کاربرد قارچ میکوریزا و پوتریسین بر ویژگی های رویشی، عملکرد بذر و اسانس گیاه دارویی زیره سبز (*Cuminum cyminum*) تحت تنش خشکی

حمیدرضا انجام[۱]، مهدی حسینی فرهی[۲*]، مسلم عبدی پور[۳]

۱-دانشجوی دکتری گروه علوم باغبانی، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران.
۲- دانشیار گروه علوم باغبانی، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران.
۳- استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کهگیلویه و بویراحمد، ایستگاه تحقیقاتی گچساران، گچساران، ایران
* ایمیل نویسنده مسئول: mehdi.hosseinifarahi@iau.ac.ir
(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۸/۳۰- تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۹/۳۰)

چکیده

به منظور بررسی اثر قارچ مایکوریزا و پوتریسین بر خصوصیات رشدی، عملکرد بذر و میزان اسانس گیاه دارویی زیره سبز، مطالعه‌ای دو ساله به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی چمخانی وابسته به مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع‌طبیعی کهگیلویه و بویراحمد انجام گرفت. فاکتورهای آزمایش شامل تیمار آبیاری در دو سطح: آبیاری پس از تخلیه ۲۰ درصد (آبیاری معمولی) و ۶۰ درصد (تنش شدید) از آب قابل دسترس گیاه، تیمار تلقیح با قارچ میکوریزا (*Glomus intraradices*) در دو سطح شاهد (عدم تلقیح) و تلقیح با قارچ (۳۵ گرم اینوکلوم قارچ حاوی تقریباً ۱۴۵۰ هاگ) و محلول پاشی با پوتریسین در سه سطح شاهد (صفر)، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر بود. نتایج نشان داد که تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر صفات رویشی، عملکرد بذر، درصد و عملکرد اسانس زیره سبز داشته است به‌طوری که با افزایش تنش خشکی صفات مورد بررسی به شدت کاهش یافتند. اثر کاربرد قارچ مایکوریزا و پوتریسین بر پارامترهای رویشی، عملکرد بذر و میزان اسانس بسیار معنی‌دار بود. گیاهان تلقیح شده با قارچ مایکوریزا در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده از رشد، عملکرد بذر و میزان اسانس بیشتری هم در شرایط تنش خشکی و هم در شرایط بدون تنش برخوردار بودند. بنابراین می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که در شرایط کم‌آبی تلقیح گیاهان با قارچ آربوسکولار مایکوریزا و محلول پاشی پوتریسین خصوصیات رشدی، عملکرد بذر و اسانس گیاه زیره سبز را بهبود می‌بخشند.

واژه‌های کلیدی: پلی‌آمین‌ها، تنش آبی، شاخص برداشت، عملکرد بیولوژیک

مقدمه

زیره سبز (*Cuminum cyminum* L)، یکی از مهم ترین گیاهان دارویی از خانواده چتریان، می‌باشد که به عنوان یک گیاه ادویه ای مهم در کشورهایی مانند ایران، مصر، هند و سایر کشورهای آسیایی می روید. این گیاه به طور گسترده در مناطقی با آب و هوای خشک و نیمه خشک کشت می شود. زیره سبز یکی از رایج‌ترین ادویه های معطر در آشپزخانه‌های کشورهای حوزه مدیترانه ای است. یکی از مشکلات تولید زیره سبز بنیه ضعیف آن است زیرا دانه‌های این گیاه حاوی ۱۰ درصد روغن است که به دنبال آن حساسیت به تنش‌های محیطی افزایش می یابد (Bettaieb Rebey *et al*., 2012; Piri *et al*., 2019). این گیاه علاوه بر داشتن مصارف دارویی و غذایی، در صنایع آرایشی و بهداشتی نیز کاربرد دارد و اسانس آن دارای خاصیت آنتی اکسیدانی بوده و در بسیاری از کشورهای دنیا توجه ویژه‌ای به آن معطوف شده است. این گیاه به عنوان یک گیاه مهم دارویی در کشور شناخته شده می‌باشد و استان‌های خراسان، یزد، اصفهان و کرمان از مهمترین تولید کننده های این گیاه ارزشمند دارویی می‌باشند (Saiednejad & Rezvanimoghadam, 2010). تنش‌های محیطی از جمله خشکسالی و گرمای زیاد و تشدید شدت آنها در آینده، یکی از مخاطرات کلیدی تغییرات اقلیمی در بسیاری از اکوسیستم‌ها می باشد (Alcazar *et al*., 2020; Islam *et al*., 2019). تنش خشکی یکی از رایج ترین عوامل نامطلوب محدود کننده تولید محصولات زراعی در مناطق خشک و نیمه خشک جهان است. تنش خشکی بر خصوصیات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان تأثیر می‌گذارد. همچنین تنش خشکی واکنش‌های فیزیولوژیکی و متابولیکی مختلفی مانند کاهش ارتفاع گیاه، وزن تر و خشک کل، بسته شدن روزنه‌ها، کاهش سرعت رشد و فتوسنتز را القا می‌کند (Mohammadi *et al*., 2018; Xu *et al*., 2019). محدویت آب عامل مهمی بر رشد و فعالیت های متابولیکی گونه‌های گیاهی می باشد و به طور کلی تأثیر منفی بر رشد و نمو گیاهان دارد (Bettaieb Rebey *et al*., 2012). تنش های محیطی مانند تنش خشکی علاوه بر کاهش رشد رویشی گیاه با ایجاد تنش ثانویه مانند گونه های فعال اکسیژن (ROS) باعث تغییر مسیرهای ترکیبات سنتز، متابولیت های ثانویه می‌شود و می‌تواند از طریق آسیب اکسیداتیو به لیپیدها، پروتئین‌ها و ... اسیدهای نوکلئیک متابولیسم طبیعی سلولی را مختل می‌کنند و به غشای سلولی آسیب می‌رسانند که در نهایت منجر به مرگ سلولی می‌شود (Ozkur *et al*., 2009). تنش خشکی بسته به زمان، مدت و شدت تنش ممکن است وزن و اندازه بذر را (در زمان پر شدن بذر) کاهش دهد (Igiehon *et al*., 2021).

امروزه در دنیا موفقیت در کشاورزی پایدار به چگونگی مدیریت انسان به خاک به عنوان مولد تولید بدون افزودن مواد شیمیایی سمی بستگی دارد. زیرا نهاده‌های شیمیایی موثر در افزایش تولید همچنان عامل اصلی تخریب خاک، تهدید پایداری کشاورزی و چالشی برای ایمنی محیط زیست و سلامت انسان هستند. بنابراین، کشاورزی پایدار به دنبال راهکارهای طبیعی بیولوژیکی برای افزایش حاصلخیزی خاک، مقابله با تنش های محیطی و غلبه بر آفات و بیماری-ها است. به طور طبیعی، پایداری تولید برای کشت

ادویه‌جات نیز به یک موضوع داغ در بحث‌های جهانی پایداری تبدیل شده است (Varghese & Ray, 2023a). امروزه استفاده از کودهای بیولوژیک و ارگانیک در کشاورزی پایدار یک اصل بسیار مهم می‌باشد. یک راهکار جایگزین برای افزایش تحمل به خشکی گیاه و کاهش نیاز به کودهای شیمیایی، همزیستی قارچ‌های میکوریزی آربوسکولار است. بهبود رشد گیاه، بهبود پارامترهای فیزیولوژیکی در گیاه تلقیح شده در شرایط تنش و بهبود وضعیت آب در گیاهان توسط قارچ‌های میکوریزی آربوسکولار بوسیله برخی محققان گزارش شده است (Gholamhoseini *et al*., 2013; Kapoor *et al*., 2013; Latef *et al*., 2016). از مکانیسم های تاثیر قارچ‌های میکوریزی آربوسکولار بر گیاهان در شرایط تنش خشکی می‌توان به افزایش جذب آب و عناصر غذایی، کاهش محتوای مالون دی آلدئید برگ و پراکسید هیدروژن، افزایش رشد و پارامترهای فیزیولوژیکی گیاهان از قبیل هدایت روزنه‌ای، سرعت تعرق و پتانسیل آب برگ اشاره کرد (Akhzari, 2015; Rathod *et al*., 2011).

سلامت گیاه و حاصلخیزی به تعامل بین میکروب-های مفید در ریزوسفر بستگی دارد. جوامع میکروبی خاک در حفظ و متعادل کردن چرخه‌های بیوژئوشیمیایی، مانند چرخه و تامین مواد مغذی، کانی‌سازی، تخریب شیمیایی، تشکیل خاک، سلامت خاک، و حفظ تنوع زیستی بالای زمین بسیار مهم هستند. در میان میکروبیوتای خاک، قارچ‌های میکوریزی آربوسکولار (AMF) یکی از گونه‌های اصلی در حفظ بهره‌وری و تنوع اکوسیستم‌های گیاهی طبیعی هستند. قارچ‌های میکوریزی آربوسکولار برای تعادل اکولوژیکی اکوسیستم‌های خاک بسیار مهم هستند. آنها قدیمی‌ترین و رایج‌ترین جوامع همزیستی شناخته شده در طبیعت هستند.

