اثر کاربرد سالیسیلیک اسید بر برخی ویژگی های مورفوفیزیولوژیک و عملکرد ارقام گلرنگ در تاریخ های کاشت دیرهنگام

مریم گودرزیان قهفرخی[۱]، افراسیاب راهنما[۲*]، موسی مسکرباشی[۳*] و دونالد اسمیت[۵]

۱، ۲ و۳) گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه شهید چمران اهواز. اهواز ، ایران.
۴) گروه علوم گیاهی، دانشگاه مک گیل. مونترال، کانادا.

نویسنده مسئول*:a.rahnama@scu.ac.ir

تاریخ دریافت:۱۴۰۳/۱۲/۱۹ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۰۶**

چکیده

سالیسیلیک اسید نقش مهمی در تنظیم واکنش گیاهان به تنش‌های زیستی و غیر زیستی ایفا می‌کند. به منظور بررسی کاربرد هورمون سالیسلیک اسید بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و عملکردی ارقام گلرنگ در سه تاریخ کاشت، آزمایشی به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد. سه تاریخ کشت ۲۰ آذر، ۱۰ دی و ۳۰ دی (به ترتیب کشت به‌هنگام، تأخیری و دیرهنگام) در کرت‌های اصلی و غلظت‌های مختلف هورمون سالیسیلیک اسید (صفر، ۲۰۰ و ۴۰۰ میکرومولار در لیتر) و ارقام گلرنگ (فرامان، پرنیان، گلدشت و صفه) به صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. با توجه به نتایج، برهم‌کنش تاریخ کاشت، محلول‌پاشی هورمون و ارقام بر صفات تعداد شاخه فرعی، تعداد طبق در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد زیست توده، شاخص برداشت، سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، شدت تعرق و شاخص کلروفیل معنی‌دار بود، به گونه‌ای که کاشت تأخیری و دیرهنگام سبب کاهش و محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک سبب بهبود صفات مورد بررسی در هر سه تاریخ کشت شد. در کاشت تأخیری کاربرد ۲۰۰ میکرومولار اسید سالیسیلیک بر ارقام صفه، گلدشت و فرامان به ترتیب سبب افزایش ۷۵، ۲۳، ۵ درصدی عملکرد دانه در مقایسه با شرایط عدم محلول‌پاشی شد. مقادیر افزایش در کاشت دیرهنگام و کاربرد ۴۰۰ میکرومولار اسید سالیسیلیک بر ارقام صفه، گلدشت، پرنیان و فرامان به ترتیب برابر با ۷۷، ۸، ۴۱ و ۷۰ درصد بود. رقم فرامان و گلدشت در هر سه تاریخ کاشت همراه با محلول‌پاشی ۴۰۰ میکرومولار اسیدسالیسیلیک بالاترین عملکرد دانه را نشان دادند. محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک، از طریق بهبود صفات فیزیولوژیک و عملکردی سبب کاهش اثرات نامطلوب تنش گرما شد.

واژه‌های کلیدی: تنش گرما، سرعت فتوسنتز، عملکرد دانه، هدایت روزنه‌ای.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

