

تأثیر اسید جاسمونیک و اسید سالیسیلیک بر تغییرات رشدی و فیزیولوژیک گیاه گوجه فرنگی تحت تنش شوری

مریم حقیقی^{۱*} و فاطمه منصوری^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۳/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۵/۲۷)

چکیده

اسید جاسمونیک و اسید سالیسیلیک به عنوان انتقال دهنده پیام در عکس العمل گیاهان به تنش های زنده و غیرزنده، از جمله شوری، عمل می کنند. به منظور بررسی اثر سطوح مختلف تنش شوری و کاربرد اسید جاسمونیک و اسید سالیسیلیک بر رشد و فتوسنتز گیاه گوجه فرنگی، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی اصفهان انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل سطوح مختلف شوری (S⁰ شاهد، S¹ شوری ۱۰۰، S² شوری ۱۵۰ و S³ شوری ۲۰۰ میلی مولار) و سطوح مختلف اسید جاسمونیک (JA¹ شاهد، JA² یک و JA³ دو میلی مولار) و اسید سالیسیلیک (SA¹ شاهد و SA² ۱۰ میلی مولار) با سه تکرار، برنامه ریزی شدند. نتایج نشان داد که اسید سالیسیلیک باعث کاهش وزن تر و خشک شاخساره در شوری S⁰ و افزایش این شاخص ها در شوری S³ شد. در شوری های S¹ و S²، اسید جاسمونیک در غلظت زیاد (JA³) باعث کاهش وزن تر شاخساره شد. میزان فعالیت آنتی اکسیدانی در S¹ و S⁰ با افزودن اسید جاسمونیک روند افزایشی و در S² روند نزولی داشت. فعالیت آنتی اکسیدانی و میزان پرولین در غلظت های کم شوری تحت تأثیر اسید جاسمونیک و اسید سالیسیلیک افزایش یافت، اما در غلظت های زیاد شوری مؤثر نبود. به طور کلی، به نظر می رسد استفاده از هورمون های مذکور در سطوح کم شوری با تغییر در میزان فتوسنتز و کلروفیل بر میزان رشد و کاهش آن تحت تنش شوری مؤثرتر از غلظت های زیاد شوری است. همچنین، اسید جاسمونیک در غلظت های کمتر، مؤثرتر از غلظت های زیاد آن عمل کرد.

کلمات کلیدی: فتوسنتز، فعالیت روزنه ای، تنظیم کننده های رشد

مقدمه

پس از تنش خشکی، تنش شوری عمده ترین تنش محیطی است که از طریق کاهش پتانسیل اسمزی و اختلال در جذب برخی عناصر غذایی، رشد و عملکرد محصولات را محدود می کند. گیاهانی که در خاک های شور رشد می کنند، به دلیل خواص

تنش های محیطی از عوامل محدود کننده تولیدات زراعی هستند که با مختل ساختن متابولیسم طبیعی گیاه، رشد آن را محدود کرده و در نهایت، محصول را کاهش می دهند (۴). در اکثر مناطق دنیا،

۱. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mhaghghi@cc.iut.ac.ir

فرایندهای فیزیولوژیک مختلف مثل رشد و نمو گیاه، جذب یون‌ها، فتوسنتز و جوانه‌زنی ایفا می‌کنند (۱۷). اسید سالیسیلیک بسته به غلظت، زمان و گیاه مورد استفاده، دارای آثار دوگانه است. اما در غلظت‌های مناسب، با کاهش تخریب رنگیزه کلروفیل، افزایش توان آنتی‌اکسیدانی سلول و سنتز پروتئین‌های جدید، از دستگاه فتوسنتزی حمایت می‌کند (۱۵). پاپاوا و همکاران (۱۵) بیان کردند که اسید سالیسیلیک باعث تأخیر در کاهش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی در شرایط تنش شوری شده است. طبق گزارش‌های خودری (۱۳)، اسید سالیسیلیک به‌علت تعدیل در کاهش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی و احتمالاً با حفظ ساختار و فعالیت رویسکو باعث افزایش مقدار فندها می‌شود. گزارش شده که تیمار بذری و محلول‌پاشی برگ‌ی بوته لوبیا با اسید سالیسیلیک تحت تنش شوری باعث افزایش طول شاخساره، تعداد و سطح برگ در بوته، وزن تازه بوته، راندمان مصرف آب، محتوای کلروفیل و کاروتنوئید، پرولین، آسکوربیک اسید و غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم و کلسیم شد (۱۱). رحیمی تشی و همکاران (۳) هم گزارش کردند که در گندم، پیش‌تیمار بذرها با اسید سالیسیلیک، در شرایط تنش، پارامترهای رشد، رنگیزه‌های فتوسنتزی و محتوای پروتئین کل را افزایش و اثرات مخرب تنش شوری در گیاه گندم را تا حدی بهبود داد.

اسید جاسمونیک به‌عنوان گروه جدید از تنظیم‌کننده‌های رشد درون‌زا در بسیاری از گونه‌های گیاهی شناخته شده است که بسیاری از پاسخ‌های فیزیولوژیک و محیطی را تنظیم می‌کند. اسید جاسمونیک عضوی از رده جاسمونات‌های هورمون گیاهی است. اسید جاسمونیک ابتدا در کلروپلاست و در ادامه در پراکسی‌زوم‌ها از اسید لینولئیک ساخته می‌شود. بزرگترین وظیفه اسید جاسمونیک تنظیم کردن رشد گیاه است که شامل ممانعت از رشد، پیری و ریزش برگ گیاه است. این اسید، همچنین در به‌وجود آمدن جوانه در سیب‌زمینی، سیب‌زمینی هندی و پیاز نقش دارد. این اسید نقش مهمی در پیچ‌خوردگی در گیاهان و همچنین مقاومت سیستماتیک آنان دارد. هنگامی که گیاهان توسط حشره‌ها مورد حمله قرار می‌گیرند، گیاهان با آزاد کردن

اسمزی، علاوه بر تنش شوری، با تنش کم‌آبی مواجه شده، که این عامل سبب کاهش سرعت رشد گیاه می‌شود. این امر موجب اختلال در تقسیم سلولی و بزرگ شدن سلول‌ها شده و تمام واکنش‌های متابولیک گیاه تحت تأثیر قرار می‌گیرد. همچنین، افزایش یون‌های سدیم و کلر موجب کاهش جذب یون‌های ضروری، از جمله پتاسیم، کلسیم، آمونیم و نیترات شده و از فعالیت آنزیم‌ها کاسته و ساختار غشاء را برهم می‌زند (۱۲). جدا از اثرهای سمی و اسمزی شوری، غلظت زیاد کلرید سدیم باعث افزایش تشکیل گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود. گونه‌های فعال اکسیژن به شدت فعال بوده و در صورت عدم حضور هرگونه مکانیزم کلات‌کنندگی باعث تحریک تغییرات زیاد در متابولیسم طبیعی از طریق اکسیداسیون چربی‌ها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک می‌شود (۷).

رشد گیاهان نتیجه تلفیق و تنظیم فرایندهای فیزیولوژیک است. محدودیت رشد گیاهان نمی‌تواند به یک فرایند فیزیولوژیک نسبت داده شود. فرایند غالب فیزیولوژیک، فتوسنتز است. اولین تأثیر تنش شوری و خشکی روی فتوسنتز است (۶). شواهدی وجود دارد که به‌دلیل کاهش سنتز و یا تخریب رنگدانه‌های موجود در گیاه (کلروفیل و کاروتنوئیدها) در اثر شوری، فتوسنتز گیاه به شدت دچار کاهش می‌شود (۱۸).