اخیراً، قارچ‌های میکوریزی آربوسکولار به عنوان یک جزء بیولوژیکی اجتناب ناپذیر ضروری برای کشاورزی ارگانیک پایدار در بسیاری از محصولات شناسایی شده است (George & Ray, 2023; John & Ray, 2023). همزیستی متقابل گیاه با قارچ‌های میکوریزی آربوسکولار باعث انجام فعل و انفعالات ژنتیکی، مورفولوژیکی و عملکردی می‌گردد و همچنین با تشکیل ساختارهای درون سلولی معمولی (آرباسکول‌ها) باعث رشد میسلیوم‌های خارج از ریشه می‌شود که قادر به جذب مواد مغذی خاک هستند (Berude *et al*., 2015). کلونیزاسیون ریشه توسط قارچ‌های میکوریزی آربوسکولار به نفع گیاه میزبان است و منجر به افزایش فیتوماس و بهبود عملکرد بذر، عملکرد اسانس و همچنین افزایش میزان ترکیبات فنلی در محیط‌های دارای تحت تنش آبی، می‌گردد (Bączek *et al*., 2019; Hazzoumi *et al*., 2015a; Weisany *et al*., 2017). در پژوهشی تاثیر قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار و کود آلی دامی بر خصوصیات رشدی و ترکیبات فیتوشیمایی بادرنجوبه بررسی گردید. نتایج نشان داد که گیاهان تلقیح شده با قارچ بدون کود آلی طول بوته بیشتری (۱۹,۰ سانتی‌متر) نسبت به شاهد (۱۶,۶ سانتی‌متر) نشان دادند. بیشترین میانگین محتوای اسانس در تیمارهای حاوی قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار و کود دامی (۰/۲۷ درصد) مشاهده شد. همچنین تلقیح با قارچ بدون و با کود آلی تأثیر مثبتی بر محتوای سیترال (ژرانیال + نرال)، فنل‌ها و فلاونوئیدها در

مطالعه حاضر داشت. بر این اساس، استفاده از قارچ‌ها و کود گاوی بر تولید وزن خشک، محتوای و عملکرد اسانس و همچنین ترکیبات شیمیایی اسانس تأثیر گذاشته است (de Assis *et al.*, 2020).

در پژوهشی اثرات قارچ‌های میکوریزی آربوسکولار (AMF) و تنش خشکی بر دو گونه آویشن (Thymus daenensis Celak & Thymus vulgaris) بررسی گردید. نتایج این پژوهش نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش وزن خشک ریشه و اندام هوایی، محتوای نسبی آب، رنگدانه های فتوسنتزی و ارزش غذایی دو گونه آویشن می‌شود، اما تلقیح با قارچ‌های میکوریزی آربوسکولار باعث افزایش آنها می شود. پرولین، مالون‌دی آلدئید، نشت الکترولیت و مقاومت روزنه‌ای با افزایش تنش آبی افزایش می‌یابد، اما تلقیح با قارچ‌های میکوریزی آربوسکولار این افزایش را در تیمارهای مربوطه بهبود می بخشد. تلقیح گیاه با قارچ‌های میکوریزی آربوسکولار باعث افزایش تولید اسانس می‌شود. این محققان تلقیح با قارچ‌های میکوریزی آربوسکولار را به عنوان یک استراتژی عالی برای کاهش اثرات نامطلوب تنش آبی در کشت دو گونه آویشن در شرایط تنش خشکی پیشنهاد کردند (Arpanahi *et al.*, 2020).

پلی‌آمین‌ها (PAs) شامل گروهی از مولکول های آلیفاتیک با وزن مولکولی کم، پلی‌کاتیونی و دارای دو یا چند گروه آمین هستند که در همه موجودات زنده وجود دارند و مسئول بسیاری از فرآیندهای اساسی، از جمله کنترل رونویسی، اصلاح RNA، و سنتز پروتئین و همچنین تعدیل فعالیت های آنزیمی، یکپارچگی ساختاری اسیدهای نوکلئیک و پویایی غشای سلولی هستند. پلی‌آمین‌ها از جمله اسپرمیدین، اسپرمین و پوترسین به طور گسترده در طیف وسیعی از فرآیندهای رشدی و فیزیولوژیکی درگیر هستند. آنها همچنین نقش تعدیل کننده مهمی در سلول های گیاهی در برابر تنش‌های محیطی از جمله حفظ و تنظیم هموستاز سلولی، یکپارچگی و نفوذپذیری غشای پلاسمایی، مهار تخریب کلروفیل، تحریک بیوسنتز پروتئین خاص و آلکالوئیدهای حاوی نیتروژن ایفا می‌کنند (Biondi *et al.*, 2022; Mohammadi *et al.*, 2018; Navakoudis & Kotzabasis, 2022). در پژوهشی محلول‌پاشی پوترسین در غلظت ۲۰ میلی‌گرم در لیتر بر روی گیاه آویشن باعث بهبود محتوای آب برگ و افزایش ماده خشک انباشته شده گردید، همچنین شاخص‌های آسیب سلولی را کاهش و فعالیت آنزیم‌های آنتی-اکسیدانی را تنظیم کرد. علاوه بر این، گیاهان تیمار شده با بیشترین غلظت پوترسین نسبت به گیاهان بدون تنش بدون کاربرد پوترسین، میزان اسانس خود را ۲۳/۰۷ درصد افزایش دادند (Mohammadi *et al.*, 2018). در پژوهشی کاربرد پلی‌آمین‌ها در بهبود اثرات مضر شرایط خشکسالی بر رشد و نمو گیاهان گوجه-فرنگی نقشی موثر داشته و و با رونویسی ژن‌های فتوسنتز همبستگی نشان دادند(Upadhyay *et al.*, 2021). در پژوهشی کاربرد پوتریسین با غلظت کم (۰,۱ میلی مولار) با کاهش آسیب به غشاء، افزایش غلظت کلروفیل و افزایش میزان فتوسنتز برای کاهش نجات گندم از خشکسالی گزارش شده است (Gupta *et al.*, 2012).

با توجه به اینکه اکثر مناطق تولید کننده زیره سبز در مناطق خشک و نیمه خشک کشور قرار گرفته است لذا هدف از این پژوهش بررسی کاربرد قارچ

مایکوریزا و پوترسین بر رشد، عملکرد دانه و میزان اسانس گیاه زیره سبز در مزرعه تحت شرایط تنش خشکی بود.

مواد و روش ها

به منظور بررسی اثر پوتریسین و قارچ مایکوریزا بر خصوصیات کمی و میزان اسانس گیاه دارویی زیره سبز، آزمایشی دو ساله (۱۳۹۷-۱۳۹۸) در مزرعه تحقیقاتی چمخانی وابسته به مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کهگیلویه و بویراحمد با مشخصات جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۱ دقیقه ۰۶ دقیقه شمالی، ۳۰ درجه و ۴۱ دقیقه ۵۹ دقیقه شرقی، ارتفاع ۱۷۴۰ متر، میانگین دما ۱۶ درجه سانتی گراد و ۱۱,۵ درجه سانتی گراد و رطوبت نسبی هوا ۴۷,۶ درصد و ۴۹ درصد انجام شد. عملیات آماده سازی خاک شامل شخم و دیسک قبل از کاشت انجام شد. کاشت بذور با دست در کرت های جداگانه (۴ متر × ۳ متر) با فاصله بین ردیف ۲۰ سانتی متر و فاصله بوته ۵ سانتی متر انجام شد. مشخصات خاک مزرعه مورد آزمایش در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- برخی مشخصات فیزیکی وشیمیایی خاک محل آزمایش

عمق خاک cm	هدایت الکتریکی ($dS.m^{-1}$)	pH	درصد کربن آلی ٪	درصد نیتروژن کل ٪	فسفر (ppm)	پتاسیم (ppm)	بافت خاک
۳۰-۰	۰/۷	۷/۱	۰/۹۶	۱	۲۴	۳۳۷	لوم رسی

طرح آزمایشی و تیمارهای مورد بررسی

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل تیمار آبیاری در دو سطح: آبیاری پس از تخلیه ۲۰ درصد (آبیاری معمولی) و ۶۰ درصد (تنش شدید) از آب قابل دسترس گیاه، تلقیح قارچ میکوریز آربوسکولار (Glomus intraradices) در دو سطح شاهد (عدم تلقیح) و تلقیح با قارچ (۳۵ گرم اینوکلوم قارچ حاوی تقریباً ۱۴۵۰ هاگ) و محلول پاشی با پوتریسین در سه سطح شاهد (صفر)، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر بودند. تمامی کرت ها با سیستم آبیاری قطره‌ای هر سه روز یکبار به مدت ۵ هفته برای تسهیل در استقرار گیاهچه‌ها آبیاری شدند. تیمارهای آبیاری در سال اول و دوم به ترتیب از ۲۷ و ۳۰ فروردین ماه اجرا شد و در تمام طول فصل رشد ادامه یافت.

