مقاله پژوهشی

بررسی اثر قارچ میکوریز آربوسکولار روی رشد، تنظیم اسمزی و جذب فسفر گیاه سنبل‌الطیب (*Valeriana officinalis* L.) تحت شرایط تنش خشکی

سمیه نقدی[۱]، زهره طغرانگار[۱*]، الهه وطن‌خواه[۱]، ستاره امانی‌فر[۲] و مهناز وفادار[۱]

[۱] گروه زیست شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

[۲] گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

(تاریخ دریافت:۱۴۰۱/۰۶/۱۲، تاریخ پذیرش نهایی:۱۴۰۱/۰۷/۳۰)

چکیده

گیاه سنبل‌الطیب یکی از مهم‌ترین گیاهان دارویی شناخته‌شده در دنیا و بومی اروپا و آسیا است که از گذشته‌های دور در طب سنتی مورد توجه و استفاده بشر بوده است. در این مطالعه به‌منظور ارزیابی اثر کلنیزاسیون قارچ *Funneliformis mosseae* و تنش کم‌آبی بر برخی ویژگی‌ها از جمله شاخص‌های رشد، تنظیم اسمزی و جذب فسفر سنبل‌الطیب، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار به‌مدت دو ماه انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل دو سطح قارچ (بدون تلقیح (شاهد) و تلقیح‌شده) و سه سطح تنش خشکی (٪۹۰-۱۰۰ (شاهد)،٪۷۰-۶۰ و ٪۵۰-۴۰ ظرفیت زراعی (FC)) بود. نتایج نشان داد تنش کم‌آبی به‌طور معنی‌داری زیست‌توده، محتوای نسبی آب برگ و غلظت فسفر بخش هوایی و زیرزمینی را در هر دو سطح FC۶۰-۷۰٪ و FC۴۰-۵۰٪ و محتوای کلروفیل‌ها را در سطح FC۴۰-۵۰٪ کاهش داد. در این تحقیق شاخص‌های رشدی، محتوای کلروفیل‌ها و غلظت فسفر در اثر کلنیزاسیون *F. mosseae* در هر دو سطح تنش افزایش یافتند. بررسی‌های بیوشیمیایی نیز نشان داد که محتوای قندهای محلول، پروتئین و مالون دی‌آلدهید (MDA) بخش هوایی و زیرزمینی سنبل‌الطیب به‌طور معنی‌داری تحت تنش خشکی افزایش یافتند. تلقیح میکوریزی با گیاه سنبل‌الطیب سبب افزایش پروتئین بخش هوایی در سطح FC۶۰-۷۰٪ و برعکس کاهش محتوای قندهای محلول و MDA بخش هوایی و زیرزمینی و پروتئین بخش زیرزمینی در هر دو سطح FC۶۰-۷۰٪ و FC۴۰-۵۰٪ در مقایسه با گیاهان بدون تلقیح شد. درمجموع کلنیزاسیون گیاه سنبل‌الطیب با قارچ *F. mosseae* با تعدیل اثر تنش خشکی می‌تواند روش مناسب و کارآمدی در کاهش اثرات مخرب تنش خشکی در گیاه همزیست باشد.

کلمات کلیدی: تغذیه معدنی، تنش کم‌آبی، تنظیم اسمزی، سنبل‌الطیب، شاخص‌های رشدی، قارچ میکوریز آربوسکولار

مقدمه

سنبل‌الطیب (علف‌گربه) با نام علمی *Valeriana officinalis* L. گیاه علفی چند ساله متعلق به خانواده پیچ امین‌الدوله (Caprifoliaceae) است و حدود ۲۰۰ گونه دارد. این گیاه دارویی ارزشمند و شناخته‌شده در دنیا، بومی اروپا و آسیا است و از قدیم الایام به‌دلیل داشتن اثراتی نظیر آرام‌بخش، برطرف کننده خستگی، بی‌خوابی و اضطراب، درمان تشنج، دردهای عصبی و گرفتگی عضلانی در طب سنتی کاربرد فراوانی داشته است (Tansaz *et al.*, 2014). نام والریان (Valerian) مشتق شده از کلمه لاتین والار (Valar) به مفهوم سلامتی است و

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: Ztoghranegar@znu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.4.4]

خاصیت درمانی و شفابخشی گیاه سنبل‌الطیب را نشان می‌دهد (Javan Gholiloo *et al.*, 2019) ریشه و ریزوم‌های سنبل‌الطیب حاوی روغن‌های فرار از جمله سسکوئی‌ترپن‌ها (Sesquiterpenoids) مانند والرنیک اسید (Valerenic acid) و مشتقات آن‌ها نظیر ایریدوئیدها (Iridoids) هستند و اثرات فارماکولوژیکی و آرامبخشی گیاه سنبل‌الطیب بیشتر به اسید والرنیک نسبت داده می‌شود (Ricigliano *et al.*, 2016; Amanifar and Toghranegar, 2020).

گیاهان اغلب در شرایط محیطی نامطلوب قرار می‌گیرند و تنش‌های مختلف غیرزیستی و زیستی را تجربه می‌کنند که این عوامل به‌طور چشمگیری باعث تغییر پراکنش گونه‌های گیاهی در آشیان‌های اکولوژیکی و نیز محدودیت در رشدونمو، تولید و عملکرد گیاهان می‌شود (Kapoor *et al.*, 2020). تنش خشکی (یا کمبود آب) در بین عوامل غیرزیستی محدودکننده به‌عنوان جدی‌ترین تنش محیطی برای گیاهان به‌ویژه در مناطق مستعد خشک‌سالی و مهم‌ترین تهدید برای امنیت غذایی جهان در آینده و دلیل بسیاری از قحطی‌ها در گذشته شناخته شده است (Seleiman *et al.*, 2021).

گیاهان با سازوکارهای مقاومتی متعدد با انواع تنش‌ها مقابله می‌نمایند و متحمل تغییرات ساختاری (ریختی و تشریحی)، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی می‌گردند (Bandurska, 2022). تحمل تنش کم‌آبی در گیاهان به عوامل مختلفی از جمله به ژنوتیپ گیاهی، شدت و مدت زمان تنش و همچنین به توانمندی گونه گیاهی در ترمیم و بازیابی جهت تنظیم عملکرد خود بستگی دارد. بنابراین در شرایط کمبود آب، گیاهان با تغییر تمام عملکردهای زیستی خود به تنش پاسخ می‌دهند (Laxa *et al.*, 2019). از پیامدهای اصلی تنش خشکی در گیاهان می‌توان به کاهش رشد و تقسیمات سلولی، کاهش زیست‌توده تر و خشک، تمایز ریشه، کاهش سطح برگ و طول ساقه، تغییر حرکات روزنه‌ای، روابط آبی و تغذیه معدنی و همچنین کاهش کارایی مصرف آب و عملکرد گیاه اشاره کرد (Kumawat and Sharma, 2018). محققان دریافتند که تحت تنش خشکی با کاهش هدایت روزنه‌ای، کاهش در محتوای نسبی آب برگ (RWC) و فتوسنتز نیز آغاز می‌شود و به‌دنبال کاهش RWC، تقسیمات سلولی، رشد، رنگیزه‌های فتوسنتزی، سیالیت و پایداری غشا سلولی نیز کاهش می‌یابد و در سنتز پروتئین‌ها، اسمولیت‌هایی نظیر کربوهیدرات‌ها و نیز تعادل هورمون‌های گیاهی تغییراتی ایجاد می‌گردد (Zhou *et al.*, 2017).

یکی از راهکارهای زیستی برای مقابله با تنش کم‌آبی برقراری رابطه همزیستی با میکروارگانیسم‌های خاکزی نظیر قارچ‌های میکوریز آربوسکولار (Arbuscular Mycorrhizal: AM) است. قارچ‌های AM از نوع اندومیکوریز و متعلق به شاخه گلومرومایکوتا (*Glomeromycota*) هستند و می‌توانند با ریشه بیش از ۸۰ درصد گونه‌های گیاهی آوندی رابطه همزیستی برقرار کنند. نتیجه حاصل از این همزیستی، فعالیت قارچ در جهت جذب و انتقال عناصر غذایی به گیاه میزبان و دریافت ترکیبات کربنی حاصل از فتوسنتز گیاه میزبان توسط قارچ همزیست است (Smith and Read, 2010; Amanifar and Toghranegar, 2020).

تحقیقات انجام‌شده نشان داده است که قارچ‌های AM می‌توانند از طریق تغییرات ریختی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی از جمله تأثیر بر ویژگی‌های سیستم ریشه‌ای مانند ساختار ریشه، تنظیم اسمزی، تولید مولکول‌های حفاظتی، تثبیت فیزیکی و شیمیایی خاکدانه‌ها، افزایش سنتز کلروفیل و فتوسنتز، افزایش سطوح فیتوهورمون‌ها، بهبود روابط آبی و تغذیه‌ای گیاه به‌ویژه افزایش جذب فسفر به گیاه میزبان در افزایش تحمل به خشکی کمک نمایند (Boutasknit *et al.*, 2020; Fusconi and Berta, 2012).

مطالعات نشان داده که برخی از ریسه‌های قارچ‌های AM وارد سیستم ریشه‌ای گیاه میزبان شده و با کاهش غلظت ABA، میزان سیتوکینین را افزایش می‌دهند. این عمل سبب گسترش سیستم ریشه‌ای و افزایش میزان جذب آب در گیاه می‌گردد و برخی دیگراز ریسه‌ها در خارج از سیستم ریشه‌ای، دسترسی و تماس با حجم بیشتری از توده خاک توسط شبکه گسترده‌ای از هیف‌های خارج ریشه‌ای را امکان‌پذیر می‌کنند. بنابراین با

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.4.4]

فراهمی سطح بزرگتری برای جذب فسفر و نیز آزادسازی فسفر معدنی با ترشح اسیدهای آلی محلول‌کننده فسفر نظیر اسید مالیک و اسید فسفاتاز، جذب فسفر توسط گیاه افزایش می‌یابد. تحقیقات نشان داده است فسفر در افزایش عملکرد ماده خشک نقش مهمی دارد و با افزایش عملکرد می‌تواند بازده مصرف آب را نیز افزایش دهد و رشد گیاه را بهبود بخشد (Javan Gholiloo *et al.*, 2019; Etesami *et al.*, 2021).

گزارشاتی در رابطه با بهبود وضعیت رشدی و عملکردی گیاهان تلقیح‌شده با قارچ‌های AM تحت شرایط تنش در گیاهان *Leymus chinensis* و *Hemarthria altissima* از خانواده گندمیان (Li *et al.*, 2019) ذرت (Maize) (Hu *et al.*, 2020)، لیمو (*Poncirus trifoliata* L. Raf.) (Cheng *et al.*, 2021) و سویا (*Glycine max* L.) (Oliveira *et al.*, 2022) ارائه شده است. با توجه به اهمیت گیاه دارویی سنبل‌الطیب در طب سنتی و نیز مشکل جدی کم‌آبی در سراسر جهان از جمله ایران این تحقیق با هدف بررسی اثر تنش کم‌آبی بر روی گیاه سنبل‌الطیب و نیز کارایی قارچ میکوریز آربوسکولار *F. mosseae* به‌عنوان بهبوددهنده زیستی بر تحمل این گیاه دارویی تحت سطوح مختلف خشکی انجام شد و همچنین فرضیه کاهش اثرات تنش خشکی در گیاه سنبل‌الطیب در حضور قارچ *F. mosseae* با اندازه‌گیری برخی شاخص‌های رشدی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی بررسی گردید.

مواد و روش‌ها

این تحقیق جهت بررسی اثر همزیستی قارچ AM و سطوح مختلف کم‌آبی روی گیاه سنبل‌الطیب، به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در سال ۱۳۹۸ در آزمایشگاه تحقیقاتی گروه زیست‌شناسی دانشگاه زنجان انجام شد. بذرهای گیاه سنبل‌الطیب (*Valeriana officinalis* L.) تهیه‌شده از شرکت پاکان بذراصفهان، بعد از ضدعفونی سطحی با استفاده از اتانول ۷۰ درصد به‌مدت یک دقیقه و سپس با محلول هیپوکلریت سدیم یک درصد به‌مدت ۱۵ دقیقه و شستشوی مکرر با آب استریل در شرایط کنترل شده، تحت شرایط نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی و در دمای ۲۵±۲ °C کشت شدند. خاک مورد استفاده در این تحقیق جهت کاشت بذرها از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری از مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زنجان جمع‌آوری شد. بافت خاک لوم شنی، pH ۷/۸ (در گل اشباع)، هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع (ECe) ۰/۶۲ دسی‌زیمنس بر متر، کربن آلی (به روش والکی- بلک) ۱/۱۴ درصد، فسفر قابل استفاده (با عصاره‌گیر بی‌کربنات سدیم) ۵/۴ میلی‌گرم در کیلوگرم، پتاسیم قابل جذب (با عصاره‌گیر استات آمونیوم) ۳۷۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و رطوبت ظرفیت مزرعه (FC) خاک (با استفاده از دستگاه صفحه‌های فشار) (Klute, 1986) برابر ۱۴ درصد وزنی بود (جدول ۱).

