Iranian Journal of Field Crop Science
Vol 51, No 3, Autumn 2020 (59-72)
DOI: 10.22059/ijfcs.2019.279743.654603

علوم گیاهان زراعی ایران
دورهٔ ۵۱، شمارهٔ ۳، پائیز ۱۳۹۹ (ص۷۲-۵۹)

ارزیابی خصوصیات فیزیولوژیک و عملکرد ارقام گلرنگ در واکنش به محلول‌پاشی اسیدسالسیلیک و تنش گرمای پایان‌فصل

مریم گودرزیان قهفرخی[۱]، موسی مسکرباشی*[۲]، افراسیاب راهنما[۳]، دونالد اسمیت[٤]

۱و۲و۳- به‌ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و دانشیار، دانشکده‌کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ٤- استاد دانشگاه مک گیل مونترال کانادا

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۲/۸- تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/٦/۹)

چکیده

به منظور بررسی تأثیر شرایط طبیعی دمای بالا همزمان با محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک بر ظرفیت فتوسنتزی و عملکرد گلرنگ زراعی، آزمایشی مزرعه‌ای به صورت اسپلیت‌فاکتوریل، در سال‌زراعی ۹۷-۱۳۹٦در دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل سه تیمار دمایی (شاهد، تنش دمایی ملایم و شدید) در کرت‌های اصلی، محلول‌پاشی‌اسیدسالسیلیک در سه سطح (شاهد، ۲۰۰ و ٤۰۰ میلی‌مولار) و ارقام گلرنگ (صفه، پرنیان، گلدشت و فرامان) در کرت‌های فرعی بودند. نتایج نشان داد که در شرایط شاهد دمایی با محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک، صفات مهم عملکرد دانه، سرعت فتوسنتز و شدت تعرق، برتری معنی‌داری نسبت به تیمارهای تنش در ارقام نشان داد. در شرایط تنش گرمایی ملایم، محلول‌پاشی توانست اثر کاهشی دما را بر صفات گفته شده کنترل نماید و اختلاف معنی‌داری بین دو غلظت محلول‌پاشی وجود نداشت. با افزایش تنش دمایی، تفاوت بین ارقام و غلظت‌های محلول‌پاشی آشکار شد، به‌طوری‌که در تیمار تنش شدید، دو رقم گلدشت و فرامان، دارای ثبات، پایداری فتوسنتز و رشد بیشتری بودند. سرعت فتوسنتز در تمام ارقام، همبستگی مثبت و بالایی با عملکرد داشت. با توجه به روند تغییرات فیزیولوژیکی و عملکرد گلرنگ در پاسخ به افزایش دمای محیط و تحمل نسبی تنش شدیددمایی، محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک در شرایط تنش دمای بالا جهت تکمیل مراحل رشدی و بروز پتانسیل عملکرد در ارقام گلدشت و فرامان، موثرتر بود.

واژه‌های کلیدی: دی‌اکسیدکربن زیراتاقک روزنه، کارایی مصرف آب فتوسنتزی، کشت تاخیری، عملکرد بیولوژیک، هدایت مزوفیلی.

Evaluation of physiological and yield characteristics of safflower cultivars in response to salicylic acid foliar application and late- season heat stress

Maryam Goodarzian Ghahfarokhi[1], Moosa Meskarbashee*[1], Afrasyab Rahnama[1], Donald L. Smith[2]
1. College of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, 2. McGill University, Montreal, Canada.
(Received: April 28, 2019 - Accepted: August 31, 2019)

ABSTRACT

In order to investigate the simultaneous effects of natural high temperature stress and salicylic acid foliar application on photosynthetic capacity and yield of safflower, a field experiment was carried out as a split-factorial, at Shahid Chamran University of Ahvaz in 2017-18. Experimental factors included three temperature treatments (control, mild and severe temperature stresses) as the main plot, salicylic acid application at three levels (0, 200 and 400 ppm) and safflower cultivars as sub plots. Results showed that under control temperature and SA application, the important characteristics such as seed yield, photosynthesis and transpiration rates had significant superiority than similar treatments. At mild-temperature stress, spraying modulated negative effect of temperature on the important characters, and there was no significant difference between two concentrations of salicylic acid (200 and 400ppm). By the intensity of temperature stress, differences between safflower cultivars and the spraying concentrations were appeared; so that, under severe temperature stress, Goldasht and Faraman cultivars had more stability, photosynthesis sustainability and growth. In all cultivars, photosynthesis rate high positive correlation with yield. According to the physiological changes and safflower yield in response to intensify environmental temperature and semi-resistant severe-temperature stress, it seems that salicylic acid spraying was more effective on completing the growth stages and achiving the potential yield of Goldasht and Faraman cultivar at high-temperature stress.

Keywords: Biological yield, internal CO_2 concentration, mesophyll conductance, photosynthetic water-use efficiency.

* Corresponding author E-mail: mmeskarbashee@scu.ac.ir

مقدمه

گلرنگ زراعی با نام علمی *Carthamus tinctorius* L. از جمله گیاهان دانه روغنی قدیمی تقریباً فراموش شده است که در مقایسه با سایر دانه‌های روغنی، به‌طور گسترده در سراسر جهان کشت نمی‌شود (Tang *et al*., 2010). مناطق تولید و کشت و کار گلرنگ، عمدتاً مناطق مستعد تنش مانند مناطق کم-باران یا مناطق دارای نوسانات دمایی هستند (Canavar *et al*., 2014). امروزه گلرنگ به‌دلیل توانایی در مقابله با شرایط نامساعد جوی (Bortolheiro and Silva, 2017)، مشخص شدن ارزش غذایی و کیفیت روغن و اهمیت آن در سوخت زیستی، در بسیاری از مناطق دنیا کشت می‌شود (Canavar *et al*., 2014). گلرنگ دارای سطوح بالایی از اسیدلینولئیک است و همچنین در مقایسه با سایر دانه‌های روغنی، از بالاترین نسبت چربی‌های غیراشباع به اشباع برخوردار است (Ny & Rah, 2015)؛ بنابراین افزایش تقاضا و گرمایش جهانی، از عوامل بسیار مهم در برنامه‌های تحقیق و توسعه کشت گیاهان روغنی مانند گلرنگ در شرایط پرتنش امروزی می‌باشند.

افزایش گرمایش جهانی، تأثیرات نامطلوبی بر کلیه جنبه‌های رشدی و فیزیولوژیکی گیاهان بر جای خواهد گذاشت (Kotak *et al*., 2007; Jam *et al*., 2012). در بین تنش‌های غیرزیستی مؤثر بر رشد گیاهان، تنش دمای بالا، به‌عنوان تهدیدی جدی برای دستیابی به پتانسیل تولید گیاهان زراعی محسوب می‌شود (Min *et al*., 2018). دمای بالای محیط، اغلب همراه با تابش شدید نور خورشید، تنش خشکی و باد شدید می‌باشد که تمام این موارد می‌توانند خسارت وارده به گیاه را تشدید نمایند و منجر به کاهش عملکرد اقتصادی شوند (Dabbert & Gore, 2014). دمای بالا باعث بسته شدن روزنه‌ها (Kotak *et al*., 2007)، کاهش غلظت دی‌اکسید کربن در سلول‌های مزوفیل برگ (Dabbert & Gore, 2014) و درنتیجه تجمع NADPH در کلروپلاست (Hamidou *et al*., 2013) و در نهایت کاهش فتوسنتز (Jam *et al*., 2012) می‌شود. با این حال، ارقام، از سازوکارهای محافظتی متفاوتی برای مقاومت و دفاع در برابر اثرات نامطلوب ناشی از دمای بالا استفاده می‌کنند (Kabiri *et al*., 2014).

