مقاله پژوهشی

پاسخ‌های مورفوفیزیولوژیک، کمی و کیفی دو رقم توت‌فرنگی (*Fragaria × ananassa* Duch.) به تنش گرمایی در حضور قارچ میکوریز آربوسکولار

محسن شیردل[۱]، سعید عشقی*[۱]، علی قرقانی[۱] و مهدی زارعی[۲]

[۱]علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، [۲] علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۲۱، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۹/۰۲/۱۰)

چکیده

تنش گرمایی از مهم‌ترین پدیده‌های آب و هوایی است که باعث آسیب مخرب به بسیاری از محصولات کشاورزی از جمله توت‌فرنگی شده است. بدین منظور پژوهشی با پنج تیمار دمایی (شاهد (با ۲ ± ۲۳ در روز و ۲ ± ۱۶ درجه سلسیوس در شب)، ۳۰، ۳۵، ۴۰ و ۴۵ درجه سلسیوس) و دو سطح قارچ مایکوریز (با قارچ *Funeliformis mosseae* و بدون قارچ) و دو رقم توت‌فرنگی (پاروس و کوئین‌الیزا) به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در سال ۱۳۹۵ در گلخانه‌های دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز و مرکز تحقیقات کشاورزی زرقان انجام شد. یافته‌های حاصل از پژوهش نشان داد که با افزایش دما تعداد گل در گل‌آذین، گل‌آذین در بوته، درصد تشکیل میوه، وزن، طول، قطر، تعداد فندقه میوه و همچنین عملکرد بوته در هر دو رقم کاهش یافت. حضور قارچ میکوریز در گیاهان پس از تیمار تنش دمایی باعث افزایش درصد کلنیزاسیون، وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی، سطح برگ، میزان فسفر، تعداد گل و گل‌آذین در بوته، درصد تشکیل میوه، اندازه میوه، عملکرد، مواد جامد محلول و ویتامین C نسبت به گیاهان بدون حضور قارچ میکوریز شد. گیاهان در حضور قارچ میکوریز نسبت به گیاهان بدون حضور قارچ میکوریز تحمل بهتری به دمای بالا نشان دادند. کاهش برخی ویژگی‌های بررسی‌شده در رقم پاروس نسبت به رقم کوئین‌الیزا در دمای بالا کمتر بود که تحمل بیشتر رقم پاروس به دمای بالا را نشان داد. این پژوهش نشان داد استفاده از قارچ‌های میکوریز باعث افزایش عملکرد کمی و کیفی توت‌فرنگی و بهبود تحمل به تنش گرمایی شد.

واژه‌های کلیدی: اندازه میوه، پاروس، عملکرد، کلنیزاسیون، کوئین‌الیزا، فسفر، ویتامین C

مقدمه

توت‌فرنگی (*Fragaria × ananassa* Duch.) یکی از محصولات با بیشترین پراکنش در جهان است. در بسیاری از کشورها با آب‌وهوای معتدل و نیمه‌گرمسیری حتی در مناطق گرمسیری در ارتفاعات بالا کشت می‌شود. میوه توت‌فرنگی به خاطر طعم، مزه و ظاهر منحصربه‌فرد مورد توجه زیادی است (Chandler *et al.*, 2012). امروزه می‌توان با کشت توت‌فرنگی درگلخانه اقدام به پیش‌رس‌کردن و تولید خارج از فصل آن کرد (قائم مقامی و همکاران، ۱۳۹۸). توت‌فرنگی دارای ترکیب‌های سودمند مانند آنتوسیانین، اسید آسکوربیک و همچنین ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی بسیار ارزشمند می‌باشد (حسینی فرهی و همکاران، ۱۳۹۷). میوه توت‌فرنگی افزون بر مقدار قابل‌توجهی از عناصر کلسیم، منیزیم، پتاسیم، فسفر و ویتامین‌های رتینول (A)، تیامین (B1)، ریبوفلاوین (B2)،

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: eshghi@shirazu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.18.5]

نیاسین (B3)، پیرودوکسین (B6) و آلفا-توکوفرول (E)، دارای ویژگی‌های شناخته شده‌ای نظیر اسید الاجیک (ضد سرطان) و اسید سالیسیلیک (کاهش لخته‌شدن خون) می‌باشد (ملاحسینی و همکاران، ۱۳۹۰). افزایش سطح زیرکشت توت‌فرنگی در کشور در چند سال اخیر نشان‌دهنده اهمیت اقتصادی و غذایی این محصول در بازار است (قائم مقامی و همکاران، ۱۳۹۸).

یکی از چالش‌های مهم پیش روی کشاورزی در چند قرن اخیر افزایش گازهای گلخانه‌ای و پدیده تغییر اقلیم مناطق مختلف جهان است که اولین نمود آن تغییر دمایی است. تنش گرمایی از مهم‌ترین پدیده‌های زیان‌بخش جوی است که مشکلات بسیاری را برای محصولات کشاورزی ایجاد کرده است (سلیمانی ساردو و همکاران، ۱۳۹٦). تنش گرمایی به‌عنوان افزایش در درجه حرارت بالاتر از سطح آستانه برای یک دوره زمانی که به آسیب غیرقابل برگشت به رشد و نمو گیاه منجر شود، تعریف می‌شود (Lipiec *et al.*, 2013). تصور می‌شود زمین تا سال ۲۰۳۰، ۰/٦ درجه سلسیوس گرم‌تر شود (Bernstein *et al.*, 2008). بنابراین کشاورزان نیاز دارند برای حفظ کیفیت محصولات با تغییرات آب‌وهوایی چاره‌جویی کنند. سازش با محیط می‌تواند شامل استفاده از رقم‌های مختلف، یا استفاده از سیستم‌های کشت کارآمد، یا هماهنگ کردن انواع محصولات که مناسب تغییرات آب‌وهوایی هستند، باشد (Else and Atkinson, 2010).

قارچ‌های همزیست با ریشه در اکوسیستم‌های مختلف حضور دارند و در تحمل تنش‌های مختلف و همچنین افزایش رشد گیاهان نقش به سزایی دارند. اهمیت قارچ‌های میکـوریز در کشـاورزی، اساسـاً به‌نقش این قارچ‌ها به‌عنوان پل ارتباطی بین گیاه و خاک مربـوط می‌شود (سمائی و همکاران، ۱۳۹٤). قارچ‌های میکوریز آربسکولار گروه مهمی از قارچ‌ها هستند که توانایی همزیستی با گیاهان را دارند. قارچ‌های وزیکولار-آربوسکولار ضمن ورود به ریشه گیاه هیف خود را در خاک اطراف ریشه گسترش داده و در انتقال آب و مواد معدنی در مقابل دریافت کربن از گیاه نقش دارند (نوری و همکاران، ۱۳۸۷). قارچ‌های میکوریزی از انواع قارچ‌های مفید خاکزی هستند که با ریشه گیاهان همزیستی مفید تشکیل می‌دهند. هیف¬های توسعه‌یافته قارچ¬های میکوریزا قادر به رشد در منافذ خاک بوده که ریشه¬های مویین و تارهای کشنده قادر به نفوذ در آنها نیستند، درنتیجه دسترسی گیاه به عناصر غیرمتحرک مانند فسفر را افزایش می‌یابد (Duffkova *et al.*, 2019).

تنش گرمایی باعث کاهش عملکرد، ویژگی‌های کمی و کیفی بسیاری از محصولات کشاورزی ازجمله توت‌فرنگی شده است (Kesici *et al.*, 2013). دستیابی به راهکارهای مناسب برای مقابله با این پدیده و کاهش اثرات منفی آن برای هر یک از محصولات کشاورزی در هر منطقه‌ای بسیار مهم است (Else and Atkinson, 2010). تنش گرمایی فرآیندهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه را تحت تأثیر قرار داده، باعث تغییر در کارکرد اندام‌های گیاه، کاهش در زیست توده گیاه، پیری زودرس و نهایتاً موجب کاهش عملکرد شده است (Lipiec *et al.*, 2013). تنش گرما گیاه را زودرس‌تر می‌نماید که ممکن است از جهاتی مطلوب باشد اما به دلیل تأثیر منفی بر برخی جنبه‌های رشدی، معمولاً این کاهش دوره مطلوب نیست زیرا باعث کاهش عملکرد کمی و کیفی می‌شود (مدرسی و راستگو، ۱۳۹۲).

توت‌فرنگی گیاهی است که در آب‌وهوای معتدل پرورش داده می‌شود، زیرا بهینه دمای رشد بین ۱۰ تا ۲٦ درجه سلسیوس است (Kesici *et al.*, 2013). دمای بالای ۳۰ درجه سلسیوس به‌طورکلی رشد گیاه را کاهش داده و در توت‌فرنگی رقم‌های 'Toyonoka' و 'Nyoho' کاهش اندازه میوه و بد شکلی میوه گزارش شد (Ledesma *et al.*, 2008). گزارش شده است که دمای بالاتر از ٤۰-۳۵ درجه سلسیوس از رشد توت‌فرنگی‌های روز کوتاه جلوگیری کرده و در دمای بین ٤۰-۲۵ درجه سلسیوس با افزایش دما همبستگی منفی بین دما و رنگ، وزن تازه میوه و مواد جامد محلول وجود دارد (Kesici *et al.*, 2013). میوه‌های توت‌فرنگی کاشته شده در تابستان دارای محتوی مواد جامد محلول (TSS) و اسیدیته قابل تیتراسیون (TA) بیشتری نسبت به توت‌فرنگی‌های کاشته شده

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.18.5]

در زمستان هستند (Kader, 1991). رشد رویشی، تشکیل میوه، زنده‌مانی دانه گرده، وزن میوه و کیفیت میوه و بیان پروتئین‌های برگی توت‌فرنگی با افزایش دما رابطه عکس دارد (Kadir *et al.*, 2006). تعداد فندقه‌های میوه توت‌فرنگی که در دمای ۳۲ و ۲۷ درجه سلسیوس روز و شب پرورش یافتند کمتر از میوه‌های پرورش‌یافته در دمای ۲۴ و ۱۹ درجه سلسیوس روز و شب بود (Massa *et al.*, 2015). افزایش دما میزان رشد میوه را در توت‌فرنگی (Ledesma and Kawabata, 2016; Chen, 2013)، ذرت (Huan *et al.*, 2020) و لوبیا (Bishop *et al.*, 2016) تسریع کرد، اما کاهش اندازه میوه مشاهده شد. تفاوت در پاسخ به دمای بالا در میان رقم‌های گندم (Mishra *et al.*, 2017)، گوجه‌فرنگی (Sato *et al.*, 2004; Hernandez *et al.*, 2015) و سیب‌زمینی (Paul *et al.*, 2017) مشاهده‌شده است، که این تفاوت‌ها اجازه می‌دهد که پژوهشگران رقم‌ها را به انواع مقاوم و حساس به گرما تقسیم‌بندی کنند. گرما تمام مراحل رشد تا عملکرد نهایی را تحت تأثیر قرار می‌دهد اما مراحل گلدهی و تشکیل میوه (Fruit Set) حساسیت بیشتری به گرما دارند. بنابراین ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌ها نسبت به تنش گرما در این مراحل می‌تواند به‌نژادگران را در رسیدن به ژنوتیپ‌های مقاوم کمک کند (Berova *et al.*, 2009). تنش گرمایی در طی دوره گلدهی موجب کاهش باروری گل‌ها شده و قبل از گرده‌افشانی نیز تعداد گل‌ها را کاهش می‌دهد (Ledesma and Kawabata, 2016).