گیاهان پس از درک شرایط تنش، پیام‌هایی را به جریان‌های مختلف متابولیک سلولی می‌فرستند تا ژن‌های دفاعی فعال شوند. مولکول‌های زیادی از جمله اسید جاسمونیک، اتیلن و اسید سالیسیلیک به‌عنوان انتقال‌دهنده پیام در شرایط تنش معرفی شده‌اند (۱۷). اسید جاسمونیک و متیل استر آن (متیل جاسمونات)، ژن‌های دخیل در عکس‌العمل گیاهان به تنش‌های زنده و غیرزنده را القا می‌کنند (۱۷). آنها از طریق فعال کردن فرایندهایی شامل بسته شدن روزنه‌ها، تنظیم هدایت آبی و تنظیم فرایندهای توسعه-ای مؤثر بر مقاومت به تنش، مانند پیری و ریزش، درگیر هستند (۹). اسید سالیسیلیک یا ارتو‌هیدروکسی بنزوئیک اسید و ترکیبات مربوطه، به گروهی از ترکیبات فنولی تعلق دارند (۹) که از سلول‌های ریشه تولید می‌شوند و نقش محوری در تنظیم

پس از اعمال تیمارها) اندازه‌گیری شدند.

به‌منظور اندازه‌گیری وزن تر شاخساره و ریشه، شاخساره و ریشه از محل طوقه از هم جدا و با کمک ترازوی دیجیتال وزن شد و برای اندازه‌گیری وزن خشک در آون دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد و مجدداً با کمک ترازو وزن شد.

شاخص کلروفیل برگ، که نمایانگر میزان کلروفیل برگ است، توسط دستگاه کلروفیل سنس (SPAD) (مدل ۵۰۲ ساخت شرکت مینولتا، ژاپن) اندازه‌گیری شد.

به‌منظور اندازه‌گیری میزان فتوسنتز در واحد سطح برگ (میکرومول CO_2 بر مترمربع بر ثانیه)، مقاومت روزنه‌ای (مترمربع در ثانیه در مول)، میزان تعرق (میلی مول بر مترمربع بر ثانیه) و غلظت CO_2 درون روزنه‌ای (میکرومول بر مول) از دستگاه پرتابل سنس فتوسنتز (LI, 6100 شرکت لای‌کور، ایالات متحده آمریکا) استفاده شد. تمامی اندازه‌گیری‌ها در ساعت ۱۱ صبح و در شدت نور معادل ۱۲۰۰-۱۴۰۰ میکرومول فوتون بر مترمربع بر ثانیه انجام شد. در هر تیمار، صفات مورد نظر از برگ‌های میانی کاملاً توسعه‌یافته با ۳ تکرار اندازه‌گیری شد. داده‌ها ۳۰ ثانیه پس از قرار دادن برگ در داخل محفظه دستگاه ثبت شدند (۱۰). هدایت مزوفیلی (میلی مول CO_2 در مترمربع در ثانیه) از تقسیم کردن فتوسنتز به غلظت CO_2 درون روزنه‌ای به دست آمد (۱۰). به‌منظور تعیین کارایی مصرف آب فتوسنتزی (میکرومول CO_2 بر مول H_2O) میزان فتوسنتز به هدایت روزنه‌ای تقسیم شده است. کارایی مصرف آب فتوسنتزی شاخصی است که میزان فتوسنتز به ازای هر واحد هدایت روزنه‌ای و تعرق را نشان می‌دهد.

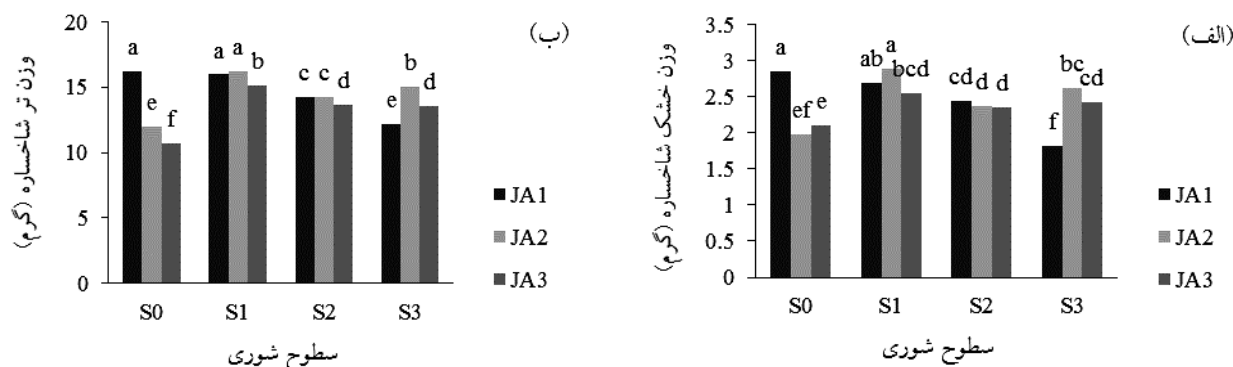
اندازه‌گیری میزان فنول کل شاخساره با استفاده از فولین کالتیو بر اساس روش مک دونالد و همکاران (۵) بر پایه میزان گالیک اسید در هر گرم وزن تازه شاخساره با استفاده از اسپکتروفتومتر (V-530, JASCO, Japan) با طول موج ۷۶۵ نانومتر انجام شد. به‌منظور اندازه‌گیری میزان فنول مترشحه ریشه (Root exudates) بدین صورت عمل شد که ریشه گیاه

اسید جاسمونیک، واکنش نشان می‌دهند. این عمل، از هضم کردن پروتئین توسط حشره ممانعت به‌عمل می‌آورد. تیمار درختان زیتون تحت تنش شوری با اسید جاسمونیک باعث افزایش مقاومت درختان به شوری و در نتیجه افزایش تشکیل میوه، مقدار محصول و ویژگی‌های کیفی میوه شد (۸).

با توجه به اینکه بخش وسیعی از کشور ایران را مناطق شور و یا مناطق با محدودیت آبی تشکیل می‌دهد، لذا اتخاذ فنون مناسب با هدف افزایش تحمل گیاهان به شرایط تنش‌زا، ضروری به‌نظر می‌رسد. بنابراین، هدف این مطالعه، بررسی اثر اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک بر ویژگی‌های رشد، فاکتورهای فتوسنتزی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و پاسخ‌های گیاه گوجه‌فرنگی به تنش شوری به‌منظور درک بیشتر مکانیزم‌های مقاومت در این گیاهان است.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر سطوح مختلف شوری، اسید جاسمونیک و اسید سالیسیلیک بر خصوصیات رویشی، فتوسنتزی و فنول گیاه گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum L.*)، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی اصفهان انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل سطوح مختلف شوری (S0 شاهد، S1 شوری ۱۰۰، S2 شوری ۱۵۰ و S3 شوری ۲۰۰ میلی‌مولار) و سطوح مختلف اسید جاسمونیک (JA1 شاهد، JA2 یک و JA3 دو میلی‌مولار) و اسید سالیسیلیک (SA1 شاهد و SA2 ۱۰ میلی‌مولار) با سه تکرار بود. پس از استقرار کامل نشاهای انتقال یافته به گلدان‌ها (یک هفته بعد از انتقال نشاها) تیمارها اعمال شد. بدین منظور، تیمارهای شوری طی سه مرحله در سه روز متوالی به‌صورت آبیاری به گیاهان داده شد تا به غلظت مورد نظر رسید. پس از گذشت یک هفته از اعمال تیمار شوری، اسید جاسمونیک و اسید سالیسیلیک به‌صورت هفتگی روی گیاهان محلول‌پاشی شدند. سپس فاکتورهای فتوسنتزی، میزان پرولین، فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی و میزان فنول، ۱۰ روز پس از اعمال تیمار شوری و وزن تر و خشک شاخساره و ریشه در پایان آزمایش (یک ماه



شکل ۱. اثر متقابل سطوح شوری و غلظت‌های مختلف اسید جاسمونیک بر الف) وزن خشک شاخساره و ب) و وزن تر شاخساره. ستون‌هایی که در یک حرف مشترک هستند، تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ بر اساس آزمون LSD ندارند. (JA1 شاهد، JA2 یک، JA3 دو میلی‌مولار اسید جاسمونیک، S0 شاهد، S1 شوری ۱۰۰، S2 شوری ۱۵۰، S3 شوری ۲۰۰ میلی‌مولار)

در دو غلظت شوری S1 و S2 نسبت به زمانی که اسید جاسمونیک استفاده نشده بود نداشت (شکل ۱- الف و ب).

