مقاله پژوهشی

اثر اسید سالیسیلیک و کائولین بر رشد، عملکرد و برخی پاسخ‌های فیزیولوژیکی گوجه‌فرنگی تحت دورهای مختلف آبیاری

فردین قنبری*، مهدی صیدی، سعداله اکبری و سیمین گراوند

گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۲۲، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۹/۱۲/۱۹)

چکیده

با توجه به اقلیم خشک و کمبود آب در کشور ایران استفاده از موادی که بتواند تحمل گیاه به کم‌آبی را افزایش دهد از اهمیت زیادی برخوردار است. در این تحقیق اثر اسید سالیسیلیک و کائولین بر تحمل تنش کم‌آبی در گیاه گوجه‌فرنگی مورد ارزیابی قرار گرفت. تیمارها شامل محلول‌پاشی برگی در چهار سطح (شاهد، اسید سالیسیلیک ۰/۵ میلی‌مولار، کائولین ۲/۵ درصد و کاربرد هم‌زمان اسید سالیسیلیک + کائولین) و دور آبیاری (۲، ۴، ۶ و ۸ روز یک‌بار آبیاری) بود. نتایج نشان داد که افزایش دور آبیاری در گیاه گوجه‌فرنگی منجر به کاهش رشد و عملکرد در این گیاه شد، به‌طوری‌که میانگین عملکرد در دورهای آبیاری ۴، ۶ و ۸ روز یک‌بار نسبت به شاهد (دو روز یک‌بار) به‌ترتیب ۹، ۱۱ و ۲۱ درصد کاهش یافت. با افزایش دور آبیاری محتوای رطوبت نسبی، کلروفیل کل، تعرق و فتوسنتز کاهش و مالون دی‌آلدهید، پرولین، فعالیت آنزیم پراکسیداز و پراکسید هیدروژن افزایش یافت. تیمارهای اسید سالیسیلیک و کائولین تأثیر مثبت و معنی‌داری بر کاهش آثار تنش کم‌آبی در گیاه گوجه‌فرنگی داشتند. کاربرد اسید سالیسیلیک و کائولین با افزایش کلروفیل، محتوای رطوبت نسبی، فعالیت آنزیم پراکسیداز، نرخ فتوسنتز و تعرق سبب بهبود رشد و عملکرد گیاه شدند. بیشترین تأثیر تیمارهای محلول‌پاشی در شرایط دور آبیاری ۶ و ۸ روز یک‌بار مشاهده شد. همچنین نتایج نشان داد که کاربرد هم‌زمان اسید سالیسیلیک + کائولین اثر هم‌افزایی نسبت به کاربرد این مواد به‌صورت جداگانه نداشت. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده برای کاهش آثار آبیاری طولانی در گیاه گوجه‌فرنگی استفاده از کائولین یا اسید سالیسیلیک توصیه می‌شود.

کلمات کلیدی: تعرق، خشکی، فتوسنتز، مالون دی‌آلدهید، محلول‌پاشی

مقدمه

گوجه‌فرنگی با نام علمی *Lycopersicun esculentum* Mill. از معروف‌ترین سبزی‌ها از خانواده Solanaceae است و به‌دلیل کالری کم، غنی‌بودن از آهن، ویتامین‌ها و برخی آنتی‌اکسیدان‌ها در سراسر دنیا مورد مصرف قرار می‌گیرد (Rai *et al.*, 2013). گیاه گوجه‌فرنگی همانند بسیاری از سبزی‌های دیگر به تنش خشکی حساس بوده و برای رشد رویشی و تولید مثل، به‌ویژه در مرحله گلدهی و بزرگ‌شدن میوه، به مقدار زیادی آب نیاز دارد (Rao *et al.*, 2000). در شرایط تنش خشکی، محصول گوجه‌فرنگی از طرق مختلف از جمله کاهش رشد و کاهش سطح برگ، ریزش گل، کمبود مواد معدنی به‌دلیل عدم جذب کافی، کاهش اندازه میوه، پوسیدگی گلگاه و بسیاری از

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: f.ghanbari@ilam.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-03]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.44.23.9]

اختلالات فیزیولوژیکی مربوط به کمبود کلسیم تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Kumar *et al*., 2012). از طرف دیگر، خشکی ترکیبی از انواع مختلف تنش است، بنابراین تأثیر بسیار پیچیده‌ای بر رشدونمو گیاه دارد (Zlatev and Lidon, 2012). به‌دلیل تنش خشکی، مهار تقسیم سلولی منجر به کاهش رشد رویشی و تولید مثلی می‌شود. به‌دلیل کاهش اندازه سلول، سطح برگ و طول ساقه کاهش می‌یابد. مقدار پایین آب در خاک، رابطه آب در گیاه را مختل می‌کند، که رابطه مستقیم با جذب آب و مواد معدنی دارد. این تغییرات بیوشیمیایی و متابولیکی بر فشار تورگر، ثبات غشا و اندازه سلول مؤثر هستند (Yardanov *et al*., 2003).

استفاده از تکنیک‌هایی که باعث کاهش میزان تعرق شود می‌تواند اثر مثبتی بر تحمل به تنش خشکی گیاهان داشته باشد. کائولین یک ماده معدنی سفید رنگ با فرمول شیمیایی $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ (آلومینیوم سیلیکات آبدار) است که از نظر شیمیایی خنثی است و دارای ویژگی انعکاس نور بسیار بالا است (Glenn, 2012). هنگامی که به‌صورت سوسپانسیون روی سطح برگ پاشیده شود، آب آن تبخیر شده و یک لایه نازک محافظ برجای می‌گذارد (Cantore *et al*., 2009). پوشش نازک کائولین بازتاب تابش اضافی، از جمله تشعشع فعال، اشعه ماورا بنفش و اشعه مادون قرمز را افزایش می‌دهد و خطر آسیب برگ و میوه را از تجمع بار گرما و آسیب نور خورشیدی کاهش می‌دهد (Glenn, 2012). محلول‌پاشی گیاه با سوسپانسیون آبی کائولین می‌تواند باعث کاهش آثار تنش‌های شوری و خشکی در گیاه شود (Boari *et al*., 2015). ذرات کائولین سفید تشکیل‌شده بر روی سطح برگ سبب افزایش بازتاب تابش خورشیدی، تغییر تابش، تعادل حرارت و کاهش خطر آسیب به برگ و میوه در درجه حرارت بالا می‌شود (Glenn, 2012). کاربرد کائولین منجر به بهبود پتانسیل آب برگ در گیاه گوجه‌فرنگی تحت شوری شده است و تحت شوری بالا، کائولین در محدودکردن کاهش فتوسنتز خالص و کاهش دمای برگ مؤثر بوده است (Boari *et al*., 2015). در تحقیقی Cantore و همکاران (۲۰۰۹) با بررسی اثر محلول‌پاشی کائولین بر رشد و عملکرد گوجه‌فرنگی گزارش کردند که کاربرد کائولین در غلظت ۵ درصد سبب افزایش دمای برگ شده و میزان تعرق و هدایت روزنه‌ای را کاهش داد و همچنین منجر به افزایش ۲۶ درصدی عملکرد کل نسبت به شاهد شد.

استفاده از مواد تنظیم‌کننده رشد گیاهی یکی دیگر از تکنیک‌های کاهش آثار تنش خشکی بر گیاهان است. اسید سالیسیلیک یا اورتوهیدروکسی بنزوئیک اسید، یک ماده تنظیم‌کننده رشد گیاهی است که در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه مانند رشدونمو گیاه، گلدهی، تولید اتیلن، باز و بسته شدن روزنه‌ها و تنفس نقش دارد (Raskin, 1992). اسید سالیسیلیک با تنظیم بیان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان باعث افزایش تحمل تنش در گیاهان می‌شود. به‌طورکلی، غلظت کم اسید سالیسیلیک ممکن است ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در گیاهان را افزایش دهد، اما غلظت زیاد اسید سالیسیلیک ممکن است باعث مرگ سلول یا حساسیت به تنش‌های غیرزیستی شود (Hara *et al*., 2012). کاربرد سالیسیلیک اسید ۴۵ روز پس از سبزشدن نشاهای گوجه‌فرنگی تأثیر معنی‌داری بر پارامترهای فتوسنتزی، پایداری غشا سلولی، محتوای رطوبت نسبی، کلروفیل و فعالیت نیترات ردوکتاز داشت و توانست آثار خشکی بر گیاه را کاهش دهد (Hayat *et al*., 2008). گزارش شده است که کاربرد سالیسیلیک اسید و مشتق آن، استیل سالیسیلیک اسید، سبب افزایش تحمل تنش‌های سرما، گرما و خشکی در نشاهای لوبیا و گوجه‌فرنگی شد (Senarana *et al*., 2000). همچنین Brito و همکاران (۲۰۱۸) با بررسی نقش کائولین و اسید سالیسیلیک بر تحمل شرایط کم‌آبی در زیتون گزارش کردند که با کاربرد اسید سالیسیلیک و کائولین میزان عملکرد به‌ترتیب ۷۲ و ۹۷ درصد نسبت به عدم کاربرد آن‌ها افزایش یافت. با توجه به مرور منابع انجام‌شده تا کنون گزارشی از بررسی تأثیر هم‌زمان سالیسیلیک اسید و کائولین در گوجه‌فرنگی منتشر نشده است. بنابراین در تحقیق حاضر اثر کاربرد جداگانه و هم‌زمان اسید سالیسیلیک و کائولین بر رشد، عملکرد و پاسخ‌های فیزیولوژیکی گوجه‌فرنگی در شرایط