برای تلقیح با گونه‌ای از قارچ AM (*F. mosseae*)، مایه تلقیح حاوی اندام‌های قارچی و قطعه‌هایی از ریشه‌های کلنیزه شده و کلنیزه نشده به همراه خاک به مقدار ۴۰ گرم (با پتانسیل ۲۳ اسپور در هر گرم مایه تلقیح) به ازای هر گلدان (۲/۳ درصد حجمی گلدان) به خاک بستر اضافه گردید. برای کاشت، نیمی از بذرها در ۲ کیلوگرم خاک حاوی مایه تلقیح خاکی قارچ *F. mosseae* و نیمی دیگر از بذرها نیز در ۲ کیلوگرم خاک حاوی همان میزان مایه تلقیح خاکی اتوکلاو شده در گلدان‌های ضدعفونی شده کاشته شدند. همچنین، برای ایجاد یک جامعه میکروبی یکنواخت، همه گلدان‌ها ۱۰ میلی‌لیتر عصاره فیلترشده بدون قارچ AM از مایه تلقیح دریافت نمودند و به‌مدت سه ماه با آب‌مقطر به‌صورت طبیعی در حد رطوبت FC آبیاری شدند. در این مدت هر هفته یک بار به گلدان‌ها در زمان آبیاری محلول غذایی نصف قدرت لانگ اشتون (با فسفر ۳۲ میکرومولار) (Hewitt, 1953) اضافه شد. سپس گیاهان در طی مرحله رویشی تحت تیمار خشکی شامل سه سطح (سه سطح ۱۰۰-۹۰ درصد (شاهد)، ۷۰-۶۰ درصد و ۵۰-۴۰ درصد FC قرار گرفتند. دو ماه پس از اعمال تنش، عملیات برداشت انجام شد و شاخص‌های زیر در بوته‌ها اندازه‌گیری و سنجش گردید.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.4.4]

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

Texture	pH	EC_e dS m^{-1}	FC %	OC %	SP %	P mg kg^{-1}	K mg kg^{-1}	N %
لومی شنی	۷/۸	۰/۶۲	۱۴	۱/۱۴	۲۸	۵/۴	۳۷۰	۰/۱۱۴

Texture: بافت، EC_e: قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع، FC: رطوبت ظرفیت زراعی، OC: درصد کربن آلی، SP: درصد رطوبت اشباع، P: مقدار فسفر قابل جذب، K: مقدار پتاسیم قابل جذب، N: مقدار ازت قابل جذب

برای محاسبه درصد کلنیزاسیون قارچ *F. mosseae*، از هر گلدان حدود ۱ گرم از ریشه‌های ظریف و نرم جدا گردید و با آب‌مقطر شستشو داده شد و با استفاده از تریپان بلو (Trypan blue) در لاکتوگلیسرول (Lactoglycerol) رنگ‌آمیزی شد (Phillips and Hayman, 1970) و با روش تقاطع خطوط شبکه درصد کلنیزاسیون محاسبه شد در این روش تعداد قطعات ریشه کلنیزه شده بر تعداد کل قطعات بررسی‌شده تقسیم گردید و برحسب درصد گزارش شد (Giovannetti and Mosse, 1980).

برای اندازه‌گیری وزن تر و خشک نمونه‌ها، ابتدا بوته‌ها را از گلدان خارج نموده و بعد از شستشو با آب‌مقطر، بخش هوایی هر گیاه از بخش زیرزمینی جدا شد، سپس وزن تر و خشک بخش هوایی و زیرزمینی و محتوای نسبی آب برگ (RWC) بوته‌های گیاهی از چهار گلدان اندازه‌گیری گردید. برای سنجش وزن خشک بخش هوایی و زیرزمینی گیاه سنبل‌الطیب، نمونه‌ها در آون با دمای ۷۰ °C به‌مدت ۴۸ ساعت قرار گرفتند و سپس اندازه‌گیری شدند.

برای اندازه‌گیری RWC، از هر بوته دو برگ جدا شد و بعد از تهیه سه دیسک با قطر ۱ سانتی‌متر از هر برگ انتخابی با استفاده از ترازو توزین گردید (FW). برای اندازه‌گیری وزن حالت تورژسانس کامل (TW)، دیسک‌ها به‌مدت ۲۴ ساعت در ظروف پتری‌دیش حاوی آب‌مقطر غوطه‌ور شده و بعد با ترازو اندازه‌گیری شدند. پس از خارج‌کردن دیسک‌ها از پتری، سطح آن‌ها خشک و دوباره توزین شدند. برای اندازه‌گیری وزن خشک (DW)، دیسک‌ها داخل فویل آلومینیومی در داخل انکوباتور با دمای ۷۰ °C به‌مدت ۴۸ ساعت خشک و بعد وزن شدند. RWC برگ با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد (Unyayar *et al.*, 2004).

رابطه (۱)

$$RWC\ (\%) = [(FW- DW) / (TW- DW)] \times 100$$

اندازه‌گیری محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل با استفاده از روش Lichtenthaler و Buschmann (۲۰۰۱) انجام گردید. بدین منظور ۰/۱ گرم بافت تر برگ گیاه در ۱۰ میلی‌لیتر استن ۸۰ درصد سائیده شد و بعد از صاف‌کردن محلول حاصل با کاغذ صافی، حجم محلول نهایی یادداشت گردید. سپس جذب هر کدام از محلول‌ها در طول‌موج‌های ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل a و ۶۴۷ نانومتر برای کلروفیل b توسط اسپکتروفتومتر خوانده و ثبت شد. سپس با استفاده از روابط (۲)، (۳) و (۴)، میزان کلروفیل a، b و کلروفیل کل برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر نمونه محاسبه گردید.

رابطه (۲)

$$Chl\ a\ (\mu g/mL) = (12.25\ A_{663} - 2.79\ A_{647})$$

رابطه (۳)

$$Chl\ b\ (\mu g/mL) = (21.50\ A_{647} - 5.10\ A_{663})$$

رابطه (۴)

$$Total\ Chl = Chl\ a + Chl\ b$$

در این روابط: A جذب نور در طول‌موج‌های مورد نظر است.

سنجش محتوای قندهای محلول نمونه‌ها با استفاده از معرف آنترون و براساس روش Kabiri وهمکاران (۲۰۱۴) تعیین شد. ابتدا ۰/۰۵ گرم از بافت‌های تر بخش هوایی و زیرزمینی در ۲/۵ میلی‌لیتر اتانول ۸۰ درصد به‌مدت ۶۰ دقیقه در داخل بن‌ماری با دمای ۹۵ °C قرار گرفت. پس از صاف نمودن عصاره حاصل، الکل آن تبخیر شد و رسوب به‌دست آمده در ۲/۵ میلی‌لیتر آب‌مقطر حل گردید. سپس برای سنجش قندهای محلول، ۲۰۰ میکرولیتر عصاره با ۵ میلی‌لیتر معرف آنترون مخلوط گردید و به‌مدت ۱۷ دقیقه در داخل بن‌ماری با

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.4.4]

دمای ۹۰ °C قرار گرفت. پس از سرد شدن، جذب نمونه‌ها در طول‌موج ۶۲۵ نانومتر خوانده و یادداشت گردید. برای محاسبه مقادیر قند محلول نمونه‌ها از منحنی استاندارد گلوکز استفاده شد و براساس میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه و گزارش شد.

سنجش مالون دی‌آلدهید (MDA) به‌عنوان محصول پراکسیداسیون لیپیدی براساس روش Velikova و همکاران (۲۰۰۰) تعیین گردید. ابتدا ۰/۱۵ گرم بافت تر بخش هوایی و زیرزمینی گیاه در ۵ میلی‌لیتر اسید تری‌کلرو استیک (TCA) ۰/۱ درصد به‌خوبی سائیده شد. عصاره به‌دست آمده با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه به‌مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس ۱ میلی‌لیتر از محلول روشناور با ۴ میلی‌لیتر اسید تری‌کلرو استیک ۲۰ درصد (W/V) که حاوی ۰/۵ درصد (W/V) اسید تیوباربیتوریک (TBA) بود، مخلوط گردید و در دمای ۹۵ °C به‌مدت ۳۰ دقیقه حرارت داده شد و بلافاصله بعد آن سرد شد. سپس محلول رویی به‌مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد و جذب آن در طول‌موج ۵۳۲ نانومتر خوانده شد. جذب بقیه رنگیزه‌های غیراختصاصی در طول‌موج ۶۰۰ نانومتر تعیین و از میزان جذب در طول‌موج ۵۳۲ نانومتر کسر شد و با ضریب خاموشی معادل $155\ mM^{-1}\ cm^{-1}$، غلظت MDA محاسبه گردید و نتایج براساس میکرومول بر گرم وزن تر گزارش شد.

برای استخراج پروتئین محلول، ابتدا ۰/۱ گرم بافت تر گیاه در داخل هاون با استفاده از نیتروژن مایع به‌خوبی سائیده شد و به آن ۱ میلی‌لیتر بافر استخراج (بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار با pH=۶/۸ حاوی Na-EDTA ۱ میلی‌مولار) افزوده شد. همه مراحل در دمای ۴ °C، انجام شد. سپس در همین دما با سرعت ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه به‌مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ شد و محلول رویی جدا گردید و از آن برای سنجش پروتئین استفاده شد. سنجش محتوای پروتئین با استفاده از روش Bradford (۱۹۷۶) انجام شد و میزان جذب عصاره در طول‌موج ۵۹۵ نانومتر خوانده شد. درنهایت با استفاده از منحنی استاندارد آلبومن سرم گاوی، مقدار پروتئین برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه و گزارش شد.

برای سنجش غلظت فسفر مقدار ۰/۱ گرم پودر خشک گیاه به‌مدت ۲۴ ساعت در ۴ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ در جای تاریک و در دمای محیط قرار گرفت و به‌خوبی در اسید حل شد. سپس به منظور خروج بخارات اسید نیتریک محلول به‌دست آمده گرم شد. بعد از خروج بخارات اسیدی با آب‌مقطر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد و توسط کاغذ صافی صاف شد. از محلول حاصل برای اندازه‌گیری غلظت عنصر فسفر به روش اسپکتروفتومتری با استفاده از روش رنگ‌سنجی وانادات- مولیبدات در طول‌موج ۴۳۰ نانومتر تعیین (Cottenie *et al.*, 1980) و غلظت آن برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن خشک بیان شد.

جهت آنالیز آماری داده‌های جمع‌آوری شده، ابتدا یکنواختی توزیع واریانس‌ها با استفاده آزمون لون (Levene's Test) انجام شد. سپس تحلیل واریانس و مقایسه میانگین‌ها آن‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال آماری ۵ درصد با استفاده نـرم‌افزار SPSS نسخه ۱۷ انجام گردید. همچنین رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel نسخه ۲۰۱۶ انجام شد.

نتایج و بحث

درصد کلنیزاسیون ریشه: تنش خشکی درصد کلنیزاسیون ریشه را به‌طور معنی‌داری ($P\leq$۰/۰۱) تحت تأثیر قرار داد (جدول ۲). درصد کلنیزاسیون ریشه در دو سطح تنش متوسط و شدید بیشتر از سطح شاهد خشکی بود البته تنها در سطح تنش متوسط از نظر آماری معنی‌دار بود، بیشترین درصد کلنیزاسیون (۶۴٪) در سطح تنش متوسط مشاهده شد (شکل ۱).