وزن تر و خشک شاخساره با افزایش شوری از سطح S0 تا S2 کاهش یافته، ولی افزودن اسید سالیسیلیک در S3، تحت تأثیر افزودن SA1، باعث افزایش وزن شاخساره شده است (شکل ۲- الف و ب).

وزن تر و خشک ریشه با افزودن اسید جاسمونیک در سطح شوری شاهد کاهش یافت. وزن تر ریشه با افزایش غلظت اسید جاسمونیک در S1 افزایش یافت. JA2 و JA3 باعث افزایش وزن تر در S2 و وزن خشک در S1، S2 و S3 شدند. اما این دو غلظت اسید جاسمونیک تفاوت معنی‌داری نداشتند (شکل ۳- الف و ب). وزن تر ریشه در سطح شوری شاهد، در هر دو غلظت اسید سالیسیلیک کمترین مقدار را داشت و در بین این دو تیمار کمترین مقدار در S0 و SA1 مشاهده شد و بیشترین وزن خشک ریشه در SA1 و S1 و کمترین مقدار در S0 و SA1 بود (شکل ۴- الف و ب).

سرعت فتوسنتز در JA2 در کلیه سطوح شوری افزایش و در JA1 و JA3 کاهش یافت و بیشترین سطح فتوسنتز در S0 و JA2 دیده شد. میزان تعرق با افزودن اسید جاسمونیک در سطوح S1، S2 و S3 کاهش یافت. بیشترین تعرق در JA1 و S1 دیده شد (شکل ۵).

به مدت ۴ ساعت در آب مقطر قرار داده شده و هوادهی در آن صورت گرفت. پس از خروج عصاره ریشه، میزان فنول در آن اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی برگ‌های گیاه گوجه‌فرنگی، به ۲/۰ گرم از بافت تازه ۱۰ میلی‌لیتر متانول اضافه شد، سپس سانتریفیوژ شد و به ۵۰ میکرولیتر عصاره متانولی به ۹۵۰ میکرولیتر محلول DPPH اضافه شده و سپس در دمای اتاق به مدت ۱۵ دقیقه در شرایط تاریکی نگه‌داری و سرانجام کاهش در جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۱۵ نانومتر تعیین شد:

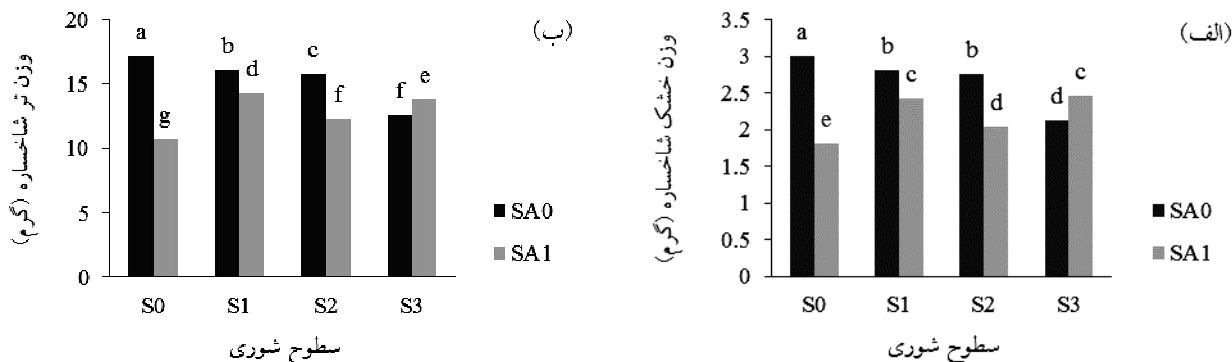
$$DPPH_{sc} = \left(\frac{A_{cont} - A_{samp}}{A_{cont}} \right) \times 100 \quad [1]$$

که DPPH_{sc} درصد بازدارندگی، A_{samp} میزان جذب (نمونه + DPPH) و A_{cont} میزان جذب DPPH است.

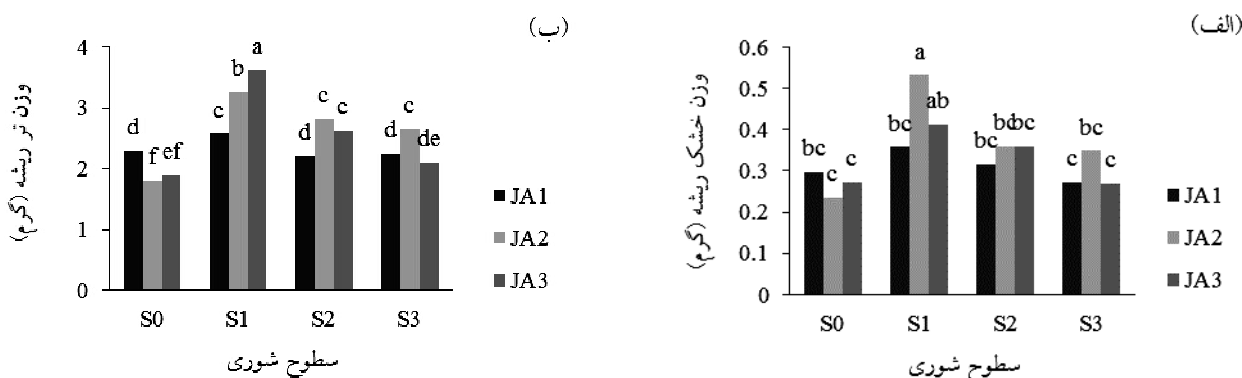
تجزیه و تحلیل آماری با برنامه آماری Statistix8 انجام و مقایسه میانگین داده‌ها به کمک آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ محاسبه شد.

نتایج

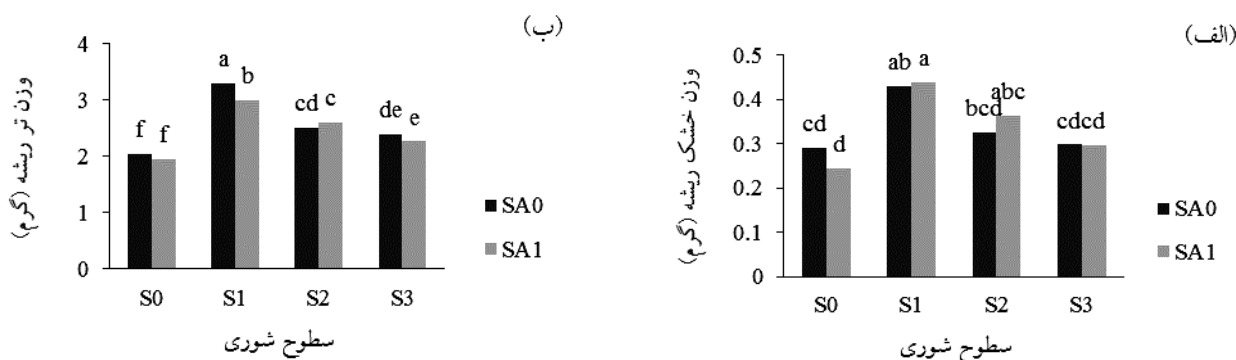
اسید سالیسیلیک در شوری S0 باعث کاهش و در شوری S3 موجب افزایش وزن تر و خشک شاخساره شد. در شوری‌های S1 و S2 اسید جاسمونیک در غلظت زیاد (JA3) باعث کاهش وزن تر شاخساره شد و وزن خشک شاخساره تفاوت معنی‌داری



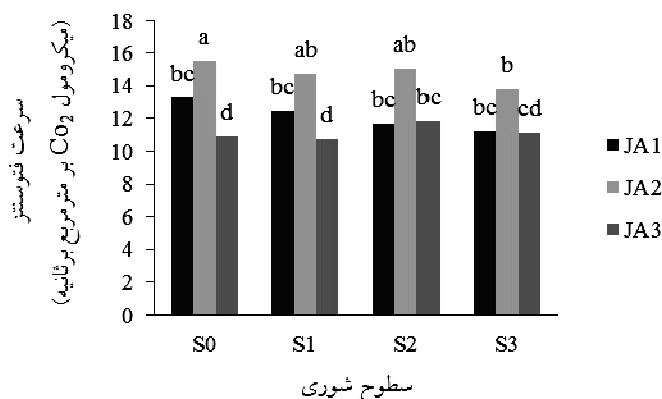
شکل ۲. اثر متقابل سطوح شوری و غلظت‌های مختلف اسید جاسمونیک بر الف) وزن خشک شاخساره و ب) وزن تر شاخساره. ستون‌هایی که در یک حرف مشترک هستند، تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ بر اساس آزمون LSD ندارند. (SA1 شاهد، SA2 ۱۰ میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید، S۰ شاهد، S۱ شوری ۱۰۰، S۲ شوری ۱۵۰، S۳ شوری ۲۰۰ میلی‌مولار).