مقدمه

عوامل تنش‌زای مانند خشکی، شوری و گرما تأثیر بسزایی بر بقا و نمو گیاه دارند (Chávez- Khoshru *et al*., 2023; Arias *et al*., 2022). در میان این عوامل تنش زا، دماهای بالا می‌تواند اثرات نامطلوب قابل توجهی بر رشد و نمو و بهره‌وری گیاهان داشته باشد (Li *et al*., 2023). این اثرات نامطلوب می‌تواند منجر به تغییرات موفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی در گیاه شود. افزایش دما در طی زمان الگوهای اقلیمی جهان را تغییر داده و تعادل طبیعت را بر هم زده است (Harrison, 2021; Rahnama *et al*., 2024). تنش گرما بسته به مدت زمان تنش و مرحلهٔ رشدی گیاه که در آن تنش گرما رخ می‌دهد، واکنش‌های متفاوتی را در بین گونه‌های گیاهی نشان می‌دهد (Prasad, 2017). دما یکی از عوامل مهم اثر گذار بر رشد و نمو گیاه است و درجه حرارت‌های بالا نه تنها مراحل رشدی گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد، بلکه تغییرات کمی و کیفی زیادی در ویژگی‌های گیاهان زراعی ایجاد می‌کنند که در عملکرد زراعی، فیزیولوژی، رشد و نمو و درصد روغن اثرگذار است (Kaleem *et al*., 2010). دماهای بالا در طی مراحل گلدهی و دانه‌بندی می‌تواند عملکرد دانه را به طور قابل توجهی کاهش دهد و این امر یکی از موانع اصلی تولید محصولات زراعی در سطح جهان است (Lesjak and Calderini, 2017). گیاهان به منظور سازگاری با تنش، سازوکارهای تحمل از جمله تنظیم مسیرهای پیام‌رسانی سلولی متعدد را تکامل داده‌اند (Kumar *et al*., 2023). در میان این سازوکارها، اسید سالیسیلیک نقش مهمی در تحمل تنش دارد (Attaran *et al*., 2012). نقش اصلی اسید سالیسیلیک در تحمل گیاه به تنش گرما در مطالعات پیشین به خوبی اثبات شده است (Wei *et al*., 2021; Balfagón *et al*., 2022). اسید سالیسیلیک یک مولکول پیام رسان درون زای مهم در گیاهان و محصولات زراعی است که در کاهش اثرات تنش گرما نقش دارد (Duvnjak *et al*., 2023; Talaat *et al*., 2023). این هورمون می‌تواند با تنظیم تجمع و پاکسازی گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر، هموستازی گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر سلولی را حفظ کند. در شرایط تنش گرما، تولید گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد و منجر به آسیب اکسیداتیو در سلول‌ها می‌شود. اسید سالیسیلیک می‌تواند گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر را حذف کرده و آسیب سلولی را کاهش دهد. تنش گرما باعث سنتز و تجمع آنتی‌اکسیدان‌ها در گیاهان می‌شود و ظرفیت آنتی اکسیدانی سلول را افزایش می‌دهد (Song *et al*., 2023). اسید سالیسیلیک می‌تواند سنتز و تجمع آنتی‌اکسیدان‌ها را با تنظیم بیان ژن‌های مرتبط تقویت کند و در نتیجه تحمل گیاه را در برابر تنش گرما افزایش دهد (Duvnjak *et al*., 2023; Talaat *et al*., 2023). مطالعه‌ها بر روی آرابیدوپسیس نشان داده است که تیمار اسید سالیسیلیک تحمل گرما را القا کرده است (Clarke *et al*., 2009). همچنین در ارزیابی ارقام گلرنگ مشخص شده است که تحمل به تنش گرمای آخر فصل در ارقام مورد مطالعه در واکنش به محلول‌پاشی اسیدسالسیلیک افزایش یافته است (گودرزیان قهفرخی و