نتایج نشان داد که درصد همزیستی بین گیاه سنبل‌الطیب و قارچ *F. mosseae* به‌طور معنی‌داری ابتدا در سطح تنش متوسط افزایش یافت سپس میزان آن در سطح تنش شدید کاهش پیدا کرد. در مطالعه‌ای روی گیاه گل محمدی افزایش درصد میکوریزی ریشه تحت تنش متوسط و کاهش آن تحت تنش شدید مشاهده گردید (Abdel-Salam *et al.*, 2018) که با نتایج به‌دست آمده از این تحقیق مطابقت دارد. به‌نظر می‌رسد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.4.4]

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تلقیح قارچ میکوریزی بر برخی شاخص‌های رشدی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه سنبل‌الطیب تحت تنش خشکی

منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن تر بخش هوایی	وزن خشک بخش هوایی	وزن تر بخش زیرزمینی	وزن خشک بخش زیرزمینی	محتوای نسبی آب برگ	درصد کلنیزاسیون ریشه
Fungi (F)	۱	۰/۷۹۹^{ns}	۰/۰۲۵*	۱/۷۹۳**	۰/۷۰۵**	۱۲۸/۲۳۷*	-
Stress (S)	۲	۰/۶۲۰^{ns}	۰/۰۲۴**	۰/۱۰۹^{ns}	۰/۰۱۱^{ns}	۱۸۸/۳۱۱**	۱۸۶/۸۲۴**
F×S	۲	۳/۲۱۱**	۰/۱۴۵**	۰/۲۹۶**	۰/۱۰۵**	۱۶۶/۹۴۳**	-
اشتباه آزمایشی	۱۸	۰/۲۶۲	۰/۰۰۴	۰/۰۴۴	۰/۰۱۱	۱۹/۳۳۱	۷/۲۷۳
ضریب تغییرات	–	۱۴/۶۸	۱۳/۴۳	۱۵/۰۸	۴/۵۴	۷/۲۹	۴/۸۷

ns، * و ** به‌ترتیب عبارتند از غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح ۵ و ۱ درصد

ادامه جدول ۲-

منابع تغییرات	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	قند محلول بخش هوایی	قند محلول بخش زیرزمینی	مالون دی‌آلدهید بخش هوایی
Fungi (F)	۱	۰/۲۴۵**	۰/۱۲۷**	۰/۵۱۹**	۲۸۱/۵۳۷**	۹۴/۷۳۳**	۵/۹۵۱×۱۰$^{-۶**}$
Stress (S)	۲	۰/۰۳۵**	۰/۰۰۸*	۰/۰۳۰*	۱۲۹/۷۵۹**	۳۰۰/۰۸۴**	۳/۳۶۰×۱۰$^{-۶**}$
F×S	۲	۰/۰۲۲**	۰/۰۱۶**	۰/۰۷۴**	۸/۴۹۲**	۳/۴۲۹*	۹/۵۹۶×۱۰$^{-۷**}$
اشتباه آزمایشی	۱۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴	۰/۷۸۵	۰/۸۵۱	۱/۰۱۷×۱۰$^{-۷}$
ضریب تغییرات	–	۴/۱۹	۴/۶۴	۳/۶۳	۹/۱۰	۶/۵۳	۶/۳۸

ns، * و ** به‌ترتیب عبارتند از غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح ۵ و ۱ درصد

ادامه جدول ۲-

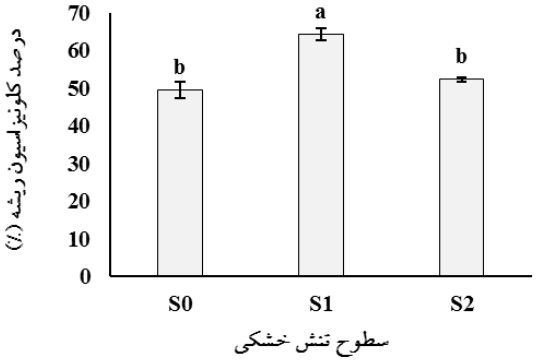
منابع تغییرات	درجه آزادی	مالون دی‌آلدهید بخش زیرزمینی	پروتئین بخش هوایی	پروتئین بخش زیرزمینی	فسفر بخش هوایی	فسفر بخش زیرزمینی
Fungi (F)	۱	۳/۲۷۵×۱۰$^{-۵**}$	۰/۰۴۲^{ns}	۳/۱۱۰**	۰/۵۴۷**	۰/۲۶۰**
Stress (S)	۲	۴/۷۷۴×۱۰$^{-۶**}$	۱/۵۹۸**	۹/۴۲۵**	۰/۰۰۵**	۰/۰۱۱**
F×S	۲	۲/۵۳۲×۱۰$^{-۶**}$	۰/۱۹۹*	۷/۲۶۷**	۷/۹۱۷×۱۰$^{-۶ ns}$	۲/۱۲۵×۱۰$^{-۶ ns}$
اشتباه آزمایشی	۱۲	۵/۲۴۸×۱۰$^{-۸}$	۰/۰۳۱	۰/۱۴۳	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۱
ضریب تغییرات	–	۳/۶۳	۱۰/۶	۱۲/۹۸	۳/۸۲	۸/۶۴

ns، * و ** به‌ترتیب عبارتند از غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح ۵ و ۱ درصد

کاهش توانایی همزیستی میکوریزی تحت شرایط تنش شدید به‌دلیل کاهش میزان آب مورد نیاز قارچ میکوریزی در خاک و نیز کاهش ذخیره کربن و انرژی در گیاه همزیست باشد. همچنین درشرایط نامناسب احتمال می‌رود محدودیت در رشد و توسعه ریسه‌ها و اندام‌های تولید مثلی قارچ و نیز کاهش جوانه‌زنی اسپورها می‌تواند منجر به کاهش درصد میکوریزی گردد (Abdollah Arpanahi *et al.*, 2020). در این تحقیق توانایی کلونیزاسیون بالای ریشه گیاه سنبل‌الطیب در شرایط

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.4.4]



شکل ۱- درصد کلنیزاسیون میکوریزی ریشه‌های گیاه سنبل‌الطیب در سطوح مختلف تنش خشکی، S0، S1 و S2 به‌ترتیب عبارتند از سطوح تنش خشکی ۱۰۰-۹۰٪ (شاهد)، ۷۰-۶۰٪ و ۵۰-۴۰٪ ظرفیت زراعی. حروف متفاوت، معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد مطابق آزمون دانکن را نشان می‌دهد.

خشکی در مقایسه با شرایط بدون تنش می‌تواند در انتخاب این گیاه جهت کشت در شرایط نامناسب و کم‌آب حائز اهمیت باشد.

صفات رشدی و RWC: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر متقابل تنش کم‌آبی و قارچ میکوریزی ($P\leq$۰/۰۱) بر وزن تر بخش هوایی معنی‌دار بود ولی اثرهای اصلی تنش کم‌آبی و قارچ میکوریزی بر میزان این شاخص با اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار نبود (جدول ۲). همچنین اثر قارچ میکوریزی ($P\leq$۰/۰۵)، تنش کم‌آبی و اثر متقابل آن‌ها ($P\leq$۰/۰۱) بر وزن خشک بخش هوایی معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج نشان داد که تنش موجب کاهش معنی‌دار وزن تر و خشک بخش هوایی در مقایسه با شاهد خشکی گردید (جدول ۳). اثر تلقیح قارچی بر وزن تر و خشک بخش هوایی در سطح شاهد خشکی منفی و کاهشی بود، اما میزان این شاخص‌ها در هر دو سطح تنش خشکی ۶۰FC-۷۰٪ و ۴۰FC-۵۰٪ نسبت به گیاهان غیر میکوریزی (NM) مربوطه افزایش نشان داد که تنها در سطح تنش متوسط افزایش وزن خشک بخش هوایی از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۳).

مطابق جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) اثر قارچ میکوریزی و اثر برهم‌کنش قارچ و تنش کم‌آبی بر وزن تر و خشک بخش زیرزمینی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود، ولی اثر تنش کم‌آبی بر میزان این شاخص‌ها با اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار نبود. نتایج (جدول ۳) نشان داد که تنش، وزن تر و خشک بخش زیرزمینی را در دو سطح تنش۶۰FC-۷۰٪ و ۴۰FC-۵۰٪ به‌طور معنی‌داری کاهش داد، اما تغییرات مشاهده شده بین دو سطح تنش معنی‌دار نبود (جدول ۳). تلقیح با قارچ *F. mosseae* موجب افزایش معنی‌دار وزن تر و خشک بخش زیرزمینی گیاهان تحت تنش خشکی گردید (جدول ۳).

اثر قارچ *F. mosseae* و تنش کم‌آبی و اثر این دو عامل بر RWC برگ در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). تنش کم‌آبی موجب کاهش معنی‌دار ۲۶/۸۴ و ۱۷/۳۹ درصدی RWC گیاهان NM به‌ترتیب در دو سطح تنش متوسط و شدید نسبت به شاهد خشکی گردید (جدول ۳). تلقیح با قارچ AM منجر به افزایش RWC برگ به‌میزان ۲۲/۸۱ و ۱۴/۷۳ درصد به‌ترتیب در دو سطح تنشی ۶۰FC-۷۰٪ و ۴۰FC-۵۰٪ در مقایسه با گیاهان NM همان سطح گردید (جدول ۳). تلقیح با قارچ AM در سطح شاهد خشکی RWC برگ را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار نداد (جدول ۳).

در این پژوهش کاهش توده‌زیستی هوایی و زیرزمینی گیاه سنبل‌الطیب تحت تنش کم‌آبی مشاهده شد. در شرایط تنش کم‌آبی، پتانسیل آب خاک و دسترسی مواد مغذی خاک کاهش می‌یابد در نتیجه ظرفیت جذب مواد غذایی توسط ریشه نیز به‌شدت افت می‌کند، بنابراین با کاهش انتقال مواد مغذی از ریشه به بخش هوایی و کاهش ذخیره کربن، وزن تر و خشک

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.4.4]

جدول ۳- اثر متقابل تلقیح قارچ میکوریزی و سطوح مختلف خشکی بر شاخص‌های رشدی بخش هوایی و زیرزمینی و میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ گیاه سنبل‌الطیب

سطوح Fungi	سطوح کم آبی	وزن تر بخش هوایی	وزن خشک بخش هوایی	وزن تر بخش زیرزمینی	وزن خشک بخش زیرزمینی	محتوای نسبی آب برگ	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل
		(g pot^{-1})				(%)	(mg g^{-1} FW)		
NM	S0	۳/۹۸±۰/۲۹^{a}	۰/۷۰±۰/۰۴^{a}	۱/۴۵±۰/۱۱^{a}	۰/۲۶±۰/۰۷^{b}	۶۸/۰۷±۱/۶^{a}	۱/۰۲±۰/۰۰۹^{b}	۰/۶۲±۰/۰۰۲^{b}	۱/۶۴±۰/۰۱۰^{c}
	S1	۳/۱۸±۰/۲۸^{bc}	۰/۴۶±۰/۰۲^{b}	۱/۰۵±۰/۰۸^{b}	۰/۱۳±۰/۰۷^{c}	۴۹/۸±۲/۵^{c}	۱/۰۴±۰/۰۰۲^{b}	۰/۶۷±۰/۰۲۲^{b}	۱/۶۸±۰/۰۰۶^{c}
	S2	۲/۷۵±۰/۱۰^{c}	۰/۳۶±۰/۰۲^{c}	۰/۸۵±۰/۰۵^{b}	۰/۱۵±۰/۰۲^{c}	۵۶/۲±۲/۷^{bc}	۰/۸۰±۰/۰۴۸^{c}	۰/۵۰±۰/۰۱۷^{c}	۱/۴۰±۰/۰۴۲^{d}
AM	S0	۲/۸۹ ±۰/۳۱^{c}	۰/۳۲±۰/۰۲^{c}	۱/۶۰±۰/۱۷^{a}	۰/۳۰±۰/۰۵^{ab}	۶۲/۳۰±۲/۵^{ab}	۱/۲۰±۰/۰۱۵^{a}	۰/۷۸±۰/۰۱۲^{a}	۱/۹۹±۰/۵۴^{a}
	S1	۴/۳۹±۰/۲۴^{a}	۰/۵۴±۰/۰۵^{b}	۱/۶۱±۰/۰۸^{a}	۰/۴۳±۰/۰۶^{a}	۶۱/۲±۱/۰^{ab}	۱/۱۸±۰/۰۳۰^{a}	۰/۷۴±۰/۰۲۳^{a}	۱/۸۰±۰/۰۱۳^{b}
	S2	۳/۷۲±۰/۲۷^{ab}	۰/۴۶±۰/۰۲^{b}	۱/۷۸±۰/۱۰^{a}	۰/۳۹±۰/۰۳^{a}	۶۴/۵±۲/۴^{a}	۱/۱۷±۰/۰۳۵^{a}	۰/۷۸±۰/۰۲۸^{a}	۱/۹۶±۰/۰۶۰^{a}

ns، * و ** به‌ترتیب عبارتند از غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح ۵ و ۱ درصد. حروف لاتین غیرمشابه در هر ستون بیانگر تفاوت معنی‌دار است (آزمون دانکن، $P \leq ۰/۰۵$). S0، S1 و S2 به‌ترتیب عبارتند از سطوح تنش خشکی ۱۰۰-۹۰٪ (شاهد)، ۷۰-۶۰٪ و ۵۰-۴۰٪ ظرفیت زراعی. NM و AM به‌ترتیب عبارتند از گیاهان شاهد بدون تلقیح و تلقیح‌شده با قارچ *F. mosseae*.