قارچ‌های میکوریز نه‌تنها رشد گیاه را افزایش می‌دهند، بلکه باعث افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌های زیستی و غیرزیستی مانند، دمای بالا (Wu and Zou, 2010)، شوری (Amanifar *et al.*, 2019) و خشکی (Zhang *et al.*, 2020) می‌شوند. گزارش‌هایی مبنی بر نقش قارچ‌های میکوریز در رشد گیاه (Dhawi *et al.*, 2016)، جذب و انتقال مواد غذایی (Hack *et al.*, 2019) نیز وجود دارد. کاربرد قارچ‌های گلوموس اینترارادیسز (*Glomus intraradices*) و گلوموس اتونیکاتوم (*Glomus etunicatum*) و میزان مختلف زئولیت در توت‌فرنگی نشان داد که کاربرد هر دو گونه قارچ و ٤ گرم زئولیت در کیلوگرم خاک سبب افزایش وزن تر و خشک شاخساره گردید که این می‌تواند دلیلی بر افزایش میزان عملکرد توسط تیمارهای فوق باشد (اسفندیاری، ۱۳۹۰). در پژوهشی در گوجه‌فرنگی مشاهده شد که گیاهان میکوریزی با افزایش سطح تماس با خاک، فسفر بیشتری جذب و یا با تولید آنزیم فسفاتاز، منابع نامحلول فسفر آلی را به فسفر محلول تبدیل کرده‌اند (منافی و همکاران، ۱۳۹۱). کاربرد دو گونه قارچ میکوریز شامل گلوموس موسه (*G. mosseae*)، گلوموس کالادونیوم (*G. caledonium*) سبب افزایش چشمگیر غلظت فسفر و عملکرد ریحان شد (Toussaint *et al.*, 2007).

با گرم‌شدن کره زمین و اثر آن بر رشد و عملکرد گیاهان، همچنین همزیستی قارچ‌های میکوریزی با ریشه گیاهان و فراهم‌کردن آب و عناصر غذایی برای کاهش‌دادن تنش‌های وارده به گیاه، شناسایی رقم متحمل به گرما را ضروری می‌کند. در این پژوهش سعی شد تا با مایه‌زنی قارچ میکوریز آربوسکولار به ریشه گیاه توت‌فرنگی پاسخ‌های مورفو فیزیولوژیک، کمی و کیفی دو رقم توت‌فرنگی به تنش‌های دمایی در حضور قارچ میکوریز مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش

این پژوهش در گلخانه پژوهشی گروه- علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز واقع در منطقه باجگاه (۱۵ کیلومتری شمال شرقی شیراز، عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ٤۳ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۳۵ دقیقه شرقی و با ارتفاع ۱۸۰۰ متر از سطح دریا) و در گلخانه پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی شهرستان زرقان (با عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ٤٦ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ٤۳ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱٦۰۰ متر از سطح دریا) و دمای (۲±۲۳ درجه سلسیوس روز و ۲±۱٦ درجه سلسیوس شب و رطوبت ۵±٦۰ درصد) انجام شد.

آماده سازی محیط‌کشت و تلقیح گیاهان با قارچ: نشاءهای توت‌فرنگی دو رقم کوئین‌الیزا و پاروس که از ارقام

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.18.5]

مهم دارای سطح زیرکشت بالا در کردستان هستند و میوه‌های با کیفیت تولید می‌کنند از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی سنندج تهیه شد. آزمایش در گلدان‌های با حجم ٤ لیتر انجام شد. بستر مورد استفاده برای گلدان‌ها شامل مخلوطی از نسبت‌های مساوی از خاک مزرعه، ماسه و خاکبرگ پوسیده بود که قبل از مصرف کاملاً استریل شدند. در زمان کاشت برای تلقیح قارچ *Funeliformis mosseae*، مایه تلقیح شامل هاگ، هیف و قطعات ریشه‌ای به میزان ۵۰ گرم به ازای هر گلدان با خاک اطراف ریشه‌ها آمیخته و در هر گلدان دو نشاء از هر رقم کشت شد. در مرحله‌ی کشت، به گلدان‌های شاهد نیز مقدار برابر آمیخته خاکی بدون قارچ افزوده شد. آزمایش شامل پنج تیمار دمایی (شاهد (۲ ± ۲۳ درجه سلسیوس روز و ۲ ± ١٦ درجه سلسیوس شب)، ۳۰، ۳۵، ٤۰ و ٤۵ درجه سلسیوس) و دو سطح قارچ مایکوریز (وجود و عدم‌وجود قارچ میکوریز) و دو رقم توت‌فرنگی (پاروس و کوئین‌الیزا) به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار جمعاً در ٤۰ گلدان انجام شد.

اعمال تیمارهای تنش گرمایی: پس از رشد کافی بوته‌ها (حدود ۷۰ روز پس از کاشت) تیمارهای دمایی اعمال شد. تیمار دمایی شاهد در دمای ۲ ± ۲۳ درجه سلسیوس در روز و دمای ۲ ± ١٦ در شب و رطوبت نسبی ۵ ±٦۰ درصد نگه‌داشته شد (۸ گلدان) و بقیه گلدان‌ها به دمای ۱ ± ۳۰ درجه سلسیوس منتقل شدند. زمان اعمال تیمارها هر روز ساعت ۸ صبح تا ساعت ٤ بعدازظهر بود و گلدان‌ها به‌مدت دو روز در این دما قرار گرفتند و در پایان روز دوم (٤ بعدازظهر) ۸ گلدان به دمای شاهد منتقل و بقیه گلدان‌ها در این دما باقی ماندند. در روز سوم دمای گلخانه ۵ درجه سلسیوس افزایش یافت (۱± ۳۵ درجه سلسیوس) و به‌مدت ٤۸ ساعت گلدان‌ها در این دما قرار گرفتند و پس از آن ۸ گلدان دیگر به دمای شاهد منتقل شد. در روز پنجم دمای گلخانه به ۱± ٤۰ درجه سلسیوس افزایش یافت و در پایان روز ششم ۸ گلدان دیگر به دمای شاهد انتقال یافت و در روز هفتم دمای گلخانه به ۱± ٤۵ درجه سلسیوس رسید و پس از گذشت ۸ روز تمام گلدان‌ها به دمای شاهد (۲ ± ۲۳ روز و ۲ ± ١٦ شب) برگردانده شد. پس از آن گلدان‌ها در گلخانه شاهد نگهداری شدند و اثر تنش گرمایی روی عملکرد و میوه‌دهی ارقام بررسی شد.

ویژگی‌های عملکردی و خصوصیات میوه: تعداد گل‌ها و گل‌آذین‌های هر بوته شمارش شده و درنهایت میانگین آنها محاسبه شد. تعداد میوه‌های هر گل‌آذین نیز شمارش شد و از تقسیم آن بر تعداد گل‌های هر گل آذین درصد تشکیل میوه در هر گل‌آذین به‌دست آمد. پس از رسیدن میوه‌های اول و دوم، این میوه‌ها توزین شدند و میانگین آنها به‌دست آمد. طول و قطر میوه‌های اول و دو میوه دوم توسط کولیس دیجیتال (Digital caliper) اندازه‌گیری شد و میانگین آنها به‌دست آمد. همچنین تعداد فندقه‌های میوه در هر تکرار شمارش شد و میانگین آن به‌دست آمد. وزن تمامی میوه‌ها از آغاز تا پایان آزمایش یادداشت شد و میانگین تولید میوه در هر بوته به صورت ماهانه گزارش گردید.

ویژگی‌های مورفولوژیک: پنج برگ کاملاً توسعه‌یافته از هر تکرار به‌صورت تصادفی انتخاب شد و سطح برگ توسط دستگاه Leaf Area meter (مدل Delta-T Device ساخت کشور انگلستان) محاسبه شد. در پایان دوره آزمایش، بوته‌ها از خاک خارج شدند و ریشه‌های آنها به‌طور کامل شستشو شدند. سپس قسمت ریشه از شاخساره جدا شد و توزین هر دو قسمت به‌طور جداگانه انجام گرفت. آنگاه به‌مدت ٤۸ ساعت در آون ۸۰ درجه سلسیوس قرار گرفته و وزن خشک ریشه و شاخساره اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری کلنیزاسیون ریشه و میزان فسفر برگ: اندازه‌گیری کلنیزاسیون ریشه و رنگ‌آمیزی به روش Kormanik و McGraw (۱۹۸۲) انجام گرفت. در این روش ابتدا ۰/۵ گرم از ریشه‌های نگه‌داری شده در الکل ۵۰ درصد، سه تا چهار مرتبه با آب شستشو شد و به لوله‌های حاوی محلول ۸ درصد KOH برای ٢٤ ساعت در دمای اتاق انتقال داده شدند. در پایان این مرحله، محلول به رنگ زرد کم رنگ بیرون ریخته شده و سپس نمونه‌ها به‌مدت ۱۵ دقیقه در محلول

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.18.5]

اسید کلریدریک ۲ درصد قرار داده شد. در ادامه اسید حذف و ریشه‌ها در محلول رنگی قرار داده شد و ۲٤ ساعت در دمای اتاق نگه‌داری شد. در این پژوهش از فوشین اسید به همراه لاکتوگلیسرول برای رنگ‌آمیزی استفاده شد. در هر دو مورد از نسبت حجمی ۱:۱:۱٤ از اسید لاکتیک: گلیسیرین: آب پس از دور ریختن محلول رنگ، به عنوان محلول رنگ‌بر، استفاده شد. بعد از ٦ الی ۱۲ ساعت اندام‌های قارچی شامل آربسکول، هیف و وزیکول در زیر استریومیکروسکوپ (مدل SMZ445 ساخت کشور ژاپن) قابل‌مشاهده بودند.

فسفر به روش مورفی و رایلی (۱۹٦۲) اندازه‌گیری شد. برای این منظور ۲۲/۵ گرم آمونیوم مولیبدات را در ٤۰۰ میلی‌لیتر آب‌مقطر حل شد (محلول پایه A) و ۱/۲۵ گرم آمونیوم وانادات را در ۳۰۰ میلی‌لیتر آب‌مقطر جوش حل شد (محلول پایه B). پس از خنک‌شدن در مرحله بعد محلول پایه A و محلول پایه B باهم مخلوط شدند و پس از خنک‌شدن ۲۵۰ میلی لیتر اسید نیتریک غلیظ به آن اضافه گردید و حجم را توسط آب‌مقطر به یک لیتر رسانده شد. برای اندازه‌گیری ۱۰-۵ میلی‌لیتر عصاره را در یک والیومتریک ۵۰ میلی‌لیتر ریختیم. پس از آن ۱۰ میلی‌لیتر آمونیوم مولیبدات و وانادات را به والیومتریک اضافه کرده و خوب به هم زده و به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. پس از ۳۰ دقیقه جذب را در طول‌موج ٤٦۰ با استفاده از اسپکتوفتومتر خوانده شد.

ویژگی‌های کیفی میوه: برای تعیین میزان مواد جامد محلول یک قطره آب میوه روی دستگاه قند سنج دستی مدل (ATC1 ساخت کشور ژاپن) ریخته شد و میزان مواد جامد محلول در هر تیمار تعیین شد. برای تعیین TA، ۲ قطره فنل فتالئین به‌عنوان معرف به ۵ میلی‌لیتر آب‌میوه افزوده شد و تا رسیدن به pH، ۸/۲ با سود ۰/۱ نرمال تیتر شد. (Ghasemnezhad *et al*., 2013). میزان ویتامین C به روش Bor و همکاران (۲۰۰٦) اندازه‌گیری شد. به این منظور ۱۰۰ میکرولیتر از آب میوه با ۱۰ میلی‌لیتر متافسفریک ۱ درصد مخلوط شد. سپس ۱۰۰۰ میکرولیتر از محلول حاصل را با ۹ میلی‌لیتر ۲و٦ دی‌کلرو ایندوفنول ۵۰ میکرومولار برای چند ثانیه با همزن انگشتی تکان داده شد. میزان جذب نمونه در طول‌موج ۵۱۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل T60 UV visible ساخت کشور انگلستان) اندازه‌گیری شد. ظرفیت آنتی‌اکسیدانی عصاره میوه‌ها از طریق ویژگی خنثی‌کنندگی رادیکال آزاد DPPH (۱و ۱-دی فنیل ۲- پیکریل هیدرازیل) تعیین گردید. ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره آب‌میوه به ۹۰۰ میکرولیتر محلول DPPH ۰/۱ میلی‌مولار اضافه شد. مخلوط پس از افزودن DPPH به سرعت به هم زده شد، سپس در دمای اتاق به مدت ۳۰ دقیقه در شرایط تاریکی تا رسیدن محلول به حالت یکنواخت نگهداری شد. کاهش میزان جذب در طول‌موج ۵۱۷ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل T60 UV visible ساخت کشور انگلستان) تعیین شد (Ghasemnezhad *et al*., 2011). برای اندازه‌گیری مقدار آنتوسیانین در تیمارهای مختلف از روش اختلاف pH استفاده شد. ابتدا دو نمونه بافر با استفاده از محلول‌های کلرید پتاسیم (۰/۰۲۵ M و pH=۱) و استات سدیم (۰/٤ M و pH=٤/۵) تهیه شد. میزان ۱ میلی‌لیتر از عصاره با ٤ میلی‌لیتر از بافرها به‌طور جداگانه مخلوط شد و سپس میزان جذب هر دو نمونه تهیه‌شده در طول‌موج‌های ۷۰۰ و ۵۱۰ نانومتر و با دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل T60 UV visible ساخت کشور انگلستان) اندازه‌گیری گردید (Lee *et al*., 2005). میزان ترکیبات فنول کل با روش فولین سیوکالتیو اندازه‌گیری شد. ۹۰۰ میکرولیتر آب میوه با ۱۸۰ میکرولیتر از محلول ۵۰ درصد فولین – سیوکالتیو و ۹۰۰ میکرولیتر سدیم کربنات ۲ درصد مخلوط گردید. مخلوط به مدت ۹۰ دقیقه در دمای اتاق در تاریکی نگهداری شد. جذب مخلوط واکنش در طول‌موج ۷۵۰ نانومتر به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر مدل T60 UV Visible اندازه‌گیری گردید (Ghasemnezhad *et al*., 2010).