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

همکاران، ۱۳۹۹). این مطالعه‌ها نشان می‌دهد که اسید سالیسیلیک می‌تواند گیاهان را از آسیب ناشی از تنش گرما در مرحلهٔ رویشی و زایشی محافظت کند. گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) یک گیاه دانه روغنی است که برای اهداف صنعتی و خوراکی کشت می‌شود. تولید جهانی روغن گلرنگ بیش از ۹۹۵۰۰۰ تن است که در سطح معادل ۱/۲ میلیون هکتار کشت می‌شوند (FAO, 2023). بر اساس آمارنامه کشاورزی در سال ۱۴۰۰، سطح زیر کشت گلرنگ در کشور ۳۸۴۲ هکتار و میزان تولید ۵۲۳۳ تن برآورد گردیده است. همچنین استان خوزستان با سطح زیر کشت ۶۰ هکتار و میزان تولید ۹۸ تن، رتبه ششم تولید دانه گلرنگ در کشور را به خود اختصاص داده است (آمارنامهٔ کشاورزی، ۱۴۰۱). با توجه به اهمیت کشت پاییزه گلرنگ به‌عنوان یکی از دانه‌های روغنی مهم در استان خوزستان، و احتمال وقوع گرمای آخر فصل برای این گیاه در شرایط اقلیمی گرم و خشک این استان و دستیابی به ارقام متحمل به دمای بالا و نیز اهمیت کاشت این گیاه در الگوی کشت به عنوان یک محصول جایگزین در شرایط کشت تأخیری و دیرهنگام، تحقیقات در زمینهٔ کاهش اثرهای نامطلوب تنش گرمای آخر فصل بر این گیاه ضروری است. در طی سال‌های اخیر تحقیقات گسترده‌ای در مورد کاربرد اسید سالیسیلیک بر گیاهان مختلف در شرایط تنش‌های مختلف محیطی انجام شده است، با این وجود در زمینهٔ اثر محلول‌پاشی این تنظیم‌کنندهٔ مهم رشد گیاهی بر روی کشت پاییزهٔ گلرنگ در شرایط تنش گرمای آخر فصل گزارش‌های اندکی در دسترس می‌باشد. بنابراین با توجه به نقش‌های مهم این هورمون، پژوهش حاضر با هدف بررسی کاربرد هورمون اسید سالیسیلیک بر کاهش اثرهای نامطلوب تنش گرمای آخر فصل در مرحلهٔ رشد زایشی بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیک و عملکرد دانه ارقام گلرنگ در شرایط آب و هوایی خوزستان اجرا شد.

مواد و روش ها

این پژوهش در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷، به صورت اسپیلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دانشگاه شهید چمران اهواز اجرا شد. سه تاریخ کاشت ۲۰ آذر، ۱۰ دی و ۳۰ دی (به ترتیب تاریخ کاشت به هنگام، تأخیری و دیرهنگام)، در کرت‌های اصلی و غلظت‌های مختلف هورمون سالیسیلیک اسید (صفر، ۲۰۰ و ۴۰۰ میکرومولار در لیتر) و ارقام گلرنگ (صفه، گلدشت، پرنیان و فرامان) به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. در این پژوهش تاریخ کاشت ۲۰ آذر به عنوان تاریخ کاشت مناسب منطقه و تاریخ کاشت ۱۰ دی به عنوان تنش گرمای ملایم و تاریخ کاشت ۳۰ دی‌به عنوان تنش گرمای شدید در نظر گرفته شد. به عبارتی، تاریخ کاشت دوم و سوم با فاصله زمانی حداقل ۲۰ و ۴۰ روز، به نحوی تنظیم گردید که قسمت اعظم دورهٔ زایشی و بخشی از دورهٔ رویشی به دمای نسبتاً بالا و بالاتر از دمای مطلوب رشد و نمو گلرنگ (۲۵-۳۰ درجه سانتی‌گراد) برخورد نماید. محلول‌پاشی هورمون سالیسیلیک اسید با استفاده از پاشنده دستی با فشار ثابت در هنگام صبح و غروب آفتاب در دو مرحلهٔ خروج از روزت (مرحلهٔ ۲۰ بر اساس

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

مقیاس BBCH) و آغاز گلدهی (مرحلهٔ ۵۰ بر اساس مقیاس BBCH) و براساس محاسبهٔ هزار لیتر برای یک هکتار و نیاز محلول‌پاشی هر کرت آزمایشی انجام شد. به طور همزمان بوته‌های شاهد با آب تصفیه شده محلول‌پاشی شدند. ارقام مورد استفاده در این پژوهش از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه شدند. بر اساس نتایج آزمون ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر، بافت خاک لومی شنی، میزان ماده آلی ۰/۶۵ درصد، pH حدود ۷/۶، هدایت الکتریکی ۴/۸ دسی زیمنس بر متر، فسفر و پتاس کل به ترتیب ۸/۱ و ۱۶۹/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم و نیتروژن کل ۰/۰۵۸ درصد بود. با توجه به نتایج آزمون خاک، ۲۵ کیلوگرم پتاس از منبع سولفات پتاسیم و۸۰ کیلوگرم در هکتار فسفر خالص از منبع سوپرفسفات تریپل همزمان با کاشت و۱۲۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در زمان کاشت و به‌صورت سرک در مرحلهٔ روزت و آغاز گلدهی به خاک مزرعه اضافه شد. برخی از اطلاعات مربوط بـه میانگین دمـای کمینه و بیشینه و بارندگی ماهیانه، در دورهٔ زمانی کاشت تـا رسیدگی در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱: اطلاعات هواشناسی سال زراعی ۹۸- ۱۳۹۷