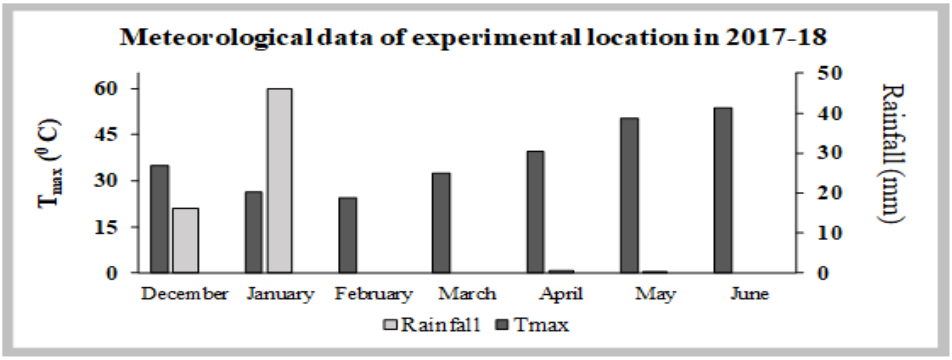
اگرچه زمانی‌که گیاهان در معرض شرایط نامساعد رشد و تنش قرار می‌گیرند، علاوه بر توانایی ذاتی خود، با بکارگیری رهیافت‌های مختلف به مقابله با تنش‌های محیطی می‌پردازند، اما در بسیاری از مواقع، این سیستم برای ادامه رشد و بقای گیاه ناکافی است. به‌منظور تعدیل‌سازی و کاهش شدت تنش در چنین مواقعی، برخی از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Zhang & Li, 2012). امروزه محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک (SA) به عنوان یکی از راهکارهای مطمئن در افزایش تحمل گیاهان به تنش های محیطی مانند افزایش ناگهانی و تدریجی دمای هوا معرفی شده است. تحقیقات نشان داده است که اسیدسالیسیلیک به عنوان یک فیتوهورمون کاربردی با وزن مولکولی پایین، در کاهش تأثیرات منفی تنش-های زیستی و غیرزیستی در گیاهان نقش دارد (Abreu & Munne-Bosch, 2008). همچنین اسیدسالیسیلیک یک ترکیب فنلی رایج است که در تنظیم بسیاری از فرایندهای بیوشیمیایی (Kaya & Yigit, 2014) و فیزیولوژیکی (Gunes *et al*., 2007)، تنظیمات تغذیه‌ای (Wada *et al*., 2010) و حتی در عملکرد نهایی (Min *et al*., 2018) گیاهان مؤثر است. نقش مثبت و تأثیرگذار اسیدسالیسیلیک در بسیاری از فرایندهای رشدی گیاهان در تنش، به‌ویژه تنش گرمایی مطالعه شده است (Rivas-San & Plasencia, 2011; Hamidou *et al*., 2013; Dabbert & Gore, 2014). اسیدسالیسیلیک خسارت دمای بالا را از طریق بالا بردن ظرفیت فتوسنتزی گیاهان کاهش می‌دهد (Shaki *et al*., 2018)؛ همچنین با تنظیم فرایندهای فیزیولوژیکی (Sure *et al*., 2011)، بهبود روابط منبع و مخزن (Liu *et al*., 2012) و روابط فتوسنتزی و جریان مواد پرورده برگ (Zaid *et al*., 2019)، باعث افزایش تحمل گیاه در شرایط تنش‌های محیطی می‌شود. اگرچه نقش اسیدسالسیلیک در کنترل فرایندهای رشدی و فیزیولوژیکی گیاهان اثبات شده است، اما

مطالعات بسیار محدودی در زمینه نقش اسیدسالیسیلیک بر فعالیت فتوسنتزی در مراحل مختلف رشد گیاه گلرنگ، به‌ویژه در شرایط تنش گرمایی و ارتباط آن با عملکرد وجود دارد. بنابراین هدف از این آزمایش، بررسی تأثیرات بلندمدت و کوتاه‌مدت دمای بالای انتهای فصل رشد بر تبادلات گازی در عملکرد ارقام مختلف گلرنگ و مقایسه ارقام، همراه با محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک بود.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در مزرعه پژوهشی گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد. برخی پارامترهای آب و هوایی محل اجرای پژوهش در شکل (۱) نشان داده شده است. آزمایش به‌صورت اسپلیت فاکتوریل و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای آزمایشی شامل سه تاریخ کاشت (۲۰ آذرماه،کاشت به هنگام؛ ۱۰ دی ماه، کاشت تأخیری: تنش گرمایی ملایم و ۳۰ دی ماه، کاشت تأخیری شدید: تنش گرمایی شدید) در کرت‌های اصلی و محلول‌پاشی اسیدسالسیلیک در سه سطح (شاهد، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌مولار) و چهار رقم گلرنگ زراعی در کرت‌های فرعی بود. در این طرح، ارقام گلدشت (رقم پاییزه و متحمل به گرما)، پرنیان (بدون خار با گلچه-های سفیدرنگ و زودرس)، فرامان (تنها رقم دیم مورد بررسی در این مطالعه) و صفه (بدون خار، میزان روغن دانه ۳۰ درصد، مناسب مناطق معتدل تا گرمسیری) مورد بررسی قرار گرفتند که از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج و با نظر اعضای بخش دانه‌های روغنی تهیه شدند.

پیش از آغاز آزمایش، پنج نمونه خاک به‌صورت تصادفی و از سطح تا عمق ۳۰ سانتی‌متری زمین مورد نظر تهیه شدند و و تجزیهٔ فیزیکی و شیمیایی آن‌ها انجام شد (جدول ۱).



شکل ۱- میانگین حداکثردما و بارش ماهیانه در زمان اجرای آزمایش

Figure1. Mean monthly maximum temperature and rainfall during the experiment

بر اساس نتایج آزمون خاک مزرعه، ۱۲۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار (۵۰ درصد در زمان کاشت و ۵۰ درصد در دو مرحله روزت و آغاز گلدهی) از منبع اوره و ۸۵ کیلوگرم کود فسفر در هکتار از منبع سوپر فسفات تریپل و ۲۵ کیلوگرم پتاسیم در هکتار از منبع سولفات پتاسیم، قبل از کاشت استفاده شد. کرت‌های آزمایشی شامل ۱۰ خط کاشت ۲/۵ متری به فاصلهٔ ۵۰ سانتی‌متر از یکدیگر بود و فاصله بوته‌های روی ردیف، ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد که به‌صورت تناوبی در دو طرف پشته کشت شدند. آبیاری با استفاده از لوله‌های انتقال آب از منبع اصلی و به‌صورت کرتی انجام شد.

محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف اسیدسالیسیلیک، در دو مرحله شامل خروج از روزت (19-20 BBCH Scale) و آغاز گلدهی (49-50 BBCH Scale) در ابتدای صبح و هنگام غروب آفتاب (با توجه به تاریخ محلول‌پاشی) انجام شد، به‌گونه‌ای که برگ‌های گیاه کاملاً خیس شدند.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش (عمق صفرتا ۳۰ سانتی‌متر).
Table 1. Physiochemical properties of experimental field soil (0-30 cm)

Sample	Soil texture	EC ($ds.m^{-1}$)	F.C (%)	P.W.P (%)	N (%)	Organic matter (%)	K ($mg\ Kg^{-1}$)	P ($mg\ Kg^{-1}$)	pH
Field soil	Clay loam	4.8	22.1	7.6	0.058	0.65	169.3	8.1	7.6

عملیات با استفاده از یک پاشنده دستی با فشار ثابت یک بار و به‌صورت یکنواخت انجام شد و همزمان بوته-های شاهد با آب تصفیه محلول‌پاشی شدند. با توجه به این‌که تیمارهای دمایی مختلف در زمان‌های متفاوت به مرحله رشدی اواسط پرشدن دانه (BBCH Scale 76-74) رسیدند، از درجه روز رشد (GDD) جهت ارزیابی یکسان اثراتتنش برای کلیه ارقام استفاده شد. بدین منظور، مقدار GDD با استفاده از معادله یک محاسبه شد.

$$GDD=\sum[\frac{Tmax+Tmin}{2}-Tb] \qquad \text{معادله ۱}$$

در این معادله: T_{max} و T_{min}، به‌ترتیب حرارت‌های حداکثر و حداقل دمای هوای روزانه ثبت شده در طول زمان رشد گیاه و T_b، حداقل دمای پایه برای رشد گیاه می‌باشد که برای گیاه گلرنگ، پنج درجه سانتی گراد (Sadras & Hall, 1988) ثبت شده است.

