فسفر) و تعدیل اثرات منفی تنش کم‌آبی، سبب افزایش تمام صفات موردبررسی گردید. درمجموع می‌توان نتیجه گرفت که با به‌کارگیری تلفیقی کود آلی (مرغی و گوسفندی) و شیمیایی با مایکوریزا در شرایط عدم تنش، ضمن تأمین عناصر غذایی موردنیاز گیاه در طول فصل رشد، از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی و هدرروی نیتروژن آن به شکل قابل‌توجهی جلوگیری می‌شود، علاوه بر آن استفاده از این کودهای آلی در خاک باعث بهبود اکثر صفات کمی و کیفی گیاه خرفه گردید.

منابع

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.

Arancon, N., Edwards, C.A., Bierman, P. Welch, C., Metzger, J.D., 2004. Influence of vermicomposts on field strawberries: part 1. Effects on growth and yields. Bioresource Technology. 93, 145-153.

Azeez, J.O., Van Averbeke, W., Okorogbona, A.O.M., 2010. Differential responses in yield of pumpkin (*Cucurbita maxima* L.) and nightshade (*Solanum retroflexum* Dun.) to the application of three animal manures. Bioresource Technology. 101, 2499-2505.

Baghbani- Arani, A., Modarres-Sanavy, S.A.M., Mashhadi Akbar Boojar, M., Mokhtassi Bidgoli, A., 2017a. Effect of application of zeolite and nitrogen fertilization on growth, seed yield and water productivity of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) under drought stress conditions. Iranian Journal of Agronomy Science. 19(3), 239-254. [In Persian with English Summary].

Baghbani- Arani, A., Modarres-Sanavy, S.A.M., Mashhadi Akbar Boojar, M., Mokhtassi Bidgoli, A., 2017b. Towards improving the agronomic performance, chlorophyll fluorescence parameters and pigments in fenugreek using zeolite and vermicompost under deficit water stress. Industrial Crops and Products. 109,346-357.

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.

Boomsma, C.R., Vyn, T.J., 2008. Maize drought tolerance: Potential improvements through arbuscular mycorrhizal symbiosis. Field Crops Research. 108, 14-31.

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.

El-Sayed, A.A. Razin, A.M. Swaefy, H.M.F. Mohamed, S.M., Abou-Aitah, K.E.A., 2008. Effect of water stress on yield and bioactive chemical constituents of *Tribulus* Species. Journal of Applied Sciences Research. 4(12), 2134-2144.

Fernandez-Martinez, J., Jimenez-Ramirez, J., Dominguez-Gimenez, J., Francis, C.A., Bulter, F.C., King, L.D., 1990. Sustainable agriculture in temperate zones. New York. John Wiley and Sons. U.S.A. 487p.

Ghasemi, K., Fallah, S., Raeisi, F., Heidari, M., 2014. The effect urea and biological fertilizers on quantitative and qualitative yield of isabgol (*Plantago ovata* Frosk.) medicinal plant. Journal of Plant Production. 20(4), 101-116.

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.

Giovannetti, M., Mosse, B., 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. New phytologist. 84(3), 489-500.

Grover, M., Ali, S.K., Sandhya, Z., Abdul Rasul, V., Venkateswarlu, B., 2010. Role of microorganisms in adaption of agriculture crops to abiotic stresses. World Journal of Microbiology and Biotechnology. 27(5), 1231-1240.

Habibzadeh, Y., Pirzad, A., Zardashti, M.R., Jalilian, J., Eini, O., 2013. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on seed and protein yield under water-deficit stress in mung bean. Agronomy Journal. 105, 79-84.

Inanloofar, M., Omidi, H., Pazoki, Morphological, 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 with English Summary].

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.

Jin, R., Sh, 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.

Kamaei, R., Rajari Sharifabadi, H., Parsa, M., Jahan, M., Naerian, A.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.

Khadempir, M., Galeshi, S., Soltani, A., Ghaderifar, A., 2014. Investigated of soybean leaves antioxidant activity, chlorophyll fluorescence, chlorophyll (a, b) and carotenoids content influenced by the flooding and different levels of nutrition. Electronical Journal of Crop Production. 8(2), 1-30. [In Persian with English Summary].

Krizek, D.T., Kramer, G.F., Upadhyaya, A., Mirecki, R.M., 1993. UV-B Response of Cucumber seedling grown under metal halid and high pressure sodium deluxe lamps. Physiology of Plant. 88, 350- 358.

Manivannan, P., Abdul Jaleel, C., Sankar, B., Kishorekumar, A., Somasundaram, R., Lakshmanan, G.M.A. Panneerselvam, R., 2007. Growth, biochemical modifications and proline metabolism in *Helianthus annuus* L. as induced by drought stress. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. 59, 141-149.

Mokhtassi-Bidgoli A., Aghaalikhani, M., Nassiri-Mahallati, M., Zand, E., Gonzalez-Andujar, J.L., 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.

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.

Philips, J.M., Hayman, D.S., 1970. Improved procedures for cleaning roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Transactions of the British Mycological Society. 55, 158-161.

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 with English Summary].

Rani, B., Madan, Sh., Sharma, K.D., Pooja, Berwal, M.K., Ashwani Kumar, A., 2017. Effect of Mycorrhizal Colonization on Nitrogen and Phosphorous Metabolism. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 6(10), 916-929.

Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yango, M., Rice-Evan, C., 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. Free Radical. Biology and Medicine. 26: 1231-1237.

Rillig, M.C., 2004. Arbuscular Mycorrhizae and Terrestrial Ecosystem Processes. University of Montana, U.S.A.

Safari Sinegani, A.A., Elyasi Yeganeh, M., 2017. The occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi in soil and root of medicinal plants in Bu-Ali Sina garden in Hamadan, Iran. Biological Journal of Microorganism. 5(20), 43-59.

Smith, S.E., Read, D.J., 2008. Mycorrhizal Symbiosis. 3rd ed., Academic Press, London.

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 with English Summary].

Telci, I., Kacarb, O., Bayram, E., Arabaci, O., Demirtas, I., Yilmaza, G., Ozcan, I., Sonmez, C., Goksub, E., 2011. The effect of ecological conditions on yield and quality traits of selected peppermint (*Mentha piperita* L.) clones. Industrial Crops and Products. 34, 1193-1197.

Turk, M.A., Assaf, T.A., Hameed, K.M., Tawaha, A.M., 2006. Significance of mycorrhizae. World Journal of Agricultural Science. 2, 16- 20.

Von Gadow, A., Joubert, E., Hansmann, C. F., 1997. Comparison of antioxidant activity of aspalathin with that of other plant phenols of Rooibosed tea (*Aspalathon linearis*), a-tocopherol, BHT, and BHA. Journal of Agricultural and Food Chemistry.45, 632-638.

Wu, Q.S., Xia, R.X., 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi influence growth, osmotic adjustment and photosynthesis of citrus under well-watered and water stress conditions. Journal of plant physiology. 163(4), 417-425.