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-03]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.44.23.9]

مزرعه بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۹ در مزرعه و آزمایشگاه گروه علوم باغبانی دانشگاه ایلام انجام شد. روش کشت مورد استفاده در این آزمایش روش نشایی بود. ابتدا بذرهای گوجه‌فرنگی برای تولید نشا در خزانه کاشته شده و مراقبت‌های زراعی لازم برای آن‌ها انجام شد. نشاهای آماده شده در مرحله سه برگ کاملاً توسعه‌یافته به مزرعه منتقل شدند. کشت به‌صورت دو ردیفه و فاصله بین بوته‌ها روی ردیف ۴۰ سانتی‌متر و بین ردیف‌ها نیز ۹۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. پس از استقرار کامل گیاهان در شرایط مزرعه (دو هفته پس از کاشت) تیمارهای آزمایشی شروع شد. تیمار تنش خشکی با استفاده از افزایش دور آبیاری اعمال شد. برای این منظور گیاهان تحت چهار دور آبیاری (۲، ۴، ۶ و ۸ روز یک‌بار) قرار گرفتند. آبیاری دو روز یک‌بار به‌عنوان تیمار شاهد در نظر گرفته شد. آبیاری گیاهان با استفاده از نوار تیپ اختصاصی هر ردیف انجام می‌شد. برای این کار در ابتدای هر کرت آزمایشی یک شیر فلکه نصب شده بود و در صورت نیاز براساس دور آبیاری تنظیم‌شده اقدام به آبیاری می‌شد. انتخاب غلظت سالیسیلیک اسید (مرک آلمان) و کائولین (سپیدان، WP95) براساس مطالعات گذشته و همچنین تحقیقات مؤلفین در این زمینه انجام شد. محلول‌پاشی در چهار سطح شاهد، کائولین ۲/۵ درصد، سالیسیلیک اسید ۰/۵ میلی‌مولار و مصرف هم‌زمان کائولین و سالیسیلیک اسید اعمال شد. برای ساخت محلول‌های سالیسیلیک اسید و کائولین به‌ترتیب ۰/۶۹ و ۲۵۰ گرم از مواد موردنظر در ۱۰ لیتر آب‌مقطر حل شد و برای تیمار شاهد از آب‌مقطر استفاده شد. تیمارهای محلول‌پاشی در دو مرحله قبل از گلدهی و در مرحله شروع میوه‌دهی اعمال شدند. در طول مدت آزمایش مراقبت‌های زراعی شامل آبیاری و مبارزه دستی با علف‌های هرز صورت گرفت. در پایان آزمایش صفات مختلف به شرح زیر اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری صفات رشدی پنج بوته به‌صورت تصادفی با در نظر گرفتن اثر حاشیه انتخاب شده و ارتفاع بوته، وزن تر و خشک بوته اندازه‌گیری شد. برای محاسبه عملکرد کل، میوه‌ها در برداشت‌های متوالی (شش برداشت) به آزمایشگاه منتقل شده و وزن دقیق آن‌ها ثبت شد. در پایان آزمایش وزن برداشت‌های متوالی جمع شده و عملکرد کل برای هر کرت آزمایشی محاسبه شد. پس از هر برداشت تعداد میوه‌های برداشت‌شده شمارش شد. در پایان آزمایش تعداد میوه برای هر بوته محاسبه و گزارش گردید. از تقسیم عملکرد کل بر تعداد میوه کل میانگین وزن هر میوه نیز به‌دست آمد.

اندازه‌گیری محتوای رطوبت نسبی براساس روش De Pascale و همکاران (۲۰۰۳) انجام گرفت. در این روش تعدادی مساوی برگ توسعه‌یافته از گیاه جدا شده و بلافاصله توزین گردید (FW). سپس برگ‌ها به‌مدت ۲۴ ساعت در آب‌مقطر قرار گرفته تا کاملاً به حالت آماس برسند. برگ‌ها از آب‌مقطر خارج شده و پس از خشک-کردن آب سطحی مجدداً توزین شدند (TW). پس از آن نمونه‌ها در آون الکتریکی در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت قرار گرفتند و وزن خشک آنها اندازه‌گیری شده (DW). از رابطه یک محتوای رطوبت نسبی اندازه‌گیری شد.

(رابطه ۱)

$$RWC = \frac{FW-DW}{TW-DW} \times 100$$

برای استخراج و اندازه‌گیری پرولین از روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) استفاده شد. برای این‌کار پرولین با استفاده از حلال اسید سولفوسالیسیلیک ۳ درصد (وزنی به حجمی) استخراج شده و پس از سانتریفیوژ با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه به‌مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ بخش بالایی آن جدا شد. مقدار ۲ میلی‌لیتر از عصاره رویی جدا شده و به آن ۲ میلی‌لیتر معرف نین‌هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال اضافه شد. نمونه‌ها به‌مدت یک ساعت در حمام آب گرم در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گرار قرار گرفتند. پس از پایان این دوره و خنک‌شدن نمونه‌ها ۴ میلی‌لیتر تولوئن به نمونه‌ها اضافه شد. در نهایت جذب فاز بالایی (رنگ قرمز) با اسپکتروفتومتر در طول

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-03]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.44.23.9]

موج ۵۲۰ نانومتر با استفاده از تولوئن به‌عنوان شاهد انجام شد. میزان پرولین نمونه‌های برگ برحسب میکرومول در گرم وزن تر گزارش شد.

اندازه‌گیری محتوای مالون دی‌آلدئید براساس روش Stewart و Bewley (۱۹۸۰) انجام گرفت. برای این منظور ۰/۲ گرم از بافت برگ با اسید تری‌کلرو استیک ۰/۱ درصد کوبیده شده و پس از آن به‌مدت ۳۰ دقیقه با سرعت ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. یک میلی‌لیتر از محلول رویی را برداشته و به آن یک میلی‌لیتر محلول ۰/۵٪ وزنی به حجم (w/v) اسید تیو باربیتوریک دارای اسید تری‌کلرو استیک ۲۰٪ اضافه شد. نمونه‌ها در حمام آب گرم در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۳۰ دقیقه قرار گرفتند. پس از سردشدن جذب آنها با دستگاه اسپکتروفتومتر (Specord 50, Analytik Jena) در طول موج‌های ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر خوانده شد.

فعالیت آنزیم پراکسیداز براساس روش به‌کاررفته توسط Plewa و همکاران (۱۹۹۱) انجام شد. برای این‌کار ۰/۲ گرم از بافت نمونه با ۲ میلی‌لیتر بافر پتاسیم فسفات ۵۰ میلی‌مولار ساییده شد. نمونه‌ها به‌مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۱۲۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفیوژ شدند. میزان ۵۰ میکرولیتر از عصاره رویی را برداشته و به آن ۲/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم، ۱۰۰ میکرولیتر پراکسید هیدروژن و ۱۰۰ میکرولیتر گایاکل اضافه شد. جذب نمونه به‌مدت ۲ دقیقه در طول‌موج ۴۷۰ نانومتر خوانده شد و فعالیت آنزیم براساس واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین گزارش شد.

میزان پراکسید هیدروژن براساس واکنش آن با پتاسیم یدید در طول‌موج ۳۹۰ نانومتر و با استفاده از روش Alexieva (۲۰۰۱) اندازه‌گیری و براساس نانومول بر گرم وزن تر گزارش گردید.

برای اندازه‌گیری کلروفیل از روش Strain و Svec (۱۹۶۶) استفاده شد. ابتدا ۰/۱ گرم برگ تازه با استفاده از پنج میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد ساییده شد. نمونه‌ها به‌مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۳۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفیوژ شدند. جذب نمونه‌ها (A) در طول‌موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر با اسپکتروفتومتر خوانده، و کلروفیل کل براساس رابطه ۲ گزارش شد.