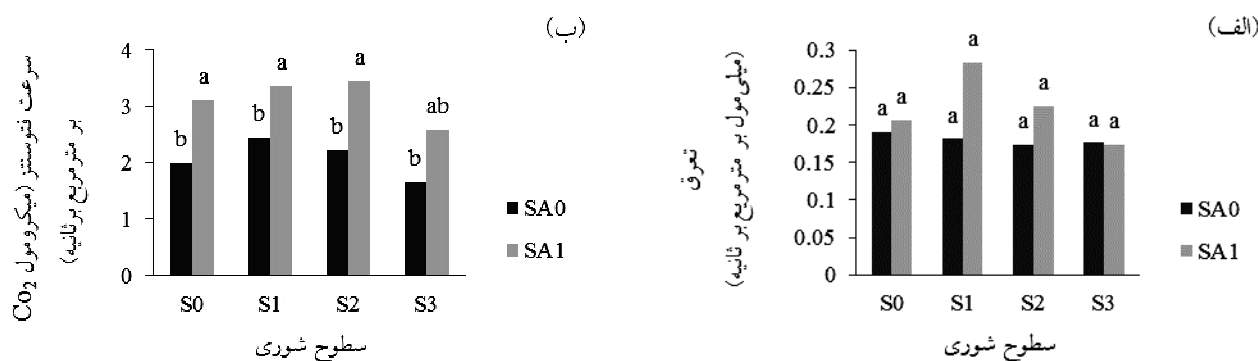
شکل ۳. اثر متقابل سطوح شوری و غلظت‌های مختلف اسید جاسمونیک بر الف) وزن خشک ریشه و ب) وزن تر ریشه. ستون‌هایی که در یک حرف مشترک هستند، تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ بر اساس آزمون LSD ندارند. (JA۱ شاهد، JA۲ یک، JA۳ دو میلی‌مولار جاسمونیک‌اسید، S۰ شاهد، S۱ شوری ۱۰۰، S۲ شوری ۱۵۰، S۳ شوری ۲۰۰ میلی‌مولار).



شکل ۴. اثر متقابل سطوح شوری و غلظت‌های مختلف اسید سالیسیلیک بر الف) وزن خشک ریشه و ب) وزن تر ریشه. ستون‌هایی که در یک حرف مشترک هستند، تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ بر اساس آزمون LSD ندارند. (SA۱ شاهد، SA۲ ۱۰ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک، S۰ شاهد، S۱ شوری ۱۰۰، S۲ شوری ۱۵۰، S۳ شوری ۲۰۰ میلی‌مولار).



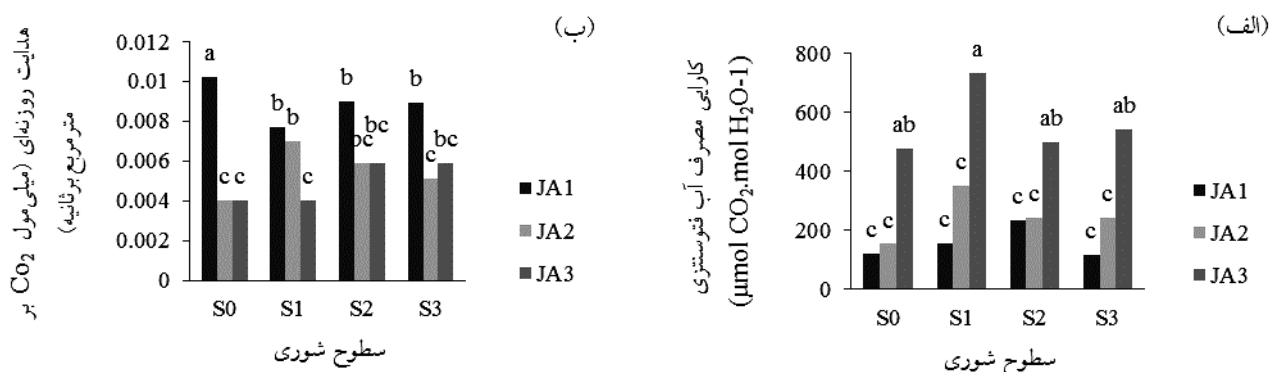
شکل ۵. اثر متقابل سطوح شوری و غلظت‌های مختلف اسید جاسمونیک بر سرعت فتوسنتز. ستون‌هایی که در یک حرف مشترک هستند، تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ بر اساس آزمون LSD ندارند. (JA1 شاهد، JA2 یک، JA3 دو میلی‌مولار اسید جاسمونیک، S0 شاهد، S1 شوری ۱۰۰، S2 شوری ۱۵۰، S3 شوری ۲۰۰ میلی‌مولار).



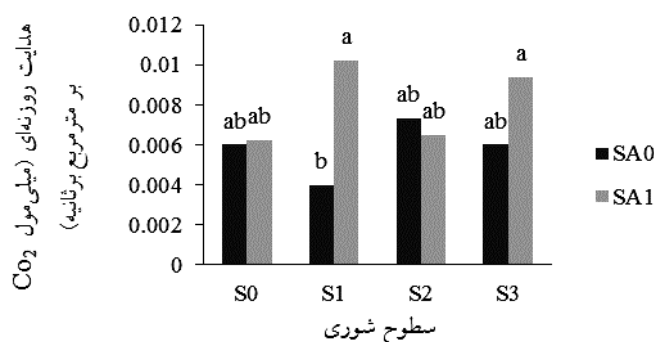
شکل ۶. اثر متقابل سطوح شوری و غلظت‌های مختلف اسید سالیسیلیک بر (الف) تعرق و (ب) و سرعت فتوسنتز. ستون‌هایی که در یک حرف مشترک هستند، تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ بر اساس آزمون LSD ندارند. (SA1 شاهد، SA2 ۱۰ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید، S0 شاهد، S1 شوری ۱۰۰، S2 شوری ۱۵۰، S3 شوری ۲۰۰ میلی‌مولار).