اندام هوایی کاهش پیدا می‌کند (Anjum *et al.*, 2011; Shin *et al.*, 2021). تحت شرایط خشکی به‌دلیل بسته شدن روزنه‌ها، آسیب غشا و تغییر عملکرد آنزیم‌های مختلف، به‌ویژه آنزیم‌هایی که با سنتز ATP در ارتباط هستند، فعالیت فتوسنتزی کاهش می‌یابد (Sharma *et al.*, 2020). به‌نظر می‌رسد کاهش فتوسنتز، افزایش مواد بازدارنده رشد نظیر اسید آبسیزیک (ABA) ناشی از کاهش پتانسیل آب و نیز کاهش هورمون‌های رشد گیاهی در ریشه و ساقه از جمله عواملی هستند که با کاهش زیست‌توده ریشه و اندام هوایی، رشد رویشی گیاه را در شرایط تنش محدود می‌نمایند (Ahmed *et al.*, 2022). تحقیقات انجام‌شده نشان می‌دهد که قارچ‌های میکوریز با سازوکارهای مختلف موجب بهبود رشد و تحمل گیاه میزبان در مقابله با تنش خشکی می‌گردند (Abdel-Salam *et al.*, 2018; Gholinezhad *et al.*, 2020; Liu *et al.*, 2020).

قارچ‌های میکوریزی با تشکیل و توسعه هیف‌های خارجی، موجب افزایش سطح جذب ریشه و به‌دنبال آن افزایش جذب آب و مواد غذایی به‌وسیله گیاهان همزیست می‌شوند. بهبود جذب عناصر غذایی در گیاهان میزبان اغلب منجر به پاسخ‌های مثبت رشدی در آن‌ها می‌گردد (Khaliq *et al.*, 2022). یافته‌های پژوهش‌های انجام‌شده نیز اثرات سودمند و بهبوددهندگی قارچ‌های AM بر رشد و عملکرد رویشی گیاهان تلقیح‌شده با قارچ طی تنش خشکی را نشان می‌دهند که می‌توان به تحقیقات Abdel-Salam و همکاران (۲۰۱۸) روی گیاه گل محمدی (*Rosa damascena* Mill.)، Bernardo و همکاران (۲۰۱۹) روی ارقام مختلف گندم، Abdollahi Arpanahi و همکاران (۲۰۲۰) روی گیاهان تیموس باغی (*Thymus vulgaris* L.) و تیموس دنائی (*Thymus daenensis* Celak)، Liu و همکاران (۲۰۲۰) روی گیاه چای زینتی (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze)، Safahani Langeroodi و همکاران (۲۰۱۹) روی گیاه کاسنی (*Cichorium intybus* L.) اشاره نمود. نتایج این تحقیقات همسو با یافته‌های مطالعه حاضر است.

RWC برگ نشان‌دهنده وضعیت آبی گیاه است و به جذب آب توسط ریشه‌ها و هم‌چنین از دست دادن آب طی عمل تعرق وابسته بوده و کاهش آن، یکی از برجسته‌ترین علائم فیزیولوژیک کاهش سطح رطوبت خاک تحت شرایط تنش است (Anjum *et al.*, 2011; Liu C-Y *et al.*, 2020). Abdel-Salam و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند قارچ‌های AM از طریق تغییر در ریخت‌شناسی ریشه و توسعه سیستم ریشه‌ای گیاهان، باعث بهبود روابط آبی گیاه دارای همزیست میکوریزی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.4.4]

می‌گردند. همچنین این محققین اظهار داشتند افزایش RWC گیاهان تلقیح‌شده با قارچ‌های AM می‌تواند به‌واسطه تنظیم روزنه‌ای و افزایش جریان تعرق و هدایت روزنه‌ای، بهبود جذب مواد مغذی، افزایش تنظیم اسمزی و یا افزایش هدایت هیدرولیکی ریشه صورت گیرد.

رنگیزه‌های فتوسنتزی: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر قارچ، تنش کم‌آبی و اثر متقابل این دو عامل بر کلروفیل a در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). هم‌چنین اثر تنش کم‌آبی (P≤۰/۰۵)، اثر قارچ و اثر متقابل کم‌آبی و قارچ (P≤۰/۰۱) بر کلروفیل b و کلروفیل کل معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج به‌دست آمده نشان داد که تنش موجب کاهش معنی‌دار محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل در گیاهان بدون تلقیح در سطح تنش ۴۰FC-۵۰٪ در مقایسه با تیمار شاهد خشکی گردید (جدول ۳). همزیستی با قارچ *F. mosseae* موجب افزایش معنی‌دار کلروفیل a، b و کلروفیل کل در تمام سطوح خشکی در مقایسه با گیاهان بدون میکوریز سطح مربوطه گردید (جدول ۳).

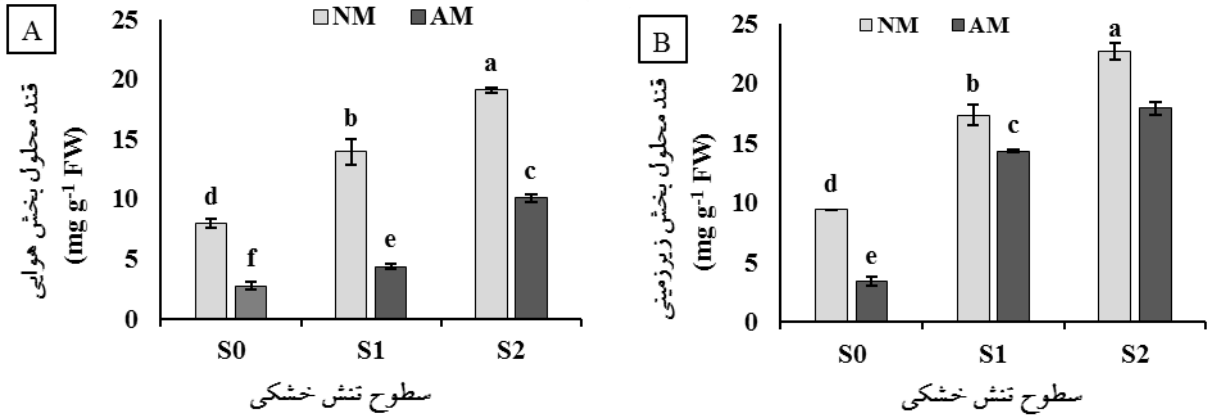
فرآیند فتوسنتز تعیین‌کننده اصلی رشد و عملکرد گیاهان به‌شمار می‌رود و توانایی گیاهان در حفظ این فرآیند، برای زنده مانی و بهبود عملکرد گیاهان در شرایط تنشی، بسیار حائز اهمیت است و فاکتور مهم حفظ محتوای کلروفیل (صفت سبز ماندن) به ثبات فتوسنتز در این شرایط کمک می‌نماید (Yang *et al.*, 2021). تحت تنش خشکی کاهش محتوای کلروفیل، به‌دلیل کاهش بیان ژن‌های کدکننده آنزیم‌های کلیدی مرتبط با بیوسنتز کلروفیل، یا تجزیه سریع کلروفیل‌های موجود با فعال‌سازی آنزیم‌های مربوط به کاتابولیسم آن‌ها از جمله کلروفیلاز و پراکسیداز و یا افزایش برخی از هورمون‌ها نظیر اتیلن و آبسزیک اسید باشد، همچنین در شرایط خشکی با افزایش ROSها در برگ‌ها، اکسیداسیون کلروفیل‌ها اتفاق می‌افتد (Khadka *et al.*, 2020). از دلایل دیگر کاهش میزان کلروفیل برگ می‌توان به مصرف بیشتر گلوتامات پیش‌ماده ساخت کلروفیل و پرولین و نیز مصرف نیتروژن در تولید و تجمع پرولین در شرایط تنش اشاره نمود (Hashem *et al.*, 2016). در این مطالعه نیز کاهش میزان کلروفیل تحت تنش خشکی مشاهده شد که همسو با نتایج پژوهش انجام‌شده در گیاهان قهوه (Menezes-Silva *et al.*, 2017) و گندم نان (Gholamin and Khayatnezhad, 2020) است.

تحقیقات نشان می‌دهد که محتوای کلروفیل برگ طی تنش خشکی در گیاهان میکوریزی نسبت به گیاهان غیرمیکوریزی بیشتر است، در نتیجه این گیاهان از کارایی فتوسنتزی بالاتری برخوردار هستند. می‌توان چنین استنباط کرد که قارچ‌های AM با بهبود روابط آبی گیاه از طریق دسترسی به منابع آبی در لایه‌های عمیق‌تر و دورتر خاک و همچنین با بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه میزبان و جذب بیشتر مواد مغذی مانند فسفر، کلسیم، گوگرد، روی و آهن اثرات مخرب تنش خشکی را تعدیل می‌نمایند و سبب دوام ساختار کلروپلاست و حفظ میزان کلروفیل گیاه میزبان می‌گردند (Khadka *et al.*, 2020). همچنین Bagheri و همکاران (۲۰۱۱) اظهار داشتند که تلقیح میکوریزی، باعث افزایش عملکرد کوانتومی فتوشیمیایی گیاهان می‌گردد و با کاهش خسارت وارده به مراکز واکنش فتوسنتزی مقاومت گیاه همزیست در برابر خشکی افزایش می‌یابد.

قندهای محلول: مطابق نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، اثرات اصلی قارچ AM و تنش کم‌آبی بر قندهای محلول بخش هوایی و زیرزمینی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود، همچنین اثر متقابل این دو عامل بر قندهای محلول بخش هوایی و زیرزمینی به‌ترتیب در سطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مطابق نتایج به‌دست آمده (شکل B و ۲A) میزان قندهای محلول بخش هوایی و زیرزمینی گیاهان میکوریزی و غیرمیکوریزی طی تنش کم‌آبی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، به‌طوری‌که بیشترین میزان آن در سطح ۴۰FC-۵۰٪ مشاهده گردید (شکل B و ۲A). تلقیح با قارچ AM موجب کاهش معنی‌دار میزان قند محلول بخش هوایی و زیرزمینی در تمام سطوح خشکی در مقایسه با گیاهان غیرمیکوریزی سطح مربوطه گردید، به‌طوری‌که کمترین میزان قند محلول بخش هوایی و زیرزمینی در گیاهان میکوریزی در سطح شاهد تنش خشکی مشاهده شد (شکل B و ۲A).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.4.4]



شکل ۲- اثر متقابل قارچ و تنش خشکی بر محتوای قند محلول بخش هوایی (A) و محتوای قند محلول بخش زیرزمینی (B). S0، S1 و S2 به‌ترتیب عبارتند از سطوح تنش خشکی ۱۰۰-۹۰٪ (شاهد)، ۷۰-۶۰٪ و ۵۰-۴۰٪ ظرفیت زراعی. NM و AM به‌ترتیب عبارتند از گیاهان شاهد بدون تلقیح و تلقیح‌شده با قارچ *F. mosseae*. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون دانکن است.

بالاترین میزان قند محلول بخش هوایی و زیرزمینی در سطح تنش ۴۰FC-۵۰٪ در گیاهان غیرمیکوریزی مشاهده شد که در اثر همزیستی میکوریزی میزان قندهای محلول در بخش هوایی ۴۷/۰۲ درصد و در بخش زیرزمینی ۲۰/۹۳ درصد در مقایسه با گیاهان غیرمیکوریزی کاهش نشان داد.