(رابطه ۲)

$$Chl\ total = 20.21(A_{645}) + 8.02(A_{663})$$

اندازه‌گیری تبادلات گازی شامل تعرق، فتوسنتز، دمای برگ و غلظت CO_2 زیر روزنه‌ای با دستگاه فتوسنتزمتر (Plant photosynthesis meter, KoreaTech) در مرحله گلدهی کامل انجام گرفت. با قراردادن برگچه انتهایی در قسمت اتاقک دستگاه و براساس ورود و خروج گازها در این قسمت و برنامه دستگاه، اطلاعات مربوط به هر شاخص ثبت شد. اندازه‌گیری این صفات در روز غیر ابری و در ساعت ۹ تا ۱۲ صبح و شدت نور بین ۱۴۰۸ تا ۱۵۸۴ میکرومول فوتون بر متر مربع بر ثانیه انجام شد.

نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق به کمک نرم‌افزار SAS-9.1 تجزیه آماری شدند. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد انجام گرفت.

نتایج

ارتفاع بوته: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی آبیاری و تیمار محلول‌پاشی در سطح یک درصد آماری معنی‌دار شد. اثر متقابل آبیاری × محلول‌پاشی بر ارتفاع بوته معنی‌دار نشد (جدول ۱). مقایسه میانگین اثرات اصلی آبیاری نشان داد که با افزایش دور آبیاری ارتفاع بوته به‌طوری معنی‌داری کاهش یافت به‌طوری‌که کمترین میزان ارتفاع بوته (۵۶ سانتی‌متر) در دور آبیاری ۸ روز مشاهده شد (جدول ۲). همه تیمارهای به‌کاررفته (اسید سالیسیلیک، کائولین و اسید سالیسیلیک+کائولین) نسبت به شاهد ارتفاع بوته را افزایش دادند (جدول ۲).

وزن تر بوته: نتایج نشان داد که تنها اثرات اصلی آبیاری و محلول‌پاشی در سطح آماری یک درصد بر وزن تر بوته معنی‌دار شد درحالی‌که اثر متقابل این دو عامل معنی‌دار نشد (جدول ۱). مقایسه میانگین اثرات اصلی نشان داد که افزایش دور آبیاری منجر به کاهش معنی‌دار وزن تر بوته شد. بیشترین وزن تر بوته (۴۳۰ گرم در بوته) در دور آبیاری دو روز یک‌بار و کمترین آن (۳۷۷ گرم در بوته) در دور آبیاری ۸ روز یک‌بار

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-03]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.44.23.9]

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس صفات رشدی و عملکردی، محتوای رطوبت نسبی و کلروفیل گیاه گوجه‌فرنگی تحت تأثیر تیمارهای آبیاری و محلول‌پاشی

منبع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع بوته	وزن تر بوته	وزن خشک بوته	عملکرد کل	تعداد میوه	محتوای رطوبت نسبی	کلروفیل کل
بلوک	۲	۶۱/۷۵	۱۱۰۹	۲۰/۴۸	۲۲/۸۸	۰/۲۰	۱۰/۳۷	۰/۰۰۰۶
آبیاری	۳	۳۰۲/۸۵**	۶۰۱۹**	۱۲۳/۸۳**	۴۶۴/۲۷**	۸/۹۳**	۹۷۰/۱۷**	۰/۶۲۹۶**
خطای فرعی	۶	۷/۲۵	۳۳۰	۷/۱۹	۷/۷۲	۰/۲۴	۳/۱۱	۰/۰۰۵۳
تیمار محلول‌پاشی	۳	۵۲۳/۵۷**	۱۳۲۲۹**	۲۶۶/۷۷**	۳۳۵/۲۷**	۷/۸۵**	۲۳۰/۴۶**	۰/۲۱۱۴**
آبیاری × محلول‌پاشی	۹	۱۲/۷۲^{ns}	۷۵۹^{ns}	۱۶/۵۹^{ns}	۱۵/۸۱^{ns}	۰/۷۰^{ns}	۲۵/۹۶*	۰/۰۰۹۹^{ns}
خطای کل	۲۴	۱۵/۰۴	۴۶۲	۹/۹۷	۱۶/۳۹	۱/۶۲	۱۳/۲۷	۰/۰۰۶۶
ضریب تغییرات	-	۶/۱۱	۵/۲۷	۵/۴۲	۶/۴۸	۶/۷۲	۴/۲۷	۴/۱۱

****: معنی‌دار در سطح ۱ درصد، *: معنی‌دار در سطح ۵ درصد، ns: عدم معنی‌داری**

جدول ۲- مقایسه میانگین اثرات اصلی آبیاری و محلول‌پاشی بر صفات رشدی، عملکرد و کلروفیل گیاه گوجه‌فرنگی

تیمارها	سطوح تیمار	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	وزن تر بوته (گرم)	وزن خشک بوته (گرم)	عملکرد کل (تن در هکتار)	تعداد میوه در بوته	کلروفیل کل (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)
آبیاری	دو روز (شاهد)	۶۸^{a}	۴۳۰^{a}	۶۱/۴۷^{a}	۶۹/۳۱^{a}	۱۹/۷۸^{a}	۲/۱۴^{a}
	چهار روز	۶۵^{ab}	۴۱۴^{ab}	۵۹/۲۲^{ab}	۶۲/۶۹^{b}	۱۹/۳۱^{a}	۲/۱۵^{a}
	شش روز	۶۳^{b}	۴۰۷^{b}	۵۸/۲۵^{b}	۶۳/۶۰^{b}	۱۹/۰۵^{a}	۱/۹۶^{b}
	هشت روز	۵۶^{c}	۳۷۷^{c}	۵۳/۸۲^{c}	۵۴/۲۲^{c}	۱۷/۷۰^{b}	۱/۶۶^{c}
محلول‌پاشی	شاهد	۵۵^{c}	۳۶۶^{c}	۵۲/۲۸^{c}	۵۵/۹۸^{c}	۱۷/۸۳^{b}	۱/۸۱^{c}
	سالیسیلیک اسید	۶۰^{b}	۳۹۵^{b}	۵۶/۵۹^{b}	۶۰/۴۱^{b}	۱۹/۰۳^{a}	۱/۹۵^{b}
	کائولین	۶۸^{a}	۴۳۸^{a}	۶۲/۶۵^{a}	۶۷/۵۵^{a}	۱۹/۶۷^{a}	۲/۱۱^{a}
	سالیسیلیک اسید+کائولین	۶۹^{a}	۴۲۹^{a}	۶۱/۲۴^{a}	۶۵/۸۸^{a}	۱۹/۳۸^{a}	۲/۰۶^{a}

میانگین‌های با حروف مشترک اختلاف آماری معنی‌داری براساس آزمون دانکن در سطح پنج درصد ندارند.

مشاهده شد (جدول ۲). همچنین نتایج نشان داد محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید، کائولین و سالیسیلیک اسید+کائولین به‌ترتیب ۸، ۲۰ و ۱۷ درصد وزن تر بوته را نسبت به شاهد (عدم محلول‌پاشی) افزایش دادند (جدول ۲).

وزن خشک بوته: نتایج نشان داد که اثرات اصلی آبیاری و محلول‌پاشی در سطح یک درصد آماری بر وزن خشک بوته معنی‌دار شد (جدول ۱). دورهای آبیاری ۶ و ۸ روز یک‌بار وزن خشک بوته را نسبت به شاهد کاهش دادند ولی دور آبیاری ۴ روز یک‌بار و ۲ روز یک‌بار اختلاف آماری معنی‌داری برای این صفت نداشتند (جدول ۲). از طرف دیگر همانند وزن تر بوته، همه سطوح محلول‌پاشی وزن خشک بوته را نسبت به شاهد افزایش دادند و بیشترین افزایش در محلول‌پاشی با کائولین و کائولین + سالیسیلیک مشاهده شد (جدول ۲).

عملکرد کل: نتایج نشان داد که عملکرد کل در گیاه گوجه‌فرنگی تنها تحت تأثیر اثرات ساده آبیاری و تیمار محلول‌پاشی قرار گرفت و اثر متقابل این دو تیمار بر این

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-03]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.44.23.9]

صفت معنی‌دار نشد (جدول ۱). افزایش دور آبیاری منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد کل شد به‌طوری‌که میانگین عملکرد در دورهای آبیاری ۴، ۶ و ۸ روز یک‌بار نسبت به شاهد (دو روز یک‌بار) به‌ترتیب ۹، ۱۱ و ۲۱ درصد کاهش یافت (جدول ۲). همچنین نتایج نشان داد که ترکیبات محلول‌پاشی شده نسبت به شاهد باعث افزایش معنی‌دار عملکرد کل نسبت به شاهد شدند و در این بین کائولین و کائولین + سالیسیلیک اسید تأثیر بیشتری بر افزایش این صفت نسبت به سالیسیلیک اسید داشتند (جدول ۲).