ماه / دما	آذرماه	دی‌ماه	بهمن‌ماه	اسفندماه	فروردین‌ماه	اردیبهشت‌ماه	خردادماه
میانگین دمای بیشینه (درجه سانتی‌گراد)	۲۷/۵	۱۹/۷	۱۸/۶	۲۵/۶	۳۲	۳۶/۳	۴۲/۴
میانگین دمای کمینه (درجه سانتی‌گراد)	۱۵/۵	۶/۶	۸/۶	۱۲/۸	۱۷/۱	۲۷/۳	۲۷/۶
میانگین بارندگی ماهیانه (میلی‌متر)	۲۱	۶۰	۱۱	۵	۴	۳	۰

هـر کـرت آزمایشی شامل ۶ پشته با فاصلهٔ ۶۰ سانتی‌متر و طول ۴ متر در نظر گرفته شد. بذرهای هر رقم پس از ضد عفونی به صورت دستی در دو خط کاشت روی هر پشته و فاصله بوته روی خطوط ۱۵ سانتی‌متر در عمق ۴ تا ۵ سانتی‌متری خاک در تاریخ کاشت‌های مورد نظر کشت شد. آبیاری اول بلافاصله پس از کاشت، و آبیاری‌های بعدی پس از رسیدن میزان رطوبت خاک به حدود ۸۰ درصد ظرفیت زراعی به صورت سیفونی انجام شد و تا پایان فصل رشد ادامه یافت. هدایت روزنه‌ای و سرعت فتوسنتز با استفاده از دستگاه تحلیل‌گر مادون قرمز (IRGA, model LCA4, ADC Biosientific Ltd. Hoddeston,UK) بین ساعت ۹/۳۰ صبح تا ۱۲ و شاخص کلروفیل با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر (Monilota SPAD-502 Chlorophyll meter, Japan) اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری‌ها بر روی سه بوته در هر واحد آزمایشی در اواسط دورهٔ پر شدن دانه انجام شد. در زمـان رسیدگی کامل دانه‌ها و قبل از عملیات برداشت، به‌طور تصادفی از هر واحد آزمایشی، تعداد ۱۰ بوته انتخاب و صفات ارتفاع بوته، ارتفاع تا اولین شاخهٔ فرعی، و اجزای عملکرد شامل تعداد طبق در بوته، تعداد شاخهٔ فرعی و وزن هزاردانه تعیین شد. پس از حذف بوته‌های حاشیه، در مساحت یک متر مربع از بوته‌های دو ردیف میانی هرکرت، عملکرد زیست توده، عملکرد دانه و در نهایت شاخص برداشت اندازه‌گیری شد. تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۲ انجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون حداقل اختلاف

