

تأثیر عصاره آویشن شیرازی، کود زیستی جلبک دریایی و قارچ مایکوریزا بر صفات کمی، کیفی و پس از برداشت گوجه‌فرنگی توده محلی مارماندی (*Solanum lycopersicum* Marmandi landrace)

The effect of *Zataria multiflora* Boiss. extract, seaweed biofertilizer and mycorrhizal fungus on quantitative, qualitative and post-harvest traits of *Solanum lycopersicum* landrace

Abstract

To investigate the effects of *Zataria multiflora* Boiss. extract, seaweed biofertilizer and mycorrhizal fungus alone or in combination on the morphophysiological, phytochemical, total yield and shelf life of tomato (*Solanum lycopersicum* var. *Marmandi*), this research was carried out as a factorial experiment based on a randomized complete block design with 12 treatments and three replications in field conditions. The experimental treatments included *Z. multiflora* extract [(control, 10 and 20%) (S0, S1, S2)] and biofertilizers [control, seaweed (1%) (A), mycorrhizal fungus (50 g/plant) (M)] and their combination. The results showed that the applied treatments improved the quantitative and qualitative traits studied. The use of S1+A+M treatment could increase single fruit weight by 289.22%, total fruit yield by 357.05%, total chlorophyll content by 285%, carotenoid by 449.13%, anthocyanin by 48.48%, total phenol by 87.39%, flavonoid by 9.13%, phenylalanine-ammonialyase (PAL) enzyme activity by 20.54%, antioxidant activity by 210.44%, potassium element by 123.03%, calcium element by 425.69%, the lowest fruit weight loss by 67.56%, vitamin C content by 31.06% and lycopene content by 220.03% compared to the control. Among all the treatments, the traits related to the total yield (indices of single fruit weight and the highest yield) and the post-harvest traits and nutritional value (lycopene, vitamin C and the lowest percentage of weight loss), which were the main objectives of the present study, the best results were obtained by S1+A+M treatment.

Keywords: Biofertilizer, Postharvest shelf life, Seaweed, *Solanum lycopersicum*, *Zataria multiflora*

چکیده

به منظور بررسی تأثیرات عصاره آویشن شیرازی (*Zataria multiflora* Boiss.)، کود زیستی جلبک دریایی و قارچ مایکوریزا به تنهایی و یا تلفیق با هم بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی، فیتوشیمیایی، عملکرد کل و ماندگاری پس از برداشت گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*) توده محلی مارماندی، این پژوهش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با تیمارهایی شامل عصاره آویشن شیرازی (شاهد و محلول پاشی ۱۰ و ۲۰٪) (S0, S1, S2) و کودهای زیستی [جلبک دریایی (۱٪) (A)، قارچ مایکوریزا (۵۰ گرم/بوته) (M) و تلفیق آنها] با ۱۲ تیمار و ۳ تکرار در شرایط مزرعه اجرا شد. نتایج نشان داد که تمامی تیمارهای به کار رفته باعث بهبود صفات کمی و کیفی مورد مطالعه شدند. در این بین تیمار S1+A+M توانست عملکرد تک بوته را ۲۸۹/۲۲٪، محتوای کلروفیل کل را ۲۸۵٪، کاروتنوئید را ۴۴۹/۱۳٪، آنتوسیانین را ۴۸/۴۸٪، فنول کل را ۸۷/۳۹٪، فلاونوئید را ۹/۱۳٪، فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیا لیاز (PAL) را ۲۰/۵۴٪، فعالیت آنتی‌اکسیدانی را ۲۱۰/۴۴٪، عناصر پتاسیم ۱۲۳/۰۳٪ و کلسیم را ۴۲۵/۶۹٪، کمترین کاهش وزن میوه را ۶۷/۵۶٪، ویتامین C را ۳۱/۰۶٪ و لیکوپن را ۲۲۰/۰۳٪ نسبت به شاهد افزایش دهد. در بین تمامی تیمارها در صفت مربوط به عملکرد تک بوته و همچنین صفات پس از برداشت و ارزش تغذیه‌ای میوه (لیکوپن، ویتامین C و کمترین درصد کاهش وزن) که از اهداف اصلی پژوهش حاضر بودند، بهترین نتایج توسط تیمار S1+A+M به دست آمدند.

کلمات کلیدی: آویشن شیرازی، جلبک دریایی، کود زیستی، گوجه‌فرنگی، ماندگاری پس از برداشت.

مقدمه

گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*) از گیاهان عالی گل‌دار از راسته دولپه‌ای‌ها و تیره بادمجانیان (Solanaceae)، یک یا چندساله، ولی اغلب به صورت یک‌ساله کشت می‌شود (Jahan Tigh Haghighi et al., 2018). میوه گوجه‌فرنگی سرشار از ویتامین‌های K, C, A، عوامل آنتی‌اکسیدانی همچون لیکوپن، اسید فولیک، بتاکاروتن و همچنین دارای مواد معدنی مختلف شامل کلسیم، فسفر، پتاسیم، فیبر، سدیم، گوگرد، آهن، مس و روی است (Ali et al., 2020). ماده لیکوپن که به وفور در گوجه‌فرنگی و فراورده‌های آن وجود دارد، دارای خواص درمانی مختلف از قبیل جلوگیری از سرطان‌ها، محافظت پوست در برابر اشعه ماوراء بنفش، جلوگیری از اکسیداسیون کلسترول LDL و بسیاری از بیماری‌های گوارشی است (Przybylska, 2020). این محصول یکی از محصولات مهم کشاورزی ایران با میزان تولید سالیانه

۵/۸۰۰/۰۰۰ تن با جایگاه هفتم دنیا می‌باشد (Maftoon-Azad & Yazdani, 2019). رقم مارماندی با اندازه‌ی درشت، طعم و مزه‌ی دلپذیر و تا حدودی ترش به‌علت کیفیت ارگانولپتیک^۱ و قیمت بالا از مهم‌ترین ارقام تازه‌خوری گوجه‌فرنگی در جهان است که معمولاً در مرحله شکن یا رسیدن مصرف می‌شوند. از ویژگی‌های بارز این رقم پر رشد، عمر بسیار کوتاه پس از برداشت آن می‌باشد که این معضل مانعی برای بازاریابی این رقم گوجه‌فرنگی می‌باشد (Koulivand et al., 2020; Salas-Sanjuán et al., 2023).

سبزیجاتی مانند گوجه‌فرنگی معمولاً زمانی برداشت می‌شوند که تازه بوده و همچنین از رطوبت بالایی برخوردار باشند. این محصول مانند دیگر محصولات فرازگرا به علت توانایی تولید مقادیر بالای اتیلن، دوره نگهداری محدودی داشته و تقریباً ۳۰٪ محصول تولیدی در جهان در مراحل مختلف پس از برداشت دچار ضایعات می‌شود و ضررهای اقتصادی هنگفتی را به تولیدکنندگان وارد می‌سازد (Goodarzi, 2016). مقدار ضایعات پس از برداشت تحت‌تأثیر عوامل متعددی قرار می‌گیرد که مهم‌ترین آنها آلودگی به عوامل بیماری‌زا قارچی و باکتریایی است. اگرچه استفاده از قارچ‌کش‌های مصنوعی یکی از روش‌های رایج کنترل این آلودگی‌ها است، اما استفاده از این قارچ‌کش‌ها به دلیل باقیمانده‌های موجود در آنها به دلیل فاصله زمانی کوتاه بین برداشت و مصرف، نگرانی‌های زیادی را برای سلامت انسان ایجاد کرده است (Nasrollahi Omran et al., 2012). همچنین در محصولات کشاورزی فعالیت‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی به‌ویژه در میوه‌ها و سبزی‌ها پس از برداشت همچنان ادامه دارد به همین دلیل ویژگی‌های کیفی از جمله عطر، طعم، رطوبت و بافت این محصولات دچار افت می‌شود (Jianglian & Shaoying, 2013).

پیشینه پژوهش

تقاضای روزافزون برای محصولات غذایی عاری از بقایای سموم و آفت‌کش‌ها، محققان را وادار کرده است که به تدریج در جستجوی جایگزین‌های سازگار با محیط‌زیست با خطرات سلامتی کمتر یا بدون خطر باشند (Bose et al., 2019)؛ لذا در سال‌های اخیر استفاده از ترکیبات زیستی جهت افزایش ماندگاری پس از برداشت و حفظ کیفیت و سلامت محصولات کشاورزی روبه‌افزایش است (Lanciotti et al., 2004). به‌طور گسترده گزارش شده است که کاربرد عصاره گیاهی، فساد پس از برداشت را به حداقل رسانده و کیفیت میوه‌ها و سبزیجات را پس از برداشت حفظ می‌کند. کاربرد این محصولات طبیعی ممکن است به‌عنوان جایگزینی برای حفظ کیفیت پس از برداشت و افزایش عمر انبارمانی آن‌ها در نظر گرفته شود (Mbili et al., 2017; Bose et al., 2019; Shahbaz et al., 2022). در همین راستا در یک پژوهش مشخص شد عصاره‌ی آویشن شیرازی (*Z. multiflora* Boiss.) به دلیل خواص ضدقارچی خود به علت وجود مواد مؤثره مختلف از جمله تیمول و کارواکرول و افزایش ترکیبات فنولی و پراکسیداز در میوه سیب (*Malus domestica* 'Golden Delicious') توانست فساد زودرس میوه‌ها را کاهش داده و ماندگاری پس از برداشت آنها را بهبود بخشد (Alimosazadeh et al., 2023). استفاده از عصاره گیاهی در بازار جهانی از گستره قابل‌توجهی برخوردار است. این بازار بسیار سریع در حال رشد است و پیش‌بینی می‌شود این رشد تا سال ۲۰۲۶ به ۵۵/۳ میلیارد دلار برسد (Shahbaz et al., 2022).

قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار (AMF) میکروارگانیسم‌های خاکزی هستند که با ۸۰ تا ۹۰٪ گونه‌های گیاهی آوندی (Smith & Read, 2010) از جمله بیشتر محصولات کشاورزی، به‌ویژه غلات، سبزیجات و گیاهان باغی، رابطه همزیستی ایجاد می‌کنند. آنها توزیع گسترده‌ای در اکوسیستم‌های جهانی دارند (Diagne et al., 2020). قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار همزیست‌های اجباری هستند که برای زنده ماندن به بسترهای کربنی که توسط گیاهان میزبان خود (حداکثر ۲۰٪ کربن ثابت در گیاه) ارائه می‌شود، متکی هستند (Johns, 2014). در عوض، قارچ‌ها تأمین و جذب آب و مواد مغذی مانند فسفات و نیتروژن را به گیاه میزبان از طریق هیفاها و آربوسکول‌ها بهبود می‌بخشند (Parniske, 2008). در پژوهشی کاربرد قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار در گیاه گوجه‌فرنگی گیلایی (*S. lycopersicum* var. *cerasiforme*) باعث افزایش تعداد میوه در بوته، لیکوپن، اسید آسکوربیک، عناصر کلسیم و روی گردید (Carillo et al., 2020).

جلبک‌ها گروه متنوعی از جلبک‌های دریایی قرمز، قهوه‌ای و سبز با حدود ده‌هزار گونه هستند که از نظر تولید انرژی و مواد تجدیدپذیر رتبه اول را دارند (Battacharyya et al., 2015). عصاره جلبک حاوی ترکیبات معدنی مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، آهن، منیزیم، روی، سدیم، گوگرد، کبالت، منگنز، مولیبدن و نیکل است. علاوه بر اجزای معدنی، این جلبک‌ها حاوی ترکیبات آلی مانند متابولیت‌های

¹ . Organoleptic

ثانویه، نگهدارنده‌هایی مانند بتائین و مانیتول، ویتامین‌ها و پیش‌سازهای آن‌ها، اسیدهای آمینه و هورمون‌های رشد گیاهی مانند اکسین، سیتوکینین، جبرلین، اسید آسبیزیک و براسینوستروئیدها هستند که باعث بهبود و افزایش رشد گیاه می‌گردد (Ghafari Zadeh et al., 2015). باتوجه به جایگاه اسانس و عصاره‌های گیاهان دارویی در علم فیزیولوژی پس از برداشت و همچنین توجه به اهمیت کودهای زیستی در افزایش عملکرد گیاه و نقش آن در تولید مواد غذایی سالم و حفظ محیط‌زیست، در این پژوهش تأثیر عصاره هیدروالکی آویشن شیرازی (*Z. multiflora* Boiss.) به همراه کودهای زیستی جلبک دریایی و قارچ میکوریزای آربوسکولار بر صفات مورفولوژیکی، فیتوشیمیایی، عملکرد کل و عمر پس از برداشت گوجه‌فرنگی (*S. lycopersicum*) مورد بررسی قرار گرفته است.

روش‌شناسی پژوهش

آزمایش مزرعه‌ای (مشخصات جغرافیایی محل اجرای طرح)، نوع طرح و تیمارهای آزمایش

این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی گروه علوم و مهندسی باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام با موقعیت جغرافیایی در ارتفاع ۱۱۷۴ متری از سطح دریا، طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۲۸ دقیقه و عرض جغرافیایی ۲۳ درجه و ۳۷ دقیقه با میانگین دمای سالانه ۲۶ درجه سانتی‌گراد انجام شد. در این تحقیق از طرح بلوک‌های کامل تصادفی با تیمارهای شامل عصاره هیدروالکی آویشن شیرازی (شاهد و محلول‌پاشی در دو سطح ۱۰ و ۲۰٪) (S0, S1, S2) و کودهای زیستی [کود جلبک دریایی (۱٪) (A)، قارچ میکوریزا (۵۰ گرم/بوته) (M) و تلفیق آنها] به همراه تیمار شاهد که مجموعاً با ۱۲ تیمار و ۳ تکرار استفاده گردید.

تیمارهای آزمایشی

۱. عصاره هیدروالکی آویشن شیرازی: برای اینکار پس از آنکه نمونه‌های گیاه خشک‌شده آویشن شیرازی از عطاری تهیه گردید، با استفاده از مخلوط‌کن، آسیاب شده و برای تهیه عصاره هیدروالکی، ۲۰ گرم گیاه پودر شده با ۱۰۰ میلی‌لیتر اتانول ۷۰٪ به مدت ۴۸ ساعت بر روی شیکر انکوبه گردید. سپس از طریق کاغذ صافی Whatman No. 1 فیلتر شد و برای تغلیظ عصاره به مدت ۴۸ ساعت در یک مکان تاریک قرار داده شد. حجم نهایی عصاره پس از تغلیظ به ۴۰۰ میلی‌لیتر رسید. عصاره به‌دست‌آمده تا زمان استفاده در بطری شیشه‌ای تیره‌رنگ در یخچال با دمای چهار درجه سانتی‌گراد نگهداری شد.

۲. تیمار کودهای زیستی شامل:

کود جلبک دریایی Algaren Twin از برند گرین‌هاس تولید کشور ایتالیا که در فرمولاسیون خود حاوی ۱٪ بالای عصاره جلبک دریایی به همراه مقداری از نیتروژن ارگانیک (۲٪)، کربن ارگانیک (۱۴٪)، مواد ارگانیک (۲۸٪)، سرشار از مقادیر بالا و نرمال از هورمون‌های ضروری اکسین و سیتوکینین، ویتامین B و عناصر ریزمغذی می‌باشد، در بسته‌بندی یک‌لیتری تهیه شد. به‌منظور تهیه محلول یک درصد حجمی/حجمی، ۱۰ میلی‌لیتر از کود زیستی جلبک دریایی در یک استوانه مدرج توسط آب مقطر به حجم یک لیتر رسانیده شد.

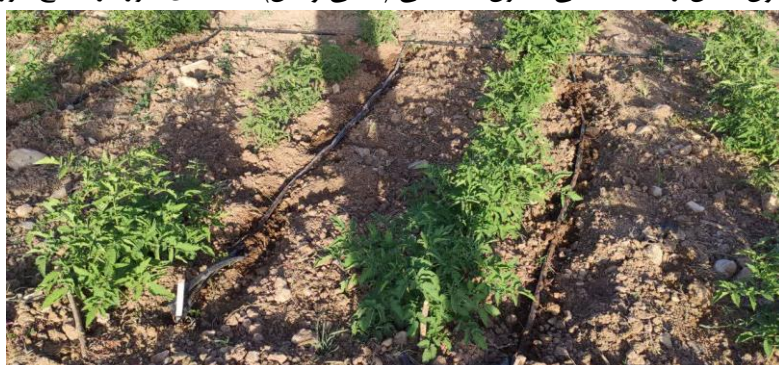
کود زیستی میکوروت (قارچ میکوریزا) حاوی قارچ‌های میکوریزا نوع آربوسکولار (حاوی سویه‌های *Glomus mosseae* و *Glomus intraradices* با شمارش (CFU/gr) 10^7 تا 10^8 و به فرم پودری از شرکت زیست فناور سبز (تهران، ایران) در بسته‌بندی یک کیلوگرمی تهیه شد.