تعداد میوه در بوته: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی دور آبیاری و تیمار محلول‌پاشی در سطح یک درصد آماری بر تعداد میوه در بوته معنی‌دار شد. اثر متقابل دور آبیاری × محلول‌پاشی بر تعداد میوه در بوته معنی‌دار نشد (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی دور آبیاری نشان داد که تنها دور آبیاری ۸ روز یک‌بار سبب کاهش معنی‌دار تعداد میوه در بوته نسبت به شاهد شد و دورهای آبیاری ۴ و ۶ روز یک‌بار تأثیر معنی‌داری بر آن نداشتند (جدول ۲). همچنین نتایج نشان داد که محلول‌پاشی ترکیبات سبب افزایش معنی‌دار تعداد میوه در بوته شده و بین ترکیبات محلول‌پاشی (سالیسیلیک اسید، کائولین و سالیسیلیک+کائولین) اختلاف آماری معنی‌داری برای این صفت مشاهده نشد (جدول ۲).

محتوای رطوبت نسبی: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثرات اصلی آبیاری و محلول‌پاشی در سطح یک درصد آماری بر محتوای رطوبت نسبی معنی‌دار شد. همچنین اثر متقابل آبیاری × محلول‌پاشی در سطح ۵ درصد بر این صفت معنی‌دار شد (جدول ۱). به‌طورکلی با افزایش دور آبیاری محتوای رطوبت نسبی روند کاهشی داشت و به کمترین میزان خود در دور آبیاری ۸ روز یک‌بار رسید. در دور آبیاری دو روز یک‌بار هیچ کدام از ترکیبات محلول‌پاشی‌شده تأثیر معنی‌داری بر محتوای رطوبت نسبی نداشتند ولی در سطوح دیگر آبیاری تمام این ترکیبات محتوای رطوبت نسبی را نسبت به شاهد افزایش دادند. از طرف دیگر نتایج نشان داد که بین ترکیبات محلول‌پاشی‌شده تفاوت معنی‌داری وجود نداشت و همگی آن‌ها تقریباً در یک سطح محتوای رطوبت نسبی را تحت تأثیر قرار دادند (شکل ۱).

کلروفیل کل: نتایج نشان داد که اثرات اصلی دور آبیاری و محلول‌پاشی در سطح یک درصد آماری بر محتوای کلروفیل کل معنی‌دار شد (جدول ۱). مقایسه میانگین اثرات اصلی نشان داد که دورهای آبیاری ۶ و ۸ روز یک‌بار نسبت به دور آبیاری ۲ روز یک‌بار سبب کاهش معنی‌دار و به‌ترتیب ۸ و ۲۲ درصدی کلروفیل کل نسبت به شاهد شدند (جدول ۲). همچنین نتایج نشان داد که همه تیمارهای محلول‌پاشی کلروفیل کل را نسبت به شاهد افزایش دادند و تأثیر تیمارهای کائولین و سالیسیلیک اسید+کائولین بیشتر از تیمار سالیسیلیک اسید بود (جدول ۲).

محتوای پرولین: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی دور آبیاری و تیمار محلول‌پاشی در سطح یک درصد آماری بر محتوای پرولین معنی‌دار شد. همچنین اثر متقابل دور آبیاری × محلول‌پاشی در سطح یک درصد بر پرولین معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد که در دورهای مختلف آبیاری، استفاده از تیمارهای محلول‌پاشی تأثیر متفاوتی بر محتوای پرولین در گیاه گوجه‌فرنگی داشت. در دور آبیاری دو روز یک‌بار هیچکدام از سطوح محلول‌پاشی تأثیر معنی‌داری بر محتوای پرولین نداشتند. در دور آبیاری ۴، ۶ و ۸ روز یک‌بار تیمارهای اسید سالیسیلیک و اسید سالیسیلیک+کائولین سبب افزایش معنی‌دار پرولین نسبت به شاهد شدند. همچنین در دور آبیاری ۸ روز یک‌بار تیمار کائولین سبب کاهش پرولین نسبت به شاهد شد (شکل ۲).

مالون دی‌آلدهید: نتایج نشان داد که اثرات اصلی دور آبیاری، محلول‌پاشی و همچنین اثر متقابل این دو تیمار در سطح یک درصد آماری بر میزان مالون دی‌آلدهید معنی‌دار شد (جدول ۳). به‌طورکلی نتایج نشان داد که افزایش دور آبیاری سبب افزایش معنی‌دار تجمع مالون دی‌آلدهید شد. از طرف دیگر در دور آبیاری دو روز یک‌بار هیچکدام از تیمارهای

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-03]

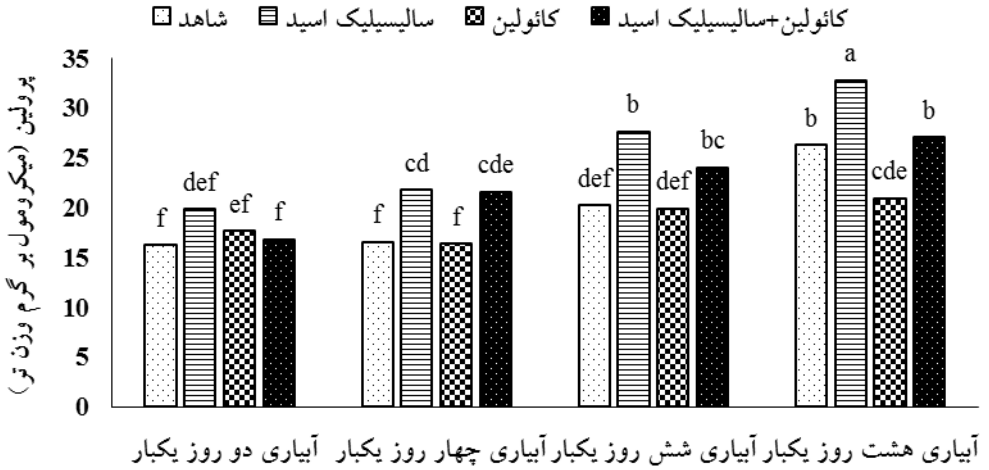
[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.44.23.9]

شکل ۱- اثر محلول‌پاشی کائولین و سالیسیلیک اسید بر محتوای رطوبت نسبی در گیاه گوجه‌فرنگی تحت دورهای مختلف آبیاری

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس صفات بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی گیاه گوجه‌فرنگی تحت تأثیر تیمارهای آبیاری و محلول‌پاشی

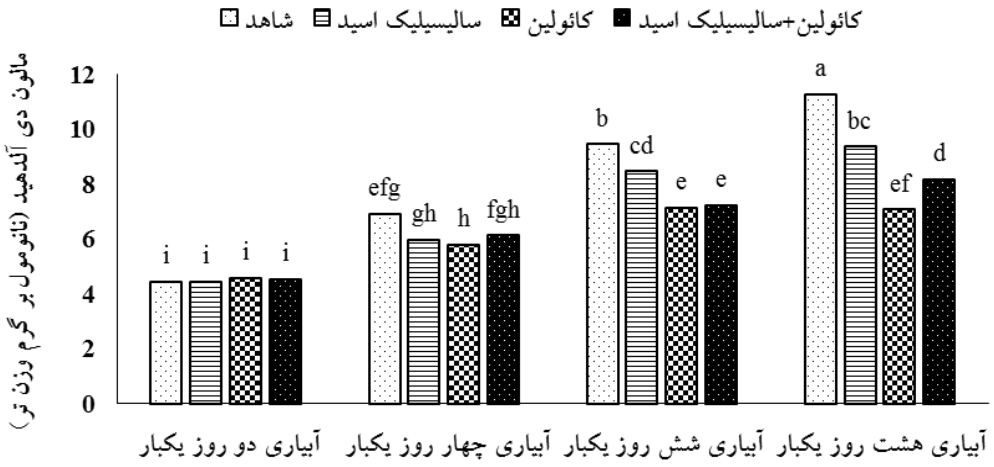
منبع تغییر	درجه آزادی	پرولین	مالون دی‌آلدهید	پراکسیداز	پراکسید هیدروژن	فتوسنتز	تعرق	دمای برگ	دی‌اکسید کربن
بلوک	۲	۶/۷۱	۰/۳۶	۰/۲۳	۰/۴۴	۱/۷۱	۰/۶۹	۰/۰۴	۳۷
آبیاری	۳	۲۰۱/۶۳**	۴۷/۵۹**	۲۱/۵۰**	۶۹/۳۵**	۶/۷۵**	۱/۱۰**	۴/۳۳*	۲۲۷۶۸۳**
خطای فرعی	۶	۱۰/۳۲	۰/۲۶	۰/۲۳	۰/۱۵	۰/۶۶	۰/۲۱	۰/۸۷	۴۷۷۷
تیمار محلول‌پاشی	۳	۱۰۹/۷۱**	۷/۸۹**	۳/۸۶**	۸/۸۱**	۲/۲۵**	۰/۵۸*	۴/۶۱**	۱۷۱۶۹**
آبیاری × محلول‌پاشی	۹	۱۱/۹۱**	۲/۰۱**	۰/۸۸*	۱/۰۱*	۰/۳۳^{ns}	۰/۰۶^{ns}	۲/۳۸*	۱۲۸۲۵^{ns}
خطای آزمایشی	۲۴	۳/۱۰	۰/۳۱	۰/۳۲	۰/۳۸	۰/۳۴	۰/۱۹	۱/۴۶	۱۱۵۵
ضریب تغییرات	-	۸/۱۳	۸/۰۴	۱۳/۱۲	۱۰/۲۳	۱۴/۵۴	۱۹/۹۷	۳/۸۰	۸/۲۷