اسید جاسمونیک افزایش یافت. کارایی مصرف آب فتوسنتزی در JA3 در کلیه سطوح شوری افزایش یافت (شکل ۷-الف و ب). هدایت روزنه‌ای در SA1 در شوری S1 و S3 افزایش داشت (شکل ۸). کارایی مصرف آب فتوسنتزی با افزودن اسید سالیسیلیک تفاوت معنی‌داری نداشت (داده‌ها نشان داده نشده است). هدایت مزوفیلی روند مشخصی در سطوح شوری نداشت و بیشترین مقدار را در S1 و JA2 داشت. میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی در S0 و S1 با افزودن اسید جاسمونیک روند افزایشی و در S2 روند نزولی داشت و در S3 تغییر معنی‌داری

سرعت فتوسنتز با افزودن SA1 در کلیه سطوح شوری افزایش یافت (شکل ۶) و تعرق گیاهان در تیمارهای مختلف تفاوت معنی‌داری نداشت (داده‌ها نشان داده نشده است). هدایت روزنه‌ای با افزودن اسید جاسمونیک در کلیه سطوح شوری کاهش یافت و این کاهش در سطح شوری شاهد در هر دو سطح JA1، JA2 و S1 و JA3، JA2 و S3 نسبت به عدم استفاده از اسید جاسمونیک در آن سطح شوری کاهش معنی‌داری داشت. بیشترین هدایت روزنه‌ای در S0 و JA1 دیده شد. کارایی مصرف آب فتوسنتز در تمامی سطوح شوری با کاربرد سطح سوم



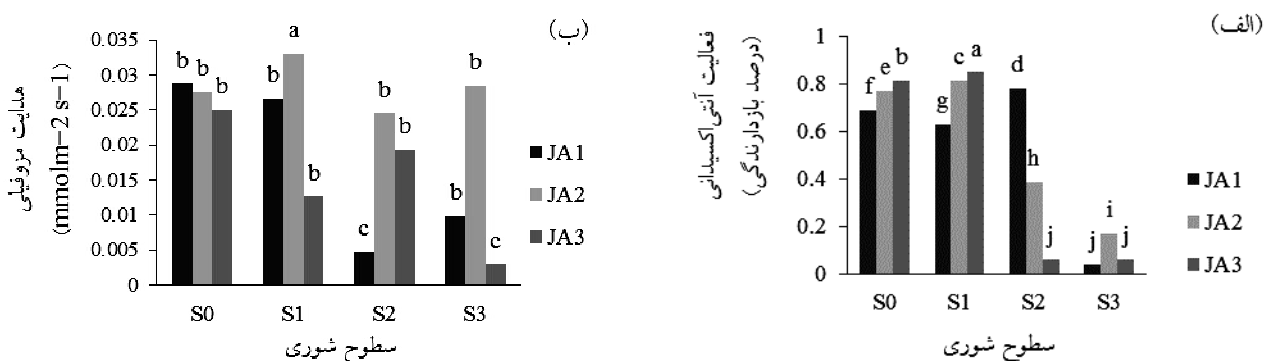
شکل ۷. اثر متقابل سطوح شوری و غلظت‌های مختلف اسید جاسمونیک بر الف) کارایی آب مصرفی فتوسنتز و ب) و هدایت روزنه‌ای. ستون‌هایی که در یک حرف مشترک هستند، تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ بر اساس آزمون LSD ندارند. (JA1 شاهد، JA2 یک، JA3 دو میلی‌مولار اسید جاسمونیک، S0 شاهد، S1 شوری ۱۰۰، S2 شوری ۱۵۰، S3 شوری ۲۰۰ میلی‌مولار).



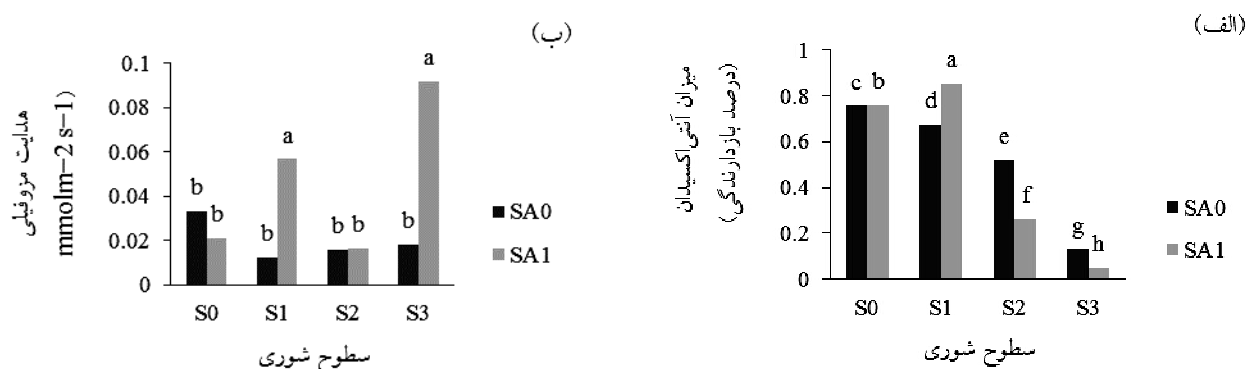
شکل ۸. اثر متقابل سطوح شوری و غلظت‌های مختلف اسید سالیسیلیک بر هدایت روزنه‌ای. ستون‌هایی که در یک حرف مشترک هستند، تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ بر اساس آزمون LSD ندارند. (SA1 شاهد، SA2 ۱۰ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک، S0 شاهد، S1 شوری ۱۰۰، S2 شوری ۱۵۰، S3 شوری ۲۰۰ میلی‌مولار).

کلروفیل در S1 و JA2 دیده شد (شکل ۱۱- الف و ب). میزان کلروفیل در کلیه سطوح شوری به جز S3 با افزودن SA1 کاهش یافت و در S3 تفاوت معنی‌داری نداشت. میزان پروتئین در SA1 در شوری S0 و S1 کاهش و در S2 و S3 افزایش یافت (شکل ۱۲- الف و ب). کلروفیل فلورسانسی در S1 با افزودن اسید جاسمونیک افزایش یافت و در سایر سطوح تفاوت معنی‌داری نداشت. اما تحت تأثیر تیمار اسید سالیسیلیک در S0 و S3 افزایش یافت و در سایر سطوح شوری تغییر معنی‌داری نداشت (شکل ۱۳- الف و ب).

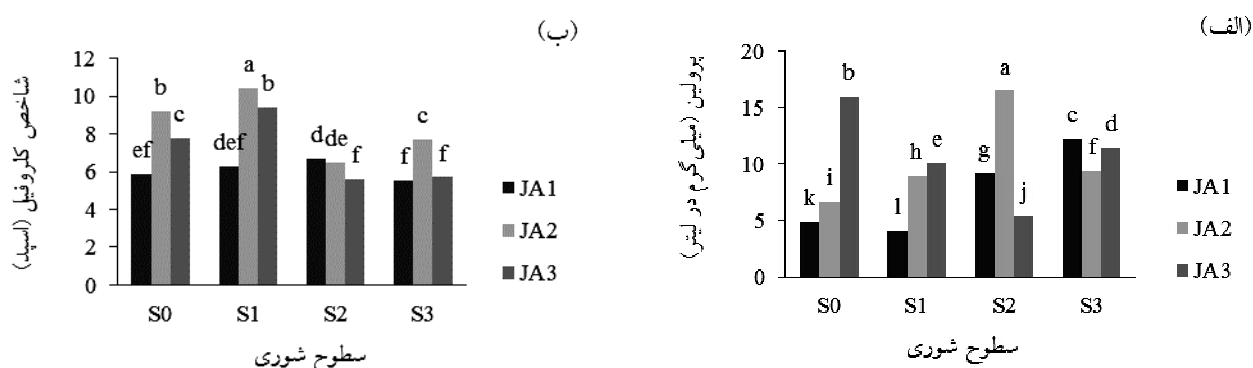
دیده نشد. بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی در S1 و JA3 دیده شد (شکل ۹- الف و ب). هدایت مزوفیلی با افزودن SA1 در S1 و S3 افزایش یافت. آنتی‌اکسیدان در S0 و S1 با افزودن SA1 افزایش و در S2 و S3 کاهش یافت (شکل ۱۰- الف و ب). میزان پروتئین با افزودن JA1 و JA2 در سطح شوری شاهد و S1 افزایش و در S2 ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت و در S3 بالعکس بود. بیشترین میزان پروتئین در S2 و JA3 دیده شد. شاخص کلروفیل با افزودن اسید جاسمونیک در S0 و S1 افزایش یافت. در S2 و S3 روند منظمی نداشت. بیشترین