نیاز آبی (بر اساس مترمکعب) برای هر تیمار بر اساس محتوای آب خاک با استفاده از روش TDR (Time Domain Reflectometry, Model 4593) بر اساس فرمول زیر محاسبه گردید (Mokhtassi-Bidgoli *et al.*, 2013)

$$Vw: (\theta F.C - \theta i) \times D \times A$$

جایی که θF.C حجم رطوبت خاک در ظرفیت مزرعه (F.C)، محتوای آب خاک(θi)، D ریشه زایی (۰,۳ متر) و A مساحت کرت اصلی (m) است.

حدود ۳۵ گرم اینوکلوم قارچ حاوی تقریباً ۱۴۵۰ هاگ در زمان کاشت در زیر بذرها در هر خط کاشت قرار داده شد. برای این منظور از قارچ مایکوریزا گونه

(G. intraradices)از موسسه تحقیقات آب و خاک ایران استفاده شد. در طول آزمایش محلول پاشی پوتریسین دو بار انجام شد. اولین کاربرد یک هفته قبل از تیمار خشکی و دومی دو هفته بعد تکرار گردید. از سمپاش پودر کننده اتومایزر برای پاشیدن پوتریسن استفاده گردید بطوریکه برگ‌ها کاملاً با محلول خیس شدند. محلول‌پاشی در ساعات خنک روز و در عصر انجام گردید. تیمارهای شاهد با آب مقطر محلول پاشی شدند. طبق قوانین کشاورزی ارگانیک از علف کش استفاده نشد و علف های هرز به صورت دستی کنترل شد.

اندازه گیری شاخص های زراعی

برای تعیین اجزاء عملکرد در هنگام برداشت پنج بوته به طور تصادفی از هر کرت انتخاب و صفات ارتفاع بوته، تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در هر چتر، تعداد دانه در هر بوته و وزن هزار دانه اندازه گیری و شمارش شد. برای تعیین عملکرد پس از حذف دو ردیف کناری و نیم متر از ابتدای کرت و نیم متر از انتهای کرت به عنوان اثر حاشیه‌ای، بوته‌هایموجود برداشت شده و عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت تعیین گردید .برای اندازه‌گیری وزن تر و خشک اندام هوایی (برحسب گرم در مترمربع) ابتدا پنج بوته از هر گیاه در هر کرت در پایان فصل رشد، انتخاب و پس از انتقال بوته‌ها به آزمایشگاه اندام هوایی و ریشه‌ها جدا گردید و وزن تر با ترازوی دیجیتال اندازه گیری گردید. سپس اندام هوایی هر تیمار به طور جداگانه در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲٤ ساعت قرار گرفت و سپس وزن خشک با ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شد (Saeid Nezhad & Rezvani Moghaddam, 2010).

شاخص برداشت

برای محاسبه شاخص برداشت از رابطه زیر استفاده گردید که در آن HI شاخص برداشت، GY عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) و BY عملکرد بیولوژیکی (کیلوگرم در هکتار) می باشد.

$$Hi = \frac{\mathrm{GT}}{\mathrm{BY}} \times 100$$

درصد اسانس

برای اندازه گیری درصد اسانس زیره سبز از روش تقطیر با استفاده از دستگاه کلونجر استفاده شد. ابتدا از بذر برداشت شده از هر کرت یک نمونه ۵۰ گرمی پودر گردیده و به همراه ۵۰۰ میلی لیتر آب مقطر درون بالن ۱۰۰۰ سی سی ریخته و سه ساعت حرارت داده شد. با استفاده از ترازوی آزمایشگاهی با دقت ۰/۰۰۰۱ وزن اسانس اندازه گیری گردید. پس از محاسبه درصد وزنی اسانس در دانه ها، عملکرد آن در واحد سطح بر حسب (کیلوگرم در هکتار) تعیین شد (Hayati *et al*., 2021).

تجزیه آماری

تجزیه آماری داده‌های آزمایش با استفاده از نرم-افزارآماری SAS نسخه 9.4 و مقایسه میانگین‌ها در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) انجام شد.

نتایج و بحث

صفات رویشی

بر اساس نتایج تجزیه واریانس مرکب دو ساله، اثرات ساده و متقابل پوتریسین، قارچ مایکوریزا و تنش خشکی بر صفات رویشی گیاه زیره سبز در سطح ۵٪

معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج بدست آمده نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش صفات رویشی گیاه زیره سبز می‌گردد. بر اساس نتایج بدست آمده، کاربرد پوتریسین و قارچ مایکوریزا باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع گیاه در شرایط تنش خشکی گردید (جدول ۳). بیشترین میزان ارتفاع گیاه در گیاهان محلول پاشی شده با پوتریسین ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر و تلقیح با قارچ مایکوریزا در شرایط آبیاری در ۲۰ درصد آب قابل استفاده به میزان ۲۲/۶۱ سانتی‌متر در مقایسه با گیاهان آبیاری شده در ۶۰ درصد آب قابل استفاده و بدون کاربرد پوتریسین و تلقیح با قارچ مایکوریزا به میزان ۱۲/۸۸ سانتی‌متر مشاهده گردید. در شرایط تنش خشکی ۶۰ درصد کاربرد پوتریسین و تلقیح با قارچ مایکوریزا باعث افزایش ارتفاع گیاه به میزان ۱۶/۳ سانتی‌متر در مقایسه با گیاهان شاهد (۱۲/۸۸ سانتی‌متر) گردید (جدول ۳). بر اساس نتایج بدست آمده، کاربرد پوتریسین و قارچ مایکوریزا باعث افزایش تعداد شاخه جانبی در گیاه زیره سبز در شرایط تنش خشکی گردید. بیشترین تعداد شاخه در گیاهان محلول پاشی شده با پوتریسین ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر و تلقیح با قارچ مایکوریزا در شرایط آبیاری در ۲۰ درصد آب قابل استفاده به تعداد ۵/۷۹ شاخه در مقایسه با گیاهان آبیاری شده پس از تخلیه ۶۰ درصد آب قابل استفاده و بدون کاربرد پوتریسین و تلقیح با قارچ مایکوریزا به تعداد ۲/۶۳ شاخه مشاهده گردید. در شرایط تنش خشکی ۶۰ درصد، کاربرد پوتریسین و تلقیح با قارچ مایکوریزا باعث افزایش تعداد شاخه گیاه به میزان ۴/۲۲ شاخه در مقایسه با گیاهان شاهد (۲/۶۳ شاخه) گردید (جدول ۳).

وزن خشک اندام هوایی تحت تاثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفت. بر اساس نتایج بدست آمده، کاربرد پوتریسین و قارچ مایکوریزا باعث افزایش وزن خشک گیاه زیره سبز در شرایط تنش خشکی گردید. بیشترین وزن خشک در گیاهان محلول پاشی شده با پوتریسین ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر و تلقیح با قارچ مایکوریزا در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۲۰ درصد آب قابل استفاده به مقدار ۱۰۹۸/۴۹ کیلوگرم در هکتار در مقایسه با گیاهان آبیاری شده پس از تخلیه ۶۰ درصد آب قابل استفاده و بدون کاربرد پوتریسین و تلقیح با قارچ مایکوریزا به تعداد ۶۱۰/۶۴ کیلوگرم در هکتار مشاهده گردید. در شرایط تنش خشکی ۶۰ درصد، کاربرد پوتریسین و تلقیح با قارچ مایکوریزا باعث افزایش وزن خشک گیاه به میزان ۹۸۷/۷۲ کیلوگرم در هکتار در مقایسه با گیاهان شاهد (۶۱۰/۶۴ کیلوگرم در هکتار) گردید (جدول ۳).

کمبود آب از مهمترین عوامل محدود کننده تولید گیاهان زراعی در جهان به شمار می‌رود و این موضوع در مناطق خشک و نیمه خشک مانند ایران از اهمیت بیشتری برخوردار است. تنش خشکی بسته به زمان، مدت و شدت تنش ممکن است خصوصیات رشدی و عملکردی گیاه را کاهش دهد(Ghodrat & Bahrani, 2022). بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش، تنش خشکی ویژگی های رویشی گیاه را کاهش داد ولی تلقیح با قارچ مایکوریزا این کاهش را جبران کرد. کاهش تولید ماده خشک در شرایط تنش خشکی ناشی از کاهش فتوسنتز (به دلیل تلاش گیاهان برای بستن روزنه های خود) و جذب مواد مغذی است. بهبود جذب آب و مواد مغذی معدنی و افزایش

فتوسنتز برگ توسط قارچ مایکوریزا می تواند دلایلی برای افزایش پارامترهای رشد در گیاهان تلقیح شده با قارچ مایکوریزا باشد (Díaz-López *et al*., 2012; Sun *et al*., 2013).