**: معنی‌دار در سطح ۱ درصد، *: معنی‌دار در سطح ۵ درصد، ns: عدم معنی‌داری



شکل ۲- اثر محلول‌پاشی کائولین و سالیسیلیک اسید بر محتوای پرولین در گیاه گوجه‌فرنگی تحت دورهای مختلف آبیاری

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-03]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.44.23.9]



شکل ۳- اثر محلول‌پاشی کائولین و سالیسیلیک اسید بر مالون دی‌آلدهید در گیاه گوجه‌فرنگی تحت دورهای مختلف

محلول‌پاشی تأثیر معنی‌داری بر این صفت نداشتند. در دور آبیاری ۴ روز یک‌بار تنها تیمار کائولین و در دورهای آبیاری ۶ و ۸ روز یک‌بار هر سه تیمار محلول‌پاشی تجمع مالون دی‌آلدهید را نسبت به شاهد کاهش دادند. بیشترین کاهش مالون دی‌آلدهید (۳۷ درصد کاهش نسبت به شاهد) در دور آبیاری ۸ روز یک‌بار و تحت تأثیر تیمار کائولین مشاهده شد (شکل ۳).

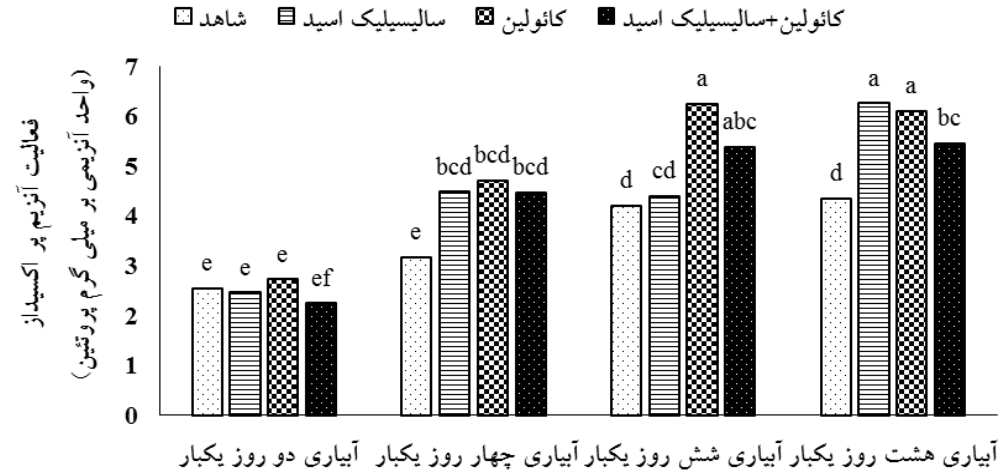
فعالیت آنزیم پراکسیداز: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی دور آبیاری و محلول‌پاشی در سطح یک درصد و اثر متقابل آبیاری × محلول‌پاشی در سطح ۵ درصد آماری بر فعالیت آنزیم پراکسیداز معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد که سطوح محلول‌پاشی در دورهای مختلف آبیاری تأثیر متفاوتی بر فعالیت آنزیم پراکسیداز داشتند. در دورهای آبیاری ۴ و ۸ روز یک‌بار همه ترکیبات محلول‌پاشی‌شده و در دور آبیاری ۶ روز یک‌بار کائولین و سالیسیلیک+کائولین فعالیت آنزیم را نسبت به شاهد افزایش دادند. در دور آبیاری دو روز یک‌بار هیچکدام از ترکیبات محلول‌پاشی‌شده تأثیر معنی‌داری بر فعالیت آنزیم پراکسیداز نداشت (شکل ۴).

پراکسید هیدروژن: نتایج نشان داد که اثرات اصلی دور آبیاری و محلول‌پاشی در سطح یک درصد آماری بر پراکسید هیدروژن معنی‌دار شد. همچنین اثر متقابل دور آبیاری × محلول‌پاشی در سطح ۵ درصد بر پراکسید هیدروژن معنی‌دار شد (جدول ۳). با افزایش دور آبیاری میزان پراکسید هیدروژن در برگ‌های گوجه‌فرنگی روند افزایشی نشان داد و بیشترین میزان پراکسید هیدروژن در تیمار ترکیبی شاهد و دور آبیاری ۸ روز یک‌بار مشاهده شد. از طرف دیگر نتایج نشان داد که محلول‌پاشی تأثیر معنی‌داری بر کاهش پراکسید هیدروژن داشتند. در دور آبیاری ۸ روز یک‌بار تیمار سالیسیلیک اسید بیشترین تأثیر را در کاهش این صفت (۲۵ درصد کاهش نسبت به شاهد) نسبت به تیمارهای دیگر نشان داد (شکل ۵).

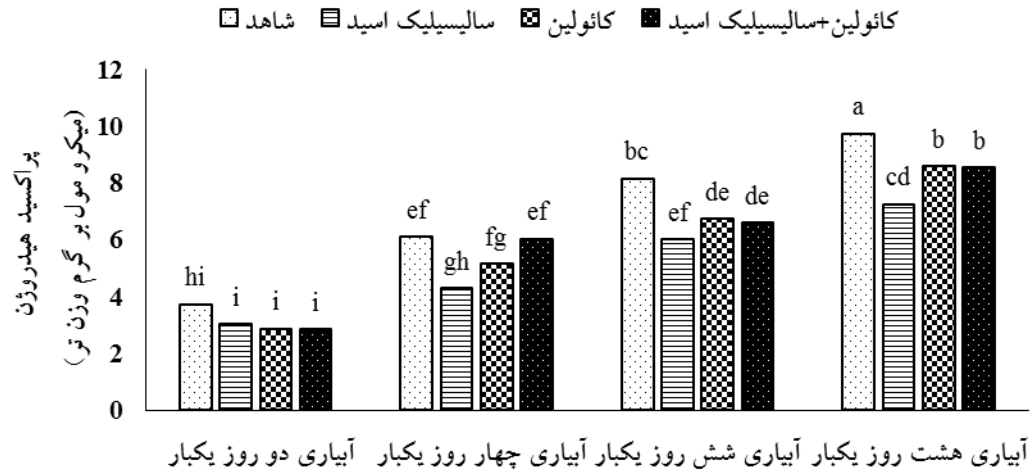
نرخ فتوسنتز: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی آبیاری و تیمار در سطح یک درصد بر نرخ فتوسنتز معنی‌دار شد. اثر متقابل آبیاری × تیمار محلول‌پاشی بر نرخ فتوسنتز معنی‌دار نشد (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با افزایش دور آبیاری نرخ فتوسنتز نیز کاهش یافت به‌طوری‌که کمترین میزان فتوسنتز (۳/۱۵) در دور آبیاری هشت روز یک‌بار مشاهده شد. از طرف دیگر، همه تیمارهای محلول‌پاشی فتوسنتز کل را نسبت به شاهد افزایش دادند و بین تیمار (سالیسیلیک، کائولین و سالیسیلیک+کائولین) اختلاف آماری معنی‌داری برای این صفت مشاهده نشد (جدول ۴).

تعرق: نتایج نشان داد که اثر اصلی آبیاری در سطح یک درصد و اثر اصلی تیمار محلول‌پاشی در سطح پنج درصد بر تعرق معنی‌دار شد (جدول ۳). با افزایش دور آبیاری نرخ تعرق

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-03]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.44.23.9]



شکل ۴- اثر محلول‌پاشی کائولین و سالیسیلیک اسید بر فعالیت آنزیم پراکسیداز در گیاه گوجه‌فرنگی تحت دورهای مختلف آبیاری



شکل ۵- اثر محلول‌پاشی کائولین و سالیسیلیک اسید بر پراکسید هیدروژن در گیاه گوجه‌فرنگی تحت دورهای مختلف

روند کاهشی داشت و کمترین میزان تعرق در دور آبیاری ۸ روز یک‌بار مشاهده شد که نسبت به دور آبیاری دو روز یک‌بار کاهش ۲۷ درصدی نشان داد (جدول ۴). استفاده از کائولین و اسید سالیسیلیک+کائولین نسبت به شاهد نرخ تعرق را افزایش داد ولی کاربرد سالیسیلیک اسید تأثیر معنی‌داری بر آن نداشت (جدول ۴).