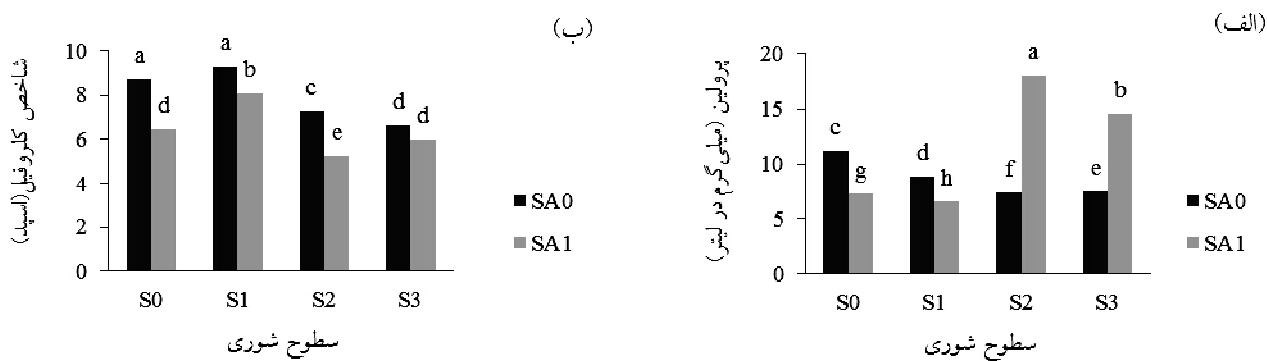
شکل ۹. اثر متقابل سطوح شوری و غلظت‌های مختلف اسید جاسمونیک بر الف) هدایت مزوفیلی و ب) فعالیت آنتی‌اکسیدانی. ستون‌هایی که در یک حرف مشترک هستند، تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ بر اساس آزمون LSD ندارند. (JA1 شاهد، JA2 یک، JA3 دو میلی‌مولار اسید جاسمونیک، S0 شاهد، S1 شوری ۱۰۰، S2 شوری ۱۵۰، S3 شوری ۲۰۰ میلی‌مولار).



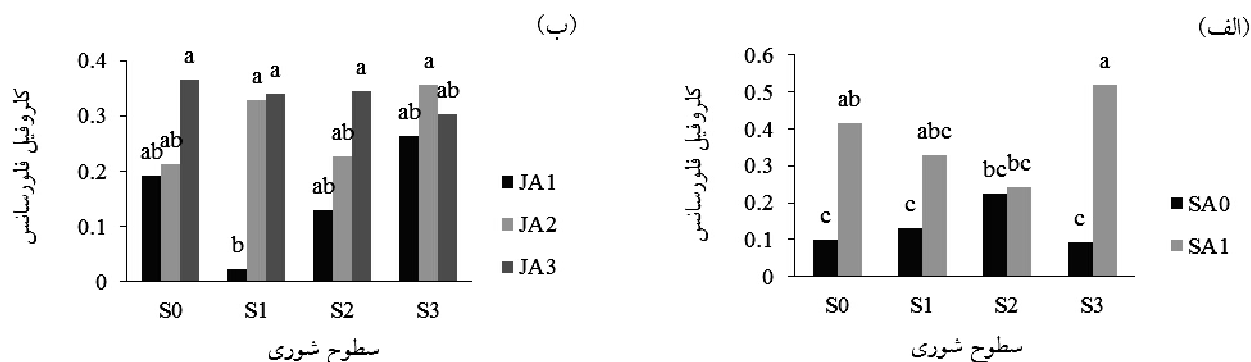
شکل ۱۰. اثر متقابل سطوح شوری و غلظت‌های مختلف اسید جاسمونیک بر هدایت مزوفیلی (الف) و فعالیت آنتی‌اکسیدانی (ب). ستون‌هایی که در یک حرف مشترک هستند، تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ بر اساس آزمون LSD ندارند. (SA1 شاهد، SA2 ۱۰ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک، S0 شاهد، S1 شوری ۱۰۰، S2 شوری ۱۵۰، S3 شوری ۲۰۰ میلی‌مولار).



شکل ۱۱. اثر متقابل سطوح شوری و غلظت‌های مختلف اسید جاسمونیک بر الف) پروتئین و ب) شاخص کلروفیل. ستون‌هایی که در یک حرف مشترک هستند، تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ بر اساس آزمون LSD ندارند. (JA1 شاهد، JA2 یک، JA3 دو میلی‌مولار اسید جاسمونیک، S0 شاهد، S1 شوری ۱۰۰، S2 شوری ۱۵۰، S3 شوری ۲۰۰ میلی‌مولار).



شکل ۱۲. اثر متقابل سطوح شوری و غلظت‌های مختلف اسید جاسمونیک بر (الف) پرولین و (ب) شاخص کلروفیل. ستون‌هایی که در یک حرف مشترک هستند، تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ بر اساس آزمون LSD ندارند. (SA۱ شاهد، SA۲ ۱۰ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک، S۰ شاهد، S۱ شوری ۱۰۰، S۲ شوری ۱۵۰، S۳ شوری ۲۰۰ میلی‌مولار).



شکل ۱۳. اثر متقابل سطوح شوری و غلظت‌های مختلف اسید جاسمونیک و اسید سالیسیلیک بر کلروفیل فلورسانس. ستون‌هایی که در یک حرف مشترک هستند، تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ بر اساس آزمون LSD ندارند. (JA۱ شاهد، JA۲ یک، JA۳ دو میلی‌مولار اسید جاسمونیک، S۰ شاهد، S۱ شوری ۱۰۰، S۲ شوری ۱۵۰، S۳ شوری ۲۰۰ میلی‌مولار).

بحث

وزن تر و خشک

در حالی که عبدال لاتف و هی (۵) گزارش کردند که اعمال تیمار تنش شوری با غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار باعث کاهش وزن خشک ریشه، ساقه، برگ و سطح برگ بوته‌های گوجه‌فرنگی تحت تیمار شد، نتایج آزمایش حاضر نشان داد که تیمار بوته‌های تحت تنش شوری با اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک اثر مطلوبی بر وزن تر و خشک شاخساره بوته‌های تحت تنش شوری داشت، با توجه به این که تیمارهای هورمونی مورد بررسی باعث افزایش سرعت فتوسنتز شده،

می‌توان اینگونه نتیجه‌گیری کرد که با افزایش فتوسنتز، وزن تر و خشک شاخساره بهبود یافته است. ال ساید و همکاران (۸) گزارش کردند که تیمار درختان زیتون تحت تنش شوری با ۱۵۰ میلی‌گرم اسید جاسمونیک باعث افزایش سطح برگ آنها شد. رادی و محمد (۱۶) گزارش کردند که تیمار بذرها و شاخساره لوبیا با اسید سالیسیلیک تحت تنش شوری باعث افزایش پارامترهای مربوط به رشد رویشی شد. همچنین، بیات و همکاران (۱) گزارش کردند که تنش شوری ۳۰۰ میلی‌مولار، میزان ارتفاع و وزن زیست‌توده اطلسی ایرانی را به‌ترتیب به‌میزان ۵۲ و ۵۹ درصد نسبت به شاهد کاهش داد و کاربرد

اسید سالیسیلیک با غلظت ۲ میلی‌مولار باعث افزایش ارتفاع به میزان ۴۰ درصد نسبت به شاهد تحت شرایط بدون تنش شد. نتایج گزارش شده با نتایج پژوهش حاضر همسو است. نتایج نشان داد که اعمال تیمار شوری، وزن تر و خشک ریشه را افزایش داد. این افزایش ممکن است در اثر افزایش رشد ریشه به دلیل تنش خشکی ایجاد شده ناشی از شوری باشد تا ریشه‌ها سطح جذب آب را افزایش دهند. برخلاف بی‌اثر بودن تیمارهای اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک بر وزن تر شاخساره، برخی از غلظت‌های این دو هورمون باعث افزایش وزن تر و خشک ریشه شد. اسید سالیسیلیک در سنتز پروتئین‌های خاصی به نام کیناز نقش دارد. این پروتئین‌ها نقش مهمی در تنظیم تقسیم، تمایز و ریخت‌زایی سلول بازی می‌کنند (۳).