آماده‌سازی زمین و مشخصات کرت‌ها

قبل از شروع آزمایش، زمین مورد نظر با گاواهن برگرداندار شخم زده شد و با خردکردن کلوخه‌ها به کمک دیسک، تسطیح شد. سپس کرت‌های آزمایش (تیمارها و تکرارها) در قطعه زمین اختصاصی، با طناب مشخص و از یکدیگر تفکیک گردید. در هر تکرار، تیمارهای آزمایشی به‌صورت تصادفی در سه بلوک (بر اساس شرایط محیطی) تقسیم شدند. برای جلوگیری از تأثیر تیمارها بر روی یکدیگر، فاصله دو متری بین تیمار و بلوک‌ها در نظر گرفته شد. در هر کرت، فاصله یک‌متری بین ردیف‌های زراعی و ۴۰ سانتی‌متری بین بوته‌های گوجه‌فرنگی در نظر گرفته شد. روش مورد استفاده برای آبیاری گیاهان، قطره‌ای (نوار تیپ) بود.

ابتدا بذر گوجه‌فرنگی رقم مارمندی (تهیه شده از کشاورزان محلی روستای باباشمس از توابع شهرستان سیروان، ایلام، ایران) در سینی‌های کشت حاوی پیت‌ماس و بستر پرلیت (دو عدد بذر در هر چاهک سینی) کشت گردید و آبیاری روزانه بسته به نیاز آبی گیاه انجام شد. زمانی که نشاءها به طول تقریبی هفت سانتی‌متر (۳۸ روز پس از کاشت) رسیدند، در اواسط اردیبهشت یعنی زمانی که خطر سرمای

بهاره از بین رفته بود، به مکانی آفتابی بیرون از گلخانه منتقل شدند تا با محیط سازگار شوند. سپس این نشاءها به مزرعه منتقل و بلافاصله اولین آبیاری مزرعه انجام شد. همزمان با کاشت نشاءها، تلقیح ریشه با کود زیستی قارچ مایکوریزا (۵۰ گرم/هر بوته (به صورت چالکود در عمق ۱۰ الی ۱۵ سانتی متری)) با خاک زیر ریشه مخلوط گردید. مرحله اول محلول پاشی (محلول پاشی در غروب (دما ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتی گراد)، pH=۶/۳ با حجم ۱۰ میلی لیتر به ازای هر بوته) عصاره هیدروالکی آویشن شیرازی و جلبک دریایی در مرحله هشت برگی انجام شد. محلول پاشی مرحله دوم عصاره هیدروالکی آویشن شیرازی و جلبک دریایی ۲۰ روز پس از انتقال به مزرعه (مرحله رویشی، حجم ۳۰ میلی لیتر به ازای هر بوته) و در نهایت مرحله سوم عصاره هیدروالکی آویشن شیرازی و جلبک دریایی، ۲۰ روز پس از محلول پاشی مرحله دوم (مرحله تشکیل میوه، حجم ۵۰ میلی لیتر به ازای هر بوته) انجام شد. برای بهبود چسبندگی محلول ها به سطح برگ از توین ۲۰ برای محلول پاشی استفاده شد. در طول فصل رشد، عملیاتی کنترل مکانیکی (دستی و بیل) علف های هرز در سطح مزرعه انجام شد.



شکل ۱. نشاء گوجه فرنگی توده محلی مارمندی

مشخصات خاک محل آزمایش

سه نمونه تصادفی از خاک تهیه و جهت تجزیه و تحلیل به منظور تعیین برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه خاک شناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام ارسال شد.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی - شیمیایی خاک مورد آزمایش

رطوبت وزنی (%)	شن (%)	رس (%)	سیلت (%)	بافت خاک	اسیدیته	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	کربن آلی (%)	ازت کل (%)	فسفر کل (پی پی ام)	فسفر محلول (پی پی ام)	پتاسیم (پی پی ام)
۳۳	۲۴	۱۱	۶۵	لومی-سیلتی	۷/۲	۰/۹	۰/۴۳۲	۰/۰۵	۳۷/۰۷	۱۳/۴۳	۳۴۰/۱

نمونه برداری و اندازه گیری صفات مورد نظر

نمونه برداری با توجه به اهداف پژوهش برای اندازه گیری صفات رویشی در مرحله گل دهی و برای اندازه گیری صفات فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و پس از برداشت در طول دوره میوه دهی انجام شد. بافت گیاهی از مزرعه به سرعت با استفاده از تانک ازت مایع به آزمایشگاه منتقل و با استفاده از نیتروژن مایع خشک و منجمد شد. سپس در فریزر ۸۰- درجه سانتی گراد برای اندازه گیری خواص بیوشیمیایی تا زمان استخراج نگهداری شد.

صفات مورفولوژیکی و عملکرد میوه

در هر کرت تیمار و در هر تکرار سه بوته گوجه فرنگی برای اندازه گیری خصوصیات مورفولوژیکی به صورت تصادفی انتخاب شدند. با استفاده از کولیس بادقت ۰/۰۲ میلی متر قطر ساقه گیاه از ناحیه ۱۵ سانتی متری طوقه اندازه گیری شد. تعداد شاخه های جانبی در شاخه اصلی پس از تکمیل رشد رویشی و در اواسط گلدهی شمرده شدند. عملکرد تک بوته با توزین برداشت روزانه با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه گیری شد. در انتهای فصل با تجمع تعداد میوه چیده شده از هر بوته در برداشت های متوالی عملکرد تک بوته هر تیمار به دست آمد.

صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی

محتوای کلروفیل، کاروتنوئید و آنتوسیانین برگ

برای سنجش محتوای کلروفیل کل و کاروتنوئید ۰/۵ گرم از نمونه توزین و در هاون چینی با ۵۰ میلی لیتر استون ۸۰٪ هموژن گردید. سپس عصاره حاصل با استفاده کاغذ صافی فیلتر شده و با استون ۸۰٪ به حجم ۵۰ میلی لیتر رسانده شد. سپس در کووت ریخته شد و جذب در طول موج‌های ۶۴۳، ۶۶۰، ۶۴۵ و ۶۶۳ با دستگاه اسپکتروفتومتر (Specord 50, Analytic Jena AG, Germany) قرائت گردید. استون به عنوان محلول شاهد برای تنظیم صفر جذب نوری استفاده گردید. سپس براساس روابط زیر محتوای کلروفیل کل و کاروتنوئید بدست آمد (Mazumdar & Majumder, 2003). برای اندازه گیری آنتوسیانین از روش Giusti & Wrolstad, 2001 بر حسب میلی گرم در هر گرم از وزن تر بدست آمد.

$$\text{Chlorophyll Total} = 7.12(A660) + 16.8(A643)$$

رابطه ۱)

$$\text{Carotenoid} = 4.69(A660) + 0.268(A645) + 8.02(A663)$$

رابطه ۲)

محتوای فنول کل و فلاونوئید

سنجش فنول کل با استفاده از معرف Folin-Ciocalteu تعیین شد (Singleton & Rossi, 1965). بدین منظور بیست میلی گرم نمونه پودر (خشک شده در انجماد) به مدت ۱۰ دقیقه با ۵۰۰ میکرولیتر متانول ۷۰٪ در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد استخراج شد. مخلوط‌ها در ۳۵۰۰ دور به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ (Prismr, Labnet, USA) شدند و لایه‌های شناور رویی در لوله‌های جداگانه جمع‌آوری شدند. این عمل دوبار تکرار شد و مواد رویی ترکیب شدند و برای سنجش فنول کل مورد استفاده قرار گرفتند. برای سنجش فنول کل، ۲۰ میکرولیتر عصاره در دو میلی لیتر آب مقطر حل شد. سپس ۲۰۰ میکرولیتر از عصاره محلول با یک میلی لیتر معرف Folin-Ciocalteu (که قبلاً ده برابر با آب مقطر رقیق شده بود) مخلوط شد و به مدت پنج دقیقه در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد نگهداری شد. ۸/۰ میلی لیتر محلول بی کربنات سدیم (۷۵ گرم در لیتر) به مخلوط اضافه شد. پس از ۶۰ دقیقه در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد، میزان جذب آن در ۷۶۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. نتایج تبدیل داده‌های حاصل از جذب به غلظت‌های مختلف گالیک اسید برحسب میلی گرم بر گرم وزن تر محاسبه گردید. برای سنجش فلاونوئید از روش Sytar et al., 2018 با استفاده از منحنی استاندارد کوئرستین برحسب میلی گرم بر گرم وزن تر استفاده شد.

فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالاز (PAL)، آنزیم کاتالاز و فعالیت آنتی اکسیدانی به روش DPPH

برای تهیه عصاره آنزیمی، ۵۰۰ میلی گرم بافت تر برگ خرد شده با نیتروژن مایع، با استفاده از پنج میلی لیتر بافر فسفات سدیم ۵۰ میلی مولار (pH = 7.0) حاوی یک درصد پلی وینیل پیرولیدون (PVP) و ۰/۲ میلی مولار اتیلن دی آمین تتراستیک اسید (EDTA) همگن شد. محلول هموژن با سرعت ۱۴۰۰۰ دور به مدت ۲۵ دقیقه در دمای چهار درجه سانتی گراد سانتریفیوژ و مایع رویی برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم استفاده شد. برای سنجش فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالاز (PAL) از روش Lovely et al., 2017 با توجه نمودار استاندارد سینامیک اسید برحسب نانومول سینامیک بر دقیقه بر گرم وزن تر استفاده شد. برای اندازه‌گیری فعالیت کاتالاز از روش Jamshidi Goharrizi et al., 2020 برحسب میکرومول در دقیقه در هر گرم وزن تر استفاده شد و فعالیت آنتی اکسیدانی به روش DPPH از روش Sharififar et al., 2009 ارزیابی شد.

اندازه‌گیری هورمون اسید سالیسیلیک

برای سنجش اسید سالیسیلیک ۵۰ میلی گرم از بافت تر در سه میلی لیتر حلال کلروفرم هموژن شدند. سپس به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۱۰۰۰۰ دور سانتریفیوژ شدند. مایع رویی برای اندازه‌گیری اسید سالیسیلیک روی یخ ذخیره شد. مقدار ۱۰۰ میکرولیتر از مایع رویی با ۲۹۰۰ میلی لیتر از محلول ۰/۱٪ کلرید آهن تازه مخلوط شد. سپس میزان جذب کمپلکس در ناحیه مرئی (در ۵۴۰ نانومتر) بر حسب میکروگرم بر میلی لیتر اندازه‌گیری شد (Warrier et al., 2013).

اندازه‌گیری عناصر برگ

جهت اندازه‌گیری عناصر برگ نظیر عناصر پرمصرف (پتاسیم، فسفر، نیتروژن و کلسیم) و سایر عناصر کم‌مصرف (روی و آهن) تعداد ۱۰ عدد برگ از قسمت میانی بوته‌های تحت تیمار از شاخه‌های رشد یافته جمع‌آوری و مورد آنالیز قرار گرفت. برای این کار پس از شستن

و خشک کردن برگ‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد، هضم نمونه‌ها به روش اکسیداسیون تر با استفاده از اسید سالیسیلیک، اسیدسولفوریک ۹۶٪ و آب مقطر (ابتدا ۱۸ میلی‌لیتر آب مقطر داخل ارلن ۲۵۰ میلی‌لیتری ریخته و مقدار ۱۰۰ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک غلیظ (۹۶٪) را به دفعات و در حجم‌های کم به آن اضافه شد. سپس ۶ گرم اسید سالیسیلیک را به محلول اضافه و با کمک مگنت حل شد) انجام گرفت. ۰/۳ گرم از نمونه گیاهی وزن شد و پس از انتقال به لوله هضم به میزان ۲/۵ میلی‌لیتر از مخلوط اسیدها به نمونه‌ها اضافه و به دقت تکان داده شد تا تمام ذرات خیس گردند. بعد از ۲ ساعت انکوبه کردن در دمای محیط، لوله‌های هضم به مدت ۲ ساعت روی حرارت در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد بر روی هیتر قرار داده شد. سپس لوله‌ها را از روی حرارت برداشته و بعد از خنک شدن سه بار و هر بار ۱ میلی‌لیتر آب اکسیژنه اضافه و بعد از هر بار افزودن آب اکسیژنه، لوله را بادقت بهم زده تا واکنش کامل شود. لوله‌ها را مجدداً روی حرارت هیتر قرار داده، دمای آن تا ۳۲۰ درجه سانتی‌گراد افزایش داده تا زمانی که عصاره بی‌رنگ یا زرد کم‌رنگ شد و عمل هضم انجام گردید. ۴۸/۳ میلی‌لیتر آب مقطر بعد از خنک شدن اضافه و پس از هم‌زدن صاف شد. اندازه‌گیری نیتروژن با روش کج‌لدال، اندازه‌گیری پتاسیم با دستگاه فلیم‌فتومتر با روش شعله‌سنجی، فسفر به روش رنگ‌سنجی با دستگاه اسپکتروفتومتر و اندازه‌گیری عنصر آهن، کلسیم و روی توسط دستگاه جذب اتمی صورت گرفت (Da Silva et al., 2023).

صفات پس از برداشت

عمر پس از برداشت، سفتی بافت، کاهش وزن میوه، مواد جامد محلول و اسیدیته قابل تیتراسیون

برای ارزیابی ماندگاری، میوه‌های سفت در مرحله بلوغ فیزیولوژیکی چیده و در شرایط یکسان و در انکوباتور (دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۴۰٪) (شرایط مشابه محدوده زمانی برداشت تا مصرف) نگهداری شدند. تعداد روز از زمان برداشت تا حذف میوه‌ها از آزمایش به عنوان عمر پس از برداشت ثبت گردید. سنجش زمان ماندگاری گوجه‌فرنگی‌ها بر اساس چروکیدگی و درصد فساد آنها تعیین شد. زمانی که حدود ۲۵٪ گوجه‌فرنگی‌ها فاسد شدند نمونه‌ها از محل‌های نگهداری بیرون برده شدند. عمل حذف میوه‌ها با مشاهده کوچک‌ترین علائم چروکیدگی، فرورفتگی و یا شل‌شدگی به منزله پایان عمر آنها صورت گرفت. با استفاده از دستگاه پنترومتر (سفتی‌سنج) با نوک پنج میلی‌متری (پروب) سفتی بافت میوه بر حسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع اندازه‌گیری شد. با وزن کردن میوه‌های ثابت در ابتدای آزمایش و سپس به صورت روزانه با استفاده از ترازوی دیجیتال، کاهش وزن میوه تعیین و در نهایت درصد کاهش وزن طبق فرمول زیر محاسبه شد. مقدار مواد جامد محلول در میوه گوجه‌فرنگی بر حسب درجه بریکس با استفاده از رفرکتومتر دستی (Atago- N1) از روش Hernandez- Munoz et al., 2008 تعیین شد و برای اندازه‌گیری میزان اسیدیته کل میوه از روش تیتراسیون استفاده شد (Roussos et al., 2011).

$$\text{Fruit weight loss in the outdoor environment (\%)} = (W_1 - W_2) / W_1 \times 100$$

رابطه ۳)

W₁: وزن میوه قبل از انبار کردن W₂: وزن میوه در مراحل انبارداری

سنجش محتوای آنزیمی میوه، ویتامین C و لیکوپن

برای سنجش اندازه‌گیری فعالیت کاتالاز از روش Jamshidi Goharrazi et al., 2020 بر حسب میکرومول در دقیقه در هر گرم وزن تر استفاده شد. میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز (APX) میوه با استفاده از روش Nakano & Asada, 1981 بر حسب میکرومول بر دقیقه بر گرم وزن تر اندازه‌گیری شد. برای سنجش محتوای ویتامین C از روش Ranganna, 1986 بر حسب میلی‌گرم آسکوربیک اسید در ۱۰۰ گرم نمونه استفاده شد و برای اندازه‌گیری محتوای لیکوپن از روش Fish et al., 2002 بر حسب میلی‌گرم در گرم وزن تر میوه استفاده شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها و محاسبات آماری

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها برای صفات اندازه‌گیری شده با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) انجام شد. برای مقایسه میانگین از آزمون LSD (P=۰/۰۵) استفاده شد. همچنین برای ترسیم نمودار از نرم‌افزار Excel (Microsoft Office Professional Plus Excel, 2013) استفاده شد.

یافته‌های پژوهش

صفات مورفولوژیکی و عملکرد میوه

بر اساس مقایسه میانگین نتایج، تیمار S2+M توانست قطر ساقه را به میزان ۳۲/۴۴٪ و تیمار S2 تعداد شاخه‌های جانبی را به میزان ۱۲/۱۶٪ نسبت به شاهد افزایش دهند. بررسی داده‌ها نشان داد تیمار S1+A+M توانست برداشت تک بوته را به میزان ۸۲/۱۱٪ نسبت به شاهد افزایش دهد (جدول ۲).

صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی

محتوای کلروفیل، کاروتنوئید و آنتوسیانین برگ

نتایج نشان داد که تیمار S1+A+M توانست محتوای کلروفیل کل را به میزان ۲۸۵٪، محتوای کاروتنوئید شاخساره را به میزان ۴۹/۱۳٪ و محتوای آنتوسیانین شاخساره را به میزان ۴۸/۴۸٪ نسبت به شاهد بهبود دهد (جدول ۲).

جدول ۲. مقایسه میانگین اثر عصاره آویشن شیرازی (S0, S1, S2)، کودهای زیستی جلبک دریایی (۱٪) (A) و قارچ میکوریزا (۵۰ گرم/بوته) (M) بر صفات مورفولوژیکی، عملکرد میوه و رنگی‌های گیاه گوجه‌فرنگی

عصاره‌ها (%)	کود زیستی	قطر ساقه (میلی‌متر)	تعداد شاخه‌های جانبی	عملکرد تک بوته (گرم)	کلروفیل کل (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	کاروتنوئید (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	آنتوسیانین (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)
شاهد (Control)		۱۷۶۰ ^{cde}	۲۴۶۶ ^{abc}	۴۶۴ ^g	۳۲۸۰ ^g	۰/۱۷۳ ^f	۲/۱۴۵ ^{bc}
بدون عصاره (S0)	جلبک دریایی (A) (۱٪)	۱۸۶۰ ^{bcde}	۲۴۳۳ ^{abc}	۶۴۹ ^{cd}	۶۷۶۶ ^{def}	۰/۴۲۴ ^d	۲/۴۶۵ ^b
	قارچ میکوریزا (M) (۵۰ گرم)	۱۶۴۸ ^e	۲۲۳۳ ^{abcd}	۶۶۴ ^c	۶۱۰۱ ^{ef}	۰/۶۷۱ ^b	۲/۳۹۰ ^b
	جلبک دریایی (A) + قارچ میکوریزا (M)	۲۰۳۳ ^{bc}	۲۲۰۰ ^{abcd}	۶۹۲ ^c	۱۱۰۰۶ ^{ab}	۰/۲۶۳ ^e	۲/۷۹۰ ^d
شاهد (Control)		۱۹۶۱ ^{bcd}	۲۱۳۳ ^{bcd}	۵۸۹ ^e	۷۴۹۱ ^{de}	۰/۱۷۸ ^f	۲/۹۴۰ ^b
عصاره (۱۰٪) (S1)	جلبک دریایی (A) (۱٪)	۲۱۲۶ ^{ab}	۲۶۰۰ ^{ab}	۶۲۳ ^d	۳۴۹۶ ^g	۰/۴۰۶ ^d	۲/۲۱۰ ^b
	قارچ میکوریزا (M) (۵۰ گرم)	۱۶۵۰ ^e	۲۲۶۶ ^{abcd}	۶۳۵ ^d	۸۶۳۵ ^{cd}	۰/۴۴۰ ^d	۲/۱۴۵ ^{bc}
	جلبک دریایی (A) + قارچ میکوریزا (M)	۱۷۷۴ ^{cde}	۲۰۰۰ ^{cd}	۸۴۵ ^a	۱۲۶۳۱ ^a	۰/۹۵۰ ^a	۳/۱۸۵ ^a
شاهد (Control)		۱۹۷۴ ^{bcd}	۲۷۶۶ ^a	۵۲۲ ^f	۹۹۶۹ ^{bc}	۰/۶۶۴ ^b	۲/۴۵۰ ^b
عصاره (۲۰٪) (S2)	جلبک دریایی (A) (۱٪)	۱۷۱۰ ^{de}	۱۷۳۳ ^d	۶۰۱ ^{de}	۵۲۵۵ ^{fg}	۰/۲۲۸ ^e	۲/۵۴۵ ^b
	قارچ میکوریزا (M) (۵۰ گرم)	۲۳۳۱ ^a	۲۰۶۶ ^{bcd}	۶۰۹ ^{de}	۶۹۱۹ ^{def}	۰/۵۷۶ ^c	۱/۳۸۰ ^{cd}
	جلبک دریایی (A) + قارچ میکوریزا (M)	۱۷۸۵ ^{cde}	۱۹۰۰ ^{cd}	۷۳۱ ^b	۶۹۶۱ ^{def}	۰/۴۶۸ ^d	۲/۴۹۵ ^b

• تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد آزمون LSD است.

محتوای فنول کل و فلاونوئید

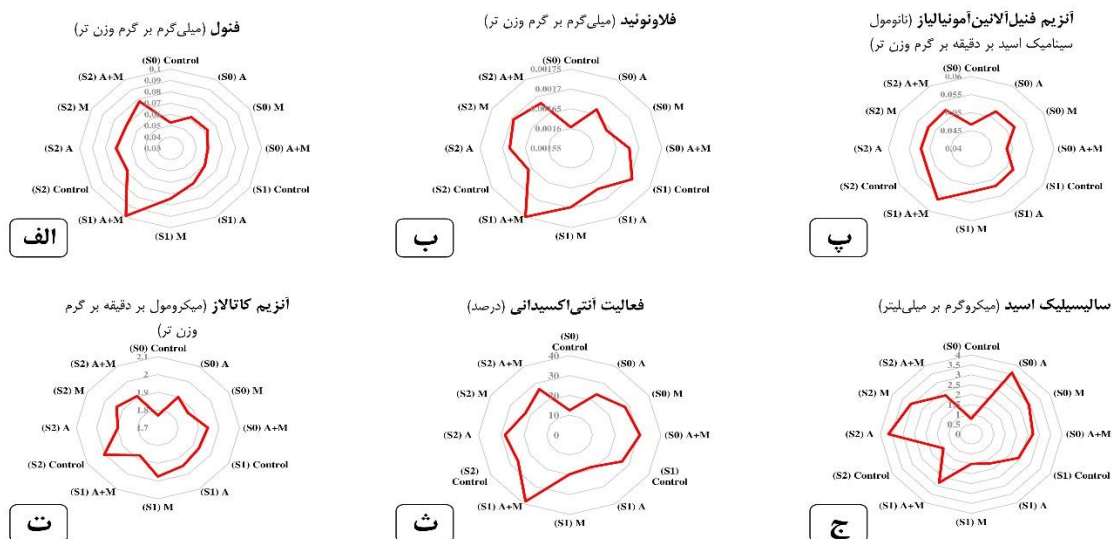
نتایج نشان داد که تیمار S1+A+M باعث افزایش محتوای فنول کل به میزان ۸۷/۳۹٪ (شکل ۲-الف) و محتوای فلاونوئید به میزان ۹/۱۳٪ نسبت به شاهد گردید (شکل ۲-ب).

آنزیم فنیل آلانین آمونیالاز (PAL)، کاتالاز (CAT) و فعالیت آنتی‌اکسیدانی

طبق مقایسه میانگین انجام شده، تیمار S1+A+M باعث افزایش فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالاز به میزان ۲۰/۵۴٪ (شکل ۲-پ) و تیمار S2 باعث افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز به میزان ۱۳/۲۹٪ نسبت به تیمار شاهد شدند (شکل ۲-ت). بر طبق نتایج، میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی در تیمار S1+A+M افزایشی به میزان ۲۱۰/۴۴٪ نسبت به شاهد از خود نشان داد (شکل ۲-ث).

هورمون اسید سالیسیلیک

نتایج این مطالعه نشان داد که محتوای اسید سالیسیلیک نیز بطور معنی‌داری تحت تأثیر تمام تیمارهای به کار برده شده قرار گرفت بطوریکه در تیمار S2+A به میزان ۳۶۸/۲۳٪ نسبت به شاهد افزایش یافت (شکل ۲-ج).



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر عصاره آویشن شیرازی (صفر، ۱۰٪ و ۲۰٪)، کودهای زیستی جلبک دریایی (۱٪) و قارچ میکوریزا (۵۰ گرم) بر فنول کل (الف)، فلاونوئید (ب)، آنزیم فنیل آلانین آمونیا لایز (پ)، آنزیم کاتالاز (ت)، فعالیت آنتی اکسیدانی (ث) و اسید سالیسیلیک (ج) گیاه گوجه فرنگی (*S. lycopersicum*). در این شکل C (شاهد)، A (جلبک دریایی)، M (کود قارچ میکوریزا)، S1 (عصاره آویشن شیرازی ۱۰٪)، S2 (عصاره آویشن شیرازی ۲۰٪)، A+M (جلبک دریایی + قارچ میکوریزا)، S1+A (عصاره آویشن شیرازی ۱۰٪ + جلبک دریایی)، S1+M (عصاره آویشن شیرازی ۱۰٪ + قارچ میکوریزا)، S2+A (عصاره آویشن شیرازی ۲۰٪ + جلبک دریایی)، S2+M (عصاره آویشن شیرازی ۲۰٪ + قارچ میکوریزا)، S1+A+M (عصاره آویشن شیرازی ۱۰٪ + جلبک دریایی + قارچ میکوریزا) و S2+A+M (عصاره هیدروالکی آویشن شیرازی ۲۰٪ + جلبک دریایی + قارچ میکوریزا) را نشان می دهند.

عناصر برگ

مطابق نتایج، تیمار با کودهای زیستی اثرات مثبتی بر میزان عناصر داشتند بطوری که بر اساس مقایسه میانگین داده ها میزان نیتروژن ۲۳/۶۸٪ و فسفر ۱۹۶٪ در تیمار تلفیقی A+M، پتاسیم ۱۲۳/۰۳٪ و کلسیم ۴۲۵/۶۹٪ هر دو در تیمار S1+A+M، آهن ۲۹۰/۳۲٪ در تیمار S2 و روی ۱۱۳/۸۶٪ در تیمار A نسبت به شاهد افزایش یافتند (جدول ۳).

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر عصاره آویشن شیرازی (S0, S1, S2)، کودهای زیستی جلبک دریایی (۱٪) (A) و قارچ میکوریزا (۵۰ گرم/بوته) (M) بر عناصر گیاه گوجه فرنگی

عصاره ها (%)	کود زیستی	نیتروژن (%)	فسفر (%)	پتاسیم (%)	کلسیم (%)	آهن (%)	روی (%)
بدون عصاره (S0)	شاهد (Control)	۳,۴۲ ^d	۰,۲۵ ^h	۱,۷۸ ⁱ	۰,۱۱۷ ⁱ	۰,۰۰۴ ^h	۰,۰۰۱۳ ⁱ
	جلبک دریایی (A) (۱٪)	۳,۴۱ ^d	۰,۴۱ ^{cd}	۲,۰۷ ^g	۰,۰۴۶ ^g	۰,۰۰۵ ^g	۰,۰۰۲۹ ^a
	قارچ میکوریزا (M) (۵۰ گرم)	۳,۷۳ ^c	۰,۳۷ ^{ce}	۳,۱۱ ^b	۰,۰۴۱ ^h	۰,۰۰۵ ^g	۰,۰۰۱۶ ^h
عصاره (۱۰٪) (S1)	جلبک دریایی (A) + قارچ میکوریزا (M)	۴,۲۳ ^a	۰,۷۴ ^a	۲,۵۷ ^c	۰,۰۵۷ ^b	۰,۰۰۶ ^{ef}	۰,۰۰۲۷ ^c
	شاهد (Control)	۳,۴۲ ^d	۰,۳۶ ^{ef}	۲,۳۷ ^f	۰,۰۵۳ ^{de}	۰,۰۰۵ ^f	۰,۰۰۱۸ ^f
	جلبک دریایی (A) (۱٪)	۳,۵۲ ^d	۰,۴۹ ^c	۳,۰۵ ^d	۰,۰۴۷ ^g	۰,۰۰۵ ^{de}	۰,۰۰۱۳ ⁱ
عصاره (۲۰٪) (S2)	قارچ میکوریزا (M) (۵۰ گرم)	۴,۲۳ ^a	۰,۳۷ ^e	۲,۵۹ ^c	۰,۰۴۸ ^f	۰,۰۰۱ ^{ab}	۰,۰۰۱۳ ^j
	جلبک دریایی (A) + قارچ میکوریزا (M)	۴,۱۴ ^a	۰,۵۸ ^{ab}	۳,۹۷ ^a	۰,۰۶۱ ^a	۰,۰۰۱ ^{ab}	۰,۰۰۲۱ ^e
	شاهد (Control)	۳,۷۸ ^c	۰,۳۸ ^f	۲,۸۵ ^c	۰,۰۵۲ ^e	۰,۰۰۱ ^{ab}	۰,۰۰۱۴ ⁱ
عصاره (۲۰٪) (S2)	جلبک دریایی (A) (۱٪)	۴,۱۰ ^a	۰,۵۷ ^{ab}	۲,۵۴ ^e	۰,۰۵۴ ^{cd}	۰,۰۰۷ ^d	۰,۰۰۲۳ ^d
	قارچ میکوریزا (M) (۵۰ گرم)	۳,۷۴ ^c	۰,۳۳ ^g	۱,۱۶ ^j	۰,۰۵۵ ^{cd}	۰,۰۰۶ ^{ef}	۰,۰۰۲۸ ^b
	جلبک دریایی (A) + قارچ میکوریزا (M)	۳,۹۷ ^b	۰,۴۳ ^{cd}	۱,۷۱ ^h	۰,۰۴۷ ^{fg}	۰,۰۰۸ ^c	۰,۰۰۱۷ ^g

• تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون نشان دهنده عدم معنی داری در سطح احتمال پنج درصد آزمون LSD است.

عمر پس از برداشت، سفتی بافت، کاهش وزن، مواد جامد محلول و اسیدیته قابل تیتراسیون میوه

بررسی داده‌ها نشان داد که تیمار S2+A و پس از آن تیمارهای S2+A+M و S2+A+M توانستند عمر پس از برداشت میوه را بترتیب به میزان ۵۳/۱۸٪ و ۴۰/۷۱٪ نسبت به شاهد افزایش دهند. همچنین نتایج مشخص کرد که سفتی بافت میوه به میزان ۶۸/۹۲٪ در تیمار S1 نسبت به شاهد افزایش یافت. در تیمار S1+A+M کاهش وزن کمتری در میوه (۶۷/۵۶٪) نسبت به شاهد ثبت گردید. بر اساس مقایسه میانگین نتایج در تیمار S1 محتوای مواد جامد محلول ۷۵/۹٪ و در تیمار A+M اسیدیته قابل تیتراسیون به میزان ۱۲۱/۲۵٪ نسبت به شاهد افزایش یافتند (جدول ۴).

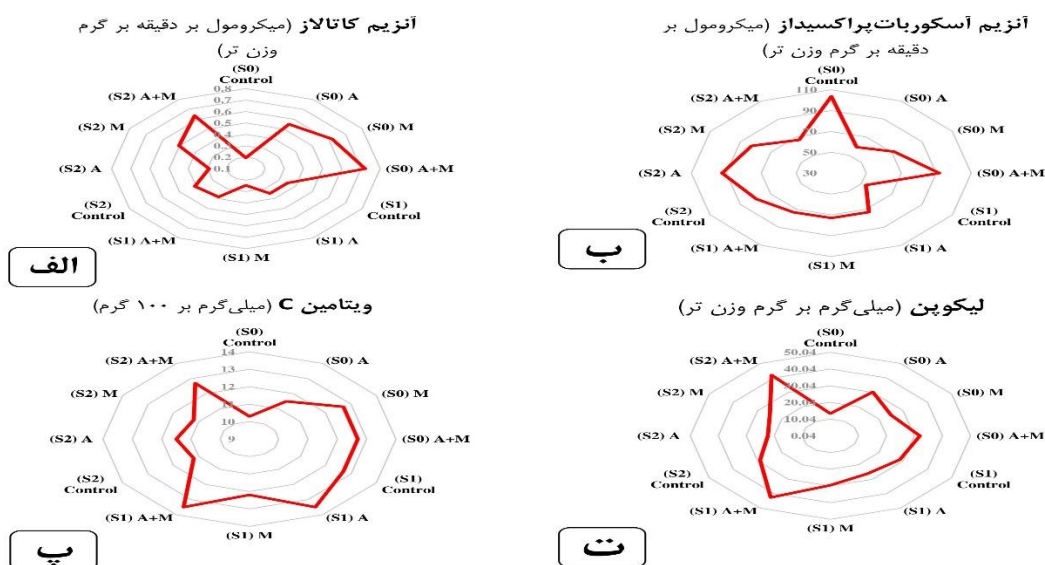
جدول ۴. مقایسه میانگین اثر عصاره آویشن شیرازی (S0, S1, S2)، کودهای زیستی جلبک دریایی (۱٪) (A) و قارچ مایکوریزا (۵۰ گرم/بوته) (M) بر عمر پس از برداشت، سفتی بافت، کاهش وزن، مواد جامد محلول و اسیدیته قابل تیتراسیون میوه گوجه‌فرنگی