قارچ های مایکوریزای آربوسکولار با فعال کردن جذب مواد مغذی (Chattopadhyay *et al*., 2018) در درجه اول فسفر (Qi *et al*., 2022)، پتاسیم (Trisilawati *et al*., 2019)، نیتروژن (Bücking & Kafle, 2015) و سایر ریز مغذی ها، از جمله روی (Coccina *et al*., 2019)، مس و آهن (Jerbi *et al*., 2022) در رشد گیاه نقش مهمی بازی می‌کنند. علاوه بر این، آنها همچنین تولید هورمون‌های گیاهی و متابولیت‌های ثانویه را افزایش، رنگدانه‌های کلروفیل را تقویت و شدت بیماری‌های ناشی از پاتوژن‌های ریشه را کاهش می‌دهند. تحمل به تنش‌های غیرزیستی مانند گرما، شوری، خشکی، فلزات سنگین و دما را فراهم می‌کنند (Weng *et al*., 2022).

همزیستی متقابل گیاه با قارچ های مایکوریزای آربوسکولار به دلیل افزایش فعل و انفعالات ژنتیکی، مورفولوژیکی و عملکردی و تشکیل ساختارهای درون سلولی معمولی (آرباسکول‌ها) باعث رشد میسلیوم‌های خارج از ریشه می‌شود که قادر به جذب مواد مغذی خاک هستند (Berude *et al*., 2015). کلونیزاسیون ریشه توسط قارچ های مایکوریزای آربوسکولار به نفع گیاه میزبان است و منجر به افزایش فیتوماس می‌شود (Heitor *et al*., 2016). بهبود عملکرد گیاه در محیط های تحت تنش آبی با کاربرد قارچ های مایکوریزای آربوسکولار توسط برخی پژوهشگران گزارش شده است (Hazzoumi *et al*., 2015b). در پژوهشی تلقیح با قارچ Rhizobium spp. باعث کاهش تنش خشکی و افزایش عملکرد، اندازه و محتوای روغن دانه‌های سویا گردید (Igiehon *et al*., 2021). در پژوهشی تلقیح گیاه بادرنجبویه با قارچ مایکوریزا بدون کود آلی باعث افزایش طول بوته بیشتری (۱۹,۰ سانتی‌متر) نسبت به شاهد (۱۶,۶ سانتی‌متر) گردید. همچنین افزایش معنی‌دار وزن خشک در مقایسه با شاهد با کاربرد قارچ مایکوریزا گزارش گردید (de Assis *et al*., 2020).

در پژوهشی افزایش قابل توجه ارتفاع بوته و عملکرد بیولوژیکی در گیاه نعناع تلقیح شده با قارچ مایکوریزا گزارش شده است (Gupta *et al*., 2002). همچنین در مطالعه دیگری سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی شوید و زنیان تلقیح شده با دو گونه قارچ مایکوریزا گزارش شده است (Kapoor *et al*., 2002a).

در پژوهشی که بر روی دو گونه آویشن در شهرکرد انجام گرفت نتایج نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش وزن خشک ریشه و اندام هوایی، محتوای نسبی آب، رنگدانه های فتوسنتزی و ارزش غذایی شد اما تلقیح گیاهان با قارچ های مایکوریزای آربوسکولار باعث افزایش این پارامترها گردید. همچنین تلقیح گیاهان با قارچ های مایکوریزای آربوسکولار باعث بهبود افزایش پرولین، مالون دی آلدئید، نشت الکترولیت و مقاومت روزنه ای با افزایش تنش آبی گردید (Arpanahi *et al*., 2020).

در پژوهشی تنش خشکی تأثیر معنی داری بر کاهش صفات رویشی گیاه ریحان از جمله ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد و سطح برگ، تعداد شاخه ی جانبی، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، میزان کلروفیل

و غلظت فسفر داشت. گیاهان ریحان تلقیح شده با قارچ های آربوسکولار میکوریزا (*G. intraradices*, *G. mosseae*) در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده از رشد، عملکرد و میزان فسفر بیشتری هم در شرایط تنش خشکی و هم در شرایط بدون تنش برخوردار بودند(Aslani *et al.*, 2011)..

جدول ۲- اثر پوتریسین و قارچ مایکوریزا بر صفات رویشی گیاه زیره سبز (*Cuminum cyminum*) تحت تنش خشکی

تنش آبی	پوتریسین میلی‌گرم در لیتر	قارچ آربوسکولار مایکوریزا (۳۵ گرم اینوکلوم قارچ)	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)	تعداد شاخه	وزن خشک اندام هوایی (کیلوگرم در هکتار)
۲۰ درصد	۰	عدم تلقیح	18.07c	4.3cd	856.7cd
		تلقیح	19.93b	5.21ab	978.46b
	۱۰۰۰	عدم تلقیح	17.78c	4.51c	907.44c
		تلقیح	20.84b	5.02b	1057.49a
	۲۰۰۰	عدم تلقیح	18.64bc	4.58c	888.58c
		تلقیح	22.61a	5.79a	1098.49a
۶۰ درصد	۰	عدم تلقیح	12.88gh	2.63g	610.64f
		تلقیح	15.21e	3.72e	739.55e
	۱۰۰۰	عدم تلقیح	13.41g	3.03f	647.43f
		تلقیح	16.52d	3.85e	902.02c
	۲۰۰۰	عدم تلقیح	14.63f	3.06f	817.93d
		تلقیح	16.3d	4.22d	987.72b

عملکرد و اجزاء عملکرد

بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثرات ساده و متقابل پوتریسین، قارچ مایکوریزا و تنش خشکی بر عملکرد و اجزاء عملکرد گیاه زیره سبز در سطح ۵٪ معنی‌دار بود. نتایج بدست آمده نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش عملکرد و اجزاء عملکرد گیاه زیره سبز می‌گردد. بر اساس نتایج بدست آمده، کاربرد پوتریسین و قارچ مایکوریزا باعث افزایش تعداد چتر در گیاه زیره سبز در شرایط تنش خشکی گردید. بیشترین تعداد چتر در گیاهان محلول پاشی شده با پوتریسین ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر و تلقیح با قارچ مایکوریزا در شرایط آبیاری بعد از تخلیه ۲۰ درصد آب قابل استفاده به تعداد ۲۱/۳۶ عدد در مقایسه با گیاهان آبیاری شده بعد از تخلیه ۶۰ درصد آب قابل استفاده و بدون کاربرد پوتریسین و تلقیح با قارچ مایکوریزا به تعداد ۷/۱۶ عدد مشاهده گردید. در شرایط تنش خشکی ۶۰ درصد کاربرد پوتریسین و تلقیح با قارچ مایکوریزا باعث افزایش تعداد چتر گیاه به میزان ۱۱/۰۱ عدد در مقایسه با گیاهان شاهد (۲/۶۳ عدد) گردید (جدول ۳). بر اساس نتایج بدست آمده، کاربرد پوتریسین و قارچ مایکوریزا باعث افزایش تعداد دانه در چتر گیاه زیره سبز در شرایط تنش خشکی گردید. بیشترین تعداد دانه در چتر در گیاهان محلول پاشی شده با پوتریسین ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر و تلقیح با قارچ مایکوریزا در شرایط تنش ۲۰ درصد آب قابل

استفاده به تعداد ١٤ دانه در مقایسه با گیاهان آبیاری شده در ٦٠ درصد آب قابل استفاده و بدون کاربرد پوتریسین و تلقیح با قارچ مایکوریزا به تعداد ۹/۱۸ دانه مشاهده گردید. در شرایط تنش خشکی ٦٠ درصد کاربرد پوتریسین و تلقیح با قارچ مایکوریزا باعث افزایش تعداد دانه در چتر گیاه به میزان ۱۰/۹۵ دانه در مقایسه با گیاهان شاهد گردید. همچنین کاربرد پوتریسین و قارچ مایکوریزا باعث افزایش تعداد دانه در گیاه زیره سبز در شرایط تنش خشکی گردید. بیشترین تعداد دانه در گیاه در گیاهان محلول پاشی شده با پوتریسین ۲۰۰۰ میلی-گرم در لیتر و تلقیح با قارچ مایکوریزا در شرایط تنش ۲۰ درصد آب قابل استفاده به تعداد ۳۰۸/۱۳ عدد در مقایسه با گیاهان آبیاری شده بعد از تخلیه ٦٠ درصد آب قابل استفاده و بدون کاربرد پوتریسین و تلقیح با قارچ مایکوریزا به تعداد ۷۰ دانه مشاهده گردید. در شرایط تنش خشکی ٦٠ درصد کاربرد پوتریسین و تلقیح با قارچ مایکوریزا باعث افزایش تعداد دانه در گیاه به میزان ١٢٥/٤٦ دانه در مقایسه با گیاهان شاهد (۷۰ عدد) گردید (جدول ۳).