تجزیه و تحلیل آماری: واکاوی آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه 9.1 و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد و برای رسم نمودار از نرم‌افزار Excel 2013 استفاده شد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.18.5]

نتایج و بحث

کلنیزاسیون ریشه: تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده دما اثر معنی‌داری بر کلنیزاسیون ریشه نداشت اما رقم و قارچ اثر معنی‌داری داشتند. همچنین برهمکنش تیمارها معنی‌دار نشد (جدول ۱). مقایسه میانگین نشان داد که تلقیح ریشه‌های گیاه با قارچ باعث افزایش کلنیزاسیون شد به‌طوری که حضور قارچ میکوریز باعث افزایش ۷۰ درصدی درصد کلنیزاسیون شد و رقم پاروس ۳ درصد بیشتر از رقم کوئین‌الیزا کلنیزه شد (شکل ۱–A). نتایج بیانگر این است که در حالت کلی همزیستی قارچ میکوریز برای رقم پاروس بیشتر از رقم کوئین‌الیزا بوده است که نشان می¬دهد ارقام مختلف میزان همزیستی متفاوتی با قارچ دارند که ناشی از تفاوت تمایل به برقراری همزیستی با قارچ در رقم است. دمای بالای خاک فعالیت میکوریزی را کم می‌کند (Martin and Stutz, 2004). کلنیزاسیون ریشه به‌وسیله قارچ¬های میکوریز اغلب وقتی دما بالاتر از ۳۰ درجه سلسیوس می¬شود، کاهش می¬یابد (Wu and Zou, 2010) و وقتی دما به بالای ٤٠ درجه سلسیوس برسد، قارچ¬های میکوریز آربوسکولار از بین می‌روند (Smith and Read, 2010). افزایش دما اثر معنی‌داری روی کلنیزاسیون ریشه نداشت که ممکن است به علت قرارگیری گیاهان (ریشه‌ها) در مدت زمان کم در دمای بالا (طراحی آزمایش) باشد که موافق با نتایج (Zhu *et al.*, 2010) در گیاه ذرت است.

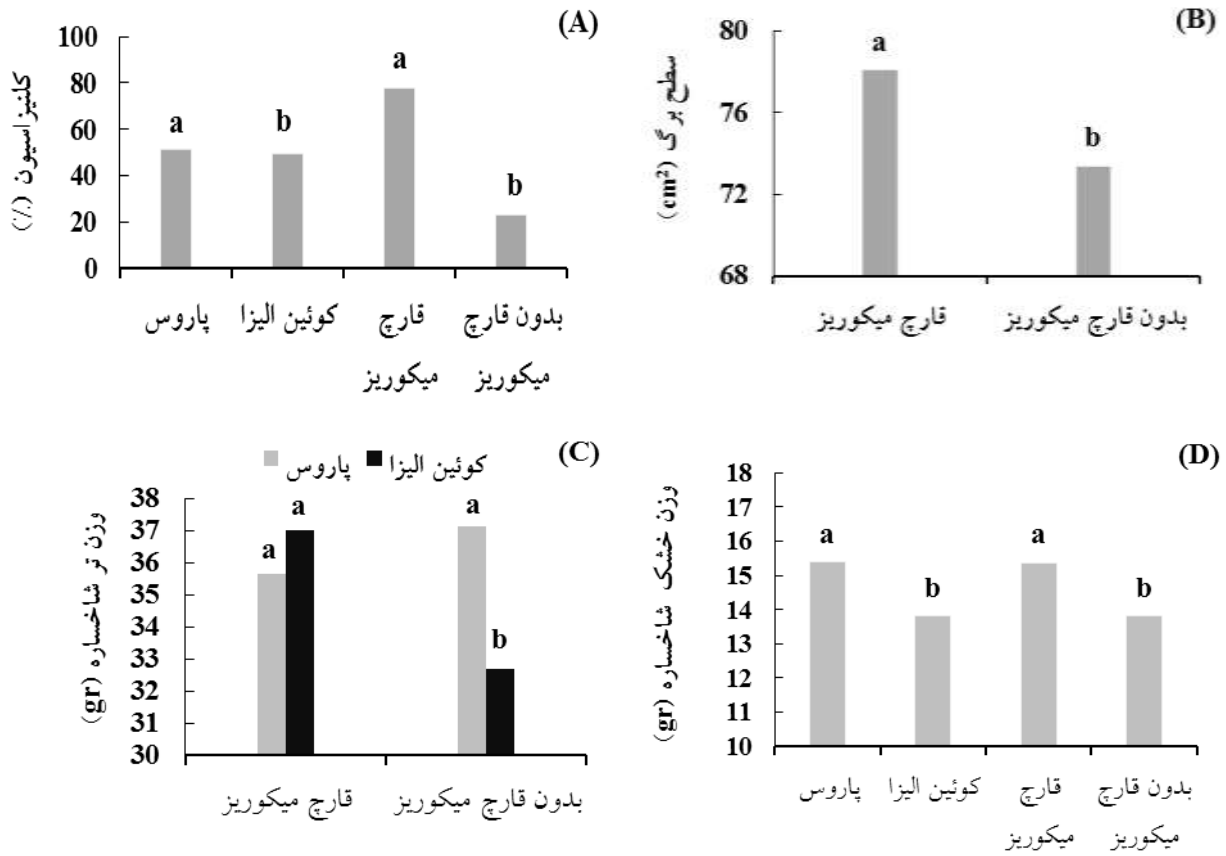
سطح برگ، وزن تر و خشک ریشه و شاخساره: دما و رقم اثر معنی‌داری بر سطح برگ نداشت اما قارچ میکوریز باعث افزایش سطح برگ در گیاهان مایه‌زنی شده با قارچ میکوریز نسبت به گیاهان شاهد (عدم مایه‌زنی) شد (جدول ۱). مقایسه میانگین نشان داد که قارچ میکوریز باعث افزایش سطح برگ شد به‌طوری که گیاهان در حضور قارچ میکوریز نسبت به گیاهان در عدم حضور قارچ میکوریز ٦ درصد افزایش سطح برگ نشان دادند (شکل ۱–B).

تجزیه واریانس صفات نشان داد که دما اثر معنی‌داری بر وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی نداشت اما رقم و قارچ میکوریز به‌ترتیب در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد اثر معنی‌دار داشت (جدول ۱). وزن تر و خشک ریشه و شاخساره در رقم پاروس نسبت به رقم کوئین‌الیزا بیشتر بود به‌طوری که بیشترین وزن تر ریشه برای رقم پاروس ٤٦/٢٨ گرم و برای رقم کوئین‌الیزا ٤٤/٨٥ گرم بود (شکل ۲–A). بیشترین وزن تر شاخساره برای رقم پاروس ٣٦/٣٢ گرم و برای رقم کوئین‌الیزا ٣٤/٩٠ گرم بود (شکل ۱–C). همچنین بیشترین وزن خشک ریشه برای رقم پاروس ۱۷/۲۱ گرم و برای رقم کوئین‌الیزا ۱٦/۱۲ گرم بود (شکل ۲–B). بیشترین وزن خشک شاخساره برای رقم پاروس با میانگین ۱۵/۳۹ گرم و برای رقم کوئین‌الیزا با میانگین ۱۳/۸۱ گرم بود (شکل ۱–D). مقایسه میانگین نشان داد به‌طورکلی حضور قارچ میکوریز باعث افزایش وزن تر و خشک ریشه و شاخساره شد به‌طوری که گیاهان در حضور قارچ میکوریز به‌ترتیب ۸، ۱۰، ۸ و ۱۸ درصد افزایش در وزن تر شاخساره، وزن خشک شاخساره، وزن تر ریشه و وزن خشک ریشه نسبت به گیاهان در عدم حضور قارچ میکوریز نشان دادند.

در این آزمایش قارچ میکوریز باعث افزایش سطح برگ شد. افزایش معنی‌دار سطح برگ در گیاهان ریحان میکوریزی نسبت به گیاهان غیرمیکوریزی را به افزایش جذب عناصر غذایی نسبت دادند (اسماعیل‌پور و امانی، ۱۳۹۳). گزارش شده است که هم‌زیستی با قارچ *G. intraradices* در گیاه فلفل منجر به افزایش نسبت سطح برگ و میزان آبگیری برگ‌ها می‌شود (Demir, 2005). تلقیح با قارچ میکوریز سبب افزایش تعداد برگ و سطح برگ در گیاه کاهو نسبت به شاهد شد (اسماعیل پور و امانی، ۱۳۹۳). استفاده از میکوریز به‌دلیل افزایش جذب آب و مواد غذایی و تولید سطح برگ بیشتر سبب افزایش ماده خشک گیاه می‌شود. نتیجه این نقش میکوریز، افزایش فعالیت فتوسنتزی و تثبیت دی‌اکسید کربن و افزایش زیست‌توده اندام هوایی می‌شود (Smith and Read, 2010). گزارش‌شده است که هم‌زیستی با قارچ‌های میکوریز می‌تواند میزان فتوسنتز را از طریق تغییرات مورفولوژیکی مانند افزایش در شاخص سطح برگ افزایش دهد (اسماعیل‌پور و امانی، ۱۳۹۳). افزایش وزن خشک بخش هوایی توسط قارچ میکوریز آربوسکولار در

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.18.5]



شکل ۱- اثر رقم و قارچ میکوریز بر درصد کلنیزاسیون (A)، اثر قارچ میکوریز بر سطح برگ (B) و اثر قارچ میکوریز و رقم بر وزن تر (C) و بر وزن خشک (D) شاخساره توت‌فرنگی. حروف متفاوت در هر نمودار نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد است.