عصاره‌ها (٪)	کود زیستی	عمر پس از برداشت (روز)	سفتی بافت (کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع)	کاهش وزن میوه در محیط بیرون (٪)	مواد جامد محلول (درجه بریکس)	اسیدیته قابل تیتراسیون (٪)
بدون عصاره (S0)	شاهد (Control)	۱۰٫۶۶ ^f	۲٫۸۰ ^f	۵۵٫۰۷ ^a	۵٫۲۳ ^h	۱۴٫۱۶ ^g
	جلبک دریایی (A) (۱٪)	۱۰٫۶۶ ^f	۳٫۸۸ ^{bcd}	۵۰٫۵۲ ^{ab}	۵٫۷۰ ^{fgh}	۳۰٫۹۶ ^a
	قارچ مایکوریزا (M) (۵۰ گرم)	۱۲٫۰۰ ^e	۲٫۹۶ ^{ef}	۲۸٫۴۳ ^d	۶٫۶۰ ^e	۱۳٫۸۰ ^g
	جلبک دریایی (A) + قارچ مایکوریزا (M)	۱۲٫۶۶ ^d	۴٫۳۳ ^{ab}	۴۰٫۰۶ ^c	۷٫۶۰ ^c	۳۱٫۳۳ ^a
عصاره (۱۰٪) (S1)	شاهد (Control)	۱۲٫۰۰ ^e	۴٫۷۳ ^a	۳۲٫۴۵ ^d	۹٫۲۰ ^a	۱۷٫۰۶ ^e
	جلبک دریایی (A) (۱٪)	۱۳٫۰۰ ^d	۳٫۶۶ ^{bcde}	۴۰٫۶۱ ^c	۸٫۴۰ ^b	۲۰٫۲۰ ^d
	قارچ مایکوریزا (M) (۵۰ گرم)	۱۳٫۰۰ ^d	۳٫۳۵ ^{ef}	۴۳٫۵۸ ^{bc}	۶٫۱۰ ^f	۲۷٫۶۶ ^b
	جلبک دریایی (A) + قارچ مایکوریزا (M)	۱۵٫۰۰ ^b	۳٫۳۳ ^{efcd}	۱۷٫۸۶ ^e	۵٫۵۰ ^{gh}	۱۵٫۷۶ ^f
عصاره (۲۰٪) (S2)	شاهد (Control)	۱۴٫۰۰ ^c	۳٫۶۶ ^{bcde}	۳۲٫۷۹ ^d	۷٫۱۰ ^d	۱۶٫۱۰ ^{ef}
	جلبک دریایی (A) (۱٪)	۱۶٫۳۳ ^a	۳٫۵۶ ^{cde}	۵۰٫۴۷ ^{ab}	۷٫۸۰ ^c	۲۸٫۸۶ ^b
	قارچ مایکوریزا (M) (۵۰ گرم)	۱۴٫۰۰ ^c	۳٫۶۱ ^{bcde}	۴۹٫۵۲ ^{ab}	۵٫۸۰ ^{fg}	۲۸٫۸۶ ^b
	جلبک دریایی (A) + قارچ مایکوریزا (M)	۱۵٫۰۰ ^b	۴٫۱۴ ^{abc}	۲۶٫۶۳ ^d	۷٫۴۰ ^{cd}	۲۲٫۰۶ ^c

• تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد آزمون LSD است.

محتوای آنزیمی، ویتامین C و لیکوپن در میوه

بر اساس مقایسه میانگین داده‌ها در تیمار تلفیقی A+M فعالیت آنزیم کاتالاز میوه ۲۷۰/۲۵٪ افزایش (شکل ۳-الف)، در تیمار S1 کمترین میزان فعالیت آنزیم آسکوربات‌پراکسیداز میوه ۹۶/۰۳٪ (شکل ۳-ب)، در تیمار S1+A+M محتوای ویتامین C به میزان ۳۱/۰۶٪ افزایش (شکل ۳-پ) و در همین تیمار محتوای لیکوپن ۲۲۰/۰۳٪ افزایش نسبت به شاهد نشان دادند (شکل ۳-ت).



شکل ۳. مقایسه میانگین اثر عصاره آویشن شیرازی (صفر، ۱۰٪ و ۲۰٪)، کودهای زیستی جلبک دریایی (۱٪) و قارچ میکوریزا (۵۰ گرم) بر آنزیم کاتالاز (الف)، آنزیم آسکوربات پراکسیداز (ب)، ویتامین C (پ) و لیکوپن (ت) گیاه گوجه‌فرنگی (*S. lycopersicum*). در این شکل C (شاهد)، A (جلبک دریایی)، M (کود قارچ میکوریزا)، S1 (عصاره آویشن شیرازی ۱۰٪)، S2 (عصاره آویشن شیرازی ۲۰٪)، A+M (جلبک دریایی + قارچ میکوریزا)، S1+A (عصاره آویشن شیرازی ۱۰٪ + قارچ میکوریزا)، S1+M (عصاره آویشن شیرازی ۱۰٪ + قارچ میکوریزا)، S2+A (عصاره آویشن شیرازی ۲۰٪ + جلبک دریایی)، S2+M (عصاره آویشن شیرازی ۲۰٪ + قارچ میکوریزا)، S1+A+M (عصاره آویشن شیرازی ۱۰٪ + جلبک دریایی + قارچ میکوریزا) و S2+A+M (عصاره هیدروالکی آویشن شیرازی ۲۰٪ + جلبک دریایی + قارچ میکوریزا) را نشان می‌دهند.

بحث

در پژوهش حاضر استفاده از عصاره آویشن شیرازی، کود زیستی جلبک دریایی و قارچ میکوریزا به‌تنهایی و یا تلفیق با هم رضایت بخش بود، بطوریکه کاربرد تیمارها سبب افزایش جذب عناصر غذایی گردید. در نتیجه این فراهمی عناصر (به ویژه کلسیم و پتاسیم)، افزایش محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی، لیکوپن، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و سفتی بافت مشاهده گردید. مکانیسم این اثرات احتمالاً ناشی از سینرژیسم بین ترکیبات فنولی عصاره آویشن، فیتوهومون‌های جلبک دریایی و بهبود جذب عناصر توسط میکوریزا است که در نهایت منجر به افزایش عمر انبارمانی و کیفیت پس از برداشت محصول گردید. همچنین افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی و نیتروژن در گیاه سبب افزایش پروتوپلاسم و در نتیجه افزایش اندازه سلول و سطح برگ شده و در نهایت باعث افزایش فعالیت فتوسنتز و میزان قندهای محلول کل نسبت به شاهد گردید که این امر افزایش وزن میوه و عملکرد تک بوته را در پی داشت.

از آنجائیکه هرچه قطر ساقه بیشتر باشد آن گیاه از نظر جثه بزرگ‌تر و حجیم‌تر است. محرک‌های زیستی گیاهی حاوی ماده (ها) و یا میکروارگانیسم‌هایی هستند که عملکرد آنها هنگام استفاده در گیاهان یا ریزوسفر، تحریک فرآیندهای طبیعی برای افزایش بهره‌وری، جذب مواد مغذی، کارایی مواد مغذی، تحمل به تنش غیرزیستی و کیفیت محصول است (Anitha, 2020) و از آنجائیکه محرک‌های زیستی حاوی مولکول‌های فعال زیستی می‌باشند که تأثیر مفیدی بر متابولیسم اولیه یا ثانویه تأثیر می‌گذارند (Azmir et al., 2013). ممکن است عصاره آویشن شیرازی از طریق اثر متابولیسم ثانویه گیاه باعث تجمع لیگنین در ساقه و در اثر آن افزایش قطر ساقه گردیده باشد. از دلایل افزایش قطر ساقه توسط مصرف کودهای زیستی می‌توان به افزایش راندمان آب و دسترسی به عناصر غذایی، تجمع بیشتر مواد کربوهیدراتی و لیگنین در ساقه گیاه که همگی منجر به افزایش قطر ساقه خواهند گردید، اشاره نمود (Zulfiqar et al., 2019). از نظر تغذیه، محرک‌های زیستی باعث رشد و نمو بهتر ریشه، استفاده بیشتر از عناصر خاک و در نتیجه رشد بهتر قسمت‌های شاخساره گیاه می‌شود. این وضعیت منجر به افزایش تعداد مریستم‌های آغازنده‌ی شاخه‌های فرعی روی ساقه اصلی می‌گردد (RaghuNandan et al., 2019). در این پژوهش افزایش تعداد شاخه جانبی تحت تأثیر عصاره آویشن شیرازی ممکن است در اثر یک یا چند عامل ذکر شده باشد.

در این پژوهش کلونیزاسیون قارچ میکوریزا با ریشه مورد سنجش قرار نگرفت اما پژوهش‌های پیشین نشان داده‌اند که تلقیح با عوامل میکوریزایی علاوه بر بهبود فتوسنتز باعث افزایش تجمع پتاسیم، منیزیم، کلسیم و سیترات می‌شود که باعث افزایش گلدهی، بهبود رنگ، شکل، افزایش اندازه و وزن میوه می‌شود (Chouyia et al., 2022; Ramona et al., 2022). در راستای همین پژوهش، در یک بررسی مشخص گردید تلقیح قارچ میکوریزا به طور قابل توجهی اندازه، وزن، کیفیت رنگ و مواد جامد محلول میوه *Citrus reticulata* Blanco var. Ponkan mandarin cv. Jinshuigan را بهبود بخشید (Cao et al., 2021). که در این پژوهش ممکن است این نتایج در اثر کلونیزاسیون ریشه توسط قارچ و در نتیجه آن بهبود خصوصیات رشدی و فیزیولوژیکی میوه گردیده باشد. از آنجایی که تعداد و عملکرد میوه به تعداد گل بستگی دارد، استفاده از جلبک دریایی به علت وجود فیتوهورمون‌های از جمله اکسین، جیبرلین و سیتوکینین در طول فصل رشد باعث تسریع بلوغ گیاه و افزایش تعداد گل‌ها می‌شود. همچنین جلبک دریایی می‌تواند نقش فعالی در افزایش تشکیل میوه و اثرات مفیدی در افزایش قطر، وزن و عملکرد میوه داشته باشد (Sarhan, 2011; Zodape et al., 2011). عصاره جلبک دریایی با افزایش میزان کلروفیل در برگ‌ها، تحریک فتوسنتز و در نتیجه تولید قند و نشاسته بهتر در گیاهان شده (Sujata et al., 2023) و با افزایش تولیدات فتوسنتزی، مواد بیشتری از برگ‌ها به اندام‌های زایشی (میوه‌ها) منتقل می‌شود که بر افزایش اندازه میوه‌ها اثرگذار هستند (Zhao et al., 2022). با افزایش میزان پروتئین حاصل از مصرف اسیدهای آمینه موجود در عصاره، سبب بهبود خواص کیفی میوه از جمله طعم و رنگ میوه و خصوصیات کمی چون افزایش وزن و اندازه یکسان میوه می‌شود (Alebidi et al., 2021).

نتایج نشان داد که کاربرد تیمارها به صورت تلفیقی و جداگانه سبب افزایش وزن میوه و در نتیجه آن عملکرد کل گردید که با توجه پژوهش‌های پیشین می‌توان گفت که تلقیح قارچ میکوریزا باعث افزایش محتوای کلروفیل شد که مطابق با یافته‌های سایر محققان بود (Zhang et al., 2018; Begum et al., 2019). این افزایش ممکن است به دلیل جذب منیزیم در گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا و نقش کلیدی منیزیم در سنتز کلروفیل باشد (Mathur et al., 2019). قارچ‌های میکوریزا سطح جذب نیتروژن و آهن گیاه را افزایش داده و از آنجایی که این عناصر نقش اساسی در ساختار کلروفیل دارند، باعث افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌گردند (Krishna et al., 2010). علاوه بر آن میکوریزا نقش مهمی در جذب فسفر توسط گیاه داشته و از این طریق می‌تواند موجب بهبود فتوسنتز و در نتیجه باعث افزایش محتوا و سازماندهی کلروپلاست‌های برگ‌ی گردد (Selvaraj & Chellappan., 2006) و یا به دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی موجب حفظ رنگیزه‌های کلروفیلی شده باشد (Baltruschat et al., 2008). استفاده از عصاره جلبک دریایی به دلیل وجود آمینو بوتیرات، گلیسین بتائین و با افزایش هورمون‌های رشد گیاهی مانند سیتوکینین و کاهش فعالیت آنزیم کلروفیل‌از، جلوگیری از تجزیه کلروفیل، افزایش رشد ریشه و تداوم جذب آب و افزایش سطح برگ باعث تداوم و تحریک فتوسنتز، تولید بهتر قند و نشاسته و در نهایت افزایش میزان کلروفیل در برگ گیاه می‌شود (Ali et al., 2020). بر اساس نتایج کاربرد کود زیستی جلبک دریایی و قارچ میکوریزا سبب افزایش کاروتنوئید گردید که این افزایش میزان کاروتنوئیدها در قارچ میکوریزا ممکن است به دلیل افزایش جذب نیتروژن و منیزیم باشد که در سنتز کاروتنوئید نقش دارند (Fattahi et al., 2020). از آنجایی که وجود مولیدین، متابولیسم نیتروژن گیاه را بهبود می‌بخشد و نیتروژن باعث افزایش غلظت کاروتنوئید در گیاهان می‌شود، در دسترس بودن مولیدین از طریق عصاره جلبک دریایی به طور غیرمستقیم غلظت کاروتنوئید را افزایش می‌دهد (La Bella et al., 2021). قارچ میکوریزا مسیر بیوسنتز آنتوسیانین را از طریق هدف قراردادن چندین آنزیم، به عنوان مثال، فنیل‌آلانیل‌آمونیا لاز (PAL)، چالکن سنتاز (CHS) و فلاونول سنتاز (FLS) تنظیم می‌کند (Abd-Allah et al., 2016). نظر بر اینکه کود جلبک دریایی با سنتز آنزیم فنیل‌آلانیل‌آمونیا لاز از طریق مکانیسم‌هایی نظیر ایزوآنزیم‌ها، هورمون‌ها و محرک‌های رشد منجر به افزایش آنتوسیانین‌ها می‌گردد (Albergaria et al., 2020). در این پژوهش با کاربرد تیمار عصاره ۱۰٪ آویشن شیرازی به همراه تیمار تلفیقی کود جلبک دریایی (۱٪) و قارچ میکوریزا (۵۰ گرم) (S1+A+M) بیشترین محتوای آنتوسیانین ثبت گردید که با افزایش فعالیت آنزیم فنیل‌آلانیل‌آمونیا لاز در همین تیمار نوعی هماهنگی خاص نشان می‌دهد، به نظر می‌رسد غلظت آنتوسیانین به افزایش فعالیت آنزیم فنیل‌آلانیل‌آمونیا لاز بستگی دارد.

عصاره آویشن شیرازی دارای ترکیبات فنولی است (Zamani et al., 2018) و به همین دلیل تیمار گیاهان با این عصاره سبب افزایش میزان فنول کل و فلاونوئید خواهد بود. افزایش متابولیت‌های ثانویه از جمله فنول و فلاونوئیدها در اثر تلقیح با قارچ میکوریزا به علت بهبود جذب مواد غذایی، فعال سازی مسیرهای متابولیکی و تغییر فعالیت آنزیم‌ها گزارش شده است (Zimare et al., 2013). بطوری که با

افزایش جذب فسفر انرژی لازم برای سنتز ترکیبات فنولی تأمین می‌شود (Zhang et al., 2018). عصاره جلبک دریایی به دلیل وجود ترکیبات پلی فنولی مانند فلوروتانین‌ها، بروموفنول‌ها، فلاونوئیدها، ترپنوئیدهای فنولی، دارای فنول و فلاونوئید بالایی است و از همین رو تیمار گیاهان با این عصاره موجب افزایش درصد فنول و فلاونوئید می‌شود (Caradonia et al., 2022). از آنجایی که در مسیر بیوسنتز ترکیبات فنولی آنزیم فنیل آلانین آمونیالیزاز جز مهم‌ترین آنزیم‌ها شناخته می‌شود و در این پژوهش با کاربرد تیمار عصاره ۱۰٪ آویشن شیرازی به همراه تیمار تلفیقی کود جلبک دریایی (۱٪) و قارچ میکوریزا (۵۰ گرم) (S1+A+M) بیشترین فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیزاز ثبت گردید که با افزایش ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی در همین تیمار هم‌راستا می‌باشد. می‌توان نتیجه گرفت که این تیمار با افزایش فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیزاز سبب افزایش در محتوای ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی گردیده است.