دمای برگ: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی آبیاری و محلول‌پاشی و همچنین اثر متقابل این دو عامل بر دمای برگ معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که محلول‌پاشی تأثیر متفاوتی بر دمای برگ در سطوح مختلف آبیاری داشت. به‌طوری‌که در سطوح آبیاری دو و چهار روز یک‌بار هیچکدام از سطوح محلول‌پاشی تأثیر معنی‌داری بر دمای برگ نسبت به شاهد نداشتند ولی در سطوح آبیاری هشت روز یک‌بار کائولین و سالسیلیک اسید دمای برگ را نسبت به شاهد کاهش دادند. همچنین در دور آبیاری شش روز یک‌بار تنها کائولین دمای برگ را نسبت به شاهد کاهش داد (شکل ۶).

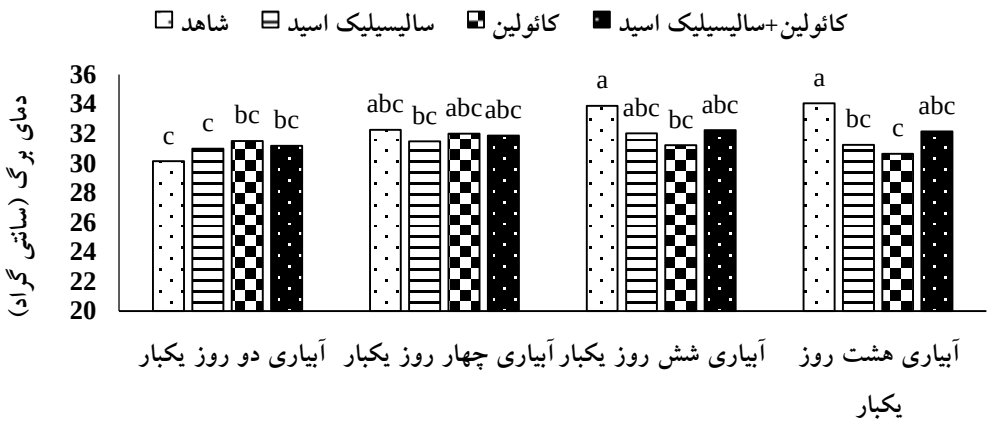
دی‌اکسید کربن زیراتاق روزنه‌ای: اثرات اصلی آبیاری و محلول‌پاشی بر دی‌اکسید کربن زیر اتاق روزنه‌ای معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج نشان داد که با افزایش دور آبیاری دی‌اکسید

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-03]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.44.23.9]

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات اصلی آبیاری و تیمار محلول‌پاشی بر صفات فتوسنتزی گیاه گوجه‌فرنگی

تیمارها	سطوح تیمار	فتوسنتز	تعرق	دی اکسید کربن
		(میکرومول بر متر مربع در ثانیه)		(مول بر متر مربع در ثانیه)
آبیاری	دو روز	۴/۹۴^{a}	۲/۵۲^{a}	۳۶۱^{c}
	چهار روز	۴/۱۴^{b}	۲/۳۶^{ab}	۳۲۸^{d}
	شش روز	۳/۷۵^{b}	۲/۱۲^{bc}	۴۴۹^{b}
	هشت روز	۳/۱۵^{c}	۱/۸۳^{c}	۵۰۲^{a}
محلول‌پاشی	شاهد	۳/۳۵^{b}	۱/۹۸^{b}	۴۴۲^{a}
	سالیسیلیک اسید	۴/۲۸^{a}	۲/۰۵^{ab}	۳۹۹^{a}
	کائولین	۴/۱۷^{a}	۲/۳۸^{a}	۳۹۵^{b}
	سالیسیلیک اسید+کائولین	۴/۱۸^{a}	۲/۴۱^{a}	۴۰۵^{b}

میانگین‌های با حروف مشترک اختلاف آماری معنی‌داری براساس آزمون دانکن در سطح پنج درصد ندارند.



شکل ۶- اثر محلول‌پاشی کائولین و سالیسیلیک اسید بر دمای برگ در گیاه گوجه‌فرنگی تحت دورهای مختلف آبیاری

کربن زیر اتاق روزنه‌ای روند افزایشی داشت و به بیشترین میزان خود در دور آبیاری ۸ روز یک‌بار رسید که نسبت به شاهد افزایش ۳۹ درصدی نشان داد (جدول ۴). از طرف دیگر نتایج نشان داد که کائولین و سالیسیلیک اسید+کائولین نسبت به شاهد سبب کاهش دی‌اکسید کربن زیراتاق روزنه‌ای شدند، درحالی‌که سالیسیلیک اسید تأثیر معنی‌داری بر آن نداشت (جدول ۴).

بحث

نتایج این تحقیق نشان داد که افزایش دور آبیاری و تنش خشکی ناشی از آن، آثار منفی بر رشد و عملکرد گیاه گوجه‌فرنگی داشت. در این تحقیق با افزایش دور آبیاری ارتفاع بوته، وزن تر و خشک گیاه، تعداد میوه و همچنین عملکرد کل به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. احتمالاً به این دلیل که در شرایط تنش خشکی محتوای کلرفیل کاهش یافته و به تبع آن فتوسنتز و تولید مواد پرورده محدود شده است. از طرف دیگر در شرایط تنش خشکی تولید بیش از حد رادیکال‌های آزاد، از جمله پراکسید هیدروژن، منجر به تنش اکسیداتیو شده و در این شرایط غشاهای سلول آسیب دیده و تجمع مالون دی‌آلدهید مشاهده می‌شود (Jaleel *et al.*, 2009). استفاده از

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-03]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.44.23.9]

کائولین و سالیسیلیک اسید سبب بهبود پاسخ‌های رشدی و عملکرد گیاه گوجه‌فرنگی در دورهای آبیاری مختلف شد. در این رابطه گزارش شده است که استفاده از سالیسیلیک و کائولین آثار تنش بر گیاه را کاهش داده و منجر به افزایش عملکرد گیاهان می‌شود (Brito *et al*., 2018). افزایش تنش اکسیداتیو منجر به آسیب کلروپلاست شده و محتوای کلروفیل را کاهش می‌دهد (Laxa *et al*., 2019). در تحقیق حاضر نیز در دورهای آبیاری ۶ و ۸ روز یک‌بار غلظت کلروفیل کل نسبت به دور آبیاری دو روز یک‌بار به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. مشابه با این نتایج کاهش کلروفیل در گوجه‌فرنگی تحت تنش خشکی گزارش شده است (Ghanbari and Sayyari, 2018). در تحقیق حاضر هر دو ترکیب سالیسیلیک اسید و کائولین محتوای کلروفیل کل را نسبت به شاهد افزایش دادند که نشان‌دهنده تأثیر مثبت این مواد در کاهش آثار تنش بر گیاه است. بنابراین بهبود رشد و عملکرد گیاه گوجه‌فرنگی در شرایط دور آبیاری طولانی ممکن است ناشی از افزایش کلروفیل در این شرایط باشد.

محتوای رطوبت نسبی یکی از مهم‌ترین شاخص‌های ارزیابی تعادل آب در گیاه است که به‌شدت تحت تأثیر تنش‌های محیطی قرار می‌گیرد. در تحقیق حاضر با افزایش دور آبیاری محتوای رطوبت نسبی در برگ‌های گوجه‌فرنگی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. کاهش محتوای رطوبت نسبی در گیاهان تحت تنش ناشی از تنش اسمزی است و گیاهانی که بتوانند در پایان دوره تنش سطح آب بالاتری داشته باشند به شرایط تنش پاسخ بهتری نشان خواهند داد (AbdAllah, 2019). استفاده از تیمارهای سالیسلیک اسید و کائولین سبب بازیابی محتوای رطوبت نسبی شده و با افزایش دور آبیاری اثر بخشی این تیمارها افزایش یافت. احتمالاً به این دلیل که شرایط دور آبیاری طولانی اثر منفی بیشتری بر محتوای رطوبت نسبی گذاشت. بهبود محتوای رطوبت نسبی در گیاهان مختلف تحت تنش با استفاده از تیمارهای سالیسیلیک اسید و کائولین گزارش شده است که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد (khan *et al*., 2015; Abdallah, 2019). در شرایط کمبود آب روزنه‌های گیاهی بسته شده تا گیاه آب کمتری را از طریق فرآیند تعرق از دست دهد. بدون شک اسید آبسزیک نقش اساسی را در باز و بسته شدن روزنه‌ها در گیاهان تحت تنش ایفا می‌کند. در برخی گیاهان تیمار سالیسیلیک اسید نیز سبب بسته‌شدن روزنه‌ها شده است (Khan *et al*., 2015). در این رابطه گزارش شده است که کاربرد سالیسیلیک اسید با افزایش تجمع گونه‌های واکنش-گر اکسیژن و غیر فعال‌سازی کانال یون پتاسیم سبب بسته‌شدن روزنه‌ها می‌شوند (Khokon *et al*., 2011). از طرف دیگر کاهش هدایت روزنه‌ای و اتلاف آب در گیاه گوجه‌فرنگی تحت تنش شوری گزارش شده است (Cantore *et al*., 2009). بنابراین به‌نظر می‌رسد که استفاده از تیمارهای کائولین و سالیسیلیک اسید با تأثیر بر حرکات روزنه‌ای منجر به کاهش اتلاف آب و بهبود وضعیت آب گیاه در شرایط تنش خشکی می‌شوند.