میزان سبزینگی برگ گیاه (عدد اسپد)، با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر دستی (SPAD 502 Chlorophyll Meter) اندازه‌گیری شد. عدد کلروفیل شامل میانگین پنج قرائت بر روی قسمت میانی دومین یا سومین برگ جوان ساقه اصلی، از سه بوته تصادفی در هرکرت آزمایشی و در زمان اواسط پرشدن دانه برای کلیه تیمارها اندازه‌گیری شد. میزان فتوسنتز در واحد سطح برگ، میزان تعرق، هدایت روزنه‌ای و غلظت دی اکسیدکربن اتاقک زیر روزنه‌ای نیز بین ساعات نه تا ۱۱ صبح، در شدت نور معادل ۱۴۰۰-۱۲۰۰ میکرومول فوتون بر مترمربع بر ثانیه، با استفاده از دستگاه تحلیل‌گر گازی مادون قرمز (مدلLCA4 - کمپانی ADC) و از طریق میانگین پنج قرائت بر روی قسمت میانی دومین یا سومین برگ جوان ساقه اصلی از سه بوته تصادفی در هرکرت آزمایشی در مرحله اواسط پرشدن دانه اندازه‌گیری شد. کارایی کربوکسیلاسیون که در برخی منابع به عنوان هدایت مزوفیلی از آن نام برده شده است (Fischer *et al*., 1998)، از معادله ۲ به دست آمد:

$$CE=Pn/Ci \qquad \text{معادله ۲}$$

که در آن: Pn، سرعت فتوسنتز و Ci، میزان دی-اکسیدکربن اتاقک زیرروزنه می‌باشد. کارایی مصرف آب فتوسنتزی (P_{WUE}) نیز بر اساس معادله ۳ محاسبه شد (Medrano *et al*., 2015):

$$P_{WUE}=Pn/T \qquad \text{معادله ۳}$$

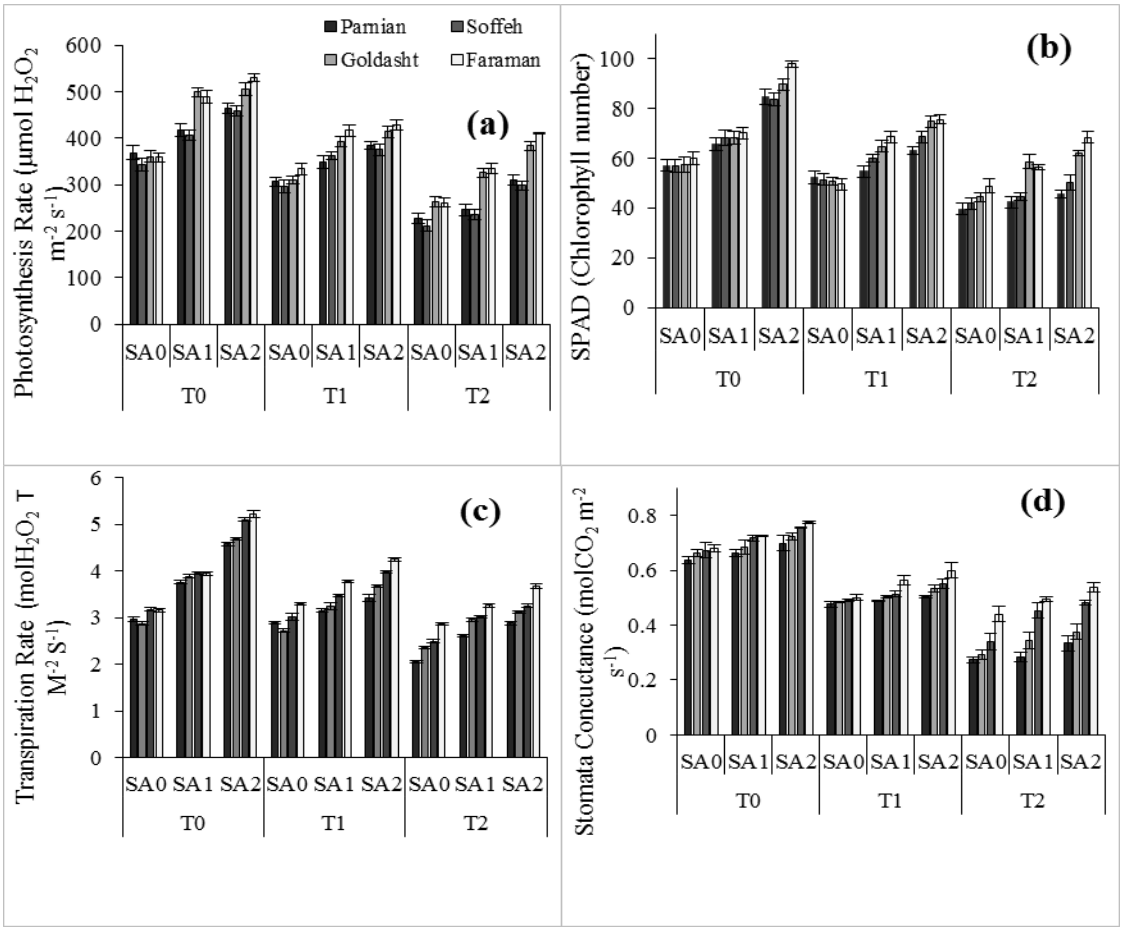
که در آن: T، نماد شدت تعرق می‌باشد. در پایان دوره، عملکرد کل و دانه اندازه‌گیری شد. تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (SAS Ver. 9.2) انجام شد.

نتیجه‌گیری و بحث

سرعت فتوسنتز

با کاربرد غلظت‌های مختلف SA، سرعت فتوسنتز ارقام گلرنگ زراعی مورد مطالعه در این پژوهش، افزایش معنی‌داری در کلیه تیمارهای دمایی (تیمار شاهد (T_0)، تنش دمایی ملایم (T_1) و تنش دمایی شدید (T_2)) نشان دادند. در تنش دمایی شدید، بیشترین سرعت فتوسنتز ارقام گلرنگ مربوط، به کاربرد خارجی اسیدسالیسیلیک در غلظت ۴۰۰ میلی مولار (SA_2) تعلق داشت. سرعت فتوسنتز در همه ارقام تحت تاثیر تنش گرمایی کاهش یافت، ولی کاربرد اسیدسالیسیلیک، نقش تخریبی دمای بالا را کنترل نمود، به‌طوری‌که در تیمار T_1، کاربرد SA در هر دو غلظت ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌مولار، باعث بهبود معنی‌دار سرعت فتوسنتز نسبت به تیمار شاهد محلول‌پاشی شد. رقم فرامان و گلدشت در تیمارهای تنش دمایی، بیشترین و رقم صفه و پرنیان نیز کمترین میزان سرعت فتوسنتز را داشتند (شکل ۲a). یکی از جنبه‌های مهم تحمل گرما در گیاهان، حفظ و تداوم فتوسنتز است. این در حالی است که یکی از

اولین نشانه‌های تنش دمای بالا، کاهش فعالیت فتوسنتزی است (Janda *et al*., 2012). به‌نظر می‌رسد که کاربرد اسیدسالیسیلیک، واکنش پیش‌سازگاری به تنش را در گیاهان القا می‌کند که منجر به تنظیم فتوسنتز، تعرق و فعالیت آنزیم‌های دخیل در این فرایندها می‌شود و این امر در بهبود رشد گیاه منعکس می‌شود (Rivas-San & Plasencia, 2011).



شکل ۲- اثرات متقابل سه‌گانه تنش گرمایی و محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک بر صفات فیزیولوژیک اندازه‌گیری شده ارقام گلرنگ. T_0، T_1 وT_2: به‌ترتیب تیماردمایی شاهد، تنش گرمایی ملایم و شدید و SA_0، SA_1 و SA_2: به‌ترتیب غلظت صفر، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌مولار محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک می‌باشد (میله‌ها نشان دهنده انحراف خطای میانگین SE است).

Figure2. Triple interaction effects of high-temperature stress and salicylic acid application on measured physiological characteristics of safflower cultivars .T_0, T_1 and T_2: control, mild and severe-temperature stresses respectively. SA_0, SA_1 and SA_2: control, 200 and 400 ppm salicylic acid concentrations, respectively. (Bars show standard error).

کاهش میزان فتوسنتز در شرایط تنش‌های محیطی، ناشی از عوامل روزنه‌ای و غیرروزنه‌ای است. به عبارتی، فتوسنتز از دو طریق بسته شدن روزنه‌ها و کاهش دسترسی کلروپلاست به دی‌اکسید کربن و نیز کاهش پتانسیل آب و اثرات مستقیم آن بر اجزای دخیل در فتوسنتز، تحت تأثیر قرار می‌گیرد. در همین راستا، کاربرد اسیدسالیسیلیک همراه با افزایش فعالیت آنزیم رابیسکو (Maslenkova *et al*., 2009) و افزایش میزان کلروفیل (Rivas-San & Plasencia, 2011)، منجر به بهبود فتوسنتز و افزایش رشد گیاه می‌شود. از دیگر دلایل بهبود سرعت فتوسنتز تحت تیمارهای محلول‌پاشی SA می‌توان به حفظ فعالیت بالاتر رابیسکو و بهبود سریع عملکرد فتوسیستم II و سطوح بالاتر HSP21 اشاره کرد که منجر به ثبات بیشتر

سرعت فتوسنتز می‌شود (Wang *et al*., 2010). نتایج مطالعات Aldesuquy *et al*. (2012) نشان داد که استفاده از غلظت‌های پایین اسیدسالیسیلیک می‌تواند بر تحمل بافت‌های گیاه به تنش گرمای کوتاه‌مدت مؤثر باشد، درحالی‌که در شدت بالاتر تنش و همانند نتایج این پژوهش، غلظت‌های پایین اسیدسالیسیلیک بر دو رقم صفه و پرنیان کم‌اثر بوده است.