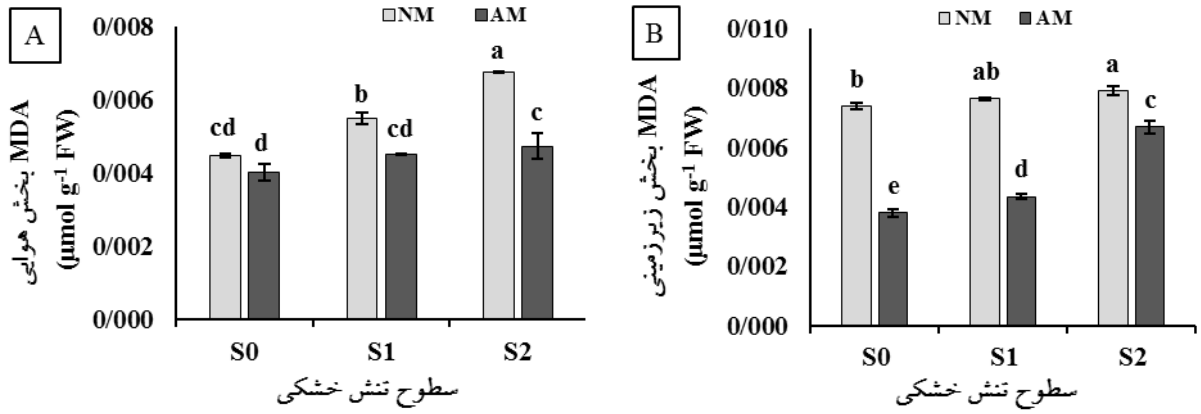
در شرایط کمبود آب تجمع کربوهیدرات‌ها (مانند فروکتان و ساکارز) و قندهای الکلی (مانند مانیتول و سوربیتول) در برگ گیاهان نقش قابل‌توجهی در تنظیم اسمزی و حفظ تورژسانس سلولی، پایداری پروتئین‌ها، حفظ و نگهداری لیپیدها و تنظیم بیان ژن ایفا می‌کنند. همچنین این ترکیبات با فراهم نمودن انرژی مورد نیاز گیاه، از مرگ آن ممانعت می‌نمایند (Bhattacharya and Kundu, 2020). بنابراین انباشت قندهای محلول تحت شرایط خشکی می‌تواند به جابجایی و انتقال کمتر آن‌ها از برگ، مصرف کمتر آن‌ها در اثر کاهش رشد، ساخت این ترکیبات از مسیرهای غیرفتوسنتزی و تغییرات دیگری چون هیدرولیز نشاسته و تخریب سایر کربوهیدارت‌های نامحلول نسبت داده شود (Kameli and Losel, 1996; Ehdaie *et al.*, 2006)، نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر موافق با یافته‌های این تحقیقات است.

در مطالعه حاضر محتوای قند کمتر گیاهان میکوریزی در مقایسه با گیاهان غیرمیکوریزی سطوح مربوطه هم در بخش هوایی و هم در بخش زیرزمینی در تمام سطوح تنش خشکی مشاهده شد که موافق با نتایج Hu و همکاران (۲۰۱۷) بود. محققان معتقدند که قارچ‌های میکوریزی در شرایطی که فتوسنتز محدود است، با ریشه در دریافت کربوهیدرات‌ها رقابت می‌کنند و افزایش مصرف ذخیره کربن توسط میسلیوم‌های خارج ریشه‌ای قارچ‌های AM منجر به کاهش قندهای محلول در گیاهان همزیست می‌شوند (Hu *et al.*, 2017). همچنین گیاهان دارای همزیست قارچی با استفاده از روابط آبی و تغذیه‌ای مناسب‌تر و بهبود ظرفیت فتوسنتزی می‌توانند به‌طور موقت از شرایط تنش فرار کنند و از آسیب‌های ناشی از آن در امان باشند، در نتیجه میزان قندهای محلول و پرولین کمتری را نشان می‌دهند (Javan Gholiloo *et al.*, 2019). برخلاف نتایج این تحقیق، Selvaraj و Chellappan (۲۰۰۶) اظهار داشتند که گیاهان میکوریزی محتوای قند محلول بیشتری نسبت به گیاهان غیرمیکوریزی دارند، که دلیل آن می‌تواند هورمون گیاهی نظیر سیتوکینین و جیبرلین باشد. افزایش میزان این هورمون‌ها به‌ویژه سیتوکینین می‌تواند از طریق انتقال یون‌های مؤثر در باز شدن روزنه‌ها و نیز تنظیم سطح کلروفیل، باعث افزایش سرعت فتوسنتز و در نتیجه افزایش محتوی کربوهیدرات‌ها در گیاهان گردد.

مالون دی‌آلدهید: اثرقارچ *F. mosseae* و تنش کم‌آبی و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.4.4]



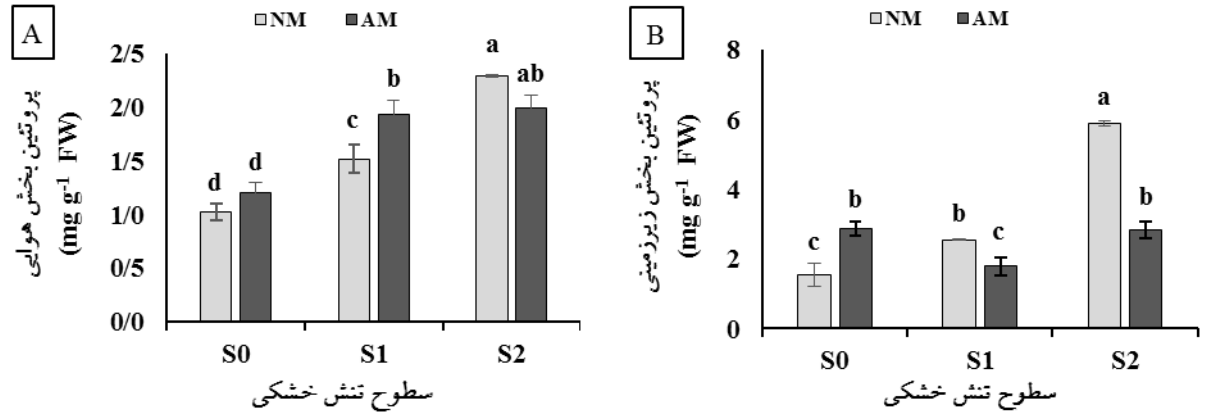
شکل ۳- اثر متقابل قارچ و تنش خشکی بر محتوای MDA بخش هوایی (A) و محتوای MDA بخش زیرزمینی (B). S0، S1 و S2 به‌ترتیب عبارتند از سطوح تنش خشکی ۱۰۰-۹۰٪ (شاهد)، ۷۰-۶۰٪ و ۵۰-۴۰٪ ظرفیت زراعی. NM و AM به‌ترتیب عبارتند از گیاهان شاهد بدون تلقیح و تلقیح‌شده باقارچ *F. mosseae*. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون دانکن است.

اثر برهم‌کنش آن‌ها (P≤۰/۰۱) بر محتوای MDA بخش هوایی و زیرزمینی معنی‌دار بود (جدول ۲). در این تحقیق اعمال تنش کم‌آبی موجب افزایش MDA بخش هوایی و زیرزمینی در هر دو سطح FC۶۰-۷۰٪ و FC۴۰-۵۰٪ در مقایسه با تیمار شاهد خشکی مربوطه شد، البته تنها در سطح تنش متوسط افزایش این شاخص در بخش زیرزمینی از نظر آماری معنی‌دار نبود (شکل B و ۳A). تلقیح با قارچ *F. mosseae*، موجب کاهش معنی‌دار میزان این شاخص، هم در بخش هوایی و هم در بخش زیرزمینی در هر دو سطح تنشی گردید (شکل B و ۳A).

در شرایط تنش خشکی به‌دلیل بسته شدن روزنه‌ها غلظت دی اکسیدکربن در بافت مزوفیل برگ کاهش می‌یابد و متعاقب آن واکنش‌های تاریکی فتوسنتز مختل می‌گردد، در چنین شرایطی اتم اکسیژن در مسیر زنجیره انتقال الکترون به‌عنوان پذیرنده الکترون عمل می‌نماید و عامل شکل‌گیری رادیکال‌های سوپراکسید، پراکسید هیدروژن و هیدروکسیل می‌گردد. پراکسیداسیون لیپید و تولید محصولی مانند MDA، نتیجه حمله ROSها به اسیدهای چرب غیراشباع است که شاخص زیستی برای سنجش میزان تأثیر تنش اکسیداتیو در گیاهان است (Antoniou *et al.*, 2017). افزایش پراکسیداسیون لیپیدها و درنتیجه کاهش شاخص پایداری غشای سلولی و افزایش میزان MDA به‌عنوان فرآورده انتهایی پراکسیداسیون لیپید غشایی تحت تنش خشکی در برخی گیاهان از جمله چمن چند ساله (*Turfgrass*) (تاتاری و همکاران، ۱۳۹۲)، یونجه (*Medicago sativa*) (Antoniou *et al.*, 2017) و سرخارگل (*Echinacea purpurea*) (Hosseinpour *et al.*, 2020) گزارش شده است که همسو با نتایج مطالعه حاضر است.

البته اثبات شده است که در برخی گونه‌های گیاهی مقاوم با بالا بردن توان آنتی‌اکسیدانی، قادرند با پاکروبی و مهار H_2O_2 و کاهش ROSها، میزان MDA کمتری تولید نمایند (Inze and Montage, 2000). احتمال می‌رود در گیاه سنبل‌الطیب هم تحت تنش متوسط در بخش زیرزمینی به‌دلیل افزایش توان آنتی‌اکسیدانی گیاه و کاهش H_2O_2، مقدار MDA با شرایط بدون تنش تفاوت معنی‌داری ندارد. مطالعات متعدد نشان داده است که تلقیح گیاهان با قارچ AM، از طریق فعال‌سازی سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی، توانایی گیاهان را در پاکروبی ROSها به‌ویژه در شرایط تنش کم‌آبی افزایش می‌دهد و منجر به کاهش تنش اکسیداتیو و تحمل بیشتر گیاهان در برابر کمبود آب می‌گردد (He *et al.*, 2019). کاهش میزان MDA که ناشی از کاهش تنش اکسیداتیو است در گیاهان همزیست شده با قارچ‌های میکوریزی در گیاهان مختلف نظیر شمعدانی (Amiri *et al.*, 2015)، پرتقال سه برگی (He *et al.*, 2019) و کنجد (Gholinezhad *et al.*, 2020) گزارش شده است که با نتایج

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.4.4]



شکل ۴- اثر متقابل قارچ و تنش خشکی بر محتوای پروتئین بخش هوایی (A) و محتوای پروتئین بخش زیرزمینی (B). S0، S1 و S2 به‌ترتیب عبارتند از سطوح تنش خشکی ۱۰۰-۹۰٪ (شاهد)، ۷۰-۶۰٪ و ۵۰-۴۰٪ ظرفیت زراعی. NM و AM به‌ترتیب عبارتند از گیاهان شاهد بدون تلقیح و تلقیح‌شده با قارچ *F. mosseae*. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون دانکن است.

این تحقیق همخوانی دارد. Abbaspour و همکاران (۲۰۱۲) اظهار داشتند که هیف‌های قارچی در گیاهان میکوریزی با جذب مستقیم آب و انتقال آن به گیاه منجر به کاهش تولید و تجمع ROSها می‌گردند، در نتیجه در گیاهان میزبان آسیب اکسیداتیو و میزان MDA کاهش پیدا می‌کند.

پروتئین: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تنش کم‌آبی ($P\leq$۰/۰۱) و اثر متقابل قارچ و تنش کم‌آبی ($P\leq$۰/۰۵) بر محتوای پروتئین بخش هوایی معنی‌دار بود. ولی اثر قارچ *F. mosseae* بر میزان این شاخص با اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار نبود (جدول ۲). هم‌چنین اثرات اصلی قارچ، تنش کم‌آبی و اثر متقابل آن‌ها بر محتوی پروتئین بخش زیرزمینی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). اعمال تنش کم‌آبی محتوای پروتئین را هم در بخش هوایی و هم در بخش زیرزمینی در هر دو سطح تنش متوسط و شدید در گیاهان غیرمیکوریزی نسبت به تیمار شاهد خشکی به‌طور معنی‌داری افزایش داد (شکل B و ۴A). تلقیح با قارچ محتوی پروتئین بخش هوایی را در سطح ۶۰FC-۷۰٪ در مقایسه با گیاهان بدون تلقیح میکوریزی سطح مربوطه به‌طور معنی‌داری افزایش داد درحالی‌که تغییرات این شاخص در سطوح شاهد خشکی و ۵۰-۴۰FC٪ در گیاهان میکوریزی در مقایسه با گیاهان بدون تلقیح میکوریزی سطح مربوطه معنی‌دار نبود (شکل ۴A).

هم‌چنین تلقیح با قارچ محتوی پروتئین بخش زیرزمینی را در هر دو سطح تنش خشکی ۶۰FC-۷۰٪ و ۴۰FC-۵۰٪ به‌صورت معنی‌داری در مقایسه با گیاهان غیرمیکوریزی سطوح مربوطه کاهش داد، درحالی‌که میزان این شاخص در سطح شاهد تنش در گیاهان میکوریزی در مقایسه با غیرمیکوریزی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (شکل ۴B).