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

معنی دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

ارتفاع ساقه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد تنها بین اثرات اصلی تاریخ کاشت، رقم و هورمون از نظر ارتفاع ساقه تفاوت معنی‌داری وجود داشت (جدول ۲). افزایش دمای ناشی از تأخیر در کاشت موجب کاهش ارتفاع ساقه گردید، به گونه‌ای که کاشت تأخیری و دیرهنگام سبب کاهش به ترتیب ۱۳/۶ و ۲۹/۴ درصدی ارتفاع ساقه نسبت به کاشت به هنگام شد. بین تیمارهای مختلف هورمون نیز غلظت ۴۰۰ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید، سبب بیشترین افزایش ارتفاع ساقه (۲۸/۷ درصد) نسبت به تیمار عدم کاربرد هورمون شد. رقم فرامان دارای بیشترین (۱۲۴/۶ سانتی‌متر) و رقم گلدشت دارای کمترین (۱۰۶/۴ سانتی‌متر) ارتفاع ساقه بود (جدول ۳). کاهش ارتفاع بوته در اثر گرمای آخر فصل رشد به تغییرات دما و طول روز در دورهٔ نمو رویشی و زایشی بستگی دارد. در واقع با تأخیر در کاشت همزمانی مراحل فنولوژیک با دماهای بالا سبب افزایش سرعت نمو می‌شود و به دنبال آن ارتفاع گیاه کاهش خواهد یافت. کاهش ارتفاع بوته ناشی از تأخیر در کاشت در مناطقی که دمای بالا برای یک دورهٔ زمانی افزایش می‌یابد پدیده‌ای عمومی است. در استان خوزستان، تأخیر در کشت پاییزه سبب می شود گیاه در اواخر بهمن و اوایل اسفند با تنش گرما مواجه شده و رشد رویشی خود را کاهش داده و مرحلهٔ زایشی و تولید طبق را سریع‌تر آغاز کند و به دنبال آن ارتفاع گیاه کاهش می‌یابد (خواجوی و همکاران، ۱۴۰۲). در خصوص تأثیر سالیسیلیک اسید بر ارتفاع بوته گزارش‌های مختلفی ارائه شده است. استفاده بهینه از منابع و شرایط رشدی مناسب به دلیل برخورداری از دورهٔ رشد طولانی در شرایط مناسب دمایی، می‌تواند عامل اصلی افزایش ارتفاع گیاه محسوب شود. برعکس با افزایش دمای محیط، به دلیل کوتاه شدن فصل رشد، گیاه قادر به استفاده از شرایط محیطی و منابع موجود نبوده که اثر این محدودیت در کاهش ارتفاع گیاه کاملاً محسوس بود. به نظر می‌رسد کاهش ارتفاع بوته در کشت دیرهنگام به دلیل کاهش تولید مواد فتوسنتزی در اثر کاهش دسترسی به رطوبت کافی خاک در طی دورهٔ رشد باشد (Singh *et al*., 2014). همچنین اثر مثبت محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید بر ارتفاع بوته می‌تواند به دلیل نقش این هورمون در افزایش سرعت رشد، انتقال و تبادل یون‌ها، افزایش سرعت فعالیت‌های متابولیکی درون سلول، انتقال کربوهیدرات‌ها و فتوسنتز باشد (Khan *et al*., 2003). کاهش ارتفاع بوته در اثر تأخیر در کاشت و تأثیر تعدیل کنندگی سالیسیلیک اسید بر ارتفاع بوته در سایر مطالعات نیز گزارش شده است (دیناروندی و همکاران، ۱۴۰۴).

ارتفاع تا اولین شاخهٔ فرعی

بر اساس نتایج تجزیه واریانس تنها بین اثرات اصلی تاریخ کاشت، رقم و هورمون از نظر ارتفاع تا اولین شاخهٔ فرعی