جدول ۱- تجزیه واریانس برهمکنش دما، رقم و قارچ میکوریز بر صفات اندازه‌گیری‌شده توت‌فرنگی

منابع تغییرات	df	درصد کلنیزاسیون	وزن تر شاخساره	وزن خشک شاخساره	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	سطح برگ	میزان فسفر
دما	٤	۲۰/۰۳^{ns}	٥/٦۲^{ns}	۳/٥۲^{ns}	٤/۸۹^{ns}	۳/۸٥^{ns}	٥/۹٦^{ns}	۰/۰۰۰۲^{ns}
رقم	۱	٥۲/۱٥*	٤۰/٤٦*	٥۰/۱۸**	٤۱/۲۳*	۲۳/٤٦*	۳۱/٥۰^{ns}	۰/۰۰٤۱*
قارچ میکوریز	۱	٥۸۷۳۷**	۱٦۸/۹۸**	٤۹/٤٦**	۳۲٦/۷۱**	۲۱۳/۷۳**	٤٤٦/٥۱**	۰/۲۳۹۷**
دما × رقم	٤	۰/۳٥^{ns}	٤/٥۷^{ns}	۸/۳٤^{ns}	۰/۹۳^{ns}	۰/۱۳^{ns}	۱۸/۳۹^{ns}	۰/۰۰۰۳^{ns}
دما × قارچ میکوریز	٤	٥/۹٤^{ns}	٦/۱٥^{ns}	۱/۷۱^{ns}	۳/۱۳^{ns}	۰/٦۰^{ns}	٥/۳۹^{ns}	۰/۰۰۰۳^{ns}
رقم × قارچ میکوریز	۱	٥/٥۹^{ns}	٤۷/٤۸*	۰/۹٥^{ns}	۳/۱۲^{ns}	۲/٥۱^{ns}	۱/٥۱^{ns}	۰/۰۰۱٥^{ns}
دما × رقم × قارچ میکوریز	٤	۱/۳۱^{ns}	٦/۷٥^{ns}	۲/۱۸^{ns}	۱/۸۱^{ns}	۰/۱۸^{ns}	۸/۱٤^{ns}	۰/۰۰۰۳^{ns}
خطا	٤٥	۸/۹۲	۹/۷۰	۳/٥۱	۱۰/۰۹	٤/٦۸	۱۲/۰٥	۰/۰۰۰۷
ضریب تغییرات		٥/۹۲	۸/۷٥	۱۲/۸٤	٦/۹۷	۱۲/۹۸	٤/٥۸	۱۰/۲۷

ns، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشند.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.18.5]



شکل ۲- اثر قارچ میکوریز و رقم بر وزن تر ریشه (A) و بر وزن خشک ریشه (B) توت‌فرنگی. حروف متفاوت در هر نمودار نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد است.

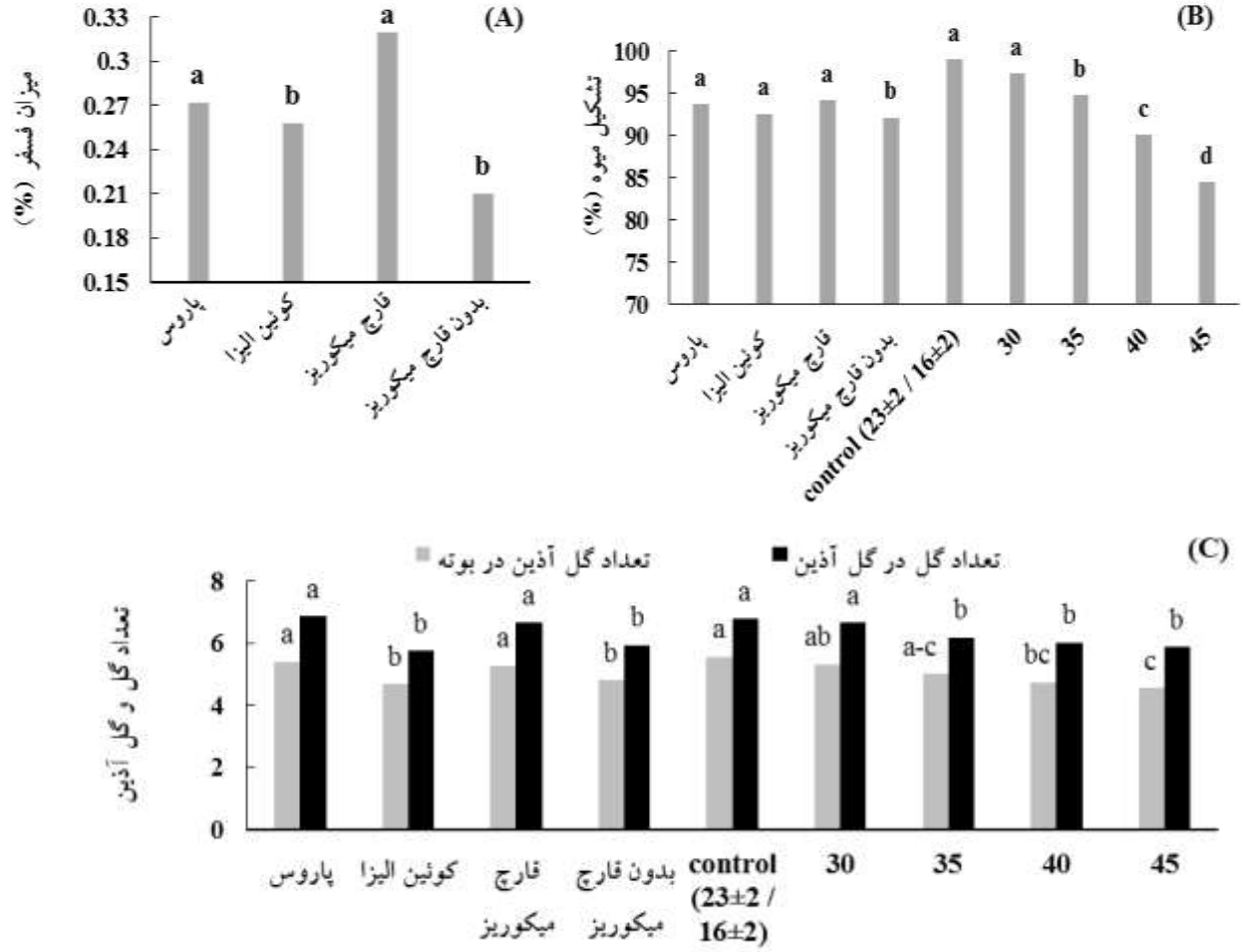
موسیر چینی (Perner *et al.*, 2007) و خیار (Chen *et al.*, 2017) گزارش شده است. همچنین مشخص شد که همزیستی با قارچ‌های میکوریز سبب افزایش وزن تر ریشه شد که به علت تحریک به رشد ریشه و همچنین ذخیره کربوهیدرات‌ها در ریشه می‌باشد. گزارش‌های متعددی وجود دارد که قارچ‌های میکوریز سبب افزایش وزن ریشه می‌گردند (Bowles *et al.*, 2016; Usha *et al.*, 2005).

فسفر: واکاوی صفات نشان داد که رقم در سطح احتمال ۵ درصد و قارچ میکوریز در سطح احتمال ۱ درصد اثر معنی‌داری بر میزان فسفر برگ توت‌فرنگی داشت ولی دما و برهمکنش تیمارها اثر معنی‌داری بر میزان فسفر برگ نداشت (جدول ۱). مقایسه میانگین نشان داد که میزان فسفر رقم پاروس نسبت به رقم کوئین‌الیزا بیشتر است به‌طوری که این میزان برای رقم پاروس ۰/۲۷ درصد و برای رقم کوئین‌الیزا ۰/۲٦ درصد بود که میزان فسفر رقم پاروس ۵ درصد نسبت به رقم کوئین‌الیزا بیشتر بود. مقایسه میانگین نشان داد که حضور قارچ میکوریز باعث افزایش فسفر قسمت هوایی توت‌فرنگی شد به‌طوری که گیاهان در حضور قارچ میکوریز ۳٤ درصد افزایش فسفر نسبت به گیاهان در عدم حضور قارچ میکوریز نشان دادند (شکل ۳-A).

یکی از علل رشد ریشه به واسطه تأثیر میکوریز آربسکولار می‌تواند جذب بیشتر فسفر و بهبود رشد ریشه توسط فسفر باشد (El Amerany *et al.*, 2020) که گیاهان مایه‌زنی شده با قارچ میکوریز دارای فسفر بالاتری نسبت به گیاهان بدون قارچ میکوریز بودند. در پژوهش حاضر میزان وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه در رقم پاروس در حضور قارچ بیشتر از رقم کوئین‌الیزا بود که شاید تمایل بیشتر این رقم به همزیستی با این گونه قارچ باشد. گزارش شده است که نقش اصلی قارچ‌های میکوریزی تأمین فسفر برای ریشه گیاه است، زیرا فسفر در خاک عنصری کم‌تحرک است. حتی در صورتی که فسفر به شکل محلول به خاک افزوده شود به سرعت در اشکال فسفات کلسیم یا دیگر اشکال تثبیت شده و به‌صورت غیرمتحرک درمی‌آید. بنابراین قارچ‌های میکوریزی در افزایش جذب مواد معدنی، به‌ویژه فسفر و تجمع زیست‌توده بسیاری از محصولات، در خاک‌های با فسفر کم، تأثیر مثبت داشته‌اند (Turk *et al.*, 2006). قارچ میکوریز باعث افزایش جذب فسفر و عملکرد ریحان (Toussaint *et al.*, 2007) و افزایش جذب فسفر در هویج (Bucking and Shachar, 2005) نسبت به گیاهان تلقیح نشده شد.

تعداد گل، گل‌آذین و درصد تشکیل میوه: نتایج نشان داد که برهمکنش دما، رقم و قارچ میکوریز روی درصد تشکیل میوه معنی‌دار نبود و فقط دما و قارچ میکوریز بر درصد تشکیل میوه اثر معنی‌دار داشتند (جدول ۲). مقایسه میانگین صفات نشان داد که با افزایش دما میزان تشکیل میوه کاهش یافت که در تیمار دمایی شاهد بیشترین درصد تشکیل میوه و در تیمار دمایی ٤۵ درجه سلسیوس کمترین درصد تشکیل میوه به‌دست آمد. حضور قارچ میکوریز نیز باعث افزایش تشکیل میوه شد به‌طوری که حضور قارچ میکوریز باعث افزایش ۲ درصدی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.18.5]



شکل ۳- اثر قارچ میکوریز و رقم بر میزان فسفر (A)، اثر دما رقم و قارچ میکوریز بر تشکیل میوه (B) و تعداد گل و گل آذین (C) توت‌فرنگی. حروف متفاوت در هر نمودار نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد است.

جدول ۲- تجزیه واریانس برهمکنش دما، رقم و قارچ میکوریز بر صفات عملکردی توت‌فرنگی

منابع تغییرات	df	تعداد گل آذین در بوته	تعداد گل در گل آذین	درصد تشکیل میوه	وزن میوه	طول میوه	قطر میوه	تعداد فندقه میوه	عملکرد
دما	٤	٢/٦٤**	٢/٢٥*	٥٦١/٩٤**	٥٧/٧٤**	٢٠٢/٦١**	١٠٨/٢١**	٥٠٢٣/٨٤**	١٢٥٧/٢**
رقم	١	١٠/٥١**	٢٤/٦١**	٢٤/٥٤^{ns}	١٤٨/١٧**	٢١٩/٠٧**	٧٤٦/١٤**	٩٢٦٩/٨٤**	٣٥/٧٧^{ns}
قارچ میکوریز	١	٤/٥١*	١٠/٤٤**	٨٢/١٥**	٢١/٠١**	٨٩/٩٧**	١٣٥/٤٦**	٢٣٢٠/٠٩**	٢٦٦/٢٣**
دما × رقم	٤	٠/٠٤^{ns}	٠/٠٥^{ns}	٩/١٦^{ns}	٤/٩٨**	١٥/٣٦**	٢٠/٠٤**	١٦٥/٤٢**	٧/٠٤^{ns}
دما × قارچ میکوریز	٤	٠/٠٤^{ns}	٠/٢٨^{ns}	١١/١٣^{ns}	٠/١٣^{ns}	٢/٢١^{ns}	٠/٢١^{ns}	٢٤/٧١^{ns}	٠/٤٠^{ns}
رقم ×قارچ میکوریز	١	٠/٦١^{ns}	٢/٨٨^{ns}	٠/٣٨^{ns}	١/٣١^{ns}	٤٧/٢١**	٢/٣١^{ns}	٤٥/٤٨^{ns}	٤/٧٤^{ns}
دما × رقم × قارچ میکوریز	٤	٠/٠٢^{ns}	٠/٠٧^{ns}	١/٠٣^{ns}	٠/١٢^{ns}	٢/١٧^{ns}	٠/٨٠^{ns}	١٨/٢١^{ns}	٠/٧٩^{ns}
خطا	٤٥	٠/٦٨	١/٠١	١٠/٢٩	٠/٧٩	١/٣٠	٠/٨٤	٢٢/٢٥	١٢/٥٦
ضریب تغییرات		١٦/٣٩	١٥/٩٣	٣/٤٤	٩/٥٩	٤/٥٥	٤/٥١	٢/٤١	٦/١٧

ns، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشند.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.18.5]

تشکیل میوه نسبت به گیاهان در عدم حضور قارچ میکوریز شد (شکل ۳-B).