شاخص کلروفیل

در واکنش به افزایش دمای محیطی (از T_0 به T_2)، شاخص کلروفیل در کلیه ارقام مورد مطالعه کاهش معنی‌دار داشت، اما کاربرد اسیدسالیسیلیک تا حدود زیادی تأثیر منفی افزایش دمای محیطی را تخفیف داد. بررسی نتایج (شکل ۲b) نشان داد که در هر دو سطح دمایی (T_1 و T_2) و محلول‌پاشی SA (SA_1 و SA_2)، رقم فرامان و گلدشت مقاومت بهتری نسبت به سایر ارقام نشان دادند و کاهش کلروفیل در این ارقام کمتر بود. تغییر مقادیر شاخص کلروفیل تحت شرایط تنش گرمایی و حفظ بهبود آن پس از محلول‌پاشی با SA در مطالعات پیشین گزارش شده است که از دلایل آن می‌توان به جلوگیری از فعالیت آنزیم‌های تجزیه کننده کلروفیل مانند کلروفیل اکسیداز توسط اسیدسالیسیلیک و در نتیجه حفظ و بهبود وضعیت کلروفیل برگ اشاره کرد (Aldesuquy *et al*., 2012). همچنین به‌نظر می‌رسد که اسیدسالیسیلیک، از طریق تأثیر بر ساختار برگ (Hayat *et al*., 2010) و کلروپلاست‌ها (Kaya & Yigit, 2014)، سبب حفظ بیشتر کلروفیل در شرایط تنش‌های سخت محیطی مانند تنش گرمای پایان فصل رشد ناشی از تأخیر در کاشت می‌شود. گزارشات فراوانی مبنی بر افزایش میزان کلروفیل (Fariduddin *et al*., 2003) و یا کاهش آن (Ghai *et al*., 2002) پس از تیمار با اسیدسالیسیلیک در غلظت‌های مختلف گزارش ارایه شده است. همچنین بین سرعت فتوسنتز و شاخص کلروفیل، همبستگی ($r=۰/۸۴۱^{**}$) وجود داشت که نشان‌دهنده رابطه مثبت و اثرگذاری شاخص کلروفیل بر سرعت فتوسنتز می‌باشد.

شدت تعرق

شدت تعرق با افزایش دما کاهش یافت؛ در تیمار دمای شاهد و نیز هر دو سطح تیماردمایی، با محلول‌پاشی نسبت بهعدم انجام آن، شدت تعرق افزایش یافت، اما شدت افزایش تعرق در تیمار شاهد دمایی بیشتر بود. در بررسی اثرات سه گانه (شکل ۲c) مشخص شد که واکنش ارقام متفاوت بود، به‌طوری‌که بیشترین کاهش در رقم پرنیان از سطح محلول‌پاشی SA_1 به SA_2 نشان داده شد.

کاهش میزان تعرق در ارقام گلرنگ زراعی مورد مطالعه در این تحقیق در پاسخ به تنش دمای بالا می‌تواند به‌دلیل سازگاری گیاه با شرایط محیطی و بسته شدن روزنه‌ها در پاسخ به شوک گرمای تدریجی باشد که با محلول‌پاشی SA تا حدودی این روند کند شده است. نتایج متناقضی مبنی بر کاهش میزان تعرق پس از محلول‌پاشی SA در برخی از گیاهان گزارش شده است که دلیل کاهش تعرق را به اثر القایی SA بر بسته شدن روزنه‌ها و افزایش مقاومت روزنه ای نسبت داده‌اند (Khokon *et al*., 2010). به‌نظر می‌رسد که در این آزمایش، گیاه جهت حفظ بقا در شرایط تنش دمای بالا، از طریق کاهش تعرق، حفظ پتانسیل آب سلول‌ها و استفاده از دمای ویژه آب، سبب خنک شدن خود و در نتیجه تداوم فرایند فتوسنتز شده است. نتایجی مبنی بر افزایش شدت تعرق با کاربرد خارجی SA در گیاهان مختلف (Fariduddin *et al*., 2003; Kumara *et al*., 2010) نیز گزارش شده است. همچنین رابطه مثبت سرعت فتوسنتز و شدت تعرق ($r =۰/۶۴۶^{**}$) در این پژوهش نشان می‌دهد که به ازای هر مول آب، فتوسنتز بیشتری انجام شده است (جدول ۲).

هدایت روزنه‌ای

واکنش هدایت روزنه‌ای به افزایش دما، نزولی بود ولی با کاربرد اسیدسالیسیلیک، روند صعودی داشت. محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک تا حدود زیادی، اثرات نامطلوب دمای بالا بر هدایت روزنه‌ای را بهبود بخشید. مقایسه بین ارقام نشان داد که رقم‌های فرامان و گلدشت، پاسخ بالاتری به تیمارهای اسیدسالیسیلیک نشان دادند (شکل ۲d). در شرایط $T_2 \times SA_2$، رقم فرامان افزایش ۲۳ درصدی در مقایسه با تیمار $T_2 \times SA_0$ نشان داد، درحالی‌که در دو رقم پرنیان و صفه، افزایش هدایت روزنه‌ای در پاسخ به کاربرد ۴۰۰ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک، به‌ترتیب ۸/۵ و ۱۰ درصد بود.

واکنش گیاهان و حتی ارقام یک گونه به شرایط محیطی، بر اساس ویژگی‌های ژنتیکی، بیوشیمیایی و مورفولوژیکی می‌تواند متفاوت باشد. در این آزمایش، واکنش ارقام به افزایش دمای محیطی و کاربرد اسیدسالیسیلیک مشابه بود، اما شدت تغییرات ارقام

مورد بررسی تفاوت داشت. از دلایل کاهش هدایت روزنه‌ای در شرایط تنش گرمایی می‌توان به بسته شدن روزنه‌ها به دلیل نگهداری آب درون روزنه‌ها و کاهش تعرق در شرایط دمای بالای محیطی به منظور تعدیل دمای درونی گیاه اشاره کرد که از این طریق، تلفات آب به حداقل می‌رسد (Hao *et al.*, 2019). تنظیم هدررفت آب از طریق بسته‌شدن روزنه‌ها، به‌عنوان یک سازوکار تحمل به تنش محسوب می‌شود (Rahnama *et al.*, 2010). در همین راستا، کاربرد خارجی SA از بسته شدن روزنه‌ها ناشی از افزایش میزان ABA در شرایط تنش محیطی جلوگیری می‌کند (Assmann, 2010). همبستگی منفی و معنی‌دار میان هدایت روزنه‌ای و غلظت دی‌اکسیدکربن درون روزنه‌ای (r = -۰/۳۷۵**)، تایید کننده مطالب فوق می‌باشد و به رابطه عکس و تنظیمی هدایت روزنه‌ای و میزان انتشار دی‌اکسیدکربن به برگ نسبت داده شده است (جدول ۲).

جدول۲- همبستگی پیرسون بین صفات مورد مطالعه در ارقام مختلف گلرنگ با شرایط گرمای‌انتهای فصل رشد و محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک.

Table2. Pearson correlation coefficient between studied characteristics of safflower cultivars and late-season heat stress and salicylic acid application.

Ph	SPAD	Tr	Ci	SC	M C	P_{WUE}	S Y	B Y	Traits
1	0.841**	0.646**	-0.421*	0.79**	0.985**	-0.0534^{ns}	0.77**	0.82**	Ph
	1	0.795**	-0.476**	0.904**	0.85**	-0.392*	0.613**	0.837**	SPAD
		1	-0.308*	0.893**	0.68**	-0.692**	0.456**	0.734**	Tr
			1	-0.375*	-0.477**	0.079^{ns}	-0.415*	-0.431*	Ci
				1	0.784**	-0.488*	0.626**	0.823**	SC
					1	-0.088^{ns}	0.768**	0.846**	MC
						1	0.0997^{ns}	-0.297*	P_{WUE}
							1	0.802**	SY
								1	BY

Ph

(Photosynthesis Rate): سرعت فتوسنتز، Tr (Transpiration Rate): شدت تعرق، Ci (Sub-stomata CO_2 Concentration): میزان CO_2 زیر اتاقک روزنه، SC (Stomata Conductance): هدایت روزنه‌ای، MC (Mesophyll Conductance): هدایت مزوفیلی، (Photosynthetic Water-Use Effeciency) P_{WUE}: کارایی مصرف آب فتوسنتزی، SY (Seed Yield): عملکرد دانه، BY (Biological Yield): عملکرد بیولوژیک.