تنش خشکی همانند سایر تنش‌های محیطی درنهایت منجر به تولید رادیکال‌های آزادشده و آسیب اکسیداتیو به پروتئین‌ها، لیپیدها و اسیدهای نوکلئیک را تشدید می‌کند (Jaleel *et al*., 2009). پراکسیداسیون لیپیدهای غشا و درنتیجه تولید مالون دی‌آلدهید نتیجه غیرقابل انکار آسیب اکسیداتیو در سلول‌های گیاهی است که معمولاً به‌عنوان یک شاخص ارزیابی به شرایط تنش در گیاهان مورد استفاده قرار می‌گیرد (Khan *et al*., 2015). در تحقیق حاضر نیز افزایش پراکسید هیدروژن و مالون دی‌آلدهید در گیاهان گوجه‌فرنگی تحت آبیاری طولانی مشاهده شد. احتمالاً به این دلیل که گیاه گوجه‌فرنگی تحمل کمی به تنش خشکی دارد و با افزایش دور آبیاری آسیب می‌بیند. همچنین دمای بالای محل انجام آزمایش اثر تشدید کننده بر واکنش گیاه به دور آبیاری طولانی خواهد داشت. برای مقابله با این شرایط تولید مولکول‌های پاک‌کننده رادیکال‌های آزاد ضروری است (Borsani *et al*., 2001; Alam *et al*., 2013; Bernardo *et al*., 2017). نتایج نشان داد که استفاده از کائولین و سالیسیلیک اسید سبب افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز شده و درنتیجه پراکسید هیدروژن و مالون دی‌آلدهید را نسبت به شاهد کاهش داد. بهبود فعالیت

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-03]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.44.23.9]

آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در اثر تیمار کائولین و سالیسیلک در گیاهان مختلف گزارش شده است که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد (Alam *et al*., 2013; Brito *et al*., 2018). در این رابطه گزارش شده است که تیمار کائولین با تغییر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان شرایط بهتری را برای گیاه فراهم می‌کند تا بتواند خسارت اکسیداتیو را کاهش دهد (Bernardo *et al*., 2017). از طرف دیگر، گزارش شده است که تیمار سالیسیلیک اسید با تنظیم اجزای مهم آنزیمی و غیرآنزیمی شبکه آنتی‌اکسیدانی گیاه منجر به تحمل تنش اکسیداتیو در گیاهان تحت تنش خشکی می‌شود (Alam *et al*., 2013). در واقع بهبود سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه درنتیجه تیمار کائولین و سالیسیلیک اسید نشان‌دهنده فعال‌شدن پاسخ دفاعی گیاه به شرایط تنش است.

دمای سطح برگ در گیاهان به‌شدت تحت تأثیر انرژی تابشی نور خورشید است و در اثر جریان تعرق گیاه دمای برگ کاهش می‌یابد. در شرایط تنش خشکی، کاهش آب گیاه منجر به بسته‌شدن روزنه‌ها شده و فرآیند تعرق کاهش می‌یابد. درنتیجه افزایش دمای برگ اتفاق می‌افتد (Boari *et al*., 2015). در تحقیق حاضر نیز افزایش دور آبیاری تا ۸ روز منجر به افزایش دمای برگ گوجه‌فرنگی تا حدود ۴ درجه سانتی‌گراد شد. تنش گرمایی به‌عنوان عامل اصلی کاهش عملکرد و کیفیت میوه گوجه‌فرنگی شناخته شده است (Sato *et al*., 2001). استفاده از تیمار کائولین در دور آبیاری ۶ و ۷ روز یک‌بار سبب کاهش دمای برگ نسبت به شاهد شد. کاهش دمای برگ درنتیجه تیمار کائولین در مطالعات دیگر گزارش شده است که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد (Cantore *et al*., 2009; Boari *et al*., 2015). در این رابطه گزارش شده است که ذرات سفید کائولین بر روی سطوح گیاهان باعث افزایش بازتاب اشعه خورشید، تغییر زاویه تابش، تعادل حرارت و کاهش خطر آسیب به برگ و میوه در درجه حرارت بالا می‌شوند و درنتیجه آثار تنش‌های محیطی بر گیاه را کاهش می‌دهند (Glenn, 2012). از طرف دیگر نتایج نشان داد که تیمار کائولین سبب افزایش فتوسنتز و تعرق شده و دی‌اکسید کربن زیراتاق روزنه‌ای را نسبت به شاهد کاهش داد. به‌طور مشابه با این نتایج گزارش شده است که تیمار کائولین در غلظت مناسب با افزایش هدایت روزنه‌ای و کاهش دمای برگ سبب افزایش فتوسنتز و تنفس گیاهان تحت تنش‌های محیطی می‌شود (Boari *et al*., 2015). برخلاف این نتایج برخی از نویسندگان گزارش کردند که تیمار کائولین با افزایش بازتاب نور و درنتیجه کاهش نور ورودی به سطح برگ، سبب کاهش نرخ تثبیت در گیاهان می‌شود (Cantore *et al*., 2009). همچنین پارامترهای غیرروزنه‌ای مانند تغییر در سنتز کلروفیل، تغییرات ساختاری در کلروپلاست‌ها و اختلال در فرآیندهای حمل و توزیع مواد تثبیت‌شده بر فرآیند فتوسنتز گیاهان تأثیر می‌گذارد (Chaves *et al*., 2009). علاوه بر این، تنش خشکی باعث اختلال در رنگدانه‌های فتوسنتزی می‌شود که صدمات جبران‌ناپذیری به دستگاه فتوسنتز وارد می‌کند، تبادل گاز را کاهش می‌دهد و منجر به کاهش رشد و بهره‌وری گیاه می‌شود (Anjum *et al*., 2011). همان‌طور که در نتایج گفته شد کاربرد خارجی سالیسیلیک اسید و کائولین منجر به افزایش کلروفیل، محتوای رطوبت نسبی، فعالیت آنزیم پراکسیداز و پرولین شد. بنابراین ممکن است تیمارهای کائولین و سالیسیلیک اسید با تأثیر بر این فرآیندها پارامترهای فتوسنتزی گیاه را نیز متأثر کنند.

در تحقیق حاضر اثر کاربرد ترکیبی سالیسیلیک اسید و کائولین نیز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که استفاده هم‌زمان از این دو تیمار سبب افزایش پارامترهای رشدی و عملکرد در گیاه گوجه‌فرنگی شد. همچنین تیمار هم‌زمان سالیسیلیک اسید و کائولین محتوای رطوبت نسبی، فعالیت آنزیم پراکسیداز، غلظت کلروفیل، نرخ تنفس و فتوسنتز را افزایش و میزان مالون دی‌آلدهید و پراکسید هیدروژن را نسبت به شاهد کاهش داد. در بیشتر صفات مورد ارزیابی استفاده از تیمار ترکیبی اثر مشابه با تیمار کائولین برجای گذاشت و اثر هم‌افزایی بین دو تیمار دیده نشد. احتمالاً به این دلیل که کائولین و سالیسیلیک اسید اثرات مشابهی بر پاسخ‌های گیاه نسبت به شرایط تنش دارند و یا اینکه امکان بهبود تحمل به

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-03]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.44.23.9]

تنش در گیاه گوجه‌فرنگی در شرایط آزمایش محدود بوده و تنها با یک تیمار قابل دست‌یافتن است.

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی نتایج این تحقیق نشان داد که افزایش دور آبیاری در گیاه گوجه‌فرنگی با تغییر فیزیولوژی گیاه منجر به کاهش رشد و عملکرد می‌شود. کاربرد کائولین و سالیسیلیک اسید تا حدودی می‌تواند آثار تنش خشکی ناشی از دور آبیاری طولانی بر گیاه را کاهش دهد. استفاده از این تیمارها با افزایش محتوای رطوبت نسبی، کلروفیل، فعالیت آنزیم پراکسیداز، نرخ تنفس و فتوسنتز سبب کاهش آثار تنش از جمله کاهش مالون دی‌آلدهید و پراکسید هیدروژن شده و عملکرد گیاه را در شرایط تنش بهبود بخشید. استفاده هم‌زمان از دو تیمار اثر هم‌افزایی نداشت بنابراین کاربرد کائولین در درجه اول و سالیسیلیک اسید در درجه دوم برای کاهش آثار تنش خشکی در گیاه گوجه‌فرنگی توصیه می‌شود.