محققان بسیاری از گروه‌های ژنی رمزکننده پروتئین‌های دخیل در سازگاری به تنش خشکی را شناسایی نموده‌اند، که براساس عملکرد محصولات خود به دو دسته پروتئین‌های کارکردی (نظیر پروتئین‌های کانال آبی (آکواپورین)، چاپرون‌ها، پروتئازها، پروتئین‌های فراوان در اواخر دوره جنین‌زایی (Late embryogenesis abundant protein: LEA) و آنزیم‌های سنتزکننده محافظ‌های اسموتیک) و پروتئین‌های تنظیم‌کننده (مانند عوامل رونویسی، پروتئین کینازها و آنزیم‌های سنتزکننده هورمون گیاهی اسید آبسیزیک) تقسیم می‌شوند (Qin *et al.*, 2012).

درمطالعه حاضر افزایش محتوای پروتئین بخش هوایی و زیرزمینی در تمام سطوح خشکی مشاهده گردید. با توجه به این که افزایش سنتز پروتئین یکی از پاسخ‌های دفاعی گیاه در مواجهه با تنش خشکی است، گیاهان با کاهش فعالیت

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.4.4]

آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتئین، با افزایش سنتز پروتئین‌های شوک گرمایی، پروتئین‌های LEA مانند دهیدرین‌ها و برخی دیگر از پروتئین‌های تثبیت غشایی، با خشکی مقابله می‌نمایند (Jiang and Huang, 2002). همچنین در شرایط کمبود آب بیان برخی ژن‌ها از جمله ژن‌های وابسته به متابولیسم اولیه، تغییر ساختمان، تنظیم اسمزی، تجزیه پروتئین، رفع سمیت و پروتئین‌های LEA افزایش می‌یابد و موجب افزایش محتوای پروتئین در گیاهان می‌گردد (محمدی و همکاران، ۱۳۹۴). Ashraf و Hariss (۲۰۰۴) گزارش کردند که در پاسخ به تنش خشکی، پروتئین‌های انباشته‌شده یا به‌صورت جدید ساخته می‌شوند یا به‌طور نهادی در غلظت‌های پایین موجود هستند و در مواجهه گیاه با شرایط تنش غلظت آن‌ها افزایش پیدا می‌کند که به‌نظر می‌رسد در تنظیم اسمزی گیاه نقش داشته باشند. محققان دریافتند H_2O_2 تولیدشده در شرایط تنش خشکی به‌عنوان یک عامل تنظیمی باعث فعال‌شدن ژن‌های رمزکننده آنزیم‌ها و پروتئین‌ها می‌گردد که نقش مهمی در غلبه گیاه بر تنش اکسیداتیو ایفا می‌کند (Saha *et al.*, 2022). همچنین گزارش شده که در شرایط تنش گیاهان با افزایش میزان پروتئین‌های ناقل و حفظ توانایی جذب مواد مغذی با تنش مقابله می‌کنند (Bista *et al.*, 2018).

تحقیقات نشان می‌دهد قارچ‌های میکوریزی با افزایش محتوای پروتئین‌ها و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی موجب بهبود تنظیم اسمزی و تقویت سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی در گیاه میزبان می‌شوند (Khalafallah and Abo-Ghalia, 2008) و در نتیجه اثرات سودمند فراوانی برای رشد و عملکرد گیاه در شرایط تنش دارند (Zou *et al.*, 2020). همچنین محققان پیشنهاد کردند که قارچ‌های AM با تنظیم بیان و فعالیت آکواپورین‌ها به‌طور همزمان در گیاه میزبان و قارچ‌ها، می‌توانند وضعیت آب گیاه را بهبود بخشند و همچنین با افزایش فعالیت آنزیم‌های جذب‌کننده نیتروژن منجر به افزایش مقادیر پروتئین‌ها و اسیدهای آمینه در گیاه شوند و مقاومت آن را تحت تنش خشکی افزایش دهند (Rapparini and Penuelas, 2014). گزارشاتی مبنی بر افزایش محتوای پروتئین در گیاهان میکوریزی تحت تنش کم‌آبی در گیاه پرتقال سه برگی (Wu *et al.*, 2006)، گندم (Beltrano and Ronco, 2008)، زیتون (Fouad *et al.*, 2014) و افدرا (Al-Arjani *et al.*, 2020) ارائه شده است. همسو با نتایج این محققان، در پژوهش حاضر نیز محتوای پروتئین گیاهان میکوریزی در بخش هوایی تحت تنش متوسط افزایش نشان داد. اما محتوای پروتئین گیاهان میکوریزی در بخش زیرزمینی تحت شرایط تنش متوسط و شدید به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که تأثیر قارچ *F. mosseae* بر محتوای پروتئین گیاه سنبل‌الطیب تحت شرایط تنش به اندام گیاهی بستگی دارد.

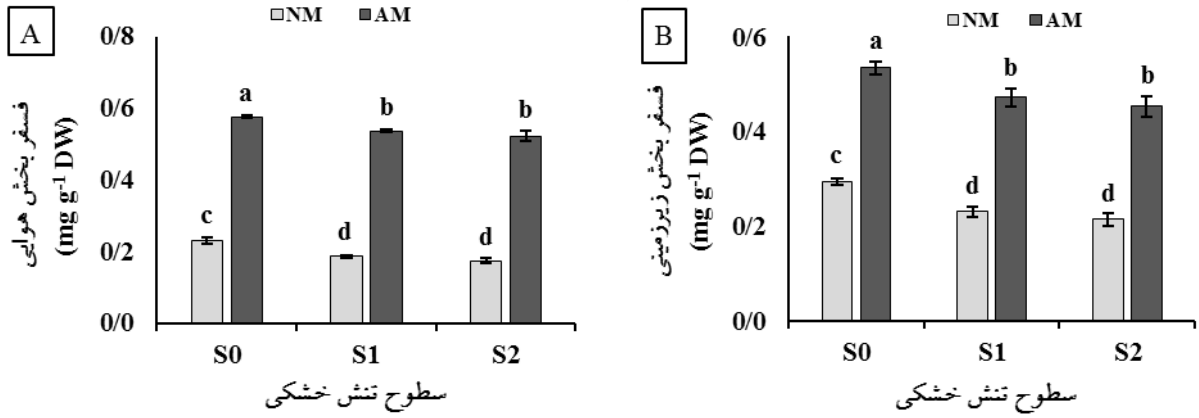
غلظت فسفر: اثرات اصلی قارچ *F. mosseae* و تنش کم‌آبی ($P\leq$۰/۰۱) بر غلظت فسفر بخش هوایی و زیرزمینی معنی‌دار بود ولی اثر برهمکنش آن‌ها بر غلظت این شاخص معنی‌دار نبود (جدول ۲). مطابق نتایج مقایسه میانگین داده‌ها (شکل B و ۵A)، تلقیح با قارچ AM موجب افزایش معنی‌دار غلظت فسفر بخش هوایی و زیرزمینی نسبت به گیاهان غیرمیکوریزی گردید که این افزایش به‌ترتیب ۱۷۸/۰۶ و ۹۷/۵۶ درصد بود. تنش کم‌آبی موجب کاهش معنی‌دار غلظت فسفر بخش هوایی و زیرزمینی در دو سطح تنش FC۶۰-۷۰٪ و FC۴۰-۵۰٪ نسبت به سطح شاهد خشکی مربوطه گردید، البته تفاوت‌های مشاهده شده بین دو سطح تنش در غلظت فسفر هر دو بخش هوایی و زیرزمینی از نظر آماری معنی‌دار نبود (شکل B و ۵A).

تحت تنش خشکی، با کاهش رطوبت خاک، سرعت انتشار مواد غذایی از محیط خاک به سطح جذب‌کننده ریشه کاهش می‌یابد. یکی از عناصر غذایی که مقدار و عملکرد آن در شرایط خشکی تحت تأثیر قرار می‌گیرد فسفر است (da Silva *et al.*, 2011). عدم تحرک یا تحرک کم فسفر در اسیدیته بالا، تثبیت آن در خاک و نوع خاک، از دلایل اصلی کاهش تجمع فسفر در بافت برگ در شرایط کمبود آب پیشنهاد شده است (Devau *et al.*, 2009; Ge *et al.*, 2012).

همچنین محققان کاهش جذب فسفر تحت تنش خشکی را به کاهش حلالیت و قابل دسترس بودن این عنصر، کاهش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.4.4]



شکل ۵- اثر متقابل قارچ و تنش خشکی بر محتوای فسفر بخش هوایی (A) و محتوای فسفر بخش زیرزمینی (B). S0، S1 و S2 به‌ترتیب عبارتند از سطوح تنش خشکی ۱۰۰-۹۰٪ (شاهد)، ۷۰-۶۰٪ و ۵۰-۴۰٪ ظرفیت زراعی. NM و AM به‌ترتیب عبارتند از گیاهان شاهد بدون تلقیح و تلقیح شده با قارچ *F. mosseae*. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون دانکن است.

تعرق و محدودیت در رشد و توسعه سیستم ریشه‌ای گیاه نسبت دادند که به‌عنوان عنصر اصلی موجود در بافت‌های گیاهی تغییرات مختلفی در فیزیولوژی، ریخت‌شناختی و بیوشیمی گیاهان بسته به دسترسی گیاه به این عنصر ایجاد می‌کند (Tariq *et al.*, 2018). نتایج این تحقیقات موافق با یافته‌های مطالعه حاضراست.

در گیاهان میکوریزی، فسفر از مهم‌ترین عناصری است که توسط قارچ‌های همزیست فعالانه و در سطح وسیع جذب می‌گردد و بهبود تغذیه فسفر در گیاهان میکوریزی در شرایط کمبود آب در مطالعات زیادی گزارش شده است (Amiri *et al.*, 2017; Mirshad and Puthur, 2017; Rugeles Reye *et al.*, 2019). تحقیقات نشان داده است که قارچ‌های AM در گیاهان همزیست قادرند خواص هیدرولیکی ریشه‌ها، هدایت روزنه‌ای، انتقال CO_2 و سرعت فتوسنتز را بهبود بخشند. با این حال، افزایش نرخ فتوسنتزی در گیاهان تلقیح‌شده با قارچ‌های میکوریزی را می‌توان به بهبود میانجی‌گری شده با فسفر نسبت داد که منجر به بهبود زیست‌توده گیاهی نیز می‌گردد (Rugeles Reye *et al.*, 2019). Wu و همکاران (۲۰۱۱) اظهار داشتند که طی تنش خشکی، کل هیف‌های فعال و دارای عملکرد قارچ‌های میکوریزی کاهش یافتند، ولی فعالیت آن‌ها جهت تأمین جذب بیشتر مواد مغذی به‌ویژه فسفر و نیز انتقال آب به گیاه میزبان در طی دوره تنش ادامه یافت. نتایج به‌دست آمده از این تحقیقات با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. محققان در مطالعات میکوریزی گزارش کردند که در گیاه میزبان شبکه هیف‌های خارج ریشه‌ای قارچ‌های AM در اطراف ریشه‌ها و در سطح وسیع‌تری از خاک گسترش می‌یابند، بنابراین جذب فسفر غیرقابل دسترس برای ریشه‌ها برای هیف‌های قارچی فراهم می‌گردد (Eskandari *et al.*, 2017; Amanifar and Toghranegar, 2020). همچنین در میسلیوم خارج ریشه‌ای قارچ‌های AM ناقلین فسفات شناسایی و مشاهده شده است که بیان آن‌ها در شرایط تنش و کمبود فسفر افزایش می‌یابد (Madrid-Delgado *et al.*, 2021). هنگامی که ساختارهای قارچی وارد سلول‌های گیاهی می‌شوند هیف‌های منشعب، آربوسکول‌ها را در سلول‌های پوستی گیاه میزبان تشکیل می‌دهند. فسفات در گرانول‌های پلی‌فسفات از میسلیوم خارج ریشه‌ای به آربوسکول از طریق ناقلین فسفات غشای اطراف آن منتقل می‌گردد. افزایش بیان ژن‌های مختلف کدکننده ناقلین فسفات در غشای پری آربوسکولار در گیاهان میکوریزی مانند جو، ذرت و یونجه تحت شرایط تنش نیز شناسایی شده است (Wang *et al.*, 2016; Sawers *et al.*, 2017). در مجموع جذب و انتقال کارآمدتر عناصر غذایی به‌ویژه فسفر و افزایش کارآیی آب قابل استفاده موجب حفظ رشد و بهبود عملکرد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.4.4]