شاخص‌های فتوستتزر

نتایج نشان داد که سرعت فتوستتزر گیاهان تحت تنش شوری به میزان معنی‌داری کاهش نیافت. احتمالاً عدم کاهش وزن خشک و تر شاخساره که خود سطح فتوستتزر کننده گیاه را تعیین می‌کند، دلیلی بر عدم کاهش سرعت فتوستتزر در این آزمایش است. تیمار یک میلی‌مولار اسید جاسمونیک و تیمار بوته‌های گوجه‌فرنگی با اسید سالیسیلیک، سرعت فتوستتزر را افزایش داد. از طرفی، به نظر می‌رسد اسید جاسمونیک با بستن روزنه‌ها باعث کاهش تعرق، هدایت روزنه‌ای و هدایت مزوفیلی خصوصاً در غلظت زیاد JA۳ شده است و به دنبال آن میزان فتوستتزر کاسته شده است. کاهش میزان فتوستتزر تحت تأثیر عوامل روزنه‌ای است، نه میزان کلروفیل، زیرا میزان کلروفیل در راستای فتوستتزر کاهش نیافته است. از طرفی، اسید جاسمونیک با بستن روزنه‌ها و کاهش تعرق کمک به حفظ پتانسیل آب گیاه و جلوگیری از کاهش وزن، خصوصاً ریشه، کرده است و با حفظ رشد ریشه و به دنبال آن حفظ جذب آب و عناصر غذایی، وزن خشک شاخساره و ریشه نیز کمتر تحت تأثیر شوری قرار گرفته است. با بسته شدن روزنه‌ها و حفظ آب

در فضای بین سلولی برگ‌ها، کارایی مصرف آب فتوستتزی، خصوصاً در JA۳، افزایش یافته و فتوستتزر در سطح بهینه ادامه می‌یابد.

نظر و همکاران (۱۴) گزارش کردند که افزایش در فتوستتزر لویبا با اعمال تیمار ۵/۰ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک تحت تنش شوری همزمان با افزایش هدایت روزنه‌ای و غیرروزنه‌ای فتوستتزر است. احتمالاً تیمار بوته‌های تحت تنش شوری با اسید سالیسیلیک باعث کاهش محتوای یون‌های سدیم، کلر و القای فعالیت ATP-سولفوریلاز و نترات ردوکتاز و در نتیجه افزایش محتوای نیتروژن و گوگرد با هم شرکت در متابولیسم گروه نیول پروتئین‌ها (سیستئین) به سرعت گلوکوتایون را متابولیزه کرده، گلوکوتایون حاصل نقش مهمی در متابولیسم سلولی و مقاومت به تنش در مقابل رادیکال‌های آزاد بازی می‌کند (۱۱).

اعمال تیمار شوری اثر چندانی بر میزان تعرق بوته‌ها نداشت. تیمار بوته‌ها با اسید جاسمونیک، میزان تعرق بوته‌ها را کاهش داد. در حالی‌که اسید سالیسیلیک اثر معنی‌داری در کاهش تعرق بوته‌ها نداشت. احتمالاً اسید جاسمونیک میزان انتقال اسیدآبسیزیک از ریشه به برگ یا تولید اسیدآبسیزیک در برگ‌ها را افزایش داده و به این ترتیب باعث بسته شدن روزنه‌ها و کاهش مقدار تعرق از آنها شده است. اثر ضدتعرقی اسید جاسمونیک در برخی از غلظت‌های مورد آزمایش باعث کاهش هدایت روزنه‌ای و در نتیجه کاهش غلظت دی‌اکسید کربن بین سلولی و کاهش فتوستتزر شده است. افزایش میزان اسید آبسیزیک در اثر تیمار اسید سالیسیلیک توسط رادی و محمد (۱۶) گزارش شده است که با توجه به بی‌اثر بودن اسید سالیسیلیک در کاهش تعرق در پژوهش حاضر، با نتایج این آزمایش همسو نیست. همچنین، افزایش هدایت روزنه‌ای بوته‌های تحت تنش در اثر تیمار با اسید سالیسیلیک بر عدم تأثیر سالیسیلیک بر کاهش تعرق تأکید دارد.

تیمار بوته‌های تحت تنش با اسید جاسمونیک یک میلی‌مولار، کارایی مصرف آب فتوستتزی را افزایش داد. در حقیقت می‌توان اینگونه بیان کرد که تیمار گیاهان تحت تنش با

و همکاران (۸) گزارش کردند که اسید جاسمونیک اثر مثبت بر محتوای کلروفیل برگ زیتون داشت. نتایج این آزمایش با نتایج پژوهش حاضر همسو است. احتمالاً اسید سالیسیلیک پیری برگ‌ها را به تأخیر انداخته و کلروفیل آنها را تحت شرایط تنش حفظ کرده است. ممکن است این تغییرات در اثر القای بیوستتز سایتوکینین باشد.

پرولین

پرولین به عنوان یک ماده حفاظت کننده غیرسمی جهت تنظیم اسمزی در شرایط شوری و سایر تنش‌های محیطی مطرح است. همچنین، پرولین تجمع یافته در گیاهان رادیکال‌های آزاد هیدروکسل را خنثی می‌کند. بنابراین، به نظر می‌رسد که تجمع پرولین به عنوان سازوکاری مؤثر جهت کاهش فعالیت رادیکال‌های آزاد و حفظ محتوای آب یاخته‌ای گیاه، تحت تنش شوری مطرح باشد (۳). نتایج نشان داد که در برخی از سطوح تنش شوری، اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک میزان پرولین را در غلظت‌های زیاد شوری و اسید جاسمونیک و غلظت‌های کم اسید سالیسیلیک و شوری افزایش داد. احتمالاً اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های درگیر در سنتز پرولین باعث افزایش سطح پرولین شدند. تجمع پرولین دارای نقش تنظیم اسمزی، حفظ پایداری غشا و پروتئین است و موجب ذخیره کربن، نیتروژن و انرژی می‌شود (۱۲). ال ساید و همکاران (۸) نیز گزارش کردند که تیمار اسید جاسمونیک دارای اثر مثبت بر محتوای پرولین برگ زیتون تحت تنش شوری بود. حاج‌باقری و همکاران (۲) نیز گزارش کردند که پیش تیمار گیاهان ریحان با غلظت ۰/۲ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک، مقدار پرولین را در اندام هوایی و ریشه افزایش داد؛ که با نتایج پژوهش حاضر همسو است.

کلروفیل فلورسانس

نتایج نشان داد که تیمار بوته‌های تحت تنش با اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک میزان کلروفیل فلورسانس (Fv/Fm) را

اسید جاسمونیک باعث صرف سهم زیادی از آب در فرایند فتوسنتز و از دست رفتن سهم کمتری از آن در اثر تعرق می‌شود. داده‌های مربوط به میزان تعرق نیز بر این موضوع تأکید دارد. تیمار بوته‌های تحت تنش با اسید سالیسیلیک باعث افزایش میزان هدایت مزوفیلی و در نتیجه بهبود جذب دی‌اکسید کربن توسط این تیمارها شد که به دنبال آن افزایش فتوسنتز در گیاهان تحت تنش تیمار شده با اسید سالیسیلیک اتفاق افتاد.