بر اساس نتایج بدست آمده، کاربرد پوتریسین و قارچ مایکوریزا باعث افزایش عملکرد در شرایط تنش خشکی گردید. بیشترین وزن هزار دانه در گیاهان محلول پاشی شده با پوتریسین ۲۰۰۰ میلی-گرم در لیتر و تلقیح با قارچ مایکوریزا در شرایط تنش ۲۰ درصد آب قابل استفاده به میزان ۲/۸۹ گرم در مقایسه با گیاهان آبیاری شده بعد از تخلیه ٦٠ درصد آب قابل استفاده و بدون کاربرد پوتریسین و تلقیح با قارچ مایکوریزا به میزان ۲/۱۵ گرم مشاهده گردید. در شرایط تنش خشکی ٦٠ درصد، کاربرد پوتریسین و تلقیح با قارچ مایکوریزا باعث افزایش وزن هزار دانه به میزان ۲/۳٦ گرم در مقایسه با گیاهان شاهد گردید. بر اساس نتایج جدول ۲، عملکرد بذر گیاه زیره سبز تحت تاثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفت. کاربرد پوتریسین و قارچ مایکوریزا باعث افزایش عملکرد بذر در شرایط تنش خشکی گردید (جدول ۳). بیشترین میزان عملکرد زیر سبز در گیاهان تلقیح شده با قارچ مایکوریزا و محلول پاشی شده با پوتریسین ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر در شرایط آبیاری بعد از تخلیه ۲۰ درصد آب قابل استفاده به میزان ۱۰۹۸/٤۹ کیلوگرم در هکتار در مقایسه با گیاهان آبیاری شده بعد از تخلیه ٦٠ درصد آب قابل استفاده و بدون کاربرد پوتریسین و تلقیح با قارچ مایکوریزا به میزان ٦١٠/٦٤ کیلوگرم در هکتار مشاهده گردید. در شرایط تنش خشکی ٦٠ درصد کاربرد پوتریسین و تلقیح با قارچ مایکوریزا باعث افزایش عملکرد بذر به میزان ۹۸۷/۷۲ کیلوگرم در هکتار در مقایسه با گیاهان شاهد گردید. در این پژوهش شاخص برداشت تحت تاثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفت. تنش خشکی باعث کاهش شاخص برداشت در گیاه زیره سبز گردید. نتایج بدست آمده از این پژوهش نشان داد که کاربرد پوتریسین و قارچ مایکوریزا باعث افزایش شاخص برداشت گیاه زیره سبز در شرایط تنش خشکی گردید. بیشترین میزان شاخص برداشت زیر سبز در گیاهان تلقیح شده با قارچ مایکوریزا و محلول پاشی شده با پوتریسین ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر در شرایط تنش ۲۰ درصد آب قابل استفاده به میزان ۲۷/۲۲ در مقایسه با گیاهان آبیاری

شده در ٦٠ درصد آب قابل استفاده و بدون کاربرد پوتریسین و تلقیح با قارچ مایکوریزا به میزان ۲۱/۵۲ مشاهده گردید. در شرایط تنش خشکی ٦٠ درصد کاربرد پوتریسین و تلقیح با قارچ مایکوریزا باعث افزایش ارتفاع گیاه به میزان ۲۲/۲ در مقایسه با گیاهان شاهد گردید.

خشکسالی محدود کننده‌ترین عامل در بین تنش‌های مختلف غیر زنده است که به طور قابل توجهی بر چرخه عمر گیاه تأثیر می گذارد. با توجه به تغییرات آب و هوایی جهانی، شدت و مدت زمان تنش آبی در آینده همچنان افزایش می یابد. تنش خشکی بر فرآیندهای مورفوفیزیولوژیکی گیاهان تأثیر می گذارد و فعالیتهای آنزیم های آنتی اکسیدانی گیاه را مهار می کند. پلی آمین ها می توانند با تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیکی به تنش های مختلف غیر زنده و زنده پاسخ دهند. این پاسخ ها ممکن است به دلیل توانایی پلی آمین ها در تنظیم اسمز و سم زدایی سلول با استفاده از گونه های اکسیژن فعال باشد (Islam et *al.*, 2022). پلی‌آمین‌ها به‌دلیل خاصیت پلی‌کاتیونی می‌توانند با اتصال به ماکرومولکول‌های آنیونی شامل فسفولیپیدها، اسیدهای نوکلئیک و پروتئینها موجب پایداری غشا و ساختارهای ماکرومولکولی سلولها شده و به‌عنوان یک برداشت کننده موثر گونه‌های فعال اکسیژن عمل کنند. همچنین پوترسین میتواند در حفظ یکپارچگی و بقای غشای سیتوپلاسمی و اندامکهای سلولی در شرایط تنش خشکی نقش اساسی ایفا کند (Mohseni Mohammadjanlou *et al.*, 2021). پلی‌آمین ها در طیف گسترده ای از فرآیندهای اساسی گیاه مانند رشد و نمو، پیری و به ویژه سازگاری با تنش های زنده و غیرزنده نقش دارند. پوتریسین می تواند با تنظیم اندازه منافذ کانال پتاسیم برای کنترل باز و بسته شدن منافذ، در غشای پلاسما سلولهای محافظ روزنه تغییر نموده و از این طریق از ریزش آب در گیاه جلوگیری می کند (Islam *et al.*, 2022). محلول پاشی برگی پوتریسین می تواند برخی از فرآیندهای فیزیولوژیکی را تحریک کرده و مولکول های تنظیم اسمزی مانند پرولین، قندهای محلول در کل و اسیدهای آمینه را در گیاهان القا کند (Chen *et al.*, 2019). در پژوهشی افزایش تعداد سنبله، وزن سنبله و عملکرد دانه گندم در شرایط خشکی با کاربرد پوتریسین گزارش گردید (Gupta *et al.*, 2012). همچنین در پژوهش دیگری کاربرد کودهای زیستی (میکوریزا، سودوموناس، فلاوباکتریوم) به همراه پوتریسین باعث بهبود صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی و عملکرد گندم تحت شرایط محدودیت آبی گردید (Mohseni Mohammadjanlou *et al.*, 2021).

سلامت خاک، سلامت گیاه و حاصلخیزی به تعامل بین میکروب های مفید در ریزوسفر بستگی دارد. جوامع میکروبی خاک در حفظ و متعادل کردن چرخه های بیوشیمیایی، مانند چرخه و تامین مواد مغذی، کانی سازی، تخریب شیمیایی، تشکیل خاک، سلامت خاک، و حفظ تنوع زیستی بالای زمین بسیار مهم هستند. در میان میکروبیوتای خاک، قارچ‌های میکوریزی آربوسکولار (AMF) یکی از گونه‌های اصلی در حفظ بهره‌وری و تنوع اکوسیستم‌های گیاهی طبیعی هستند. قارچ‌های میکوریزی آربوسکولار برای تعادل اکولوژیکی

اکوسیستم های خاک بسیار مهم است (Varghese and Ray, 2023b). محرک‌های زیستی از جمله قارچ‌های میکوریزای آربوسکولار با افزایش متابولیسم گیاه، خواص مفیدی را برای گیاهان فراهم می‌کنند که باعث افزایش عملکرد محصول و بهبود کیفیت محصولات می‌شود. از مزایای این محرک های زیستی می توان به محافظت از گیاهان در برابر تنش های محیطی مانند کمبود آب، شوری خاک و قرار گرفتن در معرض دمای رشد کمتر از حد مطلوب، و تقویت رشد گیاه از طریق جذب بیشتر مواد مغذی، تقویت فعالیت‌های آنزیمی و میکروبی خاک، تغییر معماری ریشه‌ها، افزایش حلالیت و تحرک ریز مغذی‌ها و افزایش حاصلخیزی خاک اشاره کرد. قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار یکی از برجسته‌ترین محرک‌های زیستی میکروبی هستند و نقش مهمی در کشت بهتر، سالم‌تر و کاربردی‌تر مواد غذایی در کشاورزی پایدار دارند(Sun & Shahrajabian, 2023). قارچ‌های میکوریز آربوسکولار به کمک مکانیسم‌های حفاظتی کاهش استرس اکسیداتیو، جذب سریع آب و جذب مواد مغذی، و تغییرات در سطوح رونوشت ژن‌های دخیل در مسیرهای سیگنالینگ یا پاسخ به استرس نسبت داده می‌شوند، و اثربخشی این قارچ ها معمولاً تحت تأثیر متغیرهای محیطی و شرایط خاک می‌باشد (Paymaneh *et al.*, 2023).