بررسی و واکاوی داده‌ها نشان داد که برهمکنش دما، رقم و قارچ میکوریز بر تعداد گل‌آذین در بوته و تعداد گل در گل آذین معنی‌دار نبود و فقط اثرات ساده معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین نشان داشت که با افزایش دما تعداد گل‌آذین در بوته کاهش می‌یابد به‌طوری که تیمار دمایی شاهد بیشترین تعداد گل‌آذین در بوته (۵/۵٦) و تیمار دمایی ٤۵ درجه سلسیوس کمترین تعداد گل‌آذین در بوته (٤/۵٦) را داشت. همچنین تعداد گل‌آذین در رقم پاروس نسبت به رقم کوئین‌الیزا ۱۳ درصد بیشتر بود. حضور قارچ میکوریز در تیمارها نسبت به عدم قارچ میکوریز باعث افزایش ۹ درصدی تعداد گل‌آذین در بوته شد (شکل ۳-C). همچنین با افزایش دما تعداد گل در گل‌آذین کاهش نشان داد به‌طوری که تعداد گل در گل‌آذین در تیمار دمایی شاهد ٦/۷۸ و در تیمار دمایی ٤۵ درجه سلسیوس ۵/۸۸ بود. همچنین رقم پاروس با ٦/۸٦ گل در گل‌آذین ۱٦ درصد نسبت به رقم کوئین‌الیزا گل بیشتری در گل‌آذین داشت. حضور قارچ میکوریز نیز باعث افزایش ۱۰ درصدی تعداد گل در گل‌آذین شد (شکل ۳-C).

افزایش دما به‌طور قابل‌توجهی تعداد گل‌آذین، گل و درصد تشکیل میوه را تحت تأثیر قرار داد که با نتایج Ledesma و همکاران (۲۰۰۸) مطابقت دارد. در فلفل تنش دمای بالا باعث کاهش تشکیل میوه شد اما تأثیری بر روی تعداد گل نداشت (Erickson and Markhart, 2001). همچنین گزارش کردند که با افزایش دمای شب/ روز از ۲٦/۲۲ به ۳۲/۲٦ باعث کاهش تشکیل میوه در دو رقم گوجه‌فرنگی شد (Sato *et al*., 2000). در پژوهشی که روی گوجه‌فرنگی انجام گرفت، مشخص گردید که همزیستی گوجه‌فرنگی با یک‌گونه از میکوریز باعث افزایش معنی‌دار تعداد گل در بوته در مقایسه با تیمار شاهد گردید و دلیل آن را به بهبود جذب آب و عناصر غذایی گوجه‌فرنگی در اثر همزیستی میکوریزی نسبت دادند (Subramanian *et al*., 2006). تعداد گل و گل‌آذین در رقم پاروس نسبت به کوئین‌الیزا بیشتر بود. علت آن را می‌توان با همزیستی بیشتر رقم پاروس با قارچ میکوریز نسبت داد که باعث افزایش جذب آب و عناصر غذایی می‌شود و گل انگیزی بهتری اتفاق می‌افتد.

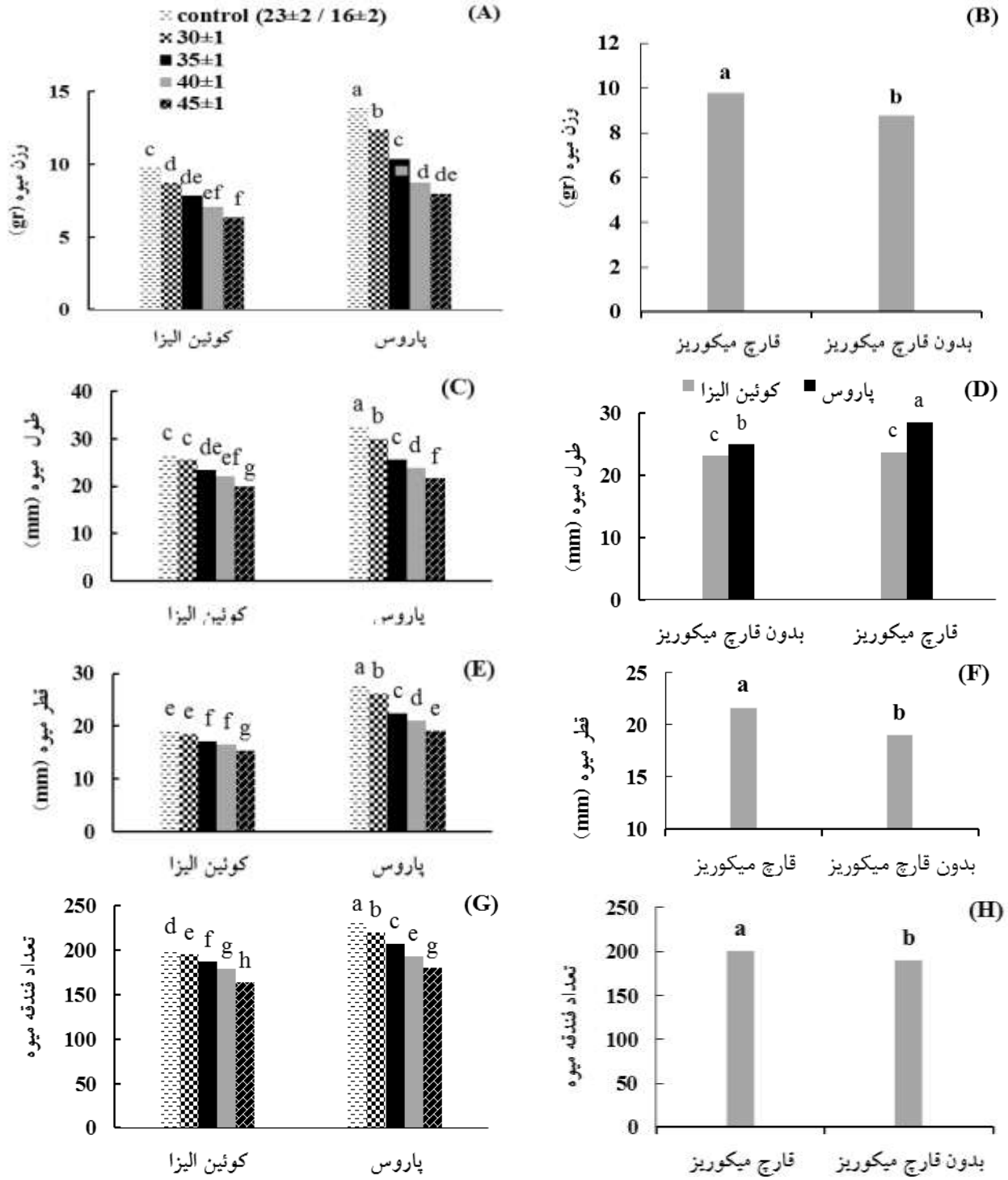
وزن، طول، قطر و فندقه میوه: نتایج نشان داد که برهمکنش دما، رقم و قارچ میکوریز بر وزن میوه معنی‌دار نیست ولی برهمکنش دما و رقم و همچنین اثرات ساده به‌تنهایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است (جدول ۲). مقایسه میانگین برهمکنش دما و رقم نشان داد که بیشترین وزن میوه برای رقم پاروس در تیمار دمایی شاهد (۱۳/۸٦گرم) و کمترین وزن میوه برای رقم کوئین‌الیزا در تیمار دمایی ٤۵ درجه سلسیوس (٦/۳۱ گرم) بود (شکل ٤-A). حضور قارچ میکوریز باعث افزایش وزن میوه شد به‌طوری که گیاهان در عدم حضور قارچ میکوریز ۱۱ درصد کاهش وزن میوه نشان داد (شکل ٤-B).

برهمکنش دما، رقم و قارچ میکوریز بر طول میوه معنی‌دار نشد ولی برهمکنش دما با رقم همچنین برهمکنش رقم و قارچ میکوریز و اثرات ساده به‌تنهایی در سطح احتمال یک درصد بر طول میوه معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین برهمکنش دما و رقم نشان داد که بیشترین طول میوه برای رقم پاروس در تیمار دمایی شاهد (۳۲/٦٤ میلی‌متر) و کمترین طول برای رقم کوئین‌الیزا در تیمار دمایی ٤۵ درجه سلسیوس (۱۹/۸٦ میلی‌متر) بود (شکل ٤-C). مقایسه میانگین رقم و قارچ میکوریز نشان داد که رقم پاروس در حضور قارچ میکوریز دارای بیشترین طول میوه (۲۸/۵٦ میلی‌متر) و رقم کوئین‌الیزا در عدم حضور قارچ میکوریز داری کمترین طول میوه (۲۳/۱۳ میلی‌متر) بود (شکل ٤-D).

برهمکنش دما، رقم و قارچ میکوریز بر قطر میوه معنی‌دار نشد ولی برهمکنش دما با رقم و اثرات ساده به‌تنهایی در سطح احتمال یک درصد بر قطر میوه معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین برهمکنش دما و رقم نشان داد که بیشترین قطر میوه برای رقم پاروس در تیمار دمایی شاهد (۲۸/۲۰ میلی‌متر) و کمترین قطر برای رقم کوئین‌الیزا در تیمار دمایی ٤۵ درجه سلسیوس (۱۵/٤۵ میلی‌متر) بود (شکل ٤-E). حضور قارچ

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.18.5]



شکل ٤- اثر دما، رقم و قارچ میکوریز بر وزن میوه (A)، طول میوه (C)، قطر میوه (E) و تعداد فندقه (G)، بر وزن میوه (B)، قطر میوه (F) و تعداد فندقه (H) و اثر قارچ میکوریز و رقم بر طول میوه (D) توت‌فرنگی. حروف متفاوت در هر نمودار نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد است.

میکوریز باعث افزایش قطر میوه شد به‌طوری که گیاهان در حضور قارچ میکوریز ۱۲ درصد افزایش قطر نشان داد (شکل ٤-F).

تجزیه و تحلیل آماری صفات نشان داد که برهمکنش دما،

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.18.5]

رقم و قارچ میکوریز بر تعداد فندقه میوه معنی‌دار نشد ولی برهمکنش دما و رقم بر فندقه میوه و اثرات ساده به‌تنهایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین برهمکنش دما و رقم نشان داد که بیشترین تعداد فندقه میوه برای رقم پاروس در تیمار دمایی شاهد (۲۳۱/۷۹ عدد) و کمترین تعداد فندقه میوه اولیه برای رقم کوئین‌الیزا در تیمار دمایی ٤٥ درجه سلسیوس (۱٦۳/۲۲عدد) بود (شکل ٤-G). حضور قارچ میکوریز باعث افزایش تعداد فندقه میوه شد به‌طوری که گیاهان در عدم حضور قارچ میکوریز تقریباً ۵ درصد کاهش تعداد فندقه نشان دادند (شکل ٤-H).