منابع

Abdallah, A. (2019) Impacts of kaolin and pinoline foliar application on growth, yield and water use efficiency of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) grown under water deficit: A comparative study. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences 18: 256-268.

Alam, M. M., Hasanuzzaman, M., Nahar, K. and Fujita, M. (2013) Exogenous salicylic acid ameliorates short-term drought stress in mustard (*Brassica juncea* L.) seedlings by up-regulating the antioxidant defense and glyoxalase system. Australian Journal of Crop Sciences 7: 1053-1063.

Alexieva, V., Sergiev, I., Mapelli, S. and Karanov, E. (2001) The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. Plant, Cell and Environment 24: 1337-1344.

Anjum, S. A., Farooq, M., Wang, L. C., Xue, L. L., Wang, S. G., Wang, L. and Chen, M. (2011) Gas exchange and chlorophyll synthesis of maize cultivars are enhanced by exogenously-applied glycinebetaine under drought conditions. Plant, Soil and Environment 57: 326-331.

Bates, L. S., Waldren, R. P. and Teare, I. D. (1973) Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil 39: 205-207.

Bernardo, S., Dinis, L. T., Luzio, A., Pinto, G., Meijon, M., Valledor, L. and Moutinho-Pereira, J. (2017) Kaolin particle film application lowers oxidative damage and DNA methylation on grapevine (*Vitis vinifera* L.). Environmental and Experimental Botany 139: 39-47.

Boari, F., Donadio, A., Schiattone, M. I. and Cantore, V. (2015) Particle film technology: A supplemental tool to save water. Agricultural Water Management 147: 154-162.

Borsani, O., Valpuesta, V. and Botella, M. A. (2001) Evidence for a role of salicylic acid in the oxidative damage generated by NaCl and osmotic stress in Arabidopsis seedlings. Plant Physiology 126: 1024-1030.

Brito, C., Dinis, L. T., Silva, E., Gonçalves, A., Matos, C., Rodrigues, M. A. and Correia, C. (2018) Kaolin and salicylic acid foliar application modulate yield, quality and phytochemical composition of olive pulp and oil from rainfed trees. Scientia Horticulturae 237: 176-183.

Cantore, V., Pace, B. and Albrizio, R. (2009) Kaolin-based particle film technology affects tomato physiology, yield and quality. Environmental and Experimental Botany 66: 279-288.

Chaves, M. M., Flexas, J. and Pinheiro, C. (2009) Photosynthesis under drought and salt stress: Regulation mechanisms from whole plant to cell. Annals of Botany 103: 551-560.

De Pascale, S., Ruggiero, C., Barbieri, G. and Maggio, A. (2003) Physiological responses of pepper to salinity and drought. Journal of the American Society for Horticultural Science 128: 48-54.

Ghanbari, F. and Sayyari, M. (2018) Controlled drought stress affects the chilling-hardening capacity of tomato seedlings as indicated by changes in phenol metabolisms, antioxidant enzymes activity, osmolytes concentration and abscisic acid accumulation. Scientia Horticulturae 229: 167-174.

Glenn, D. M. (2012) The mechanisms of plant stress mitigation by kaolin-based particle films and applications in horticultural and agricultural crops. HortScience 47: 710-711.

Hara, M., Furukawa, J., Sato, A., Mizoguchi, T. and Miura, K. (2012) Abiotic Stress Responses in Plants. Springer, New York, NY.

Hayat, S., Hasan, S. A., Fariduddin, Q. and Ahmad, A. (2008) Growth of tomato (*Lycopersicon esculentum*) in response to salicylic acid under water stress. Journal of Plant Interactions 3: 297-304.

Jaleel, C. A., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Al-Juburi, H. J., Somasundaram, R. and Panneerselvam, R. (2009) Drought stress in plants: A review on morphological characteristics and pigments composition. International Journal of Agricultural and Biology 11: 100-105.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-03]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.44.23.9]

Khan, M. I. R., Fatma, M., Per, T. S., Anjum, N. A. and Khan, N. A. (2015) Salicylic acid-induced abiotic stress tolerance and underlying mechanisms in plants. Frontiers in Plant Science 6: 462.

Khokon, M. A. R., Okuma, E. I. J. I., Hossain, M. A., Munemasa, S., Uraji, M., Nakamura, Y. and Murata, Y. (2011) Involvement of extracellular oxidative burst in salicylic acid-induced stomatal closure in Arabidopsis. Plant, Cell and Environment 34: 434-443.

Kumar, R., Solankey, S. S. and Singh, M. (2012) Breeding for drought tolerance in vegetables. Vegetable Science 39: 1-15.

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

Plewa, M. J., Smith, S. R. and Wagner, E. D. (1991) Diethyldithiocarbamate suppresses the plant activation of aromatic amines into mutagens by inhibiting tobacco cell peroxidase. Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis 247: 57-64.

Rai, A. C., Singh, M. and Shah, K. (2013) Engineering drought tolerance tomato plants over-expressing BcZAt12 gene encoding aC_2H_2 zinc finger transcription factor. Phytochemistry 85: 44-50.

Rao, N. S., Bhatt, R. M. and Sadashiva, A. T. (2000) Tolerance to water stress in tomato cultivars. Photosynthetica 38: 465-467.

Raskin, I. (1992) Role of salicylic acid in plants. Annual Review of Plant Biology 43: 439-463.

Sato, S., Peet, M. M. and Gardner, R. G. (2001) Formation of parthenocarpic fruit, undeveloped flowers and aborted flowers in tomato under moderately elevated temperatures. Scientia Horticulturae 90: 243-254.

Senaratna, T., Touchell, D., Bunn, E. and Dixon, K. (2000) Acetyl salicylic acid (Aspirin) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato plants. Plant Growth Regulation 30: 157-161.

Stewart, R. R. and Bewley, J. D. (1980) Lipid peroxidation associated with accelerated aging of soybean axes. Plant Physiology 65: 245-248.

Strain, H. H. and Svec, W. A. (1966) Extraction, Separation, Estimation, and Isolation of the Chlorophylls. In the Chlorophylls. Academic Press.

Yardanov, I., Velikova, V. and Tsonev, T. (2003) Plant responses to drought and stress tolerance. Bulgarian Journal of Plant Physiology 1: 187-206.

Zlatev, Z. and Lidon, F. C. (2012) An overview on drought induced changes in plant growth, water relationsand photosynthesis. Emirates Journal of Food and Agriculture 3: 57-72.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-03]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.44.23.9]

The effects of salicylic acid and kaolin on growth, yield and some physiological responses of tomatoe under different irrigation intervals

Fardin Ghanbari*, Mehdi Seidi, Sadola Akbari, Simin Gravand

Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran
(Received: 11/01/2021, Accepted: 09/03/2021)

Abstract

Due to the dry climate and water shortage in Iran, the use of any substances that can increase the plant's tolerance to water stress is very important. In this study, the effects of exogenous application of salicylic acid (SA) and kaolin (KL) on drought stress tolerance of tomato plants was evaluated in field conditions. Experimental factors included foliar application (including control, 0.5 mM SA, 2.5% KL and simultaneous application of SA + KL) and irrigation intervals (at four levels of 2, 4, 6 and 8 days). The results showed that increasing the irrigation interval in tomato plant led to a decrease in growth and yield in this plant. As compared to the controls, irrigation intervals of 4, 6 and 8 days decreased total yield as much as 9, 11 and 21%, respectively. The relative water content, total chlorophyll, transpiration and photosynthesis decreased while malondialdehyde, proline, peroxidase as well as hydrogen peroxide increased with the increase of irrigation intervals. Both SA and KL were effective in reducing the adverse effects of drought stress on plant growth and productivity. Application of SA and KL improved plant growth and yield by increasing chlorophyll, relative water content, peroxidase activity, photosynthesis rate and transpiration. The highest effect of foliar spraying was observed at irrigation intervals of 6 and 8 days. Also, the results showed that the simultaneous application of SA + KL did not have a synergistic effect on plant growth and productivity in comparison to their separate application. According to the obtained results, the use of KL or SA is recommended to reduce the effects of prolonged irrigation on the tomato plant.

Keywords: Drought, Foliar application, Malondialdehyde, Photosynthesis, Transpiration

Corresponding author, Email: f.ghanbari@ilam.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-03]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.44.23.9]