جدول ۳- اثر پوتریسین و قارچ مایکوریزا بر عملکرد و اجزاء عملکرد گیاه زیره سبز (*Cuminum cyminum*) تحت تنش خشکی

تنش آبی	پوتریسین میلی‌گرم در لیتر	قارچ مایکوریزا (۳۵ گرم اینوکلوم)	تعداد چتر در گیاه	تعداد بذر در چتر	تعداد بذر در گیاه	وزن هزار دانه (گرم)	عملکرد (کیلوگرم در هکتار)	شاخص برداشت	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار)
۲۰ درصد	۰	عدم تلقیح	12.79d	11.81c	158.36ef	2.43b	308.89de	26.02c	1160.07f
		تلقیح	15.6c	13.05b	210.45c	2.82a	402.68b	28.5a	1374.59c
	۱۰۰۰	عدم تلقیح	14.13cd	11.54c	170.33e	2.47b	322.06d	25.6cd	1223.69e
		تلقیح	18.09b	13.39ab	252.23b	2.75ab	417.03a	27.77b	1467.53b
	۲۰۰۰	عدم تلقیح	14.74c	12.23bc	187.14d	2.54b	374.37c	28.98a	1256.96cd
		تلقیح	21.36a	14a	308.13a	2.89a	423.68a	27.27b	1514.96a
۶۰ درصد	۰	عدم تلقیح	7.16h	9.18fg	70ij	2.15d	172.44i	21.52fg	779.4i
		تلقیح	9.75f	10.5de	106.19h	2.31c	267.61g	26.03c	1002.39g
	۱۰۰۰	عدم تلقیح	7.84gh	9.71f	80.51i	2.14d	178.35i	21.23g	821.89h
		تلقیح	10.43ef	10.86d	118.37g	2.28cd	285.55f	23.49e	1181.97ef
	۲۰۰۰	عدم تلقیح	8.04g	9.89f	83.43i	2.26cd	220.34h	20.77h	1033.38g
		تلقیح	11.01e	10.95d	125.46g	2.36bc	291.1f	22.2f	1272.79c

عملکرد و درصد اسانس

بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثرات ساده و متقابل پوتریسین، قارچ مایکوریزا و تنش خشکی بر عملکرد و درصد اسانس گیاه زیره سبز در سطح ۵٪ معنی‌دار بود. نتایج بدست آمده نشان داد که تنش خشکی باعث افزایش درصد اسانس زیره سبز گردید. بر اساس نتایج بدست آمده، کاربرد پوتریسین و قارچ مایکوریزا باعث افزایش درصد اسانس گیاه زیره سبز در شرایط تنش خشکی گردید. بیشترین میزان درصد اسانس در گیاهان محلول پاشی شده با پوتریسین ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر و تلقیح با قارچ مایکوریزا در شرایط آبیاری بعد از تخلیه ۲۰ درصد آب قابل استفاده به مقدار ۳/۰۵ درصد در مقایسه با گیاهان آبیاری بعد از تخلیه ۶۰ درصد آب قابل استفاده و بدون کاربرد پوتریسین و تلقیح با قارچ مایکوریزا به تعداد ۲/۳۸ درصد مشاهده گردید. در شرایط تنش خشکی ۶۰ درصد کاربرد پوتریسین و تلقیح با قارچ مایکوریزا باعث افزایش درصد اسانس به میزان ۳۱/۳ درصد در مقایسه با گیاهان شاهد گردید (جدول ٤).

نتایج بدست آمده نشان داد که تنش خشکی باعث افزایش عملکرد اسانس زیره سبز گردید (جدول ۳). بر اساس نتایج بدست آمده، کاربرد پوتریسین و قارچ مایکوریزا باعث افزایش عملکرد اسانس گیاه زیره سبز در شرایط تنش خشکی گردید. بیشترین میزان عملکرد اسانس در گیاهان محلول پاشی شده با پوتریسین ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر و تلقیح با قارچ مایکوریزا در شرایط تنش ۲۰ درصد آب قابل استفاده به تعداد ۱۳/۳۵ گیلوگرم در هکتار در مقایسه با گیاهان آبیاری شده بعد از تخلیه ۶۰ درصد آب قابل استفاده و بدون کاربرد پوتریسین و تلقیح با قارچ مایکوریزا به تعداد ۳/۸۲ گیلوگرم در هکتار مشاهده گردید. در شرایط تنش خشکی ۶۰ درصد کاربرد پوتریسین و تلقیح با قارچ مایکوریزا باعث افزایش تعداد چتر گیاه به میزان ۱۰/۰۱ گیلوگرم در هکتار در مقایسه با گیاهان شاهد گردید.

افزایش اسانس در بسیاری از گیاهان دارویی تحت تنش خشکی گزارش شده است (Amiri *et al.*, 2017; Arpanahi *et al.*, 2020). تخصیص مجدد کربن جذب شده به دلیل کاهش رشد گیاه در شرایط تنش خشکی ممکن است علت افزایش اسانس باشد (de Abreu & Mazzafera, 2005). استفاده از قارچ‌های میکوریزی آربوسکولار (AMFs) در طول کشت، امکان امیدوارکننده‌ای برای افزایش زیست توده و عملکرد اسانس گیاهان دارویی است (de Assis *et al.*, 2020). بهبود عملکرد اسانس و میزان ترکیبات فنلی با کاربرد قارچ های مایکوریزای آربوسکولار توسط برخی پژوهشگران گزارش شده است (Bączek *et al.*, 2019; da Cruz *et al.*, 2019; Weisany *et al.*, 2017). در پژوهشی بیشترین میانگین محتوای اسانس در گیاهان بادرنجبویه تلقیح شده با قارچ آربوسکولار مایکوریزا (AMF) و کود دامی (۰/۲۷ درصد) مشاهده شد. همچنین استفاده از قارچهای آربوسکولار مایکوریزا و کود گاوی بر تولید وزن خشک، محتوا و عملکرد و همچنین ترکیبات شیمیایی اسانس تأثیر گذاشته است (de Assis *et al.*, 2020). افزایش تولید اسانس در گیاه آویشن تلقیح شده با قارچ های مایکوریزای آربوسکولار گزارش گردید (Arpanahi *et al.*, 2020). افزایش

عملکرد بیولوژیک، درصد اسانس و نهایتاً عملکـرد اسانس در گیاه گشنیز تلقیح شده با قارچ میکـوریزا گزارش شده است (Kapoor *et al.*, 2002b).

جدول ٤- اثر پوتریسین و قارچ مایکوریزا بر عملکرد و درصد اسانس گیاه زیره سبز (*Cuminum cyminum*) تحت تنش خشکی

تنش آبی	پوتریسین میلی گرم در لیتر	قارچ مایکوریزا (۳۵ گرم اینوکلوم قارچ حاوی تقریباً ۱٤٥۰ هاگ)	عملکرد اسانس	درصد اسانس
۲۰ درصد	۰	عدم تلقیح	6.11f	1.91h
		تلقیح	10.58b	2.43e
	۱۰۰۰	عدم تلقیح	6.75e	2.01g
		تلقیح	12.01a	2.79c
	۲۰۰۰	عدم تلقیح	8.5c	2.17f
		تلقیح	13.35a	3.05b
٦۰ درصد	۰	عدم تلقیح	3.82i	2.13f
		تلقیح	7.26d	2.61d
	۱۰۰۰	عدم تلقیح	4.03h	2.16f
		تلقیح	8.71c	2.94b
	۲۰۰۰	عدم تلقیح	5.45g	2.38e
		تلقیح	10.01b	3.31a

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر صفات رویشی، عملکرد و درصد و عملکرد اسانس زیره سبز داشته‌است به‌طوری که با افزایش تنش خشکی صفات مورد بررسی کاهش یافت. اثر کاربرد قارچ‌های آربوسکولار مایکوریزا و پوتریسین بر پارامترهای رویشی، عملکرد و میزان اسانس بود. گیاهان تلقیح شده با قارچ‌های آربوسکولار مایکوریزا در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده از رشد، عملکرد و میزان اسانس بیشتری هم در شرایط تنش خشکی و هم در شرایط بدون تنش برخوردار بودند. بنابراین می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که در شرایط کم‌آبی تلقیح گیاهان با قارچ‌های آربوسکولار مایکوریزا و محلول پاشی پوتریسین در غلظت ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر خصوصیات رشدی، عملکردی و اسانس گیاه زیره سبز را بهبود می‌بخشند. همچنین تلقیح گیاهان با قارچ های آربوسکولار مایکوریزا می تواند یک استراتژی عالی برای کاهش اثرات نامطلوب تنش آبی در کشت زیره سبز در شرایط تنش خشکی باشد.