گیاهان همزیست در شرایط تنش خشکی می‌گردد و به‌عنوان یک سازوکار مهم فیزیولوژیکی در تحمل به خشکی گیاه میزبان حائز اهمیت است.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار RWC برگ، وزن تر و خشک و غلظت فسفر بخش هوایی و زیرزمینی در هر دو سطح تنش خشکی و نیز محتوای کلروفیل‌ها در سطح تنش شدید گردید. اما برعکس محتوای قندهای محلول و پروتئین بخش هوایی و زیرزمینی و MDA بخش هوایی را در هر دو سطح FC۶۰-۷۰٪ و FC۴۰-۵۰٪، درصد کلنیزاسیون را در سطح FC۶۰-۷۰٪ و محتوای MDA بخش زیرزمینی را در سطح تنش FC۴۰-۵۰٪ به‌طور معنی‌داری افزایش داد. به‌نظر می‌رسد گیاه سنبل‌الطیب با تغییرات صفات رشدی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی با شرایط نامساعد محیطی جهت ادامه حیات مقابله می‌نماید و مواد غذایی و انرژی را به سمت مولکول‌های محافظت‌کننده در برابر تنش می‌فرستد به‌جای این‌که آن‌ها را صرف رشد اندام‌های خود نماید. همزیستی گیاه سنبل‌الطیب با قارچ *F. mosseae*، موجب افزایش معنی‌دار وزن تر و خشک گیاه، RWC، محتوای کلروفیل‌ها و فسفر بخش هوایی و زیرزمینی در هر دو سطح تنش و نیز پروتئین بخش هوایی در سطح تنش متوسط و برعکس کاهش محتوای قندهای محلول و MDA بخش هوایی و زیرزمینی و پروتئین بخش زیرزمینی در هر دو سطح تنش خشکی شد. در این پژوهش تلقیح قارچ میکوریزی *F. mosseae* با گیاه سنبل‌الطیب از طریق تنظیم اسمزی و بهبود روابط آبی گیاه، همچنین افزایش جذب فسفر سبب افزایش ظرفیت فتوسنتزی و توده زیستی گیاه و تحریک رشد آن گردید و اثرات مضر ناشی از تنش خشکی را کاهش داد. با توجه به اینکه تأثیر قارچ میکوریزی در شرایط تنشی بیشتر بود، استفاده از آن برای افزایش تحمل گیاه سنبل‌الطیب در شرایط خشکی و تعدیل آسیب‌های ناشی از تنش می‌تواند سودمند باشد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از دانشگاه زنجان وگروه زیست‌شناسی این دانشگاه به‌دلیل حمایت مالی و فراهم نمودن امکانات لازم در انجام این کار پژوهشی سپاسگزاری می‌کنند.

منابع

تاتاری، م.، فتوحی قزوینی، ر.، اعتمادی، ن.، احدی، ع. و موسوی، س. (۱۳۹۲) بررسی برخی پاسخ‌های فیزیولوژیکی سه نوع چمن در شرایط تنش خشکی. پژوهش‌های تولید گیاهی (علوم کشاورزی و منابع طبیعی) ۲۰: ۸۷-۶۳.

محمدی، ع.، ابراهیم‌زاده، ح.، هادیان، ج. و میرمعصومی، م. (۱۳۹۴) واکاوی اثر تنش خشکی بر برخی پارامترهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه به لیمو *Lippia citriodora* H.B.K. پژوهش‌های گیاهی (زیست‌شناسی ایران) ۲۸: ۶۲۸-۶۱۷.

Abbaspour, H., Saeidi-Sar, S., Afshari, H. and Abdel-Wahhab, M. A. (2012) Tolerance of Mycorrhiza infected Pistachio (*Pistacia vera* L.) seedling to drought stress under glasshouse conditions. Journal of Plant Physiology 169: 704-9.

Abdel-Salam, E., Alatar, A. and El-Sheikh, M. A. (2018) Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi alleviates harmful effects of drought stress on damask rose. Saudi Journal of Biological Sciences 25: 1772-1780.

Abdollahi Arpanahi, A., Feizian, M., Mehdipourian, Gh. and Namdar-Khojasteh, D. (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: 1-11.

Ahmed, H. G. M., Zeng, Y., Shah, A. N., Yar, M. M., Ullah, A. and Ali, M. (2022) Conferring of drought tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes using seedling indices. Frontiers in Plant Science 13: 1-12.

Al-Arjani, A. F., Hashem, A. and Abd Allah, E. F. (2020) Arbuscular mycorrhizal fungi modulates dynamics tolerance expression to mitigate drought stress in *Ephedra foliata* Boiss. Saudi Journal of Biological Sciences 27: 380-394.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.4.4]

Amanifar, S. and Toghranegar, Z. (2020) The efficiency of arbuscular mycorrhiza for improving tolerance of *Valeriana officinalis* L. and enhancing valerenic acid accumulation under salinity stress. Industrial Crops and Products 147: 1-13.

Amiri, R., Nikbakht, A. and Etemadi, N. (2015) Alleviation of drought stress on rose geranium *Pelargonium graveolens* (L.) Herit. in terms of antioxidant activity and secondary metabolites by mycorrhizal inoculation. Scientia Horticulturae 197: 373-380.

Amiri, R., Nikbakht, A., Rahimmalek, M. and Hosseini, H. (2017) Variation in the essential oil composition, antioxidant capacity, and physiological characteristics of *Pelargonium graveolens* L. inoculated with twospecies of mycorrhizal fungi under water deficit conditions. Journal of Plant Growth Regulation 36: 502-515.

Anjum, S. A., Xie, X. Y., Wang, L. C., Saleem, M. F., Man, C. and Lei, W. (2011) Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. African Journal of Agricultural Research 6: 2026-2032.

Antoniou, C., Chatzimichail, G., Xenofontos, R., Pavlou, J. J., Panagiotou, E., Christou, A. and Fotopoulos, V. (2017) Melatonin systemically ameliorates drought stress-induced damage in *Medicago sativa* plants by modulating nitro-oxidative homeostasis and proline metabolism. Journal of Pineal Research 62: 124-129.

Ashraf, M. and Hariss, P. J. C. (2004) Potential biochemical indicator of salinity tolerance in plants. Plant Science 166: 3-16.

Bagheri, V., Shamshiri, M. H., Shirani, H. and Rousta, H. R. (2011) The effect of mycorhizal fungi and drought stress on growth, water relations, proline and soluble accumulation in two basic cultivars of domestic pistachios. Iranian Journal of Horticulture 42: 365-377.

Bandurska, H. (2022) Drought stress responses: Coping strategy and resistance. Plants (Basel) 11: 922.

Beltrano, J. and Ronco, M. (2008) Improved tolerance of wheat plants (*Triticum aestivum* L.) to drought stress and rewatering by the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus claroideum*: Effect on growth and cell membrane stability. Brazilian Journal of Plant Physiology 20: 29-37.

Bernardo, L., Carletti, P., Badeck, F. W., Rizza, F., Morcia, C., Ghizzoni, R., Rouphael, Y., Colla, G., Terzi, V. and Lucini, L. (2019) Metabolomic responses triggered by arbuscular mycorrhiza enhance tolerance to water stress in wheat cultivars. Plant Physiology and Biochemistry 137: 203-212.

Bhattacharya, S. and Kundu, A. (2020) Sugars and sugar polyols in overcoming environmental stresses. In: Protective Chemical Agents in the Amelioration of Plant Abiotic Stress: Biochemical and Molecular Perspectives (eds. Roychoudhury, A. and Tripathi, D. K.) Pp. 71-101. John Wiley and Sons Ltd.

Bista, D. R., Heckathorn, S. A., Jayawardena, D. M., Mishra, S. and Boldt, J. K. (2018) Effects of drought on nutrient uptake and the levels of nutrient-uptake proteins in roots of drought-sensitive and -tolerant grasses. Plants 7: 28.

Boutasknit, A., Baslam, M., Ait-El-Mokhtar, M., Anli, M., Ben-Laouane, R., Douira, A., El Modafar, C., Mitsui, T., Wahbi, S. and Meddich, A. (2020) Arbuscular mycorrhizal fungi mediate drought tolerance and recovery in two contrasting carob (*Ceratonia siliqua* L.) ecotypes by regulating stomatal, water relations, and (in) organic adjustments. Plants 9: 80.

Bradford, M. M. (1976) A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry 72: 248-254.

Cheng, H. Q., Giri, B., Wu, Q. S., Ying-Ning, Z. and Kuca, K. (2021) Arbuscular mycorrhiz al fungi mitigate drought stress in *Citrus* by modulating root microenvironment. Archives of Agronomy and Soil Science 68: 1217-1228.

Cottenie, A., Camerlynck, R., Verloo, M. and Dhaese, A. (1980) Fractionation and determination of trace elements in plants, soils and sediments. Pure and Applied Chemistry 52: 45-53.

da Silva, E. C., Nogueira, R. J. M. C., da Silva, M. A. and de Albuquerque, M. B. (2011) Drought stress and plant nutrition. Plant Stress 5: 32-41.

Devau, N., Le Cadre, E., Hinsinger, Ph., Jaillard, B. and Gerard, F. (2009) Soil pH controls the environmental availability of phosphorus: Experimental and mechanistic modeling approaches. Applied Geochemistry 24: 2163-2174.

Ehdaie, B., Alloush, G. A., Madore, M. A. and Waines, J. G. (2006) Genotypic variation for stem reserves and mobilization in wheat: I. postanthesis changes in internode dry matter. Crop Science 46: 735-746.

Eskandari, S., Guppy, C. N., Knox, O. G., Flavel, R. J., Backhouse, D. and Haling, R. E. (2017) Mycorrhizal contribution to phosphorus nutrition of cotton in low and highly sodic soils using dual isotope labelling (32P and 33P). Soil Biology and Biochemistry 105: 37-44.

Etesami, H., Jeong, B. R. and Glick, B. R. (2021) Contribution of arbuscular mycorrhizal fungi, phosphate-solubilizing bacteria, and silicon to P uptake by plant. Frontiers in Plant Science 12: 1-29.

Fouad, M. O., Essahibi, A., Benhiba, L. and Qaddoury, A. (2014) Effectiveness of arbuscular mycorrhizal fungi in the protection of olive plants against oxidative stress induced by drought. Spanish Journal of Agricultural Research 12: 763-771.

Fusconi, A. and Berta, G. (2012) Environmental stress and role of arbuscular mycorrhizal symbiosis. Springer 197-214.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.4.4]

Ge, T. D., Sun, N. B., Bai, L. P., Tong, C. L. and Sui, F. G. (2012) Effects of drought stress on phosphorus and potassium uptake dynamics in summer maize (*Zea mays*) throughout the growth cycle. Acta Physiologiae Plantarum 34: 2179-2186.

Gholamin, R. and Khayatnezhad, M. (2020) Study of bread wheat genotype physiological and biochemical responses to drought stress. Helix - The Scientific Explorer | Peer Reviewed Bimonthly International Journal 10: 87-92.

Gholinezhad, E., Darvishzadeh, R., Moghaddam, S. and Popovic-Djordjevic, J. (2020) Effect of mycorrhizal inoculation in reducing water stress in sesame (*Sesamum indicum* L.): The assessment of agrobiochemical traits and enzymatic antioxidant activity. Agricultural Water Management 238: 1-11.

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

Hashem, A., Abd-Allah, E. F., Alqarawi, A. A., Al Huqail, A. A., Egamberdiva, D. and Wirth, S. (2016) Alleviation of cadmium stress in *Solanum lycopersicum* L. by arbuscular mycorrhizal fungi via induction of acquired systemic tolerance. Saudi Journal of Biological Sciences 23: 272-281.

He, J. D., Zou, Y. N., Wu, Q. Sh. and Kuca, K. (2019) Mycorrhizas enhance drought tolerance of trifoliate orange by enhancing activities and gene expression of antioxidant enzymes. Scientia Horticulturae 262: 1-8.

Hewitt, E. J. (1953) Sand and culture methods used in the study of plant nutrition. Soil Science 75: 84-90.

Hosseinpour, M., Ebadi, A., Habibi, H., Nabizadeh, E. and Jahanbakhsh, S. (2020) Enhancing enzymatic and nonenzymatic response of *Echinacea purpurea* by exogenous 24-epibrassinolide under drought stress. Industrial Crops and Products 146: 112045.

Hu, W., Zhang, H., Chen, H. and Tang, M. (2017) Arbuscular mycorrhizas influence *Lycium barbarum* tolerance of water stress in a hot environment. Mycorrhiza 27: 451-463.

Hu, Y., Xie, W. and Chen, B. (2020) Arbuscular mycorrhiza improved drought tolerance of maize seedlings by altering photosystem II efficiency and the levels of key metabolites. Chemical and Biological Technologies in Agriculture 7: 1-14.

Inze, D. and Montage, M. V. (2000) Oxidative stress in plant. Current Opinion in Biotechnology 6: 153-158.