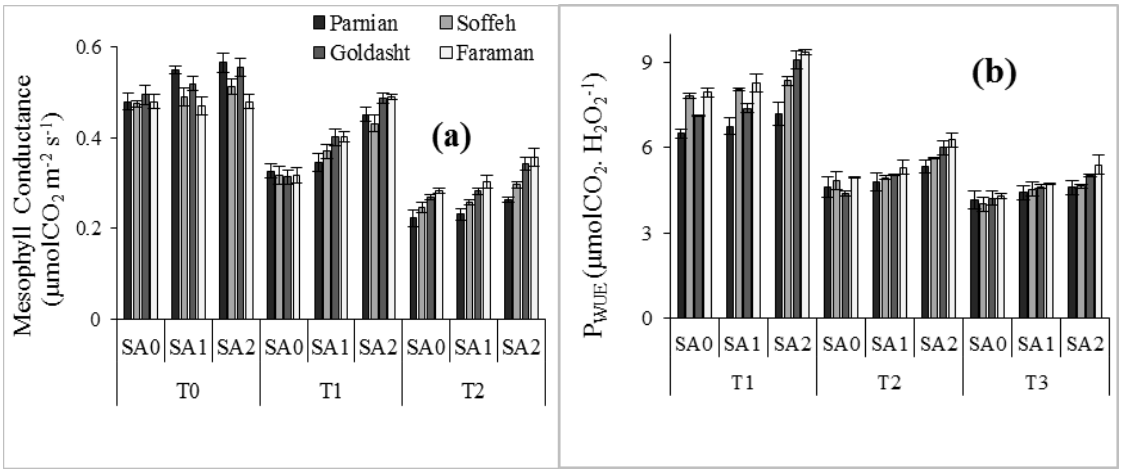
**, * and ^{ns}: به‌ترتیب نشاندهنده معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد و غیرمعنی‌دار بودن است.

**, * and ^{ns}: significant at 1% and 5% of probability level and non-significant, respectively.

هدایت مزوفیلی

به‌طورکلی با افزایش دمای محیط، هدایت مزوفیلی برگ کاهش یافت (شکل ۳a)، به‌طوری‌که در تیمار T_2 در مقایسه با T_0، این کاهش برابر با ۵۲/۷ درصد بود. بر اساس نتایج مقایسه میانگین، کمترین هدایت مزوفیلی در تیمار $T_2 \times SA_0$ مشاهده شد. هرچند واکنش ارقام به تنش گرمایی و محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک یکسان بود، اما سرعت تغییرات هدایت مزوفیلی بین ارقام متفاوت بود. در شرایط $T_0 \times SA_0$، تفاوت آماری بین رقم‌های مورد مطالعه از نظر میزان هدایت مزوفیلی مشاهده نشد. در تیمار T_0 همراه با محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک، هدایت مزوفیلی رقم پرنیان و گلدشت نسبت به دو رقم مورد بررسی دیگر، به‌طور معنی‌داری بالاتر بود، اما با افزایش یافتن شدت دمای محیطی، این روند تغییر یافت و رقم‌های گلدشت و فرامان، نسبت بالاتری در مقایسه با ارقام صفه و پرنیان داشتند. پژوهشگران زیادی عقیده دارند که عامل محدودکننده اصلی فتوسنتز در شرایط تنش محیطی می‌تواند میزان هدایت مزوفیلی باشد (Ahmadi & Baker, 2001). میزان کمتر فتوسنتز و تجمع دی‌اکسیدکربن، به مفهوم پایین بودن میزان هدایت مزوفیلی و عدم توانایی سلول‌های مزوفیل در استفاده از دی‌اکسیدکربن می‌باشد. تجمع دی‌اکسیدکربن در برگ در شرایط دمای بالای محیطی، نشان دهنده عدم توانایی گیاه در استفاده از دی‌اکسیدکربن، با وجود عبور از سلول‌های روزنه‌ای می‌باشد. در این تحقیق، کاربرد SA تا حدودی موانع استفاده از دی‌اکسیدکربن موجود در سلول‌های

مزوفیل برگ گیاه گلرنگ را کاهش داد.



شکل ۳- اثرات متقابل تنش گرمایی و محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک بر صفات فیزیولوژیک ارقام گلرنگ .T_0 ، T_1 وT_2: به‌ترتیب تیماردمایی شاهد، تنش گرمایی ملایم و شدید و SA_0، SA_1 و SA_2: به‌ترتیب صفر، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌مولار محلول‌پاشی می‌باشد.

Figure3. Interaction effects of high-temperature stress and salicylic acid application on measured physiological characteristics of safflower cultivars. T_0, T_1 and T_2: control, mild and severe-temperature stresss, respectively and SA_0, SA_1 and SA_2: control, 200 and 400 ppm of SA concentrations.

محققان دیگری مانند Bandurska & Stroinski (2005) اعلام کردند که بین هدایت مزوفیلی و سرعت فتوسنتز در واحد سطح برگ می‌تواند رابطه مستقیمی برقرار باشد، به‌گونه‌ای که با افزایش هدایت مزوفیلی، میزان دی‌اکسیدکربن ورودی برای استفاده در فتوسنتز بیشتر می‌شود. همچنین می‌توان بیان داشت که اثر SA بر هدایت مزوفیلی، به غلظت هورمون، روش کاربرد، طول مدت تیمار و وضعیت فیزیولوژیکی گیاه بستگی دارد (Shaki *et al.*, 2018). در واقع تنش‌های محیطی، از طریق افزایش محدودیت‌های روزنه‌ای، موجب تغییرات محتوای نسبی آب برگ، CO_2 زیر روزنه‌ای، سرعت تعرق، سرعت فتوسنتز و هدایت مزوفیلی می‌شود. رابطه مثبت و معنی‌دار هدایت مزوفیلی با صفات سرعت فتوسنتز، شدت تعرق و هدایت روزنه‌ای نیز تایید شده است (McAinsh & Taylor, 2017). البته نتایج بعضی از محققین نیز بر عدم تاثیر محلول‌پاشی SA بر فتوسنتز و هدایت مزوفیلی تاکید دارد (Bandurska & Stroinski, 2005) که می‌تواند ناشی از شرایط محیطی محل اجرای آزمایش باشد.

کارایی مصرف آب فتوسنتزی (P_{WUE})

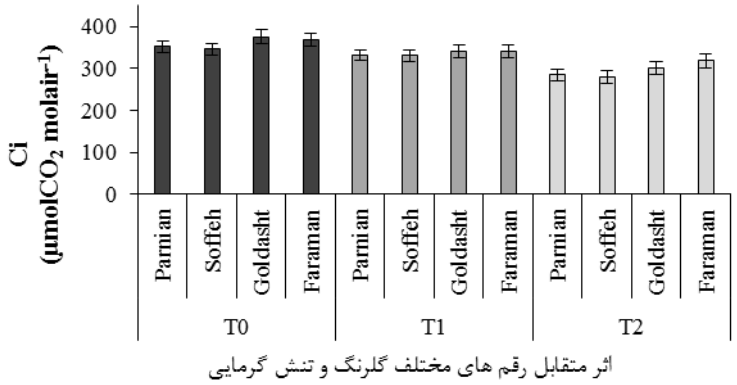
در تمام تیمارهای دمایی، با افزایش میزان مصرف اسیدسالیسیلیک، P_{WUE} به طور معنی‌داری نسبت به تیمار عدم محلول‌پاشی افزایش یافت. نتایج مقایسه میانگین کارایی مصرف آب فتوسنتزی، روند مشابهی را در تمام ارقام مورد بررسی نشان داد؛ با این تفاوت که شدت افزایش کارایی مصرف آب فتوسنتزی در شرایط این آزمایش در رقم فرامان نسبت به سایر ارقام مورد بررسی، به‌طور معنی‌داری بیشتر بود (شکل ۳b). کارایی مصرف آب فتوسنتزی، شاخصی است که میزان فتوسنتز را به ازای هر واحد تعرق نشان می‌دهد. دلیل کمتر بودن کارایی مصرف آب فتوسنتزی در شرایط تنش نسبت به شرایط بهینه، پایین‌تر بودن سرعت و میزان فتوسنتز یا آسیمیلاسیون کربن است (Maroco *et al.*, 2000). به‌طورکلی، گیاهان به دو صورت افزایش سرعت فتوسنتز (سرعت آسیمیلاسیون) و یا کاهش سرعت تعرق، به راندمان مصرف آب بالاتری می‌رسند (Maroco *et al.*, 2000). در این آزمایش در اثر افزایش دمای محیطی، فتوسنتز با سرعت بیشتری نسبت به شدت تعرق، کاهش یافت و در نتیجه سبب به کاهش کارایی مصرف آب فتوسنتزی شد. از آن‌جا

که کاربرد اسیدسالیسیلیک، باعث افزایش بیشتر سرعت فتوسنتز در گیاهان تحت شرایط تنش شد، تا حدودی سبب بهبود وضعیت کارایی مصرف آب فتوسنتزی گردید. از طرفی وجود دمای بالا، بیشترین کاهش معنی‌دار کارایی مصرف آب فتوسنتزی را در رقم‌های پرنیان و صفه ایجاد کرد؛ بنابراین کاشت این دو رقم در مناطقی که احتمال وقوع افزایش دمای بالای پس از مرحله گلدهی وجود دارد، با ریسک بالاتری همراه است و توصیه می‌شود که با ارقام مناسب‌تری جایگزین شود. طبق فرمول، رابطه سرعت تعرق و کارایی مصرف آب فتوسنتزی معکوس است که در این آزمایش، همبستگی بین دو صفت (**۰/۶۹۲ - =r)، تأییدکننده این مطلب است.