سپاس‌گزاری

این مقاله بخشی از رساله دکتری نگارنده اول می باشد. بدینوسیله از دانشگاه آزاد اسلامی واحد یاسوج به جهت فراهم کردن امکانات لازم جهت اجرای این پژوهش تقدیر و تشکر به عمل می‌آید.

REFRENCES

Akhzari, D., 2015. Response of Glycyrrhiza glabra L. to Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Water Stress. *Journal of Essential Oil Bearing Plants* 18, 992-1002.

Alcazar, R., Bueno, M., Tiburcio, A.F., 2020. Polyamines: Small Amines with Large Effects on Plant Abiotic Stress Tolerance. *Cells* 9.

Amiri, R., Nikbakht, A., Etemadi, N., Sabzalian, M.R., 2017. Nutritional status, essential oil changes and water-use efficiency of rose geranium in response to arbuscular mycorrhizal fungi and water deficiency stress. *Symbiosis* 73, 15-25.

Arpanahi, A.A., Feizian, M., Mehdipourian, G., Khojasteh, D.N., 2020. Arbuscular mycorrhizal fungi inoculation improve essential oil and physiological parameters and nutritional values of Thymus daenensis Celak and Thymus vulgaris L. under normal and drought stress conditions. *European Journal of Soil Biology* 100.

Aslani, Z., Hassani, A., Sadaghiyani, M.R., Sefidkon, F., Barin, M., 2011. Effect of two fungi species of arbuscular mycorrhizal (Glomus mosseae and Glomus intraradices) on growth, chlorophyll contents and P concentration in basil (Ocimum basilicum L.) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 27, 471-486*.

Bączek, K.B., Wiśniewska, M., Przybył, J.L., Kosakowska, O., Węglarz, Z., 2019. Arbuscular mycorrhizal fungi in chamomile (Matricaria recutita L.) organic cultivation. *Industrial Crops and Products* 140, 111562.

Berude, M., Almeida, D., Riva, M., Cabanêz, P., Amaral, A., 2015. Mycorrhizae and their agroecological importance. *Biosphere Encyclopedia* 11, 132-146.

Bettaieb Rebey, I., Jabri-Karoui, I., Hamrouni-Sellami, I., Bourgou, S., Limam, F., Marzouk, B., 2012. Effect of drought on the biochemical composition and antioxidant activities of cumin (Cuminum cyminum L.) seeds. *Industrial Crops and Products* 36, 238-245.

Biondi, S., Antognoni, F., Marincich, L., Lianza, M., Tejos, R., Ruiz, K.B., 2022. The polyamine "multiverse" and stress mitigation in crops: A case study with seed priming in quinoa. *Scientia Horticulturae* 304.

Bücking, H., Kafle, A., 2015. Role of arbuscular mycorrhizal fungi in the nitrogen uptake of plants: *current knowledge and research gaps. Agronomy* 5, 587-612.

Chattopadhyay, A., Purohit, J., Patel, D., Tetarwal, M., 2018. Management of diseases of spice crops through microbes. Biological Control of Crop Diseases: *Recent Advances & Perspectives*, 249-270.

Chen, D., Shao, Q., Yin, L., Younis, A., Zheng, B., 2019. Polyamine function in plants: metabolism, regulation on development, and roles in abiotic stress responses. *Frontiers in plant science* 9, 1945.

Coccina, A., Cavagnaro, T.R., Pellegrino, E., Ercoli, L., McLaughlin, M.J., Watts-Williams, S.J., 2019. The mycorrhizal pathway of zinc uptake contributes to zinc accumulation in barley and wheat grain. *BMC Plant Biology* 19, 1-14.

da Cruz, R.M.S., da Cruz, G.L.S., Dragunski, D.C., Goncalves, A.C., Alberton, O., de Souza, S.G.H., 2019. Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi alters content and composition of essential oil of Sage ('Salvia officinalis') under different phosphorous levels. *Australian Journal of Crop Science* 13, 1617-1624.

de Abreu, I.N., Mazzafera, P., 2005. Effect of water and temperature stress on the content of active constituents of Hypericum brasiliense Choisy. *Plant Physiology and Biochemistry* 43, 241-248.

de Assis, R.M.A., Carneiro, J.J., Medeiros, A.P.R., de Carvalho, A.A., da Cunha Honorato, A., Carneiro, M.A.C., Bertolucci, S.K.V., Pinto, J.E.B.P., 2020. Arbuscular mycorrhizal fungi and organic manure enhance growth and accumulation of citral, total phenols, and flavonoids in Melissa officinalis L. *Industrial Crops and Products* 158.

Díaz-López, L., Gimeno, V., Simón, I., Martínez, V., Rodríguez-Ortega, W.M., García-Sánchez, F., 2012. Jatropha curcas seedlings show a water conservation strategy under drought conditions based on decreasing leaf growth and stomatal conductance. *Agricultural Water Management* 105, 48-56.

George, N.P., Ray, J.G., 2023. The inevitability of arbuscular mycorrhiza for sustainability in organic agriculture—A critical review. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 7.

Ghodrat, V., Bahrani, A., 2022. Drought tolerance indices in cotton genotypes as affected by different irrigation regimes. *Egyptian Journal of Agricultural Research* 100, 204-213.

Gholamhoseini, M., Ghalavand, A., Dolatabadian, A., Jamshidi, E., Khodaei-Joghan, A., 2013. Effects of arbuscular mycorrhizal inoculation on growth, yield, nutrient uptake and irrigation water productivity of sunflowers grown under drought stress. *Agricultural Water Management* 117, 106-114.

Gupta, M., Prasad, A., Ram, M., Kumar, S., 2002. Effect of the vesicular–arbuscular mycorrhizal (VAM) fungus Glomus fasciculatum on the essential oil yield related characters and nutrient acquisition in the crops of different cultivars of menthol mint (Mentha arvensis) under field conditions. *Bioresource Technology* 81, 77-79.

Gupta, S., Agarwal, V.P., Gupta, N., 2012. Efficacy of putrescine and benzyladenine on photosynthesis and productivity in relation to drought tolerance in wheat (Triticum aestivum L.). *Physiology and Molecular Biology of Plants* 18, 331-336.

Hayati, A., Rahimi, M.M., Kelidari, A., Hosseini, S.M., 2021. Effects of humic acid and iron nanochelate on osmolytes content of black cumin (Nigella sativa L.) under drought stress conditions. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic. *Plants Research* 37, 809-821.

Hazzoumi, Z., Moustakime, Y., hassan Elharchli, E., Joutei, K.A., 2015a. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and water stress on growth, phenolic compounds, glandular hairs, and yield of essential oil in basil (Ocimum gratissimum L). *Chemical and Biological Technologies in Agriculture* 2, 10.

Hazzoumi, Z., Moustakime, Y., hassan Elharchli, E., Joutei, K.A., 2015b. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and water stress on growth, phenolic compounds, glandular hairs, and yield of essential oil in basil (Ocimum gratissimum L). *Chemical and Biological Technologies in Agriculture* 2, 1-11.

Heitor, L.C., Freitas, M.S., Brito, V.N., Carvalho, A.J., Martins, M.A., 2016. Growth and yield of marigold flowers in response to mycorrhizal inoculation and phosphorus. *Horticultura Brasileira* 34, 26-30.

Igiehon, N.O., Babalola, O.O., Cheseto, X., Torto, B., 2021. Effects of rhizobia and arbuscular mycorrhizal fungi on yield, size distribution and fatty acid of soybean seeds grown under drought stress. *Microbiol Res* 242, 126640.

Islam, M.J., Uddin, M.J., Hossain, M.A., Henry, R., Begum, M.K., Sohel, M.A.T., Mou, M.A., Ahn, J., Cheong, E.J., Lim, Y.S., 2022. Exogenous putrescine attenuates the negative impact of drought stress by modulating physio-biochemical traits and gene expression in sugar beet (Beta vulgaris L.). *PLoS One* 17, e0262099.

Islam, M.M., Barman, A., Kundu, G.K., Kabir, M.A., Paul, B., 2019. Vulnerability of inland and coastal aquaculture to climate change: Evidence from a developing country. *Aquaculture and Fisheries* 4, 183-189.

Jerbi, M., Labidi, S., Laruelle, F., Tisserant, B., Jeddi, F.B., Sahraoui, A.L.-H., 2022. Mycorrhizal biofertilization improves grain yield and quality of hulless Barley (Hordeum vulgare ssp. nudum L.) under water stress conditions. *Journal of Cereal Science* 104, 103436.