نتایج حاکی از آن بود که کاربرد تیمارها سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های فنیل آلانین آمونیالیزاز (PAL) و کاتالاز گردیده است. PAL یک آنزیم مهم مسیر فنیل پروپانوئید است که دامیناسیون غیر اکسیداتیو L-فنیل آلانین را به ترانس سینامات کاتالیز می‌کند. این اولین آنزیم کلیدی محدودکننده سرعت مسیر فنیل پروپانوئید است که متابولیسم اولیه را با متابولیسم ثانویه مرتبط می‌کند (Pant & Huang, 2022). از آنجایی که عصاره‌های گیاهی می‌توانند بر بیان و تنظیم ژن آنزیم‌های آنتی اکسیدانی تأثیر بگذارند (Berná et al., 2014). در اینجا نیز ممکن است عصاره گیاهی فعالیت آنزیم PAL را با تغییر در بیان و تنظیم ژن مؤثر بر فعالیت این آنزیم تغییر داده باشد. قارچ‌های میکوریزا سبب افزایش میزان آنزیم PAL از طریق افزایش بیان ژن‌های دخیل در مسیر بیوسنتز آنزیم‌های فنیل پروپانوئیدی می‌شوند (Wen et al., 2008). آلزینات‌های موجود در عصاره جلبک دریایی آنزیم‌های دفاعی مختلفی مانند PAL را فعال می‌کنند (Mamede et al., 2023). از آنجایی که آهن کوفاکتور بسیاری از آنزیم‌های دخیل در متابولیسم سلولی در مسیرهای مختلف واکنش‌های سلولی است (Behmoaras, 2021) می‌توان نتیجه گرفت کودهای زیستی با افزایش جذب آهن باعث افزایش چشمگیر میزان فعالیت آنزیم PAL گردیدند. کاتالازها (CAT) متالوآنزیم‌های آنتی اکسیدانی هستند که برای زندگی در سلول‌های متابولیزه‌کننده اکسیژن لازم هستند تا با تسریع در تغییر شکل، غلظت H_2O_2 را تنظیم کنند (Coulibaly et al., 2021). عصاره‌های گیاهی توانایی تغییر در بیان ژن و متعاقب آن تغییر در فیزیولوژی گیاه دارند. در یک پژوهش تأثیر عصاره هیدروالکلی چند گیاه مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان‌دهنده افزایش بیان ژن کاتالاز در گیاهان تیمار شده با این عصاره گیاهی بود (Baran Zehi et al., 2019). در این پژوهش نیز ممکن است کاربرد عصاره آویشن شیرازی با افزایش بیان ژن کاتالاز سبب افزایش فعالیت آن شده باشد.

در این پژوهش نتایج نشان داد که کاربرد تیمارها به صورت تلفیقی و جداگانه سبب افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی گردید که این افزایش در راستا افزایش ترکیبات فنولیک و آنزیم کاتالاز بود. در یک آزمایش خواص مهار رادیکال‌های آزاد و اثرات بازدارندگی بر پراکسیداسیون توسط عصاره متانولی آویشن شیرازی مورد سنجش قرار گرفت؛ نتایج این پژوهش نشان داد بخش‌های قطبی و غیرقطبی عصاره متانولی (به ترتیب ۸۲ و ۸۰٪) قدرت مهارکنندگی داشتند (Sharififar et al., 2007). به نظر می‌رسد که این فعالیت بیشتر مربوط به حضور ترکیبات فنولی مانند فلاونوئیدها و اسیدهای فنولیک در کسر قطبی باشد. نقش کلیدی ترکیبات فنولی به عنوان جاذب رادیکال‌های آزاد در چندین گزارش تأکید شده است (Duenas et al., 2006; Katalinic et al., 2006; Thériault et al., 2006). خواص آنتی اکسیدانی تیمول و کارواکرول و c-terpinene موجود در عصاره آویشن شیرازی نیز قبلاً گزارش شده است (Habibi et al., 2020). در این پژوهش افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی در اثر کاربرد عصاره آویشن شیرازی ممکن است به علت خواص آنتی اکسیدانی خود عصاره باشد. افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی و بیان ژن‌های SOD، CAT، APX، GR، MDHAR و DHAR در گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا اثبات شده است که نشان می‌دهد میکوریزا مهار کارآمد رادیکال‌های آزاد را القا می‌کند (Ye et al., 2019). جلبک‌های دریایی منابع غنی از آنتی اکسیدان‌های مختلف مانند پلی فنول‌ها هستند که نقش مهمی در جلوگیری از اکسیداسیون دارند (Biris-Dorhoi et al., 2020). لامینارین موجود در عصاره جلبک دریایی تأثیر مثبتی بر تولید آنزیم‌های هیدرولیزکننده مانند کیتیناز دارد. پلی ساکاریدهای سولفات که در جلبک دریایی یافت می‌شوند و ظرفیت آنتی اکسیدانی قابل توجهی دارند، واکنش‌های دفاعی را در گیاهان تحریک می‌کنند (Mukherjee & Patel, 2020).

در بین تیمارهای به کار برده شده در این پژوهش تیمار S2+A بیشترین اثر را بر محتوای اسید سالیسیلیک نشان داد. اسید سالیسیلیک SA، ۲-هیدروکسی بنزوئیک اسید) یکی از ترکیبات فنولی (ترکیبات حاوی یک حلقه بنزن حاوی یک یا چند گروه هیدروکسیل) است که

توسط گیاهان سنتز می‌شود (Dempsey & Klessig, 2017). گزارش شده است که کاربرد برون‌زای پس از برداشت اسید سالیسیلیک باعث به‌تعویق افتادن فرایند پیری میوه‌ها و کاهش وزن، پوسیدگی و درعین‌حال افزایش سفتی میوه می‌شود (Asghari & Aghdam, 2010). عصاره آویشن شیرازی سرشار از ترکیبات فنولی است (Alizadeh & Shaabani, 2014). در اینجا ممکن است عصاره هیدروالکی دارای هورمون اسید سالیسیلیک باشد یا باعث تحریک تولید آن در گیاه گوجه‌فرنگی باشد. قارچ‌های مایکوریزا باعث افزایش سطح درون‌زای فیتوهورمون‌ها می‌شوند (Bilal et al., 2018). پیشنهاد شده است که سیگنال‌دهی اسید سالیسیلیک در طول همزیستی قارچ مایکوریزا القای دوفازی دارد، با افزایش اولیه در مراحل پیش‌همزیستی که با شروع کلونیزاسیون کاهش می‌یابد و القای دوم در مراحل بعدی کلونیزاسیون ریشه احتمالاً گسترش کلونیزاسیون را کنترل می‌کند (Filho et al., 2016). عصاره جلبک دریایی محتوی انواع مختلف هورمون‌های رشد گیاه (اکسین، سیتوکنین، اسید سالیسیلیک، اسید آسبیزیک و اسید جیبریلیک) با در اختیار قرار دادن این هورمون موجود در عصاره و یا از طریق سیگنال‌دهی و تحریک گیاه باعث افزایش محتوای اسید سالیسیلیک می‌شود (Zhang et al., 2019).

در این پژوهش خاک قلیایی با کاهش حلالیت عناصری مانند آهن، روی و فسفر، موجب کمبود آهن در گیاهان شاهد (C) شد، علیرغم مقادیر نرمال فسفر موجود در خاک. نتایج نشان داد که تیمارهای ترکیبی قارچ مایکوریزا (M) و جلبک دریایی (A) به‌ویژه در ترکیب با عصاره آویشن شیرازی (S1+A+M)، با ترشح اسیدهای آلی و کاهش موضعی pH در ناحیه ریشه، جذب آهن را بهبود بخشیدند. همچنین، با وجود کمبود نیتروژن خاک (۰/۰۵٪)، این تیمارها جذب نیتروژن را تا ۲۳/۶۸٪ افزایش دادند که احتمالاً ناشی از تأمین اسیدهای آمینه توسط جلبک دریایی و افزایش سطح تماس ریشه با خاک توسط قارچ مایکوریزا بود. این بهبود جذب نیتروژن منجر به افزایش سنتز کلروفیل و بهبود فتوسنتز شد که با افزایش عملکرد تک بوته همخوانی داشت. علیرغم مقادیر نرمال فسفر و پتاسیم در خاک، جذب این عناصر تحت تأثیر pH قلیایی محدود شد، اما تیمارهای حاوی قارچ مایکوریزا با ترشح فسفات‌ها، جذب فسفر را تا ۱۹۶٪ افزایش دادند. بطورکلی نتایج این پژوهش نشان داد اگرچه خاک مورد آزمایش حاوی مقادیر نسبتاً پایین فسفر کل (۱۳/۴۳ ppm) فسفر محلول و ۳۷/۰۷ ppm فسفر کل (جدول ۱) بود، اما بهبود چشمگیری در میزان جذب فسفر در تیمارهای حاوی قارچ مایکوریزا (به‌ویژه تیمار ترکیبی A+M با افزایش ۱۹۶٪) به دست آمد؛ این نتیجه، اهمیت همزیستی قارچ مایکوریزا را در تجزیه و افزایش دسترسی گیاه به فسفر در خاک‌های با محدودیت این عنصر را برجسته می‌کند. این یافته‌ها نشان می‌دهد که تیمارهای زیستی می‌توانند با غلبه بر محدودیت‌های خاک‌های فقیر از فسفر، نقش کلیدی در تغذیه بهینه گیاه ایفا کنند. جلبک دریایی نیز با تأمین پتاسیم محلول، جذب این عنصر را تا ۱۲۳/۰۳٪ بهبود بخشید. نکته قابل توجه، کمبود پتاسیم در گیاهان شاهد بود که اهمیت کودهای زیستی در شرایط نامساعد خاک را نشان می‌داد. علاوه بر این، تیمار S1+A+M با بهبود جذب کلسیم منجر به استحکام دیواره سلولی و بهبود سفتی بافت (۶۸/۹۲٪) و تاخیر در کاهش وزن میوه شد. بهبود جذب آهن و روی در این تیمارها نیز احتمالاً به دلیل ترکیبات کلاته‌کننده موجود در کودها بود که نقش کلیدی در فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و سنتز ترکیبات فنولی ایفا می‌کنند.

بر اساس داده‌های جدول ۱، خاک مورد مطالعه با pH قلیایی (۷/۲) به دلیل کاهش حلالیت آهن، غلظت بسیار پایینی از این عنصر را در تیمار شاهد نشان داد که بیانگر کمبود شدید آهن نسبت به سطح کفایت معمول گوجه‌فرنگی (۵۰-۶۰ ppm) است. تیمارهای زیستی از جمله قارچ مایکوریزا (M) با ترشح اسیدهای آلی و کاهش موضعی pH، جلبک دریایی (A) با ترکیبات کلاته‌کننده مانند آلژینات و عصاره آویشن شیرازی (S1, S2) با ترکیبات فنولی، همگی به بهبود نسبی جذب آهن منجر شدند. به‌ویژه در تیمار S2 (عصاره ۲۰٪ آویشن شیرازی)، غلظت آهن به ۰/۰۱۶ درصد (۱۶ ppm) افزایش یافت که هرچند نسبت به شاهد رشد نشان می‌دهد، اما همچنان پایین‌تر از حد مطلوب است. تیمارهای ترکیبی مانند S1+A+M نیز اگرچه در جذب سایر عناصر مؤثر بودند، نتوانستند کمبود آهن را به‌طور کامل رفع کنند. این نتایج حاکی از آن است که اگرچه روش‌های زیستی در بهبود جذب آهن نقش دارند، اما شرایط نامساعد خاک‌های قلیایی نیازمند مداخلات تکمیلی مانند کاربرد کلات‌های آهن است. بنابراین، تلفیق روش‌های زیستی و شیمیایی برای دستیابی به تغذیه بهینه در خاک‌های مشکل‌دار ضروری به نظر می‌رسد.

کلونیزاسیون قارچ مایکوریزا باعث تحریک جذب مواد مغذی در گیاهان می‌شود. بدیهی است که تلقیح قارچ مایکوریزا می‌تواند غلظت عناصر ماکرو و میکرو را به‌طور قابل‌توجهی افزایش دهد که منجر به افزایش تولید فتوسنتزی و در نتیجه افزایش تجمع زیست‌توده می‌شود (Mitra et al., 2020) که با نتایج این پژوهش همراستا می‌باشد. قارچ مایکوریزا توانایی افزایش جذب مواد مغذی معدنی به‌ویژه عنصر فسفر

را در تقریباً همه گیاهان دارند (Nell et al., 2009). جدای از درشت‌مغذی‌ها، گزارش شده است که قارچ مایکوریزا دسترسی گیاه به ریزمغذی‌هایی مانند روی و مس را افزایش می‌دهد (Smith & Read, 2010). قارچ با ایجاد همزیستی با ریشه گیاه، مواد مغذی موردنیاز خود را به دست آورده و مواد مغذی معدنی را برای گیاه تأمین می‌کند. درون سلول‌های پوست ریشه گیاه، قارچ مایکوریزا ساختارهای آربوسکول تولید می‌کنند که به تبادل مواد معدنی و ترکیبات کربن و فسفر کمک می‌کند (Prasad et al., 2017). نظر بر این است که قارچ مایکوریزا جذب تقریباً تمام مواد مغذی ضروری را بهبود می‌بخشد و برعکس جذب Na و Cl را کاهش می‌دهد که منجر به تحریک رشد می‌شود (Evelin et al., 2012). چندین مطالعه نشان داده‌اند که تقریباً ۲۰ تا ۷۵٪ از کل جذب نیتروژن گیاهان توسط قارچ مایکوریزا می‌تواند به میزبان آنها منتقل شود (Ahanger et al., 2013; Hameed et al., 2014; Hashem et al., 2018). عناصر ریزمغذی مانند روی و مس با انتشار محدود در خاک با کمک هیف‌های مایکوریزایی توسط گیاهان جذب می‌شوند (Begum et al., 2018). عصاره جلبک دریایی حاوی الیگوساکاریدها منجر به افزایش فتوسنتز، متابولیسم اولیه، تقسیم سلولی و تغییر در فرایندهای متابولیکی برای افزایش و جذب بهتر نیتروژن می‌شود (Mamede et al., 2023). کودهای جلبک دریایی به دلیل وجود مقدار مناسب فسفر، رشد ریشه گیاه و نسبت ریشه به ساقه را تحت تأثیر قرار می‌دهد و در نتیجه گیاه می‌تواند مواد مغذی لازم را از لایه‌های عمیق‌تر خاک دریافت کند. علاوه بر این، از آنجایی که جلبک دریایی سرشار از پتاسیم است، استفاده از آن باعث افزایش غلظت این عنصر در برگ‌های گیاه می‌شود (Pramanick et al., 2013). باتوجه به اینکه عصاره جلبک دریایی حاوی عنصر روی می‌باشد (Ghafari Zadeh et al., 2015) کاربرد برون‌زا آن ممکن است باعث افزایش محتوای عنصر روی در گیاه گوجه‌فرنگی گردیده باشد. در خاک قلیایی (pH=7.2) با محتوای پایین کلسیم اولیه (۱۱۷/۰٪) و بافت لومی-سیلتی که معمولاً ظرفیت تبادل کاتیونی متوسطی دارد، افزایش کلسیم برگ در گوجه‌فرنگی پدیده‌ای غیرمنتظره محسوب می‌شود، چرا که در این شرایط کلسیم عمدتاً به صورت کربنات کلسیم (CaCO_3) رسوب کرده و از طریق جریان توده‌ای برای گیاه غیرقابل دسترس می‌شود. با این حال، ترکیب جلبک دریایی (A) و قارچ مایکوریزا (M) با عصاره آویشن (S1) احتمالاً از طریق مکانیسم‌های سینرژیک این محدودیت را برطرف کرده است. از یک سو، جلبک دریایی با دارا بودن آلژینات و سولفونات‌های آلی توانسته کلسیم را کلاته کرده و از رسوب آن جلوگیری کند (تشکیل کمپلکس Ca-Alginate). از سوی دیگر، قارچ مایکوریزا با ترشح اسیدهای آلی مانند اگزالیک و سیتریک، pH موضعی ریزوسفر را کاهش داده و حلالیت کلسیم رسوب‌یافته را افزایش داده است، ضمن اینکه هیف‌های قارچی امکان جذب کلسیم از مناطق دورتر خاک را فراهم کرده‌اند. همچنین ترکیبات فنولی عصاره آویشن (مانند تیمول) احتمالاً نفوذپذیری غشای ریشه به کلسیم را افزایش داده‌اند، در حالی که سیتوکینین‌های موجود در جلبک دریایی بیان ژن‌های انتقال‌دهنده کلسیم (مانند CAX و ACA) را تحریک کرده‌اند. این اثرات ترکیبی منجر به بهبود چشمگیر جذب کلسیم در شرایطی شده که به طور معمول محدودیت جذب این عنصر وجود دارد.