تنش گرما باعث کاهش اندازه و وزن میوه در توت‌فرنگی می‌شود اما پاسخ ارقام به دمای بالا در مراحل مختلف گلدهی تا گل‌آذین دوم متفاوت است (Ledesma *et al.*, 2008). گزارش‌های زیادی از اثرات منفی دمای بالای شب/روز بر وزن تازه و اندازه میوه توت‌فرنگی گزارش‌شده است (Massa *et al.*, 2015; Ledesma and Kawabata, 2016; Chen, 2013). در مطالعه‌ای که روی دو رقم توت‌فرنگی 'Nyoho' و 'Toyonoka' در دمای ۳۰/۲۵ و ۲۳/۱۸ درجه سلسیوس شب/روز انجام شد کاهش معنی‌داری در وزن تازه میوه بدون توجه به موقعیت میوه به دست آمد (Ledesma *et al.*, 2008). ارقام مختلف توت‌فرنگی در شرایط تنش دمایی بالا در مزرعه کاهش وزن میوه را نشان دادند اما دو رقم 'Hinomine' و 'Toyonoka' دارای اندازه میوه بزرگتری در این شرایط بودند (Kesici *et al.*, 2013). فندقه‌های بارور باعث تولید هورمون‌های گیاهی از جمله اکسین شده که باعث رشد نهنج در طول رسیدن میوه می¬شوند. زمانی که فندقه¬ها بارور نشوند توسعه قسمت¬های از میوه که فندقه¬ها باور نشده¬اند مهار می¬شود و میوه‌ها بدشکل و کوچک می¬شوند. البته گرده‌افشانی ناکافی و آسیب¬های ناشی از حشرات، بیماری¬ها و یخ‌زدگی ممکن است باعث بدشکلی و کوچکی در میوه توت‌فرنگی شود (Ledesma *et al.*, 2008). تأثیر منفی مدت زمان کوتاه تنش گرمایی در زمان گلدهی بر روی عملکرد در بادام‌زمینی (Prasad *et al.*, 2000) و فلفل (Erickson and Markhart, 2001) گزارش شده است. همچنین وزن و اندازه میوه رقم پاروس نسبت به رقم کوئین‌الیزا در همه تیمارهای دمایی بالاتر بود که نشان می¬دهد رشد و عملکرد این رقم نسبت به رقم کوئین‌الیزا کمتر تحت تأثیر تنش¬های دمایی می‌باشد. همچنین گزارش شده است که ارقام نسبت به دماهای بالا پاسخ‌های متفاوتی دارند (Ledesma and Sugiyama, 2005).

عملکرد بوته: نتایج نشان داد که فقط دما و قارچ میکوریز اثر معنی‌داری بر روی عملکرد در سطح یک درصد داشت (جدول ۲). مقایسه میانگین نشان داد که با افزایش دما عملکرد کاهش یافت به‌طوری که دمای شاهد دارای بیشترین عملکرد و تیمار دمایی ٤٥ درجه سلسیوس دارای کمترین عملکرد بود و تیمار دمایی ٤٠ و ٤٥ درجه سلسیوس به ترتیب ۲٤ و ۳۳ درصد کاهش عملکرد نسبت به تیمار دمایی شاهد نشان دادند (شکل ۵-A). قارچ میکوریز باعث افزایش عملکرد گیاهان شد به‌طوری که گیاهان در عدم حضور قارچ میکوریز ٦ درصد کاهش عملکرد نشان دادند (شکل ۵-A).

تنش گرمایی باعث کاهش اندازه میوه و وزن میوه و به دنبال آن کاهش عملکرد می‌شود که کاهش عملکرد در اثر تنش گرمایی در توت‌فرنگی (Ledesma *et al.*, 2008) و ارزن (Gupta *et al.*, 2015) گزارش شده است. قارچ‌های میکوریزی با داشتن شبکه هیفی گسترده و افزایش سطح و سرعت جذب ریشه، کارآیی گیاهان را در جذب آب و عناصر غذایی به‌ویژه عناصر کم‌تحرک فسفر، روی و مس را افزایش می‌دهند و موجب بهبود رشد آنها می‌شوند (Marschner and Dell, 1994). افزایش عملکرد در گیاهان میکوریزی احتمالاً به خاطر افزایش سطح جذب و درنتیجه تغذیه بهتر و عملکرد بیشتر باشد (Toussaint *et al.*, 2007). افزایش عملکرد می‌تواند ناشی از افزایش فعالیت‌های فتوسنتزی گیاه باشد به‌طوری که افزایش رشد در گیاهان میکوریزی ممکن است نشان‌دهنده تشدید فتوسنتز همراه با افزایش جذب فسفر در این گیاهان باشد (Rouphael *et al.*, 2015).

صفات کیفی میوه: مشاهده شد که برهمکنش دما با رقم

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.18.5]

با قارچ میکوریز بر هیچ یک از فاکتورهای کیفی میوه ازجمله TSS، TA، ویتامین C، آنتوسیانین، درصد مهارکنندگی رادیکال‌های آزاد (DPPH%) و میزان ترکیبات فنولی کل معنی‌دار نیست. همچنین مشخص شد که میزان TA، آنتوسیانین و فنول در هیچ یک از اثرات ساده و متقابل معنی‌دار نیست (جدول ۳). تجزیه واریانس اثرات ساده نشان داد که رقم و قارچ میکوریز بر میزان مواد جامد محلول (TSS) به ترتیب در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین نشان داد که رقم کوئین‌الیزا ۱۳ درصد نسبت به رقم پاروس دارای مواد جامد محلول بیشتری است. همچنین حضور قارچ میکوریز باعث افزایش مواد جامد محلول شد به‌طوری که گیاهان در حضور قارچ میکوریز ٤ درصد مواد جامد محلول بیشتری نسبت به گیاهان در عدم حضور قارچ میکوریز داشتند (شکل ۵-B).

نشان داده شده است که محتوای TSS بیشتر تحت تأثیر شرایط محیطی نسبت به توارث ژنتیکی است. اسیدیته قابل تیتراسیون (TA) یک صفت وراثتی است که کمتر از TSS تحت تأثیر شرایط محیطی است (Kafkas *et al.*, 2007). مشخص شده است که فسفر نقش مهمی را در انتقال انرژی در طول چرخه فتوسنتز ایفا می‌کند. بنابراین قارچ‌های مایکوریز، محرکی جهت افزایش فعالیت فتوسنتزی می‌باشند (Demir, 2005). همزیستی قارچ مایکوریز با ریشه گیاه میزبان از طریق افزایش جذب آب و عناصر غذایی، سبب افزایش فتوسنتز شده و این امر موجب تولید فرآورده بیشتر و بهبود پارامترهای رشدی می‌شود. فسفر فرآیند فتوسنتز و بیوسنتز کربوهیدرات¬ها را با افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو سرعت می¬بخشد (Delfine *et al.*, 2005). افزون بر این، فسفر در ساختار سه کوآنزیم آدنوزین¬تری فسفات، نیکوتین آمید دی نوکلئوتید فسفات و کوآنزیم¬آ که در بیوسنتز ترکیبات قندی نقش دارند، شرکت می¬کند (Sell, 2003). افزایش محتوای قند محلول تحت تأثیر قارچ‌های میکوریزی به دلیل افزایش سطوح هورمون‌های گیاهی مانند سایتوکینین و جیبرلین در گیاهان مایکوریزایی می‌باشد. افزایش در میزان این هورمون‌ها به‌ویژه سایتوکینین می‌تواند با انتقال یون‌های مؤثر در بازشدن روزنه‌ها و تنظیم سطح کلروفیل، موجب افزایش و بالارفتن سرعت فتوسنتز و درنهایت افزایش محتوی کربوهیدرات‌ها در گیاهان شود (Selvaraj and Chellappan, 2006).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که فقط اثر ساده قارچ میکوریز روی ویتامین C اثر معنی‌داری داشت و سایر تیمارها بر روی آن اثر معنی‌داری نداشتند (جدول ۳). مقایسه میانگین نشان داد که حضور قارچ میکوریز باعث افزایش میزان آسکوربیک اسید شد به‌طوری که گیاهان در حضور قارچ میکوریز دارای ٦٦/۲۵ میلی‌گرم در ۱۰۰میلی‌لیتر آب میوه ویتامین C و گیاهان در عدم قارچ میکوریز دارای ٤۹/۹۸ میلی‌گرم در ۱۰۰میلی‌لیتر آب میوه ویتامین C بودند که گیاهان دارای قارچ میکوریز ۲۵ درصد ویتامین C بیشتری داشتند (شکل ۵-C).

قارچ‌های میکوریز با جذب فسفر در فعال‌ساختن آنزیم‌هایی که برای سنتز ویتامین C لازم و ضروری می‌باشند، نقش اساسی دارند و با افزایش فسفر جذب‌شده، فعالیت این آنزیم‌ها نیز بیشتر شده و درنتیجه غلظت ویتامین C در حضور قارچ میکوریز افزایش می‌یابد که در گوجه‌فرنگی گزارش شده است (Iqbal *et al.*, 2011). وجود فسفر کافی در محیط ریشه سبب توسعه سریع ریشه و استفاده بهتر گیاه از آب و دیگر مواد غذایی ضروری می‌شود و درنتیجه میزان ویتامین C بهبود می‌یابد (کریمی و همکاران، ۱۳۹۲).

بررسی داده‌ها نشان داد که رقم بر روی درصد مهارکنندگی رادیکال‌های آزاد (DPPH%) در سطح احتمال یک درصد اثر معنی‌دار داشت و سایر تیمارها اثر معنی‌داری بر روی آن نداشت (جدول ۳). مقایسه میانگین نشان داد که رقم پاروس درصد مهارکنندگی رادیکال‌های آزاد بیشتری نسبت به رقم کوئین‌الیزا دارد (شکل ۵-D).

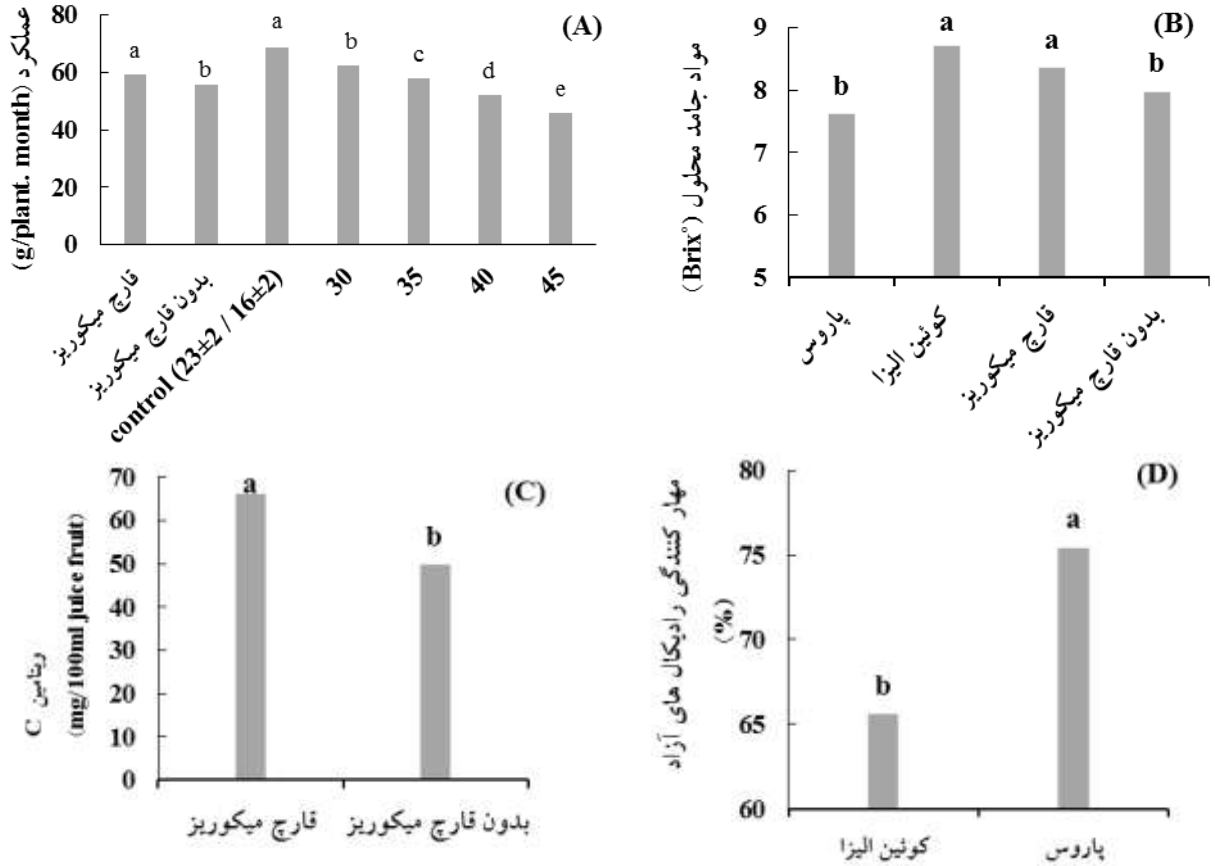
گیاهان دارای سیستم آنتی‌اکسیدانی هستند که تولید اضافی گونه‌های فعال اکسیژن را تحت شرایط تنش کنترل می‌کند و بنابراین، آنها را در مقابل آثار مضر گونه‌های فعال اکسیژن محافظت می‌کند و از سوی دیگر، سطح مناسبی از ROS را