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

تفاوت معنی‌داری وجود داشت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها حاکی از آن بود که با افزایش دما از ارتفاع تا اولین شاخهٔ فرعی کاسته شد به نحوی که بالاترین میزان آن در شرایط کاشت به هنگام (۸۲/۲ سانتی‌متر) مشاهده شد و با تأخیر در کاشت و افزایش دما در کاشت تأخیری و دیرهنگام مقادیر آن به ترتیب با کاهش ۱۸/۱ و ۵۷/۲ درصدی روبرو شد. همچنین مشخص گردید که محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید موجب افزایش ارتفاع تا اولین شاخهٔ فرعی گردید، به گونه‌ای که غلظت‌های ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌مولار این هورمون سبب افزایش به ترتیب ۱۱/۷ و ۲۷/۳ درصدی ارتفاع تا شاخهٔ فرعی در مقایسه با عدم کاربرد هورمون شد. در شرایط کاربرد سالیسیلیک اسید، افزایش ارتفاع تا اولین شاخهٔ فرعی را می‌توان به افزایش ارتفاع ساقه در این شرایط نسبت داد. در بین ارقام مورد مطالعه نیز رقم فرامان و گلدشت به ترتیب دارای بیشترین (۷۲ سانتی‌متر) و کمترین (۵۱ سانتی‌متر) میزان ارتفاع تا شاخهٔ فرعی بودند (جدول ۳). از دیدگاه محققان صفت ارتفاع تا اولین شاخهٔ فرعی یک صفت با وراثت پذیری بالا است و تا حدودی تحت تأثیر تنش‌های محیطی به ویژه در مرحله ساقه‌دهی قرار می‌گیرد (فرخی‌نیا و همکاران، ۱۳۸۸). در این مطالعه رقم فرامان با تشکیل شاخه‌های فرعی و طبق در ارتفاع بالاتر از ارقام دیگر یک رقم مناسب به منظور کشت مکانیزه محسوب می‌گردد که حتی در شرایط تنش گرمای انتهای فصل می‌تواند این ویژگی خود را حفظ نماید. در این رابطه پاسبان اسلام (۱۳۸۶) گزارش کرد که بالاترین ارتفاع طبق از سطح زمین مربوط به ارقام محلی گلرنگ همچون رقم اصفهان بود و این رقم به عنوان رقم مناسب‌تر برای برداشت مکانیزه در مقایسه با سایر ارقام مورد مطالعه خود در شرایط تنش‌های محیطی توصیه گردید.

تعداد شاخهٔ فرعی

تعداد شاخهٔ فرعی در واحد سطح تحت تأثیر اثرات اصلی تاریخ کاشت، رقم و هورمون و برهم‌کنش آن‌ها قرار گرفت (جدول ۲). با تأخیر در کاشت تعداد شاخهٔ فرعی در واحد سطح به ویژه در کاشت دیرهنگام کاهش یافت. کاربرد هر دو غلظت هورمون سبب بهبود تعداد شاخهٔ فرعی شد. بیشترین تعداد شاخهٔ فرعی در واحد سطح در رقم فرامان در کاشت به هنگام و کاربرد ۴۰۰ میلی‌مولار هورمون (۸۴/۷) مشاهده شد. در شرایط کاشت تأخیری نیز بیشترین تعداد شاخهٔ فرعی مربوط به رقم پرنیان در شرایط کاربرد ۴۰۰ میلی‌مولار هورمون (۵۸/۱ شاخهٔ فرعی) حاصل شد. کمترین تعداد شاخهٔ فرعی نیز مربوط به رقم صفه در کاشت دیرهنگام و تحت کاربرد ۲۰۰ میلی‌مولار هورمون (۲۲/۳) مشاهده شد (شکل ۱). کاهش تعداد شاخهٔ فرعی در اثر تنش گرمای پایان فصل یانگر کاهش تولید مواد فتوسنتزی و منابع ذخیره‌ای جهت تولید شاخه‌های فرعی است. با توجه به هم‌زمانی رشد طولی ساقه با رشد شاخه‌های فرعی و توسعهٔ طبق‌ها، بروز تنش در این مرحله از طریق کاهش مواد فتوسنتزی و کاهش جایگاه توسعه طبق‌ها که همان شاخه‌های فرعی می‌باشند منجر به کاهش عملکرد گیاه می‌شود..