نتایج حاکی از افزایش سفتی بافت میوه بود که سفتی بافت میوه تحت تأثیر عواملی مختلفی مانند خصوصیات اندامک‌های سلول، ترکیبات بیوشیمیایی، محتوای آب یا آماس سلول و ترکیب دیواره سلولی قرار می‌گیرد (Sams, 1999). کاهش سفتی میوه پس از برداشت به دلیل فروریختن دیواره سلولی ناشی از فعالیت آنزیم، حلالیت پکتین و کاهش مقاومت مکانیکی دیواره سلولی است (Su et al., 2022). رسیدن میوه باعث تحریک تولید اتیلن و در نتیجه تغییرات فیزیولوژیکی و فیزیکی مانند نرم‌شدن بافت میوه و تغییر در اسید آلی و قند می‌شود (García-Gómez et al., 2022). عصاره آویشن شیرازی باعث حفظ سفتی میوه شد که یک مسئله آنزیمی مربوط به برهمکنش بین اجزای فعال عصاره و آنزیم‌های دخیل در نرم‌شدن غشای سلولی مانند سلولاز و پکتین‌متیل‌استراز است (Asgari Marjanlu et al., 2009). اثر عصاره و اسانس‌ها در کاهش تولید اتیلن جنبه دیگری دارد (Yousuf & Siddiqui, 2021) که این اثر در تولید اتیلن به نظر می‌رسد به دلیل بازدارندگی سنتز ۱-آمینوسیکلوپروپان-۱-کربوکسیلیک اسید (ACC) به‌عنوان پیش‌ساز اتیلن توسط آنها باشد و تولید اتیلن در نتیجه‌ی تنفس فرآورده را کاهش داده که منجر به تأخیر در رسیدگی میوه می‌شود (ABM & Mizutani, 1996). به‌طور کلی تغییرات وزن پس از برداشت محصولات گیاهی به دلیل ازدست‌دادن آب در اثر تفرق است (Lattanzio et al., 2009). حفظ آماس سلولی، مهار بیوسنتز یا اثر اتیلن، مهار فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده دیواره سلولی و غشاء مانند پلی‌گالاکتوروناز، لیپوکسیژناز، سلولاز و پکتین‌متیل‌استراز و کاهش سرعت تنفس، منجر به حفظ استحکام میوه می‌شود (Zhu et al., 2019; Bhan et al., 2022)؛ بنابراین مشاهده می‌شود که عصاره آویشن شیرازی و کودهای جلبک دریایی و قارچ مایکوریزا از طریق مکانیسم‌های عنوان‌شده باعث افزایش سفتی بافت و کاهش تنفس،

کاهش فرایند نرم شدن و وزن میوه‌های تیمار شده نسبت به میوه‌های شاهد، روند پیری میوه‌ها را به تأخیر انداخته و در نتیجه افزایش طول عمر پس از برداشت شدند.

مقدار مواد جامد محلول یکی از عوامل مهمی است که کیفیت میوه را تعیین می‌کند (Lopresti et al., 2014). مقدار مواد جامد محلول در میوه به شاخص‌های مختلفی مانند اسیدیته، میزان قند موجود در میوه و همچنین پکتین‌های محلول در میوه بستگی دارد (May, 1997). افزایش سطح کل برگ و سرعت فتوسنتز با استفاده از تیمار عصاره آویشن شیرازی به علت افزایش کلروفیل منجر به افزایش تولید آسیمیلات‌ها و متعاقباً افزایش میزان مواد جامد محلول در میوه می‌گردد (Yue et al., 2022). علاوه بر این عصاره آویشن شیرازی با اثر عواملی که باعث کاهش سرعت تنفس و تولید اتیلن می‌شوند با کاهش مصرف قند از کاهش مواد جامد محلول جلوگیری می‌کند (Pathare & Al-Dairi, 2022). اسیدیته ارتباط مستقیمی با غلظت اسیدهای آلی غالب در میوه داشته و یکی از پارامترهای مهم در کیفیت میوه است (Shokrollahfam et al., 2014). افزایش جذب پتاسیم باعث افزایش اسیدیته میوه و کاهش pH آن می‌شود (Shokouhian et al., 2019) که این افزایش اسیدیته با افزایش پتاسیم در اثر استفاده از کودهای زیستی در این پژوهش مطابقت دارد.

فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز و محتوای آسکوربات و لیکوپن تحت تأثیر تیمارها قرار گرفت. از آنجائیکه میوه‌ها در مرحله پس از برداشت هنوز زنده هستند و تنفس می‌کنند (Kiaya, 2014). دو آنزیم کاتالاز و پراکسیداز از مهم‌ترین آنتی‌اکسیدان‌هایی هستند که پراکسید هیدروژن را به مولکول‌های آب و اکسیژن تجزیه می‌کنند (Ighodaro & Akinloye, 2018). عصاره بعضی از گیاهان دارویی می‌تواند بر روی فیزیولوژی میوه‌ها تأثیر بگذارد (Baran Zehi et al., 2019). به نظر می‌رسد کاهش فعالیت آنزیم‌های دفاعی به وسیله عصاره‌های گیاهی در اثر کاهش تنفس باشد (Lobo et al., 2010). اثبات شده است که فعالیت آنزیم‌های CAT، APX و SOD بسته به در دسترس بودن ریز مغذی‌ها می‌باشد (Evelin & Kapoor, 2014). قارچ میکوریزا با افزایش محتوای عناصر معدنی (K، P، N، Cu، Fe، Mg، Ca، Mn) فعالیت چندین آنزیم آنتی‌اکسیدانی را افزایش می‌دهد (Hashem et al., 2016). جلبک دریایی حاوی مواد معدنی ضروری همچون آهن، ید، آلومینیوم، منگنز، کلسیم، نیتروژن محلول، فسفر، گوگرد، کلر، سیلیکون، روبیدیم، استرانسیوم، باریم، تیتانیوم، کبالت، بور، مس و پتاسیم است (Nasmia et al., 2021). در نتیجه می‌توان بیان داشت که افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در گیاهان تلقیح شده با کود جلبک دریایی ممکن است مربوط به حفظ بهتر تعادل یونی باشد (Alguacil et al., 2003).

افزایش گونه‌های فعال اکسیژن در طی فرایند رسیدن که به دلیل افزایش متابولیسم اکسیداتیو در میوه‌ها رخ می‌دهد، باعث آسیب به غشاهای بیولوژیکی می‌شود. برای جلوگیری از آسیب ناشی از رادیکال‌های آزاد، میوه‌ها از سیستم آنتی‌اکسیدانی آنزیمی یا غیرآنزیمی استفاده می‌کنند (Qin et al., 2003). آنتی‌اکسیدان‌ها الکترون‌ها را به رادیکال‌های آزاد اکسید شده اهدا می‌کنند و قدرت اکسیداسیون و آسیب ناشی از رادیکال‌های آزاد را از بین می‌برند. آنزیم آنتی‌اکسیدانی APX از اسید اسکوربیک (ویتامین C) به عنوان کوفاکتور برای واکنش کاتالیزوری خود استفاده می‌کند (Mauch-Mani et al., 1996). به همین دلیل میزان ویتامین C در محصولات باغی در دوره پس از برداشت کاهش می‌یابد. محتوای بالای اسید اسکوربیک در میوه‌های تیمار شده با عصاره آویشن شیرازی ممکن است به دلیل فعالیت‌های متابولیکی بالا و کاهش فعالیت آنزیم APX در این تیمار و کاهش تنفس در طول دوره نگهداری باشد (Ayranci & Tunc, 2004). فسفر یکی از عناصر اصلی در فعال کردن آنزیم‌های دخیل در بیوسنتز ویتامین C است و با افزایش مصرف نیتروژن و پتاسیم توسط گیاه متعاقباً میزان ویتامین C نیز تا حدی افزایش می‌یابد (Bagal et al., 1989). قارچ‌های میکوریزا با افزایش دسترسی گیاه به عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم (Dominguez et al., 2016) و جلبک‌های دریایی که حاوی کاراگینان، لوتئین، زآگزانتین و برخی ویتامین‌ها به ویژه ویتامین‌های C و E می‌باشند، باعث افزایش مقدار تجمعی اسید اسکوربیک گردیدند (Thambiraj et al., 2012). لیکوپن یک کاروتنوئید با ظرفیت بالا برای از بین بردن گونه‌های فعال اکسیژنی است و گوجه‌فرنگی یک منبع عمده لیکوپن است (Jeong et al., 2019). کیفیت گوجه‌فرنگی به شدت با مقدار لیکوپن همبستگی دارد (George et al., 2004). پتاسیم بیشتر از بقیه عناصر، مقدار لیکوپن گیاه گوجه‌فرنگی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Javaria et al., 2012). میوه‌های گیاهان تیمار شده با این محرک‌های زیستی (عصاره آویشن شیرازی + قارچ میکوریزا + جلبک دریایی) دارای بالاترین سطوح لیکوپن بودند که ممکن است مربوط به بالاترین سطوح پتاسیم دریافت شده در این تیمارها و به دلیل دخالت این ماده مغذی در بیوسنتز کاروتنوئیدها باشد (Trudel & Ozgun, 1971).

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج نشان داد تیمارها به صورت معنی‌داری باعث بهبود صفات کمی و کیفی مورد مطالعه شدند. به صورت کلی نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که استفاده از آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی باعث تأخیر در زوال محصول، حفظ و کاهش در سرعت از بین رفتن مواد مغذی میوه می‌شوند و با توجه به هدف نهایی استفاده از کودهای زیستی (بهبود تغذیه گیاه و افزایش عملکرد آن در کنار کمک به حفظ جنبه‌های زیست‌محیطی)، این محصولات می‌توانند جایگزین مناسبی برای بخشی از مصرف نهاده‌های شیمیایی در تولید محصولات باغی باشند که بهبود تغذیه گیاه و کاهش آسیب‌های زیست‌محیطی و اقتصادی را به دنبال خواهد داشت. در بین تیمارهای به کار برده شده در صفت برداشت کل تیمار عصاره ۱۰٪ آویشن شیرازی به همراه تیمار تلفیقی کودهای زیستی جلبک دریایی ۱٪ و قارچ میکوریزا (۵۰ گرم/بوته) بالاترین عملکرد را به خود اختصاص داد و در صفات پس از برداشت و ارزش تغذیه‌ای (لیکوپن، ویتامین C و کمترین درصد کاهش وزن) نیز همین تیمار توانست بهترین نتایج را به نمایش بگذارد.

این مطالعه با وجود نتایج ارزشمند، دارای محدودیت‌های روش‌شناختی قابل توجهی است که نیاز به توجه در پژوهش‌های آینده دارد. نخست، عدم اندازه‌گیری میزان کلونیزاسیون ریشه توسط قارچ میکوریزا، تفسیر نتایج مرتبط با بهبود جذب فسفر و کلسیم را با عدم قطعیت مواجه ساخته است، چرا که در خاک‌های غنی از فسفر میزان کلونیزاسیون معمولاً کاهش می‌یابد. پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده از روش‌های میکروسکوپی یا تکنیک‌های مولکولی برای تأیید موفقیت تلقیح استفاده شود. دوم، عدم استانداردسازی دقیق عصاره آویشن شیرازی از نظر ترکیبات فعال (مانند تیمول و کارواکرول) ممکن است منجر به تفسیر نادرست پاسخ‌های فیزیولوژیکی گیاه شده باشد که ضرورت استفاده از روش‌های تحلیلی مانند HPLC یا GC-MS را برای استانداردسازی عصاره‌ها آشکار می‌سازد. سوم، تغییرات محیطی در شرایط مزرعه‌ای و عدم کنترل دقیق پارامترهایی مانند دما، رطوبت و تابش می‌تواند بر نتایج تأثیر گذاشته باشد، بنابراین تکرار آزمایش در شرایط کنترل‌شده گلخانه‌ای همراه با پایش دقیق شرایط محیطی پیشنهاد می‌شود. چهارم، عدم بررسی تغییرات میکروبیوم خاک، به‌ویژه باکتری‌های حل‌کننده فسفات، ابهامی در نقش دقیق کودهای زیستی در بهبود جذب عناصر ایجاد کرده است که می‌توان با تجزیه و تحلیل متانومیکس ریزوسفر آن را برطرف نمود. پنجم، عدم ارزیابی بقایای ترکیبات آلی (مانند فنول‌های عصاره آویشن یا آلزینات جلبک) در خاک و محصول، امکان تفکیک اثرات فیزیولوژیکی از تجمع شیمیایی را فراهم نکرده است که انجام سنجش‌های کروماتوگرافی را ضروری می‌سازد. رفع این محدودیت‌ها نه تنها اعتبار علمی پژوهش‌های آینده را افزایش خواهد داد، بلکه امکان مقایسه‌پذیری نتایج با مطالعات مشابه و دستیابی به توصیه‌های کاربردی دقیق‌تر را فراهم خواهد کرد.

سپاسگزاری

بخشی از هزینه‌های این پژوهش از اعتبارات پژوهشی دانشگاه ایلام برای پایان‌نامه دانشجویان کارشناسی ارشد تامین شده است که نگارندگان بدینوسیله مراتب قدردانی خود را اعلام می‌دارند.

منابع

اصغری مرجانلو، ابوالفضل؛ مستوفی، یونس؛ شعبی، شهرام و مقومی، مهشاد. (۱۳۸۷). تأثیر اسانس ریحان بر کنترل پوسیدگی خاکستری و کیفیت پس از برداشت توت‌فرنگی (سلوا). فصلنامه گیاهان دارویی، ۸ (۲۹)، ۱۳۱-۱۳۹.

باران‌زهی، طیبیه؛ غلام‌نژاد، جلال؛ دهستانی، مریم؛ جعفری، اعظم و ناصری‌نصب، فاطمه. (۱۳۹۸). اندازه‌گیری فعالیت و بیان ژن برخی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت و صفات کیفی میوه‌های پرتقال تحت تیمارهای پوششی. سلول و بافت، ۱۰ (۴)، ۲۲۶-۲۴۲.

- جهان تیغ حقیقی، زهرا؛ فهمیده، لیلا و فاضلی نسب، بهمن. (۱۳۹۷). ارزیابی و مقایسه خواص آنتی اکسیدانی برگ و صفات مورفولوژیک ارقام مختلف گوجه فرنگی (*Lycopersicon esculentum* L.). *فیزیولوژی محیطی گیاهی* (پژوهش های اکوفیزیولوژی گیاهی ایران)، ۱۳(۲)، ۶۳-۷۶.
- شکراله فام، صبا؛ حاجی لو، جعفر؛ زارع نهندی، فریبرز؛ طباطبائی، سید جلال و نقش بندحسینی، رحیم. (۱۳۹۳). اثر پوتریسین، کلرید کلسیم و اسید سالیسیلیک بر ویژگی های کیفی و انبارمانی پس از برداشت میوه آلو رقم شابلون (Shablon). *تولیدات گیاهی*، ۳۷(۲)، ۱۵-۲۶.
- شکوهیان، علی اکبر؛ اصغری، علی و محمودی، هادی. (۱۳۹۸). بررسی کاربرد اسیدهیومیک بر جذب عناصر غذایی و شاخص های کمی و کیفی کیوی فروت. *علوم باغبانی*، ۳۳(۲)، ۲۴۷-۲۵۶.
- علی موسی زاده، پدram؛ صانعی، سید جواد و طاهری، عبدالحسین. (۱۴۰۲). القای پاسخ های دفاعی و کنترل بیماری کپک آبی میوه سیب توسط عصاره آویشن شیرازی (*Zataria multiflora*). *بهداشت مواد غذایی*، ۵۰(۱۳)، ۴۹-۶۰.
- غفاری زاده، آذین؛ سیدنژاد، سید منصور و گیلانی، عبدالعلی. (۱۳۹۴). بررسی اثر سطوح مختلف کود اوره و عصاره جلبک دریایی قهوه ای بر صفات فیزیولوژیکی و عملکرد دانه گندم. *فیزیولوژی گیاهان زراعی*، ۷(۲۷)، ۶۹-۸۳.
- فتاحی، مسعود؛ محمدخانی، عبدالرحمان؛ شیران، بهروز؛ بانی نسب، بهرام و راوش، رودابه. (۱۳۹۹). تأثیر همزیستی قارچ میکوریزا آرسکولار با پایه های مختلف پسته در شرایط تنش شوری. *فرایند و کارکرد گیاهی*، ۹(۳۸)، ۳۲۶-۳۰۹.
- کولیوند، فائزه؛ صیدی، مهدی و محمدی، یحیی. (۱۳۹۹). تأثیر رژیم های آبیاری و تربیت بوته بر عملکرد و کیفیت گوجه فرنگی رقم مارماندی. *دو فصلنامه علوم سبزی ها*، ۴(۱)، ۸۵-۹۸.
- گودرزی، فرزاد. (۱۳۹۵). اثر فوتوکاتالیک ذرات اکسیدتیتانیوم پوشش یافته با ذرات نانونقره بر ایجاد تأخیر در رسیدگی پس از برداشت گوجه فرنگی. *تولیدات گیاهی*، ۳۹(۱)، ۷۹-۸۸.
- مفتون آزاد، ندا و یزدانی، صدیقه. (۱۳۹۹). *راهنمای پس از برداشت و بازار رسانی گوجه فرنگی*. فارس: نشر آموزش (مؤسسه آموزش و ترویج کشاورزی).
- نصرالهی عمران، آیت؛ بیگی فیروز جانی، فرید و سنگی، مائده. (۱۳۹۰). کنترل بیولوژیک عوامل کپک سبز و آبی پرتقال توسط اپی فیت های میکروبی میوه مرکبات در شمال ایران. *تحقیقات نوین در گیاه پزشکی*، ۳(۴)، ۳۷۷-۳۹۱.
- Abd-Allah, EF., & Egamberdieva, D. (2016). Arbuscular mycorrhizal fungi enhance basil tolerance to salt stress through improved physiological and nutritional status. *Pakistan Journal of Botany*, 48(1), 37-45.
- ABM, GR., & Mizutani, F. (1996). Effect of essential oils on ethylene production and ACC content in apple fruit and peach seed tissues. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 65(1), 7-13.
- Ahanger, MA., Tyagi, SR., Wani, MR., & Ahmad, P. (2013). Drought tolerance: role of organic osmolytes, growth regulators, and mineral nutrients. In *Physiological Mechanisms and Adaptation Strategies in Plants Under Changing Environment*. edited by Ahmad, P. & Wani, M.R.. New York: Springer. 25-55.
- Albergaria, ET., Oliveira, AFM., & Albuquerque, UP. (2020). The effect of water deficit stress on the composition of phenolic compounds in medicinal plants. *South African Journal of Botany*, 131, 12-17.
- Alebbidi, A., Almutairi, K., Merwad, M., Mostafa, E., Saleh, M., Ashour, N., & Elsabagh, A. (2021). Effect of spraying algae extract and potassium nitrate on the yield and fruit quality of barhee date palms. *Agronomy*, 11(5), 922.
- Alguacil, MM., Hernandez, JA., Caravaca, F., Portillo, B., & Roldan, A. (2003). Antioxidant enzyme activities in shoots from three mycorrhizal shrub species afforested in a degraded semi-arid soil. *Physiologia Plantarum*, 118(4), 562-570.
- Ali, MY., Sina, AA. I., Khandker, SS., Neesa, L., Tanvir, EM., Kabir, A., & Gan, SH. (2020). Nutritional composition and bioactive compounds in tomatoes and their impact on human health and disease: A review. *Foods*, 10(1), 45.
- Alimosazadeh, P., Sanei, S. J., & Taheri, A. (2023). Induced defense responses and control of blue mold of apple fruit by Zaatar (*Zataria multiflora*) extract. *Food Hygiene*, 50, 49-60. (In Persian)
- Alizadeh, A., & Shaabani, M. (2014). Essential oil composition, total phenolic content and antioxidant activities of Iranian *Zataria multiflora* Boiss. *International Journal of Biosciences*, 4(4), 97-104.
- Anitha, KV. (2020). Role of biostimulants in uptake of nutrients by plants. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9(4), 563-567.
- Asgari Marjanlu, A., Mostofi, Y., Shoeibi, S., & Maghoumi, M. (2009). Effect of basil (*Ocimum basilicum* L.) essential oil on gray mold control and postharvest quality of strawberry (cv. Selva). *Journal of Medicinal Plants*, 8(29), 131-139. (In Persian)
- Asghari, M., & Aghdam, MS. (2010). Impact of salicylic acid on post-harvest physiology of horticultural crops. *Trends in Food Science & Technology*, 21(10), 502-509.
- Ayranci, E., & Tunc, S. (2004). The effect of edible coatings on water and vitamin C loss of apricots (*Armeniaca vulgaris* Lam.) and green peppers (*Capsicum annum* L.). *Food chemistry*, 87(3), 339-342.
- Azmir, J., Zaidul, ISM., Rahman, MM., Sharif, KM., Mohamed, A., Sahena, F., & Omar, AKM. (2013). Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review. *Journal of food engineering*, 117(4), 426-436.