Javan Gholiloo, M., Yarnia, M., Ghorttapeh, A. H., Farahvash, F. and Daneshian, A. M. (2019) Evaluating effects of drought stress and bio-fertilizer on quantitative and qualitative traits of valerian (*Valeriana officinalis* L.). Journal of Plant Nutrition 42: 1417-1429.

Jiang, Y. and Huang, B. (2002) Protein alterations in tall fescue in response to drought stress and abscisic acid. Crop Science 42: 202-207.

Kabiri, R., Nasibi, F. and Farahbakhsh, H. (2014) Effect of exogenous salicylic acid on some physiological parameters and alleviation of drought stress in *Nigella sativa* plant under hydroponic culture. Plant Protection Science 50: 43-51.

Kameli, A. and Losel, D. M. (1996) Growth and sugar accumulation in durum wheat plants under water stress. New Phytologist 132: 57-62.

Khadka, K., Earl, H. J., Raizada, M. N. and Navabi, A. (2020) A physio-morphological trait-based approach for breeding drought tolerant wheat. Frontiers in Plant Science 11: 1-26.

Khalafallah, A. A. and Abo-Ghalia, H. H. (2008) Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on the metabolic products and activity of antioxidant system in wheat plants subjected to short-term water stress, followed by recovery at different growth stages. Journal of Applied Sciences Research 4: 559-569.

Khaliq, A., Perveen, S., Alamer, K. H., Zia Ul Haq, M., Rafique, Z., Alsudays, I. M., Althobaiti, A. T., Saleh, M. A., Hussain, S. and Attia, H. (2022) Arbuscular mycorrhizal fungi symbiosis to enhance plant–soil interaction. Sustainability 14.

Kapoor, D., Bhardwaj, S., Landi, M., Sharma, A., Ramakrishnan, M. and Sharma, A. (2020) The impact of drought in plant metabolism: How to exploit tolerance mechanisms to increase crop production. Applied Sciences 10: 5692.

Klute, A. (1986) Water retention: Laboratory methods. In: Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods (ed. Klute, A.) Pp. 635-686. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.

Kumawat, K. R. and Sharma, N. K. (2018) Effect of drought stress on plants growth. Popular Kheti 6: 239-241.

Laxa, M., Liebthal, M., Telman, W., Chibani, K. and Dietz, K. J. (2019) The role of the plant antioxidant system in drought tolerance. Antioxidants 8: 94.

Li, J., Meng, B., Chai, H., Yang, X., Song, W., Li, S., Lu, A., Zhang, T. and Sun, W. (2019) Arbuscular mycorrhizal fungi alleviate drought stress in C_3 (*Leymus chinensis*) and C_4 (*Hemarthria altissima*) grasses via altering antioxidant enzyme activities and photosynthesis. Frontiers in Plant Science 10: 499.

Lichtenthaler, H. K. and Buschmann, C. (2001) Chlorophylls and carotenoids: Measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. Curr Protoc Food Anal Chem 1: F4. 3.1-F4. 3.8.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.4.4]

Liu, C. Y., Wang, Y. J., Wu, Q. S., Yang, T. Y. and Kuca, K. (2020) Arbuscular mycorrhizal fungi improve the antioxidant capacity of tea (*Camellia sinensis*) seedlings under drought stress. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca 48: 1993-2005.

Madrid-Delgado, G., Orozco-Miranda, M., Cruz-Osorio, M., Hernandez-Rodriguez, O. A., Rodriguez-Heredia, R., Roa-Huerta, M. and Avila-Quezada, G. D. (2021) Pathways of phosphorus absorption and early signaling between the mycorrhizal fungi and plants. Phyton-International Journal of Experimental Botany 90: 1321-1338.

Menezes-Silva, P. E., Sanglard, L. M. V. P., Avila, R. T., Morais, L. E., Martins, S. C. V., Nobres, P., Patreze, C. M., Ferreira, M. A., Araujo, W. L., Fernie, A. R. and Da Matta, F. M. (2017) Photosynthetic and metabolic acclimation to repeated drought events play key roles in drought tolerance in coffee. Journal of Experimental Botany 68: 4309-4322.

Mirshad, P. and Puthur, J. (2017) Drought tolerance of bioenergy grass *Saccharum spontaneum* L. enhanced byarbuscular mycorrhizae. Rhizosphere 3: 1-8.

Oliveira, T. C., Cabral, J. S. R., Santana, L. R., Tavares, G. G., Santos, L. D. S., Paim, T. P., Muller, C., Guimaraes Silva, F., Costa, A. C., Souchie, E. L. and Mendes, G. C. (2022) The arbuscular mycorrhizal fungus *Rhizophagus clarus* improves physiological tolerance to drought stress in soybean plants. Scientific Reports 12: 9044.

Phillips, J. M. and Hayman, D. (1970) Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Transactions of the British Mycological Society 55: 158-161.

Qin, Y., Wang, M., Tian, Y., He, W., Han, L. and Xia, G. (2012) Over-expression of TaMYB33 encoding a novel wheat MYB transcription factor increases salt and drought tolerance in Arabidopsis. Molecular Biology Reports 39: 7183-7192.

Rapparini, F. and Penuelas, J. (2014) Mycorrhizal fungi to alleviate drought stress on plant growth. In: Use of Microbes for the Alleviation of Soil Stresses (ed. Miransari, M.) Pp. 21-42. Springer, New York.

Ricigliano, V., Kumar, S., Kinison, S., Brooks, C., Nybo, E., Chappell, J. and Howarth, D. (2016) Regulation of sesquiterpenoid metabolism in recombinant and elicited *Valeriana officinalis* hairy roots. Phytochemistry 125: 1-11.

Rugeles Reyes, S. M., Hoyos, G. R., Ferreira Junior, D. C., Cecilio Filho, A. B. and Moreno Fonsecam, L. P. (2019) Physiological response of *Physalis peruviana* L. seedlings inoculated with Funneliformis mosseae under drought stress. Revista de Ciencias Agrarias 42: 171-180.

Safahani Langeroudi, A. R., Adewale Osipitan, O., Radicetti, E. and Mancinelli, R. (2019) To what extent arbuscular mycorrhiza can protect chicory (*Cichorium intybus* L.) against drought stress. Scientia Horticulturae 263: 1-10.

Saha, D., Choyal, P., Nandan Mishra, U., Dey, P., Bose, B., MD, P., Kumar Gupta, N., Kumar Mehta, B., Kumar, P., Pandey, S., Chauhan, J. and Kumar Singhal, R. (2022) Drought stress responses and inducing tolerance by seed priming approach in plants. Plant Stress 4: 100066.

Sawers, R. J. H., Svane, S. F., Quan, C., Gronlund, M., Wozniak, B., Gebreselassie, M. N., Gonzalez-Munoz, E., Chavez Montes, R. A., Baxter, I., Goudet, J., Jakobsen, J. and Uta Paszkowski, U. (2017) Phosphorus acquisition efficiency in arbuscular mycorrhizal maize is correlated with the abundance of root-external hyphae and the accumulation of transcripts encoding PHT1 phosphate transporters. New Phytologist 214: 632-643.

Seleiman, M. F., Al-Suhaibani, N., Ali, N., Akmal, M., Alotaibi, M., Refay, Y., Dindaroglu, T., Abdul-Wajid, H. H. and Battaglia, M. L. (2021) Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse effects. Plants (Basel) 10: 259.

Selvaraj, T. and Chellappan, P. (2006) Arbuscular mycorrhizae: A diverse personality. Journal of Central European Agriculture 7: 349-358.

Sharma, A., Wang, J., Xu, D., Tao, S., Chong, S., Yan, D., Li, Z., Yuan, H. and Zheng, B. (2020) Melatonin regulates the functional components of photosynthesis, antioxidant system, gene expression, and metabolic pathways to induce drought resistance in grafted *Carya cathayensis* plants. Science of The Total Environment 713: 136675.

Shin, Y. K., Bhandari, S. R., Jo, J. S., Song, J. W. and Lee, J. G. (2021) Effect of drought stress on chlorophyll fluorescence parameters, phytochemical contents, and antioxidant activities in lettuce seedlings. Horticulturae 7: 238.

Smith, S. E. and Read, D. J. (2010) Mycorrhizal Symbiosis. Academic Press.

Tansaz, M., Zamani, A. and Otroshy, M. (2014) Rapid in vitro shoot regeneration of *Valeriana officinalis*. Plant Tissue Culture and Biotechnology 24: 263-271.

Tariq, A., Pan, K., Olatunji, O. A., Graciano, C., Li, Z., Sun, F., Zhang, L., Wu, X., Chen, W., Song, D., Huang, D., Xue, T. and Zhang, A. (2018) Phosphorous fertilization alleviates drought effects on *Alnus cremastogyne* by regulating its antioxidant and osmotic potential. Scientific Reports 8: 5644.

Unyayar, S., Keleþ, Y. and Unal, E. (2004) Proline and ABA levels in two sunflower genotypes subjected to water stress. Bulgarian Journal of Plant Physiology 30: 37-47.

Velikova, V., Yordanov, I. and Edreva, A. J. (2000) Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants: Protective role of exogenous polyamines. Plant Science 151: 59-66.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.4.4]

Wang, C., White, J. P. and Li, C. (2016) Colonization and community structure of arbuscular mycorrhizal fungi in maize roots at different depths in the soil profile respond differently to phosphorus inputs on a long-term experimental site. Mycorrhiza 27: 369-381.

Wu, Q. S., Zou, Y. W. and He, X. H. (2011) Differences of hyphal and soil phosphatase activities in drought- stressed mycrohizal trifoliate orange (*Poncirus trifoliate*) seedlings. Science Horticulturae 129: 294-298.

Wu, Q. S., Xia, R. X. and Hu, Z. (2006) Effect ofarbuscular mycorrhizae on the drought tolerance of *Poncirus trifoliata* seedlings. Frontiers of Forestryin China 1: 100-104.

Yang, X., Lu, M., Wang, Y., Wang, Y., Liu, Z. and Chen, S. (2021) Response mechanism of plants to drought stress. Horticulturae 7: 1-36.

Zhou, R., Yu, X., Ottosen, C. O., Rosenqvist, E., Zhao, L., Wang, Y. and Wu, Z. (2017) Drought stress had a predominant effect over heat stress on three tomato cultivars subjected to combined stress. BMC Plant Biology 17: 24.

Zou, Y. N., Wu, Q. and Kuca, K. (2020) Unraveling the role of arbuscular mycorrhizal fungi in mitigating the oxidative burst of plants under drought stress. Plant Biology 23: 50-57.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.4.4]

Investigating the effect of arbuscular mycorrhizal fungus on the growth, osmotic adjustment and phosphorus uptake of valerian (*Valeriana officinalis* L.) under drought stress conditions

Somayeh Naghdi [1], Zohreh Toghranegar[1]*, Elaheh Vatankhah [1], Setareh Amanifar [2] and Mahnaz Vafadar[1]

[1] Department of Biology, Faculty of Sciences, University of Zanjan, Iran
[2] Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Iran
(Received: 03/09/2022, Accepted: 22/10/2022)

Abstract

The Valerian plant (*Valeriana officinalis* L.) is one of the most important medicinal plants known in the world and native to Europe and Asia, which has been considered and used by humans in traditional medicine since ancient times. In this study, in order to evaluate the effect of inoculation with *Funneliformis mosseae* and drought stress on some characteristics, including growth parameters, osmotic adjustment and phosphorus uptake of valerian plant, a factorial experiment was conducted in a completely randomized design with 4 replications for two months. The experimental factors included two fungi levels (non-inoculated (control) and inoculated) and three levels of drought stress (90-100% (control), 60-70%, and 40-50% of field capacity (FC)). The results showed that drought stress significantly reduced the biomass, leaf relative water content, and phosphorus concentration of shoot and root at both 60-70% FC and 40-50% FC levels, and the chlorophyll content at 40-50% FC level. In this research, growth parameters, chlorophyll content and phosphorus concentration increased due to colonization with *F. mosseae* at both stress levels. Biochemical analyses also showed that the contents of soluble sugars, protein and malondialdehyde (MDA) in the shoots and roots of valerian significantly increased under drought stress. Mycorrhizal inoculation of valerian caused an increase in shoot protein at 60-70% FC level and conversely, it caused a decrease in the contents of soluble sugars and MDA in shoot and root and protein of root at both 60-70% FC and 40-50% FC levels compared to non-inoculated plants. In general, the colonization of valerian plants with *F. mosseae* by modulating the effect of drought stress could be a suitable and efficient method to mitigate the detrimental effects of drought stress on the symbiotic plants.

Keywords: Mineral nutrition, water deficit stress, osmotic adjustment, valerian, growth parameters, arbuscular mycorrhizal fungus

Corresponding author, Email: Ztoghranegar@znu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.4.4]