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

جدول ۳: میانگین مربعات صفات مورفولوژیک و عملکردی ارقام گلرنگ در تاریخ‌های مختلف کاشت و محلول‌پاشی هورمون

		میانگین مربعات										
منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع ساقه	ارتفاع اولین شاخهٔ فرعی	تعداد شاخه فرعی	تعداد طبق در بوته	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	عملکرد زیست توده	شاخص برداشت	سرعت فتوسنتز	هدایت روزنه‌ای	شدت تعرق	شاخص سبزینگی
بلوک	۲	۲۹۵	۵٤/۵	۲۲/۸	۰/۰٤۱	۰/۰۱٦	۳٦۷۲۹۳	۲٦۳۹۹۳۳	۱۸/۳	۱۴/۲	۰/۰۰۰۲	۲/۸۷	۳۲/۳
تاریخ کاشت	۲	۱٤۰٤۳**	۲۰۷۸۲**	۹۳٦۵*	۲٦۵**	۱۹۹**	۱۳۳۷۸۷۸۹**	۱۰٦۲۷۳۲۸۳٤**	٤۱۸**	۵۰۱۵**	۰/۵۳۸**	۹۱۹۲**	۱۴۹۵**
خطای اصلی	٤	۲۰٦	۹۲/۲	۳٦/٤	۱/۷	۳/۲۱	۷۷۳۷۰	۳۱۳۷۸۷۷	۱۱/۵	۳/۹۷	۰/۰۰۰۱	۲/۸۱	۱۰/۲
هورمون	۲	۷٦۳۱**	۲۰۰۹**	۵۸۰**	۵۹/۱**	٤۷/۸**	۳۷۲۰۹۲۷**	۱۰۹٤۲۲۸۹۵**	۳۰/۷ns	۲۱۸۱**	۰/۱۳۰**	۸۹۱**	۲۵۰۵**
تاریخ کاشت × هورمون	۴	۲٦/۹ns	۱۰۹ns	۷۰/۷*	۸/۸**	۹/۱۱ns	۸۹٤۳۵۲**	۸۹۹٤۱۵۱*	۵۱/۲**	۳/۸۵ns	۰/۰۰۲۶*	۱۱۹**	۴۷/۳**
رقم	۳	۱٦۰۸**	۲٤۸۲**	۸۲۷**	٤۲/٦**	۹۹/۵**	۷۲۰۳۱۰۹**	۱۷٦٦٤٦۰۰۹**	٤۱/۸*	۱۵۵۲**	۰/۱۶۶**	۲۵۷۴۰**	۲۴۵۸**
تاریخ کاشت×رقم	۶	۱۷/۹ns	۲٤/۹ns	۱۰۹**	۱/٦ns	۱۳/۸*	٦۵٤۸۷۷**	۳۸۷۳٤۹۵۲**	۱۸۲**	۲۶/۵ns	۰/۰۰۹**	۷۷۳**	۲۶۵**
هورمون× رقم	۶	۷۱/۷ns	۳٦/٤ns	۹۵/۹**	٤/۵ns	٦/۸۹ns	۳۵۲۹۱٤*	۵۷۸۱۰۲۵ns	٦۱/۱**	۱۱۴**	۰/۰۰۲ns	۴۸/۹**	۲۰۸**
تاریخ‌کاشت×هورمون× رقم	۱۲	۲۸/۲ns	۳۱/٤ns	۱۸۳**	۸/۸**	۱۲/۵۱**	۷۱۹۸۵٤**	۱۰۹٤۲٤٦۳**	۳۱/۱*	۳۵/۷**	۰/۰۰۲**	۲۷/۷**	۴۷/۵**
خطای فرعی	۶۶	۱۲۳/۹	۲۰۵	۲۵/۱	۲/۳	٤/۸۸	۱۲۲۰۵۳	۲۷۲۲۷۵۲	۱۲/۸	۱۴/۳	۰/۰۰۰۹	۵/۸۶	۱۱/۸
ضریب تغییرات (درصد)		۹/٦۸	۱۳/۳	۱۰/۹	۱۵/۱	۷/۲٤	۱٦/۱	۱۱/۵۰	۲۱/۸	۱۵/۶	۹/۷	۱۲/۳	۹/۱۸

ns: فاقد تفاوت آماری معنی‌دار، * و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد

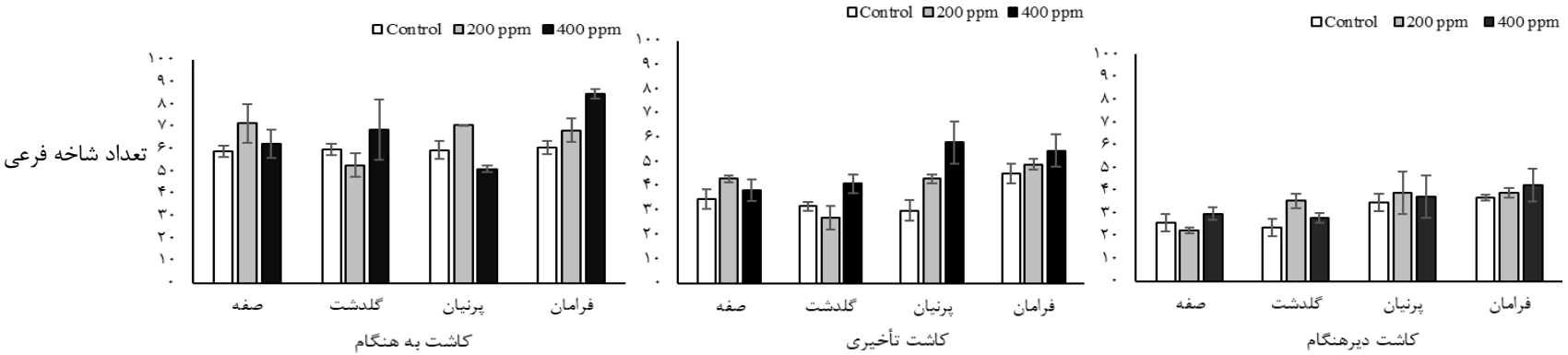
[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

جدول ۴: مقایسه میانگین اثرات اصلی تاریخ کاشت، هورمون و رقم بر ارتفاع ساقه و ارتفاع اولین شاخهٔ فرعی

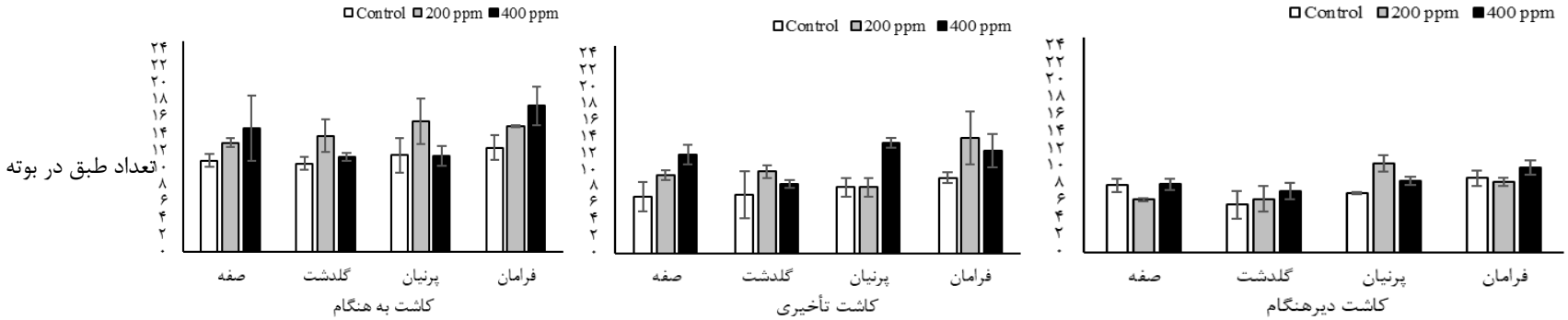
صفات/ تیمارها	ارتفاع ساقه (سانتی‌متر)	ارتفاع اولین شاخهٔ فرعی (سانتی‌متر)
تاریخ کاشت		
به‌هنگام	۱۳۴/۱ a	۸۲/۲ a
تأخیری	۱۱۵/۹ ab	۶۷/۳ b
دیر هنگام	۹۴/۷ b	۳۵/۲ c
هورمون		
۰	۱۰۱/۱ b	۵۴/۵ b
۲۰