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.18.5]

جدول ۳- تجزیه واریانس برهمکنش دما، رقم و قارچ میکوریز بر صفات کیفی میوه توت‌فرنگی

منابع تغییرات	درجه آزادی	مواد جامد محلول (TSS)	اسیدهای قابل تیتراسیون (TA)	ویتامین C	آنتوسیانین	درصد مهار کنندگی رادیکال-های آزاد	فنول کل
دما	٤	۰/۰۷۹^{ns}	۰/۰۱٥٤^{ns}	۲/۸۸^{ns}	٦۲/۳۹^{ns}	۰/۳۷^{ns}	۰/۲۸۲۳۲^{ns}
رقم	۱	۲۳/۷٦۲**	۰/۰۲۱۷^{ns}	۱۱/۹٤^{ns}	۱٥/٥۲^{ns}	۱۹٤۰/٥۸**	۰/۰۰۳۱۸^{ns}
قارچ میکوریز	۱	۲/۸۱۳*	۰/۰۱٦۳^{ns}	٥۲۹٦/۰۳**	۲/۷۰^{ns}	۷٥/۷۱^{ns}	۰/۰۰٥٦٥^{ns}
دما × رقم	٤	۰/۳٦۷^{ns}	۰/۰۲۰۸^{ns}	٤/۸٤^{ns}	۲۷٤/۱۳^{ns}	۱/۸۳^{ns}	۰/۱۱٤٦٤^{ns}
دما × قارچ میکوریز	٤	۰/۳۰٦^{ns}	۰/۰۰۷۷^{ns}	۳/۱۹^{ns}	۱۲۹/٤۳^{ns}	۳/۸۰^{ns}	۰/۰۱۷٦۰^{ns}
رقم × قارچ میکوریز	۱	۰/۲٤۲^{ns}	۰/۰۰۰٦^{ns}	۳۷/۱۹^{ns}	۳۰/٥٤^{ns}	۳٥/٦۹^{ns}	۰/۰۰۰۰۱^{ns}
دما × رقم × قارچ میکوریز	٤	۰/۳۹۳^{ns}	۰/۰۰۸٤^{ns}	۲/۰۹^{ns}	٦۷/۳۰^{ns}	۱/٦۸^{ns}	۰/۰٦۲۹٤^{ns}
خطا	٤٥	۰/٦۱٦	۰/۰۱۷۹	٦۳/٦۱	۱۸۰/٤٤	۲۰/۰۱	۰/۳۸۰٥۰
ضریب تغییرات		۹/٦۱۱	۱۳/۸٥	۱۳/۷۲	۱٦/٥٦	٦/۳٤	۱۷/۸٥

ns، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشند.



شکل ۵- اثر دما و قارچ میکوریز بر عملکرد (A)، اثر رقم و قارچ میکوریز بر مواد جامد محلول (B)، اثر قارچ میکوریز بر ویتامین C (C) و اثر رقم بر درصد مهارکنندگی رادیکال‌های آزاد (D) توت‌فرنگی. حروف متفاوت در هر نمودار نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد است.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.18.5]

برای رشد و مسیر انتقال پیام حفظ می‌کند (Mittler *et al.*, 2004). پاسخ آنتی‌اکسیدانی فرایندی مهم برای محافظت گیاهان در مقابل آسیب‌های اکسیداتیوی است که در اثر طیف وسیعی از تنش‌های محیطی ایجاد می‌شود (Mittler *et al.*, 2004). درصد مهارکنندگی رادیکال‌های آزاد (DPPH%) رقم پاروس نسبت به رقم کوئین‌الیزا بیشتر بود که در واقع می‌توان گفت این رقم دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانی بیشتری است که مقاومت این رقم را نسبت به تنش‌های محیطی نشان می‌دهد. فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در گیاهانی که نسبت به تنش اکسیداتیو مقاوم‌تر هستند، بیشتر است (Ozkur *et al.*, 2009).

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج نشان داد که دما و قارچ میکوریز تأثیر زیادی روی عملکرد و وزن میوه توت‌فرنگی دارند. یافته‌های حاصل از پژوهش مشخص کرد که هر چه دما افزایش یابد فاکتورهای رشدی و عملکردی توت‌فرنگی در هر دو رقم کاهش می‌یابد. حضور قارچ میکوریز می‌تواند در هنگام تنش گرمایی و پس از آن برخی ویژگی‌های رشدی و عملکردی توت‌فرنگی را نسبت به گیاهان بدون قارچ میکوریز بهبود بخشد و باعث رشد و عملکرد بهتر ارقام توت‌فرنگی شود. همچنین مشخص شد که رقم پاروس نسبت به رقم کوئین الیزا در برخی ویژگی‌های بررسی شده تحمل بهتری به دمای بالا دارد و همچنین میزان مایکوریزی شدن رقم پاروس نسبت به رقم کوئین الیزا بالاتر بود و باعث عملکرد بیشتری شد. بنابراین پیشنهاد می‌شود که برای افزایش عملکرد کمی و کیفی توت‌فرنگی و بهبود تحمل آن به تنش گرمایی از قارچ‌های میکوریز آربوسکولار استفاده شود.

منابع

اسفندیاری، م. (۱۳۹۲) برهمکنش قارچ میکوریز و زئولیت طبیعی بر رشد، عملکرد و عناصر معدنی توت‌فرنگی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

اسماعیل‌پور، ب. و امانی، ن. (۱۳۹۳) بررسی تأثیر تلقیح با قارچ میکوریز بر رشد و جذب عناصر غذایی کاهو رقم سیاهو (*Lactuca sativa* L.). نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار ٤: ٤٩-٦٩.

حسینی فرهی، م.، رادی، م.، باقری، ف و جمشیدی، ا. (۱۳۹۷) بررسی ویژگی‌های کیفی و ارگانولپتیکی پس ازبرداشت میوه توت‌فرنگی با کاربرد ژل آلوئه‌ورا، استیک اسید و پرتو فرابنفش بی. علوم و فنون باغبانی ایران ۱۹: ۹۹-۱۱٤.

سلیمانی ساردو، ف.، مصباح‌زاده، ط.، برومند، ن.، اذره، ع. و رفیعی ساردویی، ا. (۱۳۹٦) بررسی آثار تغییر اقلیم تحت سناریوهای مختلف بر روی آب زیرزمینی دشت کرمان. محیط‌شناسی ٤۳: ٦٤٥-٦٦۱.

سمائی، ف.، اصغری، ش.، علی‌اصغرزاده، ن. و ساریخانی، م. ر. (۱۳۹٤) اثر دو نوع قارچ میکوریز آربوسکولار بر برخی خصوصیات هیدرولیکی و جذب عناصر در یک خاک قلیایی زیر کشت جو بهاره در شرایط گلخانه‌ای. علوم و فنون کشت گلخانه‌ای ۲۱: ۱٦۹-۱۷۸.

قائم مقامی، س. ف.، زارعی، م.، یثربی، ج. و عشقی، س. (۱۳۹۸) اثر سطح‌های مختلف نیتروژن، ورمی‌کمپوست و نیتراژین بر ویژگی‌های ریخت‌شناسی، شاخص سبزینگی و عملکرد توت‌فرنگی در شرایط گلخانه‌ای. مجله علوم و فنون باغبانی ایران ۲۰: ۲۵۱-۲٦۲.

کریمی، ک.، بلندنظر، ص. و آشوری، س. (۱۳۹۲) اثر کودهای زیستی و قارچ میکوریز آربوسکولار بر عملکرد، صفات رشد و کیفیت لوبیا سبز (*Phaseolous vulgaris* L.). دانش کشاورزی و تولید پایدار ۲۳: ۱۵۷-۱٦۷.

مدرسی، م. و راستگو، س. (۱۳۹۲) واکنش عملکرد و برخی صفات مورفولوژیک ارقام مختلف گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon* L

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.18.5]

esculentum Mill.) به تنش گرما. مجله علوم گیاهان زراعی ایران ٤٤: ٥٩-٦٧.

ملاحسینی، ح.، بهرامی، ف.، غیور، ف. و باقی، ا. (۱۳۹۰) تولید توت‌فرنگی (راهنمای کامل و مصور تولید توت‌فرنگی به روش کشت خاکی و هیدروپونیک). انتشارات آموزش و ترویج کشاورزی، تهران.

منافی، ح.، علی‌اصغر زاده، ن.، نیشابوری، م. و رجالی، ف. (۱۳۹۱) تحمل تنش کمبود آب در گوجه‌فرنگی در همزیستی با قارچ‌های میکوریز آربوسکولار. نشریه دانش آب و خاک ۲۲: ۱-۱٦.

نوری، ا. س.، منوچهری کلانتری، خ.، شریفی، م.، ناصری، ف. و طاهر نژاد، ع. (۱۳۸۷) وضعیت میکوریز در گیاهان غالب مناطقی از استان کرمان. علوم محیطی ٦: ۱-۱۰.

Amanifar, S., Khodabandeloo, M., Fard, E. M., Askari, M. S. and Ashrafi, M. (2019) Alleviation of salt stress and changes in glycyrrhizin accumulation by Arbuscular mycorrhiza in liquorice (*Glycyrrhiza glabra*) grown under salinity stress. Environmental and Experimental Botany 160: 25-34.

Bernstein, L., Bosch, P., Canziani, O., Chen, Z., Christ, R. and Riahi, K. (2008) IPCC, 2007: Climate Change 2007: Synthesis Report: IPCC.

Berova, M., Stoeva, N., Zlatev, Z. and Ganeva, D. (2009) Physiological response of some tomato genotypes (*Lycopersicon esculentum* L.) to high temperature stress. Journal of Central European Agriculture 9: 723-732.

Bishop, J., Jones, H. E., Lukac, M. and Potts, S. G. (2016) Insect pollination reduces yield loss following heat stress in faba bean (*Vicia faba* L.). Agriculture, Ecosystems and Environment 220: 89-96.

Bor, J. Y., Chen, H. Y. and Yen, G. C. (2006) Evaluation of antioxidant activity and inhibitory effect on nitric oxide production of some common vegetables. Journal of Agricultural and Food Chemistry 54: 1680-1686.

Bowles, T. M., Barrios-Masias, F. H., Carlisle, E. A., Cavagnaro, T. R. and Jackson, L. E. (2016) Effects of Arbuscular mycorrhizae on tomato yield, nutrient uptake, water relations, and soil carbon dynamics under deficit irrigation in field conditions. Science of the Total Environment 566: 1223-1234.

Bücking, H. and Shachar-Hill, Y. (2005) Phosphate uptake, transport and transfer by the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* is stimulated by increased carbohydrate availability. New Phytologist 165: 899-912.

Chandler, C. K., Folta, K., Dale, A., Whitaker, V. M. and Herrington, M. (2012) Strawberry. In: Fruit Breeding (eds. Badenes, M. L. and Byrne, D. H.) Pp. 305-325. Springer, Boston.

Chen, D. (2013) The effect of heat on fruit size of day-neutral strawberries. PhD Thesis, University of Guelph, Guelph, Ontario, Canada.

Chen, S., Zhao, H., Zou, C., Li, Y., Chen, Y., Wang, Z. and Ahammed, G. J. (2017) Combined inoculation with multiple arbuscular mycorrhizal fungi improves growth, nutrient uptake and photosynthesis in cucumber seedlings. Frontiers in Microbiology 8: 2516.

Delfine, S., Tognetti, R., Desiderio, E. and Alvino, A. (2005) Effect of foliar application of N and humic acids on growth and yield of durum wheat. Agronomy for Sustainable Development 25: 183-191.

Demir, S. (2005) Influence of Arbuscular mycorrhiza on some physiological growth parameters of pepper. Turkish Journal of Biology 28: 85-90.