- Bagal, SD., Shaikh, GA., & Adsule, RN. (1989). Influence of different levels of N, P and K fertilizers on the protein, ascorbic acid, sugars and mineral contents of tomato. *Journal of Maharashtra Agricultural Universities*, 14(2), 153-156.
- Baltruschat, H., Fodor, J., Harrach, BD., Niemczyk, E., Barna, B., Gullner, G., & Skoczowski, A. (2008). Salt tolerance of barley induced by the root endophyte *Piriformospora indica* is associated with a strong increase in antioxidants. *New Phytologist*, 180(2), 501-510.
- Baran Zehi, T., Gholam Nezhad, J., Dehestani, M., Jafari, A., & Naseri Nasab, F. (2019). The evolution of activity and gene expression of some antioxidant enzymes and qualitative characters of orange fruits under cover treatments. *Cell and Tissue Journal*, 10(4), 226-242. (In Persian)
- Battacharyya, D., Babgohari, MZ., Rathor, P., & Prithiviraj, B. (2015). Seaweed extracts as biostimulants in horticulture. *Scientia horticulturae*, 196, 39-48.
- Begum, M., Bordoloi, BC., Singha, DD., & Ojha, NJ. (2018). Role of seaweed extract on growth, yield and quality of some agricultural crops: A review. *Agricultural Reviews*, 39(4), 321-326.
- Begum, N., Qin, C., Ahanger, MA., Raza, S., Khan, ML., Ashraf, M., & Zhang, L. (2019). Role of arbuscular mycorrhizal fungi in plant growth regulation: implications in abiotic stress tolerance. *Frontiers in plant science*, 10, 1068.
- Behmoaras, J. (2021). The versatile biochemistry of iron in macrophage effector functions. *The FEBS Journal*, 288(24), 6972-6989.
- Berná, G., Oliveras-López, MJ., Jurado-Ruiz, E., Tejedo, J., Bedoya, F., Soria, B., & Martín, F. (2014). Nutrigenetics and nutrigenomics insights into diabetes etiopathogenesis. *Nutrients*, 6(11), 5338-5369.
- Bhan, C., Asrey, R., Meena, N. K., Rudra, SG., Chawla, G., Kumar, R., & Kumar, R. (2022). Guar gum and chitosan-based composite edible coating extends the shelf life and preserves the bioactive compounds in stored Kinnow fruits. *International Journal of Biological Macromolecules*, 222, 2922-2935.
- Bilal, S., Shahzad, R., Khan, AL., Kang, SM., Imran, QM., Al-Harrasi, A., & Lee, IJ. (2018). Endophytic microbial consortia of phytohormones-producing fungus *Paecilomyces formosus* LHL10 and bacteria *Sphingomonas* sp. LK11 to *Glycine max* L. regulates physio-hormonal changes to attenuate aluminum and zinc stresses. *Frontiers in plant science*, 9, 1273.
- Biris-Dorhoi, ES., Michiu, D., Pop, CR., Rotar, AM., Tofana, M., Pop, OL., & Farcas, AC. (2020). Macroalgae—A sustainable source of chemical compounds with biological activities. *Nutrients*, 12(10), 3085.
- Bose, SK., Howlader, P., Jia, X., Wang, W., & Yin, H. (2019). Alginate oligosaccharide postharvest treatment preserve fruit quality and increase storage life via Absciscic acid signaling in strawberry. *Food Chemistry*, 283, 665-674.
- Cao, MA., Wang, P., Hashem, A., Wirth, S., Abd_Allah, EF., & Wu, QS. (2021). Field inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi improves fruit quality and root physiological activity of citrus. *Agriculture*, 11(12), 1297.
- Caradonia, F., Ronga, D., Tava, A., & Francia, E. (2022). Plant biostimulants in sustainable potato production: an overview. *Potato Research*, 65(1), 83-104.
- Carillo, P., Kyrtzis, A., Kyriacou, MC., Dell'Aversana, E., Fusco, GM., Corrado, G., & Roupheal, Y. (2020). Biostimulatory action of arbuscular mycorrhizal fungi enhances productivity, functional and sensory quality in 'Piennolo del vesuvio' cherry tomato landraces. *Agronomy*, 10(6), 911.
- Chouyia, FE., Fiorentino, N., Roupheal, Y., Ventorino, V., Fechtali, T., Visconti, D., & Fagnano, M. (2022). Assessing the effect of P-solubilizing bacteria and mycorrhizal fungi on tomato yield and quality under different crop rotations. *Scientia Horticulturae*, 293, 110740.
- Coulibaly, K., Thauvin, M., Melenbacher, A., Testard, C., Trigoni, E., Vincent, A., & Delsuc, N. (2021). A di-copper peptidyl complex mimics the activity of catalase, a key antioxidant metalloenzyme. *Inorganic Chemistry*, 60(13), 9309-9319.
- Da Silva, OAP., Silva, DBD., Teixeira-Filho, MCM., Silva, TB., Campos, CNS., Baio, FHR., & Teodoro, PE. (2023). Macro- and Micronutrient Contents and Their Relationship with Growth in Six Eucalyptus Species. *Sustainability*, 15(22), 15771.
- Dempsey, DMA., & Klessig, DF. (2017). How does the multifaceted plant hormone salicylic acid combat disease in plants and are similar mechanisms utilized in humans?. *BMC biology*, 15, 1-11.
- Diagne, N., Ngom, M., Djighaly, PI., Fall, D., Hoher, V., & Svistoonoff, S. (2020). Roles of arbuscular mycorrhizal fungi on plant growth and performance: Importance in biotic and abiotic stressed regulation. *Diversity*, 12(10), 370.
- Dominguez-Nuñez, JA., Benito, B., Berrocal-Lobo, M., & Albanesi, A. (2016). Mycorrhizal fungi: role in the solubilization of potassium. *Potassium solubilizing microorganisms for sustainable agriculture*, 77-98.
- Duenas, M., Hernandez, T., & Estrella, I. (2006). Assessment of in vitro antioxidant capacity of the seed coat and the cotyledon of legumes in relation to their phenolic contents. *Food Chemistry*, 98(1), 95-103.
- Evelin, H., & Kapoor, R. (2014). Arbuscular mycorrhizal symbiosis modulates antioxidant response in salt-stressed *Trigonella foenum-graecum* plants. *Mycorrhiza*, 24, 197-208.
- Evelin, H., Giri, B., & Kapoor, R. (2012). Contribution of *Glomus intraradices* inoculation to nutrient acquisition and mitigation of ionic imbalance in NaCl-stressed *Trigonella foenum-graecum*. *Mycorrhiza*, 22, 203-217.
- Fattahi, M., Mohammadkhani, A., Shiran, B., Baninasab, B., & Ravash, R. (2020). Influence of arbuscular mycorrhizal fungi symbiosis with different pistachio rootstocks in salinity stress condition. *Journal of Plant Process and Function*, 9(38), 309-326. (In Persian)

- Filho, JAC., Pascholati, SF., & Sabrinho, RR. (2016). Mycorrhizal association and their role in plant disease protection. In *Plant, soil and microbes*. edited by Hakeem, K. R. & Akhtar, M. S.. Basel: Springer. 95–143.
- Fish, WW., Perkins-Veazie, P., & Collins, JK. (2002). A quantitative assay for lycopene that utilizes reduced volumes of organic solvents. *Journal of food composition and analysis*, 15(3), 309-317.
- García-Gómez, BE., Salazar, JA., Egea, JA., Rubio, M., Martínez-Gómez, P., & Ruiz, D. (2022). Monitoring apricot (*Prunus armeniaca* L.) ripening progression through candidate gene expression analysis. *International journal of molecular sciences*, 23(9), 4575.
- George, B., Kaur, C., Khurdiya, DS., & Kapoor, HC. (2004). Antioxidants in tomato (*Lycopersium esculentum*) as a function of genotype. *Food chemistry*, 84(1), 45-51.
- Ghafari Zadeh, A., Seyyednejad, S.M., & Gilani, A. (2015). Investigation the effect of different levels of urea fertilizer and brown seaweed extract on the physiological traits and grain yield of wheat. *Crop Physiology*, 7(27), 69-83. (In Persian)
- Giusti, MM., & Wrolstad, RE. (2001). Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy. *Current protocols in food analytical chemistry*, (1), 1-2.
- Goodarzi, F. (2016). Efficiency of Ag-coated TiO₂ Nanostructure Photocatalytic Reaction on Delay of Postharvest Tomato Ripening. *Plant Productions*, 39(1), 79-88. (In Persian)
- Habibi, E., Shokrzadeh, M., Ahmadi, A., Chabra, A., Naghshvar, F., Haghi-Aminjan, H., & Salehi, F. (2020). Pulmonoprotective action of *Zataria multiflora* ethanolic extract on cyclophosphamide-induced oxidative lung toxicity in mice. *Chinese journal of integrative medicine*, 26, 754-761.
- Hameed, A., Dilfuza, E., Abd-Allah, EF., Hashem, A., Kumar, A., & Ahmad, P. (2014). Salinity stress and arbuscular mycorrhizal symbiosis in plants. In *Use of Microbes for the Alleviation of Soil Stresses*. edited by Miransari, M.. New York: Springer, 139-159.
- Hashem, A., Abd_Allah, EF., Alqarawi, AA., Al-Huqail, AA., Wirth, S., & Egamberdieva, D. (2016). The interaction between arbuscular mycorrhizal fungi and endophytic bacteria enhances plant growth of *Acacia gerrardii* under salt stress. *Frontiers in microbiology*, 7, 1089.
- Hashem, A., Alqarawi, AA., Radhakrishnan, R., Al-Arjani, ABF., Aldehaish, HA., Egamberdieva, D., & Abd_Allah, EF. (2018). Arbuscular mycorrhizal fungi regulate the oxidative system, hormones and ionic equilibrium to trigger salt stress tolerance in *Cucumis sativus* L. *Saudi journal of biological sciences*, 25(6), 1102-1114.
- Hernandez-Munoz, P., Almenar, E., Del Valle, V., Velez, D., & Gavara, R. (2008). Effect of chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry (*Fragaria× ananassa*) quality during refrigerated storage. *Food chemistry*, 110(2), 428-435.
- Ighodaro, OM., & Akinloye, OA. (2018). First line defence antioxidants-superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and glutathione peroxidase (GPX): Their fundamental role in the entire antioxidant defence grid. *Alexandria journal of medicine*, 54(4), 287-293.
- Jahan Tigh Haghighi, Z., Fahmideh, L., & Fazeli Nasab, B. (2018). Evaluation and comparison of Leaf antioxidant properties and morphological traits of tomato varieties (*Lycopersicon esculentum* L.). *Journal Of Plant Environmental Physiology*, 13(2 (50)), 63-76. (In Persian)
- Jamshidi Goharrizi, K., Moosavi, SS., Amirmahani, F., Salehi, F., & Nazari, M. (2020). Assessment of changes in growth traits, oxidative stress parameters, and enzymatic and non-enzymatic antioxidant defense mechanisms in *Lepidium draba* plant under osmotic stress induced by polyethylene glycol. *Protoplasma*, 257, 459-473.
- Javaria, S., Khan, M. Q., & Bakhsh, I. (2012). Effect of potassium on chemical and sensory attributes of tomato fruit. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 22, 1081–1085.
- Jeong, Y., Lim, JW., & Kim, H. (2019). Lycopene inhibits reactive oxygen species-mediated NF-κB signaling and induces apoptosis in pancreatic cancer cells. *Nutrients*, 11(4), 762.
- Jianglian, D., & Shaoying, Z. (2013). Application of chitosan based coating in fruit and vegetable preservation: A review. *Journal of Food Processing & Technology*, 4(5), 227.
- Johns, C. (2014). Agricultural application of mycorrhizal fungi to increase crop yields, promote soil health and combat climate change. *Future Directions International*, 1–6.
- Katalinic, V., Milos, M., Kulisic, T., & Jukic, M. (2006). Screening of 70 medicinal plant extracts for antioxidant capacity and total phenols. *Food chemistry*, 94(4), 550-557.
- Kiaya, V. (2014). Post-harvest losses and strategies to reduce them. Technical Paper on Postharvest Losses, *Action Contrela Faim (ACF)*, 25(3), 1-25.
- Koulivand, F., saidi, M., & Mohammadi, Y. (2020). Effect of Irrigation Regimes and Training Method on Yield and Quality of Tomatoes Marmande cultivar. *Journal of Vegetables Sciences*, 4(1), 85-98. (In Persian)
- Krishna, H., Das, B., Attri, BL., Grover, M., & Ahmed, N. (2010). Suppression of Botryosphaeria canker of apple by arbuscular mycorrhizal fungi. *Crop Protection*, 29(9), 1049-1054.
- La Bella, E., Baglieri, A., Rovetto, E. I., Stevanato, P., & Puglisi, I. (2021). Foliar spray application of *Chlorella vulgaris* extract: Effect on the growth of lettuce seedlings. *Agronomy*, 11(2), 308.