John, S.A., Ray, J.G., 2023. Optimization of environmental and the other variables in the application of arbuscular mycorrhizal fungi as an ecotechnological tool for sustainable paddy cultivation: a critical review. *J Appl Microbiol* 134.

Kapoor, R., Evelin, H., Mathur, P., Giri, B., 2013. Arbuscular Mycorrhiza: Approaches for Abiotic Stress Tolerance in Crop Plants for Sustainable Agriculture, In: Tuteja, N., Singh Gill, S. (Eds.), Plant Acclimation to Environmental Stress. *Springer New York, New York, NY*, pp. 359-401.

Kapoor, R., Giri, B., Mukerji, K.G., 2002a. Glomus macrocarpum: a potential bioinoculant to improve essential oil quality and concentration in Dill (Anethum graveolens L.) and Carum (Trachyspermum ammi (Linn.) Sprague). *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 18, 459-463.

Kapoor, R., Giri, B., Mukerji, K.G., 2002b. Mycorrhization of coriander (Coriandrum sativum L) to enhance the concentration and quality of essential oil. *Journal of the Science of Food and Agriculture 82, 339-342.*

Latef, A.A.H.A., Hashem, A., Rasool, S., Abd_Allah, E.F., Alqarawi, A.A., Egamberdieva, D., Jan, S., Anjum, N.A., Ahmad, P., 2016. Arbuscular mycorrhizal symbiosis and abiotic stress in plants: A review. *Journal of Plant Biology* 59, 407-426.

Mohammadi, H., Ghorbanpour, M., Brestic, M., 2018. Exogenous putrescine changes redox regulations and essential oil constituents in field-grown Thymus vulgaris L. under well-watered and drought stress conditions. Industrial *Crops and Products* 122, 119-132.

Mohseni Mohammadjanlou, A., Seyedsharifi, R., Khomari, S., 2021. Effects of Holding Irrigation at Reproductive Stages and Putrescine and Bio Fertilizers Application on Grain Filling Period, Chlorophyll Content and Yield of Wheat (Triticum aestivum L.). *Iranian Journal of Field Crops Research* 19, 153-167.

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.

Navakoudis, E., Kotzabasis, K., 2022. Polyamines: A bioenergetic smart switch for plant protection and development. *Journal of Plant Physiology* 270, 153618.

Ozkur, O., Ozdemir, F., Bor, M., Turkan, I., 2009. Physiochemical and antioxidant responses of the perennial xerophyte Capparis ovata Desf. to drought. *Environmental and Experimental Botany* 66, 487-492.

Paymaneh, Z., Sarcheshmehpour, M., Mohammadi, H., Hesni, M.A., 2023. Vermicompost and/or compost and arbuscular mycorrhizal fungi are conducive to improving the growth of pistachio seedlings to drought stress. *Applied Soil Ecology* 182, 104717.

Piri, R., Moradi, A., Balouchi, H., Salehi, A., 2019. Improvement of cumin (Cuminum cyminum) seed performance under drought stress by seed coating and biopriming. *Scientia Horticulturae* 257.

Qi, S., Wang, J., Wan, L., Dai, Z., da Silva Matos, D.M., Du, D., Egan, S., Bonser, S.P., Thomas, T., Moles, A.T., 2022. Arbuscular mycorrhizal fungi contribute to phosphorous uptake and allocation strategies of Solidago canadensis in a phosphorous-deficient environment. *Frontiers in Plant Science* 13, 831654.

Rathod, D., Brestic, M., Shao, H., 2011. Chlorophyll a fluorescence determines the drought resistance capabilities in two varieties of mycorrhized and non-mycorrhized Glycine max Linn.

Saeid Nezhad, A.H., Rezvani Moghaddam, P., 2010. Effect of Biofertilizers and Chemical Fertilizers on Morphological Properties, Yield, Yield Components and Essence Percentage of Cumin (Cuminum cyminum). *Journal Of Horticultural Science* 24, -.

Saiednejad, A., Rezvanimoghadam, P., 2010. Effect of Biofertilizers and Chemical Fertilizers on Morphological Properties, Yield, Yield Components and Essence Percentage of Cumin (Cuminum cyminum). *Journal of Horticultural Science* 24, -.

Sun, W., Shahrajabian, M.H., 2023. The Application of Arbuscular Mycorrhizal Fungi as Microbial Biostimulant, Sustainable Approaches in Modern Agriculture. *Plants* (Basel) 12.

Sun, X.P., Yan, H.L., Kang, X.Y., Ma, F.W., 2013. Growth, gas exchange, and water-use efficiency response of two young apple cultivars to drought stress in two scion-one rootstock grafting system. *Photosynthetica* 51, 404-410.

Trisilawati, O., Hartoyo, B., Bermawie, N., Pribadi, E., 2019. Application of AMF (Arbuscular Mycorrhizal Fungi) and organic fertilizer to increase the growth, biomass and bioactive content of Centella, IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science. IOP Publishing*, p. 012067.

Upadhyay, R.K., Fatima, T., Handa, A.K., Mattoo, A.K., 2021. Differential Association of Free, Conjugated, and Bound Forms of Polyamines and Transcript Abundance of Their Biosynthetic and Catabolic Genes During Drought/Salinity Stress in Tomato (Solanum lycopersicum L.) *Leaves. Front Plant Sci* 12, 743568.

Varghese, R., Ray, J.G., 2023a. Sustainable agriculture of tropical spices: arbuscular mycorrhizal fungi as an ecotechnological tool − A critical review. Journal of Applied *Research on Medicinal and Aromatic Plants* 36, 100507.

Varghese, R., Ray, J.G., 2023b. Sustainable agriculture of tropical spices: arbuscular mycorrhizal fungi as an ecotechnological tool − A critical review. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants* 36.

Weisany, W., Sohrabi, Y., Siosemardeh, A., Ghassemi-Golezani, K., 2017. Funneliformis mosseae fungi changed essential oil composition in Trigonella foenum graecum L., Coriandrum sativum L. and Nigella sativa L. *Journal of Essential Oil Research* 29, 276-287.

Weng, W., Yan, J., Zhou, M., Yao, X., Gao, A., Ma, C., Cheng, J., Ruan, J., 2022. Roles of arbuscular mycorrhizal fungi as a biocontrol agent in the control of plant diseases. *Microorganisms* 10, 1266.

Xu, J., Jin, J., Zhao, H., Li, K., 2019. Drought stress tolerance analysis of Populus ussuriensis clones with different ploidies. *Journal of Forestry Research* 30, 1267-1275.

Sustainable Agricultural Science Research /Vol. 3/No.3/Fall 2023/P: 28-47

https://www.sarj.iauk.ac.ir

The Application of Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Putrescine on The Vegetative Characteristics, Seed Yield and Essential Oil of the Medicinal Plant Cumin (*Cuminum cyminum*) Under Drought Stress.

Hamidreza Anjam[1], Mehdi Hosseinifarahi [2*] and Moslem Abdipour [3]

[1] PhD student, Department of Horticultural Science, Yasuj Branch, Islamic Azad University, Yasuj, Iran

[2] Associated professors, Department of Horticultural Science, Yasuj Branch, Islamic Azad University, Yasuj, Iran.

[3] Assistant professor, Kohgiluyeh and Boyerahmad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization(AREEO), Yasuj, Iran.

Corresponding Author's Email: m.hosseini.farahi@gmail.com

(Received: November. 21, 2023– Accepted: December. 21, 2023)

ABSTRACT

To study the influence of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) inoculation and Putricine (Put) on the growth characteristics, essential oil content and yield of cumin plant (*Cuminum cyminum* L.), a two-year study as factorial experiment based on randomized complete blocks design with three replications was conducted in the Kohgiloueh and Boyer Ahmad Agricultural and Natural Resources Research Center. The factors were AMF inoculation (non-inoculated and inoculated with *Glomus mosseae* (35 g of fungi inoculum containing 1450 spores), Put at three concentration (0, 1000 and 2000 mg^{-1}) and two irrigation regimes (irrigation after 20% (normal irrigation) and 60% (irrigation after draining 20% (normal irrigation) and 60% (severe stress) of the plant's available water). The results showed that drought stress had a significant effect on the vegetative traits, seed yield and essential oil content and yield of cumin, so that with the increase of drought stress the studied traits decreased drastically. The effect of arbuscular fungi and putricin on vegetative parameters, yield and essential oil content wasvery significant. Plants inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi had higher growth, seed yield and essential oil content in both drought stress and non-stress conditions compared to non-inoculated plants. Therefore, it can be concluded that in water-deficient conditions, inoculation of plants with arbuscular mycorrhizal fungi and foliar spraying of putricin improve the growth characteristics, seed yield and essential oil of cumin plant.

Keywords: Polyamines, water stress, Harvest index, Biological performance