تنش شوری باعث افزایش میزان آنتی‌اکسیدان‌ها در برخی سطوح شد. با توجه به اینکه تنش شوری باعث القای تنش اکسیداتیو می‌شود، گیاه از طریق فعالیت آنتی‌اکسیدانی با این تنش مقابله می‌کند. نتایج نشان داد که در این سطح شوری، تیمار اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی را افزایش داد. البته این افزایش در سطوح کم شوری بود و با افزایش سطح شوری به نظر می‌رسد مکانیزم آنتی‌اکسیدان گیاه در حضور اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک مؤثر واقع نشد و کاهش یافت. نظر و همکاران (۱۴) نیز گزارش کردند که تیمار اسید سالیسیلیک ۰/۵ میلی‌مولار بر بوته‌های تحت تنش شوری باعث افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی آنها شد و در نتیجه اثرات منفی کلرید سدیم را بر فتوسنتز تقلیل داد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که در برخی از سطوح شوری، تیمار اسید سالیسیلیک اثر معکوس ایجاد کرده که احتمالاً به دلیل اثر بازدارنده غلظت زیاد هورمون است. نتایج نشان داد که شوری باعث کاهش شاخص کلروفیل در سطوح S₂ و S₃ حتی با وجود اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک شد که احتمالاً به دلیل توقف آنزیم‌های خاص مسئول سنتز پیگمان‌های فتوسنتزی است. گزارش شده که کاهش جذب مواد معدنی، از جمله منیزیم، مورد نیاز برای بیوستتز کلروفیل همچنین باعث کاهش غلظت کلروفیل در برگ‌ها می‌شود (۵). نتایج نشان داد که تیمار اسید جاسمونیک و اسید سالیسیلیک باعث ممانعت از کاهش بیش از حد شاخص کلروفیل گیاهان گوجه‌فرنگی تحت تنش شوری شدند. ال ساید

جاسمونیک و در همه سطوح شوری، اسید سالیسیلیک در برخی صفات باعث کاهش اثرهای منفی شوری می‌شود. لذا، در مجموع، استفاده از هر دو این مواد در مقادیر کم شوری باعث بهبود رشد می‌گردد. این اثرهای مفید هورمون‌ها از طریق تغییرات روزنه‌ای و فتوسنتزی و تغییر در میزان کلروفیل حاصل شد که به دنبال آن رشد بیشتر ریشه و شاخساره را به همراه داشت. بوته‌ای که در مراحل اولیه رشد توان مقابله بهتری با تنش داشته باشد به نظر می‌رسد تا پایان دوره، رشد و عملکرد بیشتری نیز خواهد داشت اما قبل از توصیه و کاربرد تجاری آن، بررسی استفاده از سالیسیلیک و اسید جاسمونیک در مراحل رشد زایشی و میزان عملکرد اقتصادی ضروری است.

افزایش داد. با توجه به این که این شاخص کارایی مصرف نوری فتوسیستم دو را مشخص می‌کند می‌توان اینگونه نتیجه‌گیری کرد که اعمال تیمارهای تعریف شده در این آزمایش، کارایی مصرف نوری این فتوسیستم را افزایش داده و از این طریق می‌توان افزایش سرعت فتوسنتز خالص را در برخی سطوح شوری توجیه کرد. در حالی که تاری و همکاران (۱۹) گزارش کردند که تیمار بوته‌های گوجه‌فرنگی تحت تنش شوری با اسید سالیسیلیک اثر معنی‌داری بر میزان کلروفیل فلورسانس آنها نداشت.

نتیجه‌گیری

به نظر می‌رسد در شرایط تنش ملایم شوری، تیمار اسید

منابع مورد استفاده

۱. بیات، ح.، س. ح. نعمتی، ع. تهرانی‌فر، ن. وحدتی و ی. سلاح‌ورزی. ۱۳۹۱. تأثیر سالیسیلیک‌اسید بر رشد و ویژگی‌های زیتنی اطلسی ایرانی تحت شرایط تنش شوری. مجله علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای ۱۱: ۴۳-۵۰.
۲. حاج‌باقری، س.، ش. انتشاری و ف. میرزایان. ۱۳۹۱. نقش مایکوریز *Glomus mosseae* و اسید سالیسیلیک بر خصوصیات بیوشیمیایی گیاه دارویی ریحان سبز در شرایط تنش شوری. همایش ملی فرآورده‌های طبیعی و گیاهان دارویی. بجنورد، دانشگاه علوم پزشکی خراسان شمالی، ۵-۶ مهرماه.
۳. رحیمی تشی، ط. و و. نیک‌نام. ۱۳۹۴. بررسی تأثیر پیش‌تیمار اسید سالیسیلیک بر برخی پاسخ‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گندم (*Triticum aestivum* L.) به تنش شوری. مجله پژوهش‌های گیاهی ۲۸: ۲۹۷-۳۰۶.
۴. کافی، م.، ا. برزوئی، م. صالحی، ع. کمندی، ع. معصومی و ج. نباتی. ۱۳۸۸. فیزیولوژی تنش‌های محیطی در گیاهان. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.
5. Abdel Latef, A.A.H. and C.X. He. 2011. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on growth, mineral nutrition, antioxidant enzymes activity and fruit yield of tomato grown under salinity stress. *Sci. Hort.* 127: 228-233.
6. Bader, B., F. Aissaoui, I. Kmicha, A. Ben Salem, H. Chehab, K. Gargouri, D. Boujnah and M. Chaieb. 2015. Effects of salinity stress on water desalination, olive tree (*Olea europaea* L. cvs. 'Picholine', 'Meski' and 'Ascolana') growth and ion accumulation. *Desalination* 364: 46-52.
7. Ellouzi, H., K.B. Hamed, J.Cela, S. Munne-Bosch and C. Abdelly. 2011. Early effects of salt stress on the physiological and oxidative status of *Cakile maritime* (halophyte) and *Arabidopsis thaliana* (glycophyte). *Physiol. Plant.* 142: 128-143.
8. El-Sayed, O.M., O.H.M. El-Gammal and A.S.M. Salama. 2014. Effect of ascorbic acid, proline and jasmonic acid foliar spraying on fruit set and yield of Manzanillo olive trees under salt stress. *Sci Hort.* 176: 32-37.
9. El-Tayeb, M. A. 2005. Response of barley gains to the interactive effect of salinity and salicylic acid. *Plant Growth Regul.* 45: 215-225.
10. Fisher, R., D. Rees, K. Sayre, Z. Lu, A. Candon and A. Saavedra. 1998. Wheat yield progress associated with higher stomata conductance and photosynthetic rate, and cooler canopies. *Crop Sci.* 38: 1467-1475.
11. Fernandez-Crespo, E., G. Camanes and P. Garcia-Agustin. 2012. Ammonium enhances resistance to salinity stress

- in citrus plants. J. Plant Physiol. 169: 1183-1191.
12. Kaya, M.D., G. Okci, M. Atak, Y. Cikili and O. Kolsarici. 2006. Seed treatment to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.). Eur. J. Agron. 24: 291-295.
 13. Khodary, S.E.A. 2004. Effect of salicylic acid on the growth, photosynthesis and carbohydrate metabolism in salt-stressed maize plants. IJAB. 6: 5-8.
 14. Nazar, R., N. Iqbal, S. Syeed and N.A. Khan. 2011. Salicylic acid alleviates decreases in photosynthesis under salt stress by enhancing nitrogen and sulfur assimilation and antioxidant metabolism differentially in two mungbean cultivars. J. Plant Physiol. 168: 807-815.
 15. Popova, L., V. Ananieva, V. Hristova, K. Christov, K. Geovgieva, V. Alexieva and Z. Stoinova. 2003. Salicylic acid and methyl jasmonate-induced protection on photosynthesis to paraquat oxidative stress. Bulg. J. Plant Physiol. 133-152.
 16. Rady, M.M. and G.F. Mohamed. 2015. Modulation of salt stress effects on the growth, physio-chemical attributes and yields of *Phaseolus vulgaris* L. plants by the combined application of salicylic acid and Moringa oleifera leaf extract. Sci. Hort. 193: 105-113.
 17. Raskin, I. 1992. Role of salicylic acid in plants. Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 43: 439-463.
 18. Salimi, F., F. Shekari, M.R. Azimi and E. Zangani. 2012. Role of methyl jasmonate on improving salt resistance through some physiological characters in German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). Iran. J. Med. Arom. Plants 27(4): 700-711.
 19. Tari, T., J. Csiszar, G. Szalai, F. Horvath, A. Pecsvaradi, G. Kiss, A. Szepesi, M. Szabo and L. Erdei. 2002. Acclimation of tomato plants to salinity stress after a salicylic acid pre-treatment. Proceeding of the 7th Hungarian Congress on Plant Physiology, pp. 26-64.