غلظت دی‌اکسیدکربن اتاقک زیر روزنه‌ای (Ci)

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با افزایش دما، میزان Ci کاهش یافت، ولی مقدار کاهش Ci در ارقام یکسان نبود، به‌طوری‌که بیشترین کاهش Ci،به دو رقم صفه و پرنیان، بدون اختلاف معنی‌دار از هم و در تیمار T_2 بود. رقم‌های گلدشت و فرامان در شرایط تیمار دمایی شاهد، بیشترین مقدار Ci را دارا بودند (شکل ۴). در تیمار T_0، غلظت دی‌اکسیدکربن زیر اتاقک روزنه‌ای در رقم پرنیان ۳۵۱ واحد (میکرومول CO_2 بر مول) بود که در شرایط T_1 وT_2 ، به‌ترتیب ۱۶ و ۲۴ درصد کاهش یافت.

کاهش غلظت دی‌اکسیدکربن اتاقک زیر روزنه‌ای، محدودیت دسترسی به دی‌اکسیدکربن برای فتوسنتز را افزایش و سرعت فتوسنتز را کاهش می‌دهد (Végh *et al*., 2018). در واقع در لحظات ابتدایی افزایش دمای محیط و پیش از بسته شدن کامل روزنه‌ها، کاهش دی‌اکسیدکربن اتاقک زیر روزنه در شرایط تیمار T_2 در مقایسه با تیمار T_1، نشان‌دهنده آسمیلاسیون سریع‌تر کربن و کارایی بالاتر دستگاه فتوسنتزی در لحظه می‌باشد. به‌طورکلی و با افزایش دمای محیط رشد گیاه، مقدار دی‌اکسیدکربن اتاقک زیر روزنه‌ای کاهش یافت که این امر، بیانگر یکی از اثرات نامطوب دمایی بر دستگاه فتوسنتزی بود. نتایج ضریب همبستگی (جدول ۲) نشان‌دهنده همبستگی منفی و معنی‌دار سرعت فتوسنتز با غلظت دی‌اکسیدکربن زیر اتاقک روزنه (**۰/۴۲۱- = r) بود. می‌توان چنین استنباط نمود که در شرایط رشد گلرنگ، با افزایش سرعت فتوسنتز، گیاه کارایی بیشتری در استفاده از غلظت Ci دارد و به‌دنبال آن، از غلظت دی‌اکسیدکربن زیر روزنه‌ای کاسته می‌شود.



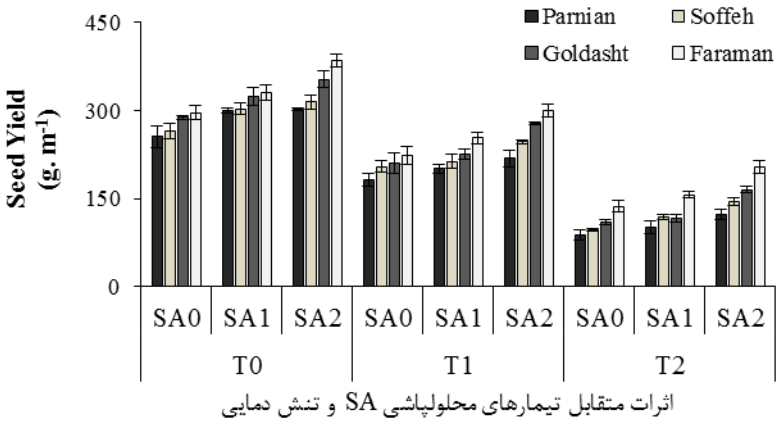
شکل ۴- برهم‌کنش تنش دمای بالای انتهای فصل رشد و رقم گلرنگ بر غلظت دی‌اکسیدکربن زیر اتاقک روزنه. T_0، T_1 و T2:به‌ترتیب تیماردمایی شاهد، تنش گرمایی ملایم و تنش گرمایی شدید است.

Figure4. Interaction effects of late-season heat stress and safflower cultivars on Ci. T_0, T_1 and T_2 are control, mild and severe-temperature stresses, respectively.

عملکرد دانه و زیستی

با افزایش دمای محیطی و تسریع رسیدگی، رشد گیاه، وزن کل دانه و وزن کل زیستی در واحد سطح کاهش یافت، به‌طوری‌که مقایسه بین تیمار T_0 و تیمار T_2

نشان‌دهنده کاهش ۴۵ درصدی عملکرد دانه بود (شکل۵). با اعمال تیمار SA_2 در شرایط T_2 در مقایسه با عدم کاربرد اسیدسالیسیلیک، عملکرد دانه ۱/۳ برابر افزایش نشان داد. نتایج مقایسه میانگین، بیان‌کننده کاهش ۳۵ درصدی عملکرد دانه در رقم پرنیان نسبت به رقم فرامان در شرایط $T_2 \times SA_2$ بود. محلول‌پاشی SA سبب افزایش ۱۲ و ۲۳ درصدی عملکرد دانه، به‌ترتیب در غلظت‌های ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌مولار در شرایط T_2 رقم گلدشت شد. هرچند محلول‌پاشی سبب جبران کل خسارت وارده به گیاه نشد، اما تأثیر معنی-داری بر افزایش عملکرد دانه نشان داد. بر اساس نتایج این آزمایش، به‌نظر می‌رسد که در شرایط برخورد با گرمای شدید آخر فصل، محلول‌پاشی با غلظت بالاتر (۴۰۰ppm)، پاسخ بهتری نشان داد.



شکل ۵- تغییرات عملکرد دانه ارقام گلرنگ در واکنش به تنش گرمایی و محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک. T_0، T_1 و T_2: به‌ترتیب تیماردمایی شاهد، تنش گرمایی ملایم و شدید و SA_0، SA_1 و SA_2: به‌ترتیب محلول‌پاشی با غلظت صفر، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک.

Figure 5. Changes of safflower cultivar seed yields in response to high-temperature stress and salicylic acid application. (T_0, T_1 and T_2: control, mild and severe temperature stresses, respectively and SA_0, SA_1 and SA_2: control, 200 and 400 ppm of SA concentrations.

عملکرد زیستی در شرایط آزمایش در ارقام مورد بررسی یکسان نبود، به‌طوری‌که بیشترین و کمترین آن، به‌ترتیب به رقم پرنیان (۱۱۷۴ گرم بر مترمربع) و رقم فرامان (۱۵۷۲ گرم بر متر مربع) تعلق داشت (شکل ۶). با شروع گرما در انتهای فصل رشد و با توجه به تأثیر آن بر رشد گیاه، به‌علت کاهش طول دوره مراحل رشد گیاه گلرنگ، عملکرد بیولوژیک کاهش یافت. همچنین بیشترین کاهش، در تیمار تنش دمایی شدید (۴۳ درصد) مشاهده شد که به‌نظر می‌رسد که دلیل اصلی آن، کاهش فصل رشد در نتیجه برخورد دوره رشد گیاه با گرمای آخر فصل رشد باشد. افزایش ۲/۳ درصدی عملکرد بوته در واحد سطح در تیمار ۴۰۰ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک در مقایسه با تیمار شاهد، نشان‌دهنده برتری کاربرد SA بود. طول دوره رشد گیاهان زراعی، علاوه بر زمینه ژنتیکی، تحت تاثیر شرایط اقلیمی محل رشد گیاه نیز می‌باشد. حداکثر طول دوره رشد، به تیمار T_0 (۱۶۷روز با دریافت ۲۷۸۱ درجه روز رشد) و حداقل آن به تیمارهای T_1 (۱۴۸ روز با دریافت ۲۳۹۷/۵ درجه روز رشد) و T_2 (۱۲۷ روز با دریافت۲۳۳۸/۸ درجه روز رشد) تعلق داشت (جدول ۳). همچنین با افزایش دمای محیط رشد گیاه، طول دوره رشد و به‌ویژه دوره پرشدن دانه در تمام ارقام در تیمارهای T_1 و T_2 نیز کاسته شد.