- Lanciotti, R., Gianotti, A., Patrignani, F., Belletti, N., Guerzoni, M. E., & Gardini, F. (2004). Use of natural aroma compounds to improve shelf-life and safety of minimally processed fruits. *Trends in food science & technology*, 15(3-4), 201-208.
- Lattanzio, V., Cardinali, A., Ruta, C., Fortunato, I. M., Lattanzio, V. M., Linsalata, V., & Cicco, N. (2009). Relationship of secondary metabolism to growth in oregano (*Origanum vulgare* L.) shoot cultures under nutritional stress. *Environmental and Experimental Botany*, 65(1), 54-62.
- Lobo, V., Patil, A., Phatak, A., & Chandra, N. (2010). Free radicals, antioxidants and functional foods: Impact on human health. *Pharmacognosy reviews*, 4(8), 118.
- Lopresti, J., Goodwin, I., McGlasson, B., Holford, P., & Golding, J. (2014). Variability in size and soluble solids concentration in peaches and nectarines. *Horticultural Reviews*, 42, 253-312.
- Maftoon-Azad, N., & Yazdani, S. (2019). Guide to Postharvest and Marketing of Tomatoes. Fars: Education Publishing (Agricultural Education and Extension Institute). (In Persian)
- Mamede, M., Cotas, J., Bahcevandziev, K., & Pereira, L. (2023). Seaweed Polysaccharides In Agriculture, A Next Step Towards Sustainability. *Applied Sciences*, 13(11), 6594.
- Mathur, S., Tomar, RS., & Jajoo, A. (2019). Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) protects photosynthetic apparatus of wheat under drought stress. *Photosynthesis Research*, 139, 227-238.
- Mauch-Mani, B., & Slusarenko, AJ. (1996). Production of salicylic acid precursors is a major function of phenylalanine ammonia-lyase in the resistance of Arabidopsis to *Peronospora parasitica*. *The Plant Cell*, 8(2), 203-212.
- May, CD. (1997). *Pectins. In Thickening and gelling agents for food*. Boston: Springer.
- Mazumdar, B. C., & Majumder, K. (2003). *Methods on physico-chemical analysis of fruits*, Delhi: Daya publishing house.
- Mbili, NC., Opara, UL., Lennox, CL., & Vries, FA. (2017). Citrus and lemongrass essential oils inhibit *Botrytis cinerea* on 'Golden Delicious', 'Pink Lady' and 'Granny Smith' apples. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 124, 499-511.
- Mitra, D., Uniyal, N., Panneerselvam, P., Senapati, A., & Ganeshamurthy, AN. (2020). Role of mycorrhiza and its associated bacteria on plant growth promotion and nutrient management in sustainable agriculture. *International Journal of Life Sciences and Applied Sciences*, 1(1), 1-1.
- Mukherjee, A., & Patel, JS. (2020). Seaweed extract: biostimulator of plant defense and plant productivity. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 17(1), 553-558.
- Nakano, Y., & Asada, K. (1981). Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and cell physiology*, 22(5), 867-880.
- Nasmia, Rosyida, E., Masyahoro, A., Putera, FHA., & Natsir, S. (2021). The utilization of seaweed-based liquid organic fertilizer to stimulate *Gracilaria verrucosa* growth and quality. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 18, 1637-1644.
- Nasrollahi Omran, A., Bigi Firozjaie, F., & Sangi, M. (2012). Biological Control of Orange Green & Blue Mold Agents by Citrus Microbial Epiphytes In North of Iran. *Journal of Novel Researches on Plant Protection*, 3(4), 391-377. (In Persian)
- Nell, M., Wawrosch, C., Steinkellner, S., Vierheilig, H., Kopp, B., Lössl, A., & Zitterl-Eglseer, K. (2010). Root colonization by symbiotic arbuscular mycorrhizal fungi increases sesquiterpenic acid concentrations in *Valeriana officinalis* L. *Planta Medica*, 76(04), 393-398.
- Pant, S., & Huang, Y. (2022). Genome-wide studies of PAL genes in sorghum and their responses to aphid infestation. *Scientific Reports*, 12(1), 22537.
- Parniske, M. (2008). Arbuscular mycorrhiza: the mother of plant root endosymbioses. *Nature Reviews Microbiology*, 6(10), 763-775.
- Pathare, PB., & Al-Dairi, M. (2022). Effect of mechanical damage on the quality characteristics of banana fruits during short-term storage. *Discover Food*, 2(1), 4.
- Pramanick, B., Brahmachari, K., & Ghosh, A. (2013). Effect of seaweed saps on growth and yield improvement of green gram. *African Journal of Agricultural Research*, 8(13), 1180-1186.
- Prasad, R., Bhola, D., Akdi, K., Cruz, C., KVSS, S., Tuteja, N., & Varma, A. (2017). Introduction to mycorrhiza: historical development. In *Mycorrhiza-Function, Diversity, state of the art*. edited by Varma, A., Prasad, R., Tuteja, N. Cham, Springer International Publishing, 1-7.
- Przybylska, S. (2020). Lycopene—a bioactive carotenoid offering multiple health benefits: a review. *International Journal of Food Science & Technology*, 55(1), 11-32.
- Qin, GZ., Tian, SP., Xu, Y., & Wan, YK. (2003). Enhancement of biocontrol efficacy of antagonistic yeasts by salicylic acid in sweet cherry fruit. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 62(3), 147-154.
- Raghunandan, BL., Vyas, RV., Patel, HK., & Jhala, YK. (2019). Perspectives of seaweed as organic fertilizer in agriculture. *Soil fertility management for sustainable development*, 267-289.
- Ramona, Y., Darmayasa, IBG., & Line, MA. (2022). Biological control of *Sclerotinia minor* attack on pyrethrum plants by *Trichoderma harzianum* in glasshouse experiment. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 23(6).
- Ranganna, S. (1986). *Handbook of analysis and quality control for fruit and vegetable products*. Tata McGraw-Hill Education. New Delhi, Tata McGraw-Hill Education.

- Roussos, PA., Sefferou, V., Denaxa, NK., Tsantili, E., & Stathis, V. (2011). Apricot (*Prunus armeniaca* L.) fruit quality attributes and phytochemicals under different crop load. *Scientia Horticulturae*, 129(3), 472-478.
- Salas-Sanjuán, M. D. C., Rebolloso, M. D. M., Del Moral, F., & Valenzuela, J. L. (2023). Use of sub-atmospheric pressure storage to improve the quality and shelf-life of Marmande tomatoes cv. Rojito. *Foods*, 12(6), 1197.
- Sams, CE. (1999). Preharvest factors affecting postharvest texture. *Postharvest biology and Technology*, 15(3), 249-254.
- Sarhan, T. (2011). Effect of bread yeast application and seaweed extract on cucumber (*cucumis sativus* L.) Plant growth, yield and fruit quality. *Mesopotamia Journal Of Agriculture*, 39(2), 26-32.
- Selvaraj, T., & Chellappan, P. (2006). Arbuscular mycorrhizae: a diverse personality. *Journal of Central European Agriculture*, 7(2), 349-358.
- Shahbaz, MU., Arshad, M., Mukhtar, K., Nabi, BG., Goksen, G., Starowicz, M., & Aadil, RM. (2022). Natural plant extracts: an update about novel spraying as an alternative of chemical pesticides to extend the postharvest shelf life of fruits and vegetables. *Molecules*, 27(16), 5152.
- Sharififar, F., Dehghn-Nudeh, G., & Mirtajaldini, M. (2009). Major flavonoids with antioxidant activity from *Teucrium polium* L. *Food chemistry*, 112(4), 885-888.
- Sharififar, F., Moshafi, MH., Mansouri, SH., Khodashenas, M., & Khoshnoodi, M. (2007). In vitro evaluation of antibacterial and antioxidant activities of the essential oil and methanol extract of endemic *Zataria multiflora* Boiss. *Food control*, 18(7), 800-805.
- Shokouhian, A. A., Asghari, A., & Mahmoodi, H. (2019). Investigation of Application of Humic Acid on Nutrient Uptake and Quantitative and Qualitative Indices in Kiwifruit. *Journal Of Horticultural Science*, 33(2), 247-256. (In Persian)
- Shokrollahfam, S., Hajilou, J., Zaare Nahandy, F., Tabatabaie, S. J., & Naghshiband Hasani, R. (2014). Effects of putrescine, calcium chloride and salicylic acid on quality and storage life of plum fruit cv. *Plant Productions*, 37(2), 15-26. (In Persian)
- Singleton, VL., & Rossi, JA. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144-158.
- Smith, SE., & Read, DJ. (2010). *Mycorrhizal symbiosis*. San Diego: Academic Press.
- Su, Q., Li, X., Wang, L., Wang, B., Feng, Y., Yang, H., & Zhao, Z. (2022). Variation in cell wall metabolism and flesh firmness of four apple cultivars during fruit development. *Foods*, 11(21), 3518.
- Sujata, Goyal, V., Baliyan, V., Avtar, R., & Mehrotra, S. (2023). Alleviating drought stress in *Brassica juncea* (L.) Czern & Coss. by foliar application of biostimulants—orthosilicic acid and seaweed extract. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 195(1), 693-721.
- Sytar, O., Hemmerich, I., Zivcak, M., Rauh, C., & Brestic, M. (2018). Comparative analysis of bioactive phenolic compounds composition from 26 medicinal plants. *Saudi journal of biological sciences*, 25(4), 631-641.
- Thambiraj, J., Lingakumar, K., & Paulsamy, S. (2012). Effect of seaweed liquid fertilizer (SLF) prepared from *Sargassum wightii* and *Hypnea musciformis* on the growth and biochemical constituents of the pulse, *Cyamopsis tetragonoloba* (L.). *Journal of Agricultural Research*, 1(1), 65-70.
- Thériault, M., Cailliet, S., Kermasha, S., & Lacroix, M. (2006). Antioxidant, antiradical and antimutagenic activities of phenolic compounds present in maple products. *Food chemistry*, 98(3), 490-501.
- Trudel, MJ., & Ozbun, JL. (1971). Influence of Potassium on Carotenoid Content of Tomato Fruit1, 2. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 96(6), 763-765.
- Warrier, RR., Paul, M., & Vineetha, MV. (2013). Estimation of salicylic acid in *Eucalyptus* leaves using spectrophotometric methods. *Genetics and plant physiology*, 3(1-2), 90-97.
- Wen, PF., Chen, JY., Wan, SB., Kong, WF., Zhang, P., Wang, W., & Huang, WD. (2008). Salicylic acid activates phenylalanine ammonia-lyase in grape berry in response to high temperature stress. *Plant Growth Regulation*, 55, 1-10.
- Ye, L., Zhao, X., Bao, E., Cao, K., & Zou, Z. (2019). Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on watermelon growth, elemental uptake, antioxidant, and photosystem II activities and stress-response gene expressions under salinity-alkalinity stresses. *Frontiers in Plant Science*, 10, 863.
- Yousuf, B., Wu, S., & Siddiqui, MW. (2021). Incorporating essential oils or compounds derived thereof into edible coatings: Effect on quality and shelf life of fresh/fresh-cut produce. *Trends in Food Science & Technology*, 108, 245-257.
- Yue, W., Liu, L., Chen, S., Bai, Y., & Li, N. (2022). Effects of Water and Nitrogen Coupling on Growth, Yield and Quality of Greenhouse Tomato. *Water*, 14(22), 3665.
- Zamani, N., Shams, M., Nimrouzi, M., Zarshenas, MM., Foroughi, AA., Abarghoeei, EF., & Fattahi, MR. (2018). The effects of *Zataria multiflora* Boiss. (Shirazi thyme) on nonalcoholic fatty liver disease and insulin resistance: A randomized double-blind placebo-controlled clinical trial. *Complementary therapies in medicine*, 41, 118-123.
- Zhang, C., Howlader, P., Liu, T., Sun, X., Jia, X., Zhao, X., & Yin, H. (2019). Alginate Oligosaccharide (AOS) induced resistance to Pst DC3000 via salicylic acid-mediated signaling pathway in *Arabidopsis thaliana*. *Carbohydrate polymers*, 225, 115221.

- Zhang, L., Shi, N., Fan, J., Wang, F., George, TS., & Feng, G. (2018). Arbuscular mycorrhizal fungi stimulate organic phosphate mobilization associated with changing bacterial community structure under field conditions. *Environmental Microbiology*, 20(7), 2639-2651.
- Zhao, X., Yu, X., Xin, S., Chen, S., Bao, C., Xu, W., & Yang, D. (2022). Enhanced oxygen reduction reaction for Zn-air battery at defective carbon fibers derived from seaweed polysaccharide. *Applied Catalysis B: Environmental*, 301, 120785.
- Zhu, Z., Zhang, Y., Shang, Y., & Wen, Y. (2019). Electrospun nanofibers containing TiO₂ for the photocatalytic degradation of ethylene and delaying postharvest ripening of bananas. *Food and Bioprocess Technology*, 12, 281-287.
- Zimare, SB., Borde, MY., Jite, PK., & Malpathak, NP. (2013). Effect of AM fungi (Gf, Gm) on biomass and gymnemic acid content of *Gymnema sylvestre*. *Biological Sciences*, 83, 439-445.
- Zodape, ST., Gupta, A., Bhandari, SC., Rawat, US., Chaudhary, DR., Eswaran, K., & Chikara, J. (2011). Foliar application of seaweed sap as biostimulant for enhancement of yield and quality of tomato (*Lycopersicon Esculentum* Mill.). *Council of Scientific and Industrial Research*, 215-219.
- Zulfiqar, F., Navarro, M., Ashraf, M., Akram, NA., & Munné-Bosch, S. (2019). Nanofertilizer use for sustainable agriculture: Advantages and limitations. *Plant Science*, 289, 110270.

Extended abstract

Background and objectives

The tomato (*Solanum lycopersicum*) is one of the flowering plants of the Solanaceae family, at the time of harvest due to its freshness, high humidity and production of high amounts of ethylene, it has a limited postharvest shelf life and about 30% of the produced products in the world are wasted at different stages after harvesting. In recent years, the use of biofertilizers and plant extracts to increase yields, extend postharvest shelf life, and maintain the quality and health of agricultural products has been increasing. Considering the importance of essential oils and extracts of medicinal plants in post-harvest physiology, as well as considering the significance of biofertilizers in increasing plant yield and its role in producing healthy food and preserving the environment, in this research, the effect of *Z. multiflora* hydroalcoholic extract along with seaweed biofertilizers and arbuscular mycorrhizal fungi have been investigated on the morphological, phytochemical, yield and postharvest shelf life of tomatoes (*Solanum lycopersicum*).

Material and methods

This research was conducted as a factorial experiment based on a randomized complete block design with 12 treatments and three replications in field conditions. The experimental treatments included *Z. multiflora* extract [(control and foliar spraying at two levels of 10 and 20%) (S0, S1, S2)] and biofertilizers [control, seaweed fertilizer (1%) (A), mycorrhizal fungus fertilizer (50 g/plant) (M)] and their combination were carried out with 12 treatments and 3 replications in the research field of the Department of Horticultural Sciences, Ilam University. In this study, the traits related to plant shoots and leaves including stem diameter, number of lateral branches, chlorophyll, carotenoid and anthocyanin content, total phenol and flavonoid, phenylalanine ammonia-lyase (PAL), catalase (CAT) enzyme activity and antioxidant activity by DPPH method, as well as fruit-related traits, including single fruit weight, total yield, salicylic acid content, post-harvest life, tissue firmness, fruit weight loss, soluble solids and titratable acidity, CAT and ascorbate-peroxidase (APX) enzymes, vitamin C and lycopene were investigated. The test data were statistically analyzed using SAS 9.1 statistical software, and the LSD test was employed to compare the differences between means at a 5% probability level. The results were reported in the form of tables and graphs using Excel software.

Results and Discussion

Applying S2 treatment could increase the number of lateral branches by 12.16%, the activity of catalase enzyme by 13.29% and the amount of iron by 290.32% compared to the control. Also, the use of S1+A+M treatment could increase single fruit weight by 289.22%, total fruit yield by 357.05%, total chlorophyll content by 285%, carotenoid by 449.13%, anthocyanin by 48.48%, total phenol by 87.39%, flavonoid by 9.13%, phenylalanine-ammonialyase (PAL) enzyme activity by 20.54%, antioxidant activity by 210.44%, potassium element by 123.03%, calcium element by 425.69%, the lowest fruit weight loss by 67.56%, vitamin C content by 31.06% and lycopene content by 220.03% compared to the control. S2+A treatment also increased salicylic acid by 368.23% and fruit postharvest by 53.18% compared to the control. A+M treatment improved nitrogen element by 23.68% and phosphorus by 196%, titratable acidity by 121.25%, and catalase (CAT) enzyme activity by 270.25%. In treatment A, zinc content increased by 113.86% compared to the control. Also, in the S1 treatment, the amount of ascorbate-peroxidase (APX) enzyme activity in the fruit decreased by 96.03% compared to the control.

Conclusion

The results indicated that the applied treatments effectively enhanced the morpho-physiological and biochemical characteristics of the tomato plant, thereby increasing the postharvest shelf life and nutritional value of its fruit. Among all the treatments, the traits associated with total yield (single fruit weight indices and the highest yield) and post-harvest traits and nutritional value (lycopene, vitamin C, and the lowest percentage of weight loss), which were the primary objectives of this study, yielded the best outcomes with the S1+A+M treatment. Currently, the use of low-risk, environmentally friendly biostimulants to enhance the yield, quality, and post-harvest shelf life of horticultural products has garnered increased attention from researchers. This study demonstrated that the biological potential of the *Z. multiflora* medicinal plant extract, combined with seaweed and mycorrhizal fungi biofertilizers, can provide a sustainable and eco-friendly strategy for producers to boost yield and significantly improve consumer acceptance by extending shelf life and enhancing post-harvest characteristics.

مجله استادی نشریه