Dhawi, F., Datta, R. and Ramakrishna, W. (2016) Mycorrhiza and heavy metal resistant bacteria enhance growth, nutrient uptake and alter metabolic profile of sorghum grown in marginal soil. Chemosphere 157: 33-41.

Duffkova, R., Fucik, P., Jurkovska, L. and Janouskova, M. (2019) Experimental evaluation of the potential of arbuscular mycorrhiza to modify nutrient leaching in three arable soils located on one slope. Applied Soil Ecology 143: 116-125.

El Amerany, F., Rhazi, M., Wahbi, S., Taourirte, M. and Meddich, A. (2020) The effect of chitosan, Arbuscular mycorrhizal fungi, and compost applied individually or in combination on growth, nutrient uptake, and stem anatomy of tomato. Scientia Horticulturae: 261: 109015.

Else, M. and Atkinson, C. (2010) Climate change impacts on UK top and soft fruit production. Outlook on Agriculture 39: 257-262.

Erickson, A. N. and Markhart, A. H. (2001) Flower production, fruit set, and physiology of bell pepper during elevated temperature and vapor pressure deficit. Journal of the American Society for Horticultural Science 126: 697-702.

Ghasemnezhad, M., Sherafati M. and Payvast, G. A. (2011) Variation in phenolic compounds, ascorbic acid and antioxidant activity of five coloured bell pepper (*Capsicum annum*) fruits at two different harvest times. Journal of Functional Foods 3: 44-49.

Ghasemnezhad, M., Shiri, A. M. and Sanavi, M. (2010) Effect of chitosan coatings on some quality indices of apricot (*Prunus armeniaca* L.) during cold storage. Caspian Journal Environmental Sciences 8: 25-33.

Ghasemnezhad, M., Zareh, S., Rassa, M. and Sajedi, R. H. (2013) Effect of chitosan coating on maintenance of aril

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.18.5]

quality, microbial population and PPO activity of pomegranate (*Punica granatum* L. cv. Tarom) at cold storage temperature. Journal of the Science of Food and Agriculture 93: 368-374.
Gupta, S. K., Rai, K. N., Singh, P., Ameta, V. L., Gupta, S. K., Jayalekha, A. K. and Verma, Y. S. (2015) Seed set variability under high temperatures during flowering period in pearl millet (*Pennisetum glaucum* L. (R.) Br.). Field Crops Research 171: 41-53.
Hack, C. M., Porta, M., Schäufele, R. and Grimoldi, A. A. (2019) Arbuscular mycorrhiza mediated effects on growth, mineral nutrition and biological nitrogen fixation of *Melilotus alba* Med. in a subtropical grassland soil. Applied Soil Ecology 134: 38-44.
Hernandez, V., Hellin, P., Fenoll, J., Garrido, I., Cava, J. and Flores, P. (2015) Increasing yield and quality of tomato cultivated under high temperature conditions through the use of elicitors. Procedia Environmental Sciences 29: 184.
Huan, Y. A. N. G., GU, X. T., DING, M. Q., LU, W. P. and LU, D. L. (2020) Weakened carbon and nitrogen metabolisms under post-silking heat stress reduce the yield and dry matter accumulation in waxy maize. Journal of Integrative Agriculture 19: 78-88.
Iqbal, M., Niamatullah, M., Yousaf, I., Munir, M. and Khan, M. Z. (2011) Effect of nitrogen and potassium on growth, economical yield and yield components of tomato. Sarhad Journal of Agriculture 27: 545-548.
Kader, A. A. (1991) Quality and its maintenance in relation to the postharvest physiology of strawberry. Timber Press, Portland.
Kadir, S., Sidhu, G. and Al-Khatib, K. (2006) Strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) growth and productivity as affected by temperature. HortScience 41: 1423-1430.
Kafkas, E., Kosar, M., Paydas, S., Kafkas, S. and Başer, K. H. C. (2007) Quality characteristics of strawberry genotypes at different maturation stages. Food Chemistry 100: 1229-1236.
Kesici, M., Gulen, H., Ergin, S., Turhan, E., Ahmet, I. P. E. K. and Koksal, N. (2013) Heat-stress tolerance of some strawberry (*Fragaria* × *ananassa*) cultivars. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca 41: 244-249.
Kormanik, P. and McGraw, A. (1982) Quantification of vesicular-arbuscular mycorrhizae in plant roots. New Phytologist 87: 63-67.
Ledesma, N. A. and Kawabata, S. (2016) Responses of two strawberry cultivars to severe high temperature stress at different flower development stages. Scientia Horticulturae 211: 319-327.
Ledesma, N. A., Nakata, M. and Sugiyama, N. (2008) Effect of high temperature stress on the reproductive growth of strawberry cvs. 'Nyoho' and 'Toyonoka'. Scientia Horticulturae 116: 186-193.
Ledesma, N. and Sugiyama, N. (2005) Pollen quality and performance in strawberry plants exposed to high-temperature stress. Journal of the American Society for Horticultural Science 130: 341-347.
Lee, J., Durst, R. W. and Wrolstad, R. E. (2005) Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: collaborative study. Journal of the Association of Official Agricultural Chemists 88: 1269-1278.
Lipiec, J., Doussan, C., Nosalewicz, A. and Kondracka, K. (2013) Effect of drought and heat stresses on plant growth and yield: a review. International Agrophysics 27: 463-477.
Marschner, H. and Dell, B. (1994) Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. Plant and Soil 159: 89-102.
Martin, C. A. and Stutz, J. C. (2004) Interactive effects of temperature and arbuscular mycorrhizal fungi on growth, P uptake and root respiration of *Capsicum annuum* L. Mycorrhiza 14: 241-244.
Massa, G. D., Chase, E., Santini, J. B. and Mitchell, C. A. (2015) Temperature affects long-term productivity and quality attributes of day-neutral strawberry for a space life-support system. Life Sciences in Space Research 5: 39-46.
Mishra, D., Shekhar, S., Agrawal, L., Chakraborty, S. and Chakraborty, N. (2017) Cultivar-specific high temperature stress responses in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) associated with physicochemical traits and defense pathways. Food Chemistry 221: 1077-1087.
Mittler, R., Vanderauwera, S., Gollery, M. and Van Breusegem, F. (2004) Reactive oxygen gene network of plants. Trends in Plant Science 9: 490-498.
Murphy, J. A. M. E. S. and Riley, J. P. (1962) A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Analytica Chimica Acta 27: 31-36.
Ozkur, O., Ozdemir, F., Bor, M. and Turkan, I. (2009) Physiochemical and antioxidant responses of the perennial xerophyte *Capparis ovata* Desf. to drought. Environmental and Experimental Botany 66: 487-492.
Paul, S., Das, M. K., Baishya, P., Ramteke, A., Farooq, M., Baroowa, B. and Gogoi, N. (2017) Effect of high temperature on yield associated parameters and vascular bundle development in five potato cultivars. Scientia Horticulturae 225: 134-140.
Perner, H., Schwarz, D., Bruns, C., Mader, P. and George, E. (2007) Effect of arbuscular mycorrhizal colonization and two levels of compost supply on nutrient uptake and flowering of pelargonium plants. Mycorrhiza 17: 469-474.
Prasad, P. V. V., Craufurd, P. Q., Summerfield, R. J. and Wheeler, T. R. (2000) Effects of short episodes of heat stress on flower production and fruit-set of groundnut (*Arachis hypogaea* L.). Journal of Experimental Botany

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.18.5]

51: 777-784.
Rouphael, Y., Franken, P., Schneider, C., Schwarz, D., Giovannetti, M., Agnolucci, M. and Colla, G. (2015) Arbuscular mycorrhizal fungi act as biostimulants in horticultural crops. Scientia Horticulturae 196: 91-108.
Sato, S., Peet, M. M. and Gardner, R. G. (2004) Altered flower retention and developmental patterns in nine tomato cultivars under elevated temperature. Scientia Horticulturae 101: 95-101.
Sato, S., Peet, M. M. and Thomas, J. F. (2000) Physiological factors limit fruit set of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) under chronic, mild heat stress. Plant Cell and Environment 23: 719-726.
Sell, C. S. (2003) A fragrant introduction to terpenoid chemistry. Royal Society of Chemistry, Northampton, England.
Selvaraj, T. and Chellappan, P. (2006) Arbuscular mycorrhizae: A diverse personality. Journal of Central European Agriculture 7: 349-358.
Smith, S. E. and Read, D. J. (2010) Mycorrhizal symbiosis. 3nd Ed. Academic press, New York.
Subramanian, K. S., Santhanakrishnan, P. and Balasubramanian, P. (2006) Responses of field grown tomato plants to Arbuscular mycorrhizal fungal colonization under varying intensities of drought stress. Scientia Horticulturae 107: 245-253.
Toussaint, J. P., Smith, F. A. and Smith, S. E. (2007) Arbuscular mycorrhizal fungi can induce the production of phytochemicals in sweet basil irrespective of phosphorus nutrition. Mycorrhiza 17: 291-297.
Turk, M., Assaf, T., Hameed, K. and Al-Tawaha, A. (2006) Significance of mycorrhizae. World Journal of Agricultural Sciences 2: 16-20.
Usha, K., Mathew, R. and Singh, B. (2005) Effect of three species of arbuscular mycorrhiza on bud sprout and ripening in grapevine (*Vitis vinifera* L.) cv. Perlette. Biological Agriculture and Horticulture 23: 73-83.
Wu, Q. S. and Zou, Y. N. (2010) Beneficial roles of Arbuscular mycorrhizas in citrus seedlings at temperature stress. Scientia Horticulturae 125: 289-293.
Zhang, F., Zou, Y. N., Wu, Q. S. and Kuca, K. (2020) Arbuscular mycorrhizas modulate root polyamine metabolism to enhance drought tolerance of trifoliate orange. Environmental and Experimental Botany 171: 103926.
Zhu, X., Song, F. and Xu, H. (2010) Influence of arbuscular mycorrhiza on lipid peroxidation and antioxidant enzyme activity of maize plants under temperature stress. Mycorrhiza 20: 325-332.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.18.5]

Morpho-physiological, quantitative and qualitative responses of two strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) cultivars to heat stress in presence of Arbuscular Mycorrhiza Fungus

Mohsen Shirdel[1], Saeid Eshghi[*1], Ali Gharaghani[1] and Mehdi Zarei[2]

[1]Horticultural Science, School of Agriculture, Shiraz University, [2]Soil Science, School of Agriculture, Shiraz University

(Received: 13/10/2019, Accepted: 29/04/2020)

Abstract

Heat stress is one of the most important climatic phenomena that has caused destructive damages on agricultural crops, such as strawberries. For this purpose, five temperature treatments (control (23±2 days/16±2 nights), 30, 35, 40 and 45 °C) and two levels of mycorrhizal fungi (presence *Funeliformis mosseae* or absence) and tow cultivars of strawberry (Paros and Queen Elisa) as a factorial experiment in a completely randomized with four replications was performed in 2016 in greenhouses at Shiraz University and Agricultural Research Center. The results showed that with increasing temperature, number of flowers in inflorescence, inflorescences per plant, percentage of fruit set, weight, length, diameter and achene of fruit, as well as plant yield decreased in both cultivars. The presence of mycorrhizal fungus on plants after the heat stress treatment increased colonization percentage, fresh and dry weights of root and shoot, leaf area, phosphorus, number of flowers and inflorescences, percentage of fruit set, fruit size, yield, total soluble solids and vitamin C were more than those of plants without mycorrhizal fungus. Plants in the presence of mycorrhizal fungus showed better tolerance to high temperatures than those without the presence of mycorrhizal fungus. The reduction of some evaluated characteristics was lower in cultivar of Paros compared to the Queen Eliza at high temperatures which demonstrated that, the tolerance of Paros cultivar was more at high temperatures. This study showed that the use of mycorrhizal fungi increased the quality and quantity of strawberry and improved heat stress tolerance.

Keywords: Colonization, Fruit size, Paros, Phosphorus, Queen Elisa, Vitamin C, Yield.

Corresponding author, Email: eshghi@shirazu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.18.5]