از دلایل افزایش عملکرد گلرنگ پس از تیمار با SA در شرایط تنش گرمایی پایان فصل در مقایسه با تیمار شاهد محلول‌پاشی، می‌توان به نقش SA در حفاظت از دستگاه فتوسنتزی، افزایش هدایت روزنه‌ای، حفظ و نگهداری پتانسیل آبی گیاه و در شرایط بهینه دمایی به افزایش میزان فتوسنتز و فعالیت آنزیم رابیسکو و به

بود تغذیه گیاهی (Wada *et al*., 2010) اشاره کرد.

جدول۳- محاسبه درجه روز رشد تجمعی در تیمارهای مختلف دمایی در سال ۱۳۹۷.
Table 3. Cumulative growth degree day at different heat stresses in 2018

Months	T_0	T_1	T_2
November	143.55	-	-
December	434.66	277.65	-
January	43.65	423.65	43.65
February	452.90	452.90	452.90
March	503.80	503.80	503.80
April	730.85	730.85	730.85
May	90.65	145.60	22.60
Total	2871	2397.50	2333.80

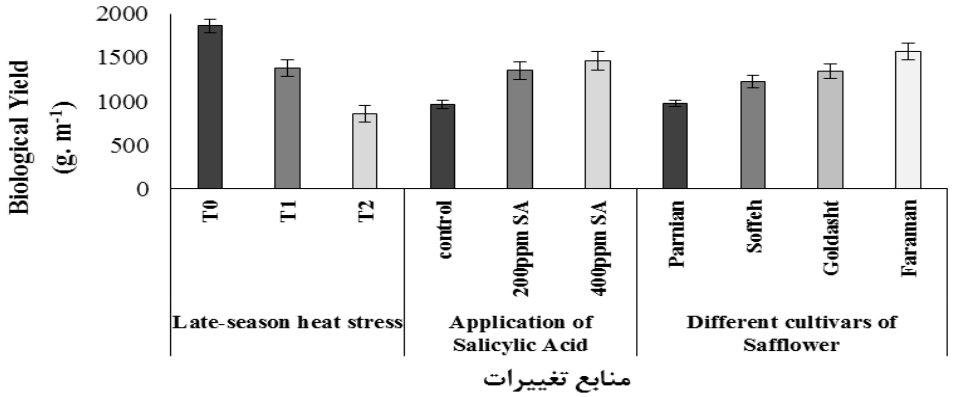
طبق‌های گلرنگ نسبت به درجه حرارت وارده بر گیاه، حتی در مراحل اولیه شکل‌گیری، حساسیت نشان می‌دهند و تشکیل و تکمیل دانه در آن‌ها نیز مختل می‌شود که این امر احتمالاً به‌دلیل تخریب برخی آنزیم‌های موثر در فرایند تشکیل و نمو دانه است. به‌نظر می‌رسد که کاشت دیر هنگام، سبب برخورد مراحل تشکیل طبق‌های فرعی، به‌ویژه مراحل تلقیح و دانه‌بندی گیاه با روزهای گرم آخر فصل رشد شده است؛ به‌همین دلیل در تیمار T_2 میزان عملکرد دانه نسبت به سایر تیمارهای مشابه، کاهش بیشتری نشان داد. در مطالعات پیشین روی پنبه (Dabbert & Gore, 2014) نیز دمای بالای محیطی به هنگام پرشدن و رسیدن دانه‌ها، منجر به کاهش عملکرد کل دانه شد. طول دوره رشد طولانی‌تر در تیمار T_1 سبب بارور نمودن تعداد دانه بیشتری در طبق‌های گیاه (اصلی و فرعی) شد. وزن دانه، جزئی از عملکرد می‌باشد که تأثیرپذیری آن از شرایط محیطی، به‌ویژه در مرحله تشکیل و پرشدن دانه زیاد است؛ از این‌رو نتایج متفاوتی از جمله کاهش وزن دانه گلرنگ (Bortolheiro & Silva, 2017) یا عدم تأثیرپذیری آن (Mohammadi *et al*., 2017) در اثر برخورد با دمای بالا گزارش شده است. در مطالعه‌ای که توسط Ghai *et al*. (2002) صورت گرفت مشخص شد که اجزای عملکرد، بسته به شرایط آب و هوایی منطقه، به‌طور متفاوتی تحت‌تأثیر عوامل محیطی از جمله دما قرار می‌گیرند، اما عملکرد دانه که از وراثت‌پذیری بالایی برخوردار بود، در مناطق مختلف دمایی تحت تأثیر قرار نگرفت. در این بررسی، اثر منفی تنش دمای بالای انتهای فصل رشد بر عملکرد دانه ارقام مورد بررسی گلرنگ، با محلول‌پاشی SA تا حدودی تعدیل شد. اگرچه در سایر تحقیقات نیز اثر تعدیل‌کنندگی SA مورد پذیرش کلی قرار گرفته است (Senaratna *et al*., 2000;)، ولی هنوز در مورد غلظت بهینه برای محلول‌پاشی در شرایط متفاوت رشد گیاه، نتایج روشنی وجود ندارد (Abreu & Munne-Bosch, 2008).

همچنین رابطه بالا و مثبت عملکرد بیولوژیک با عملکرد دانه ($r = ۰/۸۰۲^{**}$)، بیانگر تاثیر مستقیم این صفت بر عملکرد دانه بود (جدول ۴). نتایج به‌دست آمده از این تحقیق با گزارشات Ny & Rah (2015) مطابقت دارد که می‌تواند به عنوان یک معیار جهت گزینش ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در برنامه‌های اصلاحی استفاده شود.

نتیجه‌گیری کلی

طبق نتایج به‌دست آمده در این تحقیق، غلظت‌های مختلف اسیدسالیسیلیک در شرایط مختلف دمایی، تأثیر متفاوتی بر گیاه داشت. در واقع در تیمارهای با شدت تنش ملایم در بسیاری از صفات، بین دو میزان کاربرد خارجی SA تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد، ولی با شدت یافتن دمای محیط رشد گیاه، میزان تغییرات در غلظت بالای SA (۴۰۰ میلی‌مولار) چشمگیر بود. از سوی دیگر، یکسان بودن ارقام در شرایط شاهد دمایی و محلول‌پاشی برگی در بیشتر صفات، نشان‌دهنده پتانسیل یکسان ارقام در شرایط بدون تنش گرما می‌باشد، درحالی‌که با قرار گرفتن در

شرایط دمای محیطی بالا، پاسخ ارقام متفاوت بود. به‌طورکلی رقم فرامان، با توجه به انطباق با شرایط کشت منطقه مورد مطالعه، از توان تولید بالاتری نسبت به ارقام دیگر برخوردار بود. همچنین در صورت بروز گرمای زودهنگام، محلول‌پاشی SA به‌علت در دسترس و ارزان بودن، تا حدی محدودیت موجود در بروز حداکثر توان تولیدی گیاه را تعدیل می‌کند.



شکل ۶- تاثیر تنش دمای بالا انتهای فصل، محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک و ارقام مختلف گلرنگ بر عملکرد بیولوژیک گلرنگ.

Figure 6. Effects of late-season heat stress, salicylic acid application and safflower cultivars on biological yield. T_0, T_1 and T_2 indicate control, mild and severe temperature stresses)

سپاسگزاری

بدینوسیله از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذرکرج به خاطر فراهم آوردن بذر و نیز از دانشگاه شهید چمران اهواز به خاطر حمایت‌های مالی این پژوهش سپاسگزاری می‌شود.

REFERENCES

1. Abreu, M. E. & Munné-Bosch, S. (2008). Salicylic acid may be involved in the regulation of drought-induced leaf senescence in perennials: a case study in field-grown *Salvia officinalis* L. plants. *Environmental and Experimental Botany*, 64(2), 105-112.
2. Ahmadi, A. & Baker, D. A. (2001). The effect of water stress on the activities of key regulatory enzymes of the sucrose to starch pathway in wheat. *Plant Growth Regulation*, 35(1), 81-91.
3. Aldesuquy, H. S., Abo-Hamed, S. A., Abbas, M. A. & Elhakem, A. H. (2012). Role of glycine betaine and salicylic acid in improving growth vigour and physiological aspects of droughted wheat cultivars. *Journal of Stress Physiology and Biochemistry*, 8, 149–171.
4. Assmann, S. M. (2010). Abscisic acid signal transduction in stomatal responses. *Plant Hormones*, 399-426.
5. Bandurska, H. & Stroinski, A. (2005). The effect of salicylic acid on barley response to water deficit. *Acta Physiologiae Plantarum*, 27, 379–386.
6. Bortolheiro, F. P. & Silva, M. A. (2017). Physiological response and productivity of safflower lines under water deficit and rehydration. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 89(4), 3051-3066.
7. Canavar, O., Gotz, K. P., Ellmer, F., Chmielewski, F. M. & Kaynak, M. A. (2014). Determination of the relationship between water use efficiency, carbon isotope discrimination and proline in sunflower genotypes under drought stress. *Australian Journal of Crop Science*, *8*(2), 232.
8. Dabbert, T. A. & Gore, M. A. (2014). Challenges and perspectives on improving heat and drought stress resilience in cotton. *Journal of Cotton Science*, 18, 393-409.
9. Fariduddin, Q., Hayat, S. & Ahmad, A. (2003). Salicylic acid influences net photosynthetic rate, carboxylation efficiency, nitrate reductase activity and seed yield in *Brassica juncea*. *Photosynthetica*, 41, 281–284.
10. Fischer, R. A., Rees, D., Sayre, K. D., Lu, Z. M., Condon, A. G. & Saavedra, A. L. (1998). Wheat yield progress associated with higher stomatal conductance and photosynthetic rate, and cooler canopies. *Crop Science*, 38(6), 1467-1475.

11. Ghai, N., Setia, R. C. & Setia, N. (2002). Effects of paclobutrazol and salicylic acid on chlorophyll content, hill activity and yield components in *Brassica napus* L. (cv. GSL-1). *Phytomorphol*, 52, 83–87.
12. Gunes, A., Inal, A., Alpaslan, M., Eraslan, F., Bagci, E. G. & Cicek, N. (2007). Salicylic acid induced changes on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress and mineral nutrition in maize (*Zea mays* L.) grown under salinity. *Journal of Plant Physiology*, 164(6), 728-736.
13. Hamidou, F., Halilou, O. & Vadez, V. (2013). Assessment of groundnut under combined heat and drought stress. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 199(1), 1-11.
14. Hao, L., Guo, L., Li, R., Cheng, Y., Huang, L., Zhou, H. & Zheng, Y. (2019). Responses of photosynthesis to high temperature stress associated with changes in leaf structure and biochemistry of blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.). *Scientia Horticulturae*, 246, 251-264.
15. Hayat, Q., Hayat, S., Irfan, M. & Ahmad, A. (2010). Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: A review. *Environmental and Experimental Botany*, 68, 14–25.
16. Jam, B. J., Shekari, F. A. R. I. D., Azimi, M. R. & Zangani, E. S. M. (2012). Effect of priming by salicylic acid on germination and seedling growth of safflower seeds under $CaCl_2$ stress. *International Journal of Agricultural Research*, 2, 1097-1105.
17. Janda, K., Hideg, E., Szalai, G., Kov.cs, L. & Janda, T. (2012). Salicylic acid may indirectly influence the photosynthetic electron transport. *Journal of Plant Physiology*, 169, 971–978.
18. Kabiri, R., Nasibi, F. & Farahbakhsh, H. (2014). Effect of exogenous salicylic acid on some physiological parameters and alleviation of drought stress in *Nigella sativa* plant under hydroponic culture. *Plant Protection Science*, 50(1), 43-51.
19. Kaya, A. & Yigit, E. (2014). The physiological and biochemical effects of salicylic acid on sunflowers (*Helianthus annuus*) exposed to flurochloridone. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 106, 232-238.
20. Khokon, M. A. R., Hossain, M. A., Munemasa, S., Uraji, M., Nakamura, Y., Mori, I. C. & Murata, Y. (2010). Yeast elicitor-induced stomatal closure and peroxidase-mediated ROS production in Arabidopsis. *Plant and Cell Physiology*, 51(11), 1915-1921.
21. Kotak, S., Larkindale, J., Lee, U., von Koskull-Döring, P., Vierling, E. & Scharf, K. D. (2007). Complexity of the heat stress response in plants. *Current Opinion in Plant Biology*, 10(3), 310-316.
22. Kumara, K. G. D., Xia, Y., Zhu, Z., Basnayake, B. M. V. S. & Beneragama, C. K. (2010). Effects of exogenous salicylic acid on antioxidative enzyme activities and physiological characteristics in gerbera (*Gerbera jamesonii* L.) grown under NaCl stress. *Journal of Zhejiang University China*, 36, 591–601.
23. Liu, N., You, J., Shi, W., Liu, W., & Yang, Z. (2012). Salicylic acid involved in the process of aluminum induced citrate exudation in *Glycine max* L. *Plant and Soil*, 352(1–2), 85–97.
24. Maroco, J. P., Pereira, J. S. & Chaves, M. M. (2000). Growth, photosynthesis and water-use efficiency of two C4Sahelian grasses subjected to water deficits. *Journal of Arid Environments*, 45(2), 119-137.
25. Maslenkova, L., Peeva, V., Stojnova, Z. & Popova, L. (2009). Salicylic acid-induced changes in photosystem II reactions in barley plants. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 23(1), 297-300.
26. McAinsh, M. R. & Taylor, J. E. (2017). Stomata. *Encyclopedia of Applied Plant Sciences*, 1, 128-134.
27. Medrano, H., Tomás, M., Martorell, S., Flexas, J., Hernández, E., Rosselló, J. & Bota, J. (2015). From leaf to whole-plant water use efficiency (WUE) in complex canopies: limitations of leaf WUE as a selection target. *The Crop Journal*, 3(3), 220-228.
28. Min, K., Showman, L., Perera, A. & Arora, R. (2018). Salicylic acid-induced freezing tolerance in spinach (*Spinacia oleracea* L.) leaves explored through metabolite profiling. *Environmental and Experimental Botany*, 156, 214-227.
29. Mohammadi, L., Shekari, F., Saba, J. & Zangani, E. (2017). Effects of Priming with Salicylic Acid on Safflower Seedlings Photosynthesis and Related Physiological Parameters. *Journal of Plant Physiology & Breeding*, 7(1), 1-13.
30. Ny, A. S., & Rah, E. D. (2015). Characteristics and Oxidative Stability of Some Safflower (*Carthamus Tinctorius* L.). *Journal of Nutrition & Food Sciences*, *14*, 1–6.
31. Rahnama, A., James, R. A., Poustini, K. & Munns, R. (2010). Stomatal conductance as a screen for osmotic stress tolerance in durum wheat growing in saline soil. *Functional Plant Biology*, 37(3), 255-263.
32. Rivas-San Vicente, M. & Plasencia, J. (2011). Salicylic acid beyond defence: its role in plant growth and development. *Journal of Experimental Botany*, 62(10), 3321-3338.
33. Sadras, V. O. & Hall, A. J. (1988). Quantification of temperature, photoperiod and population effects on plant leaf area in sunflower crops. *Field Crops Research*, 18(2-3), 185-196.
34. Senaratna, T., Touchell, D., Bunn, E. & 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
35. Shaki, F., Maboud, H. E. & Niknam, V. (2018). Growth enhancement and salt tolerance of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.), by salicylic acid. *Current Plant Biology*, 13, 16-22.

36. Sure, S., Arooie, H., & Moghadam, R. D. (2011). Medicinal Pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) Seedling Growth. *Botany Research Journal*, *4*(4-6), 35-40.
37. Tang, J., Lou, Z., Wang, Y. & Guo, M. (2010). Expression of a small heat shock protein (CTL-hsyapr) screened by cDNA-AFLP approach is correlated with hydroxysafflor yellow A in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Biochemical Systematics and Ecology*, 38(4), 722-730.
38. Végh, B., Marček, T., Karsai, I., Janda, T. & Darkó, É. (2018). Heat acclimation of photosynthesis in wheat genotypes of different origin. *South African journal of Botany*, 117, 184-192.
39. Wada, K. C., Yamada, M., Shiraya, T. & Takeno, K. (2010). Salicylic acid and the flowering gene FLOWERING LOCUS T homolog are involved in poor-nutrition stress-induced flowering of Pharbitis nil. *Journal of Plant Physiology*, 167(6), 447-452.
40. Wang, L. J., Fan, L., Loescher, W., Duan, W., Liu, G. J., Cheng, J. S. & Li, S. H. (2010). Salicylic acid alleviates decreases in photosynthesis under heat stress and accelerates recovery in grapevine leaves. *BMC Plant Biology*, 10(1), 34.
41. Zaid, A., Mohammad, F., Wani, S. H. & Siddique, K. M. H. (2019). Salicylic acid enhances nickel stress tolerance by up-regulating antioxidant defense and glyoxalase systems in mustard plants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 180, 575–587.
42. Zhang, L., & Li, X. (2012). Exogenous treatment with salicylic acid attenuates ultraviolet-B radiation stress in soybean seedlings. *In Information Technology and Agricultural Engineering*, 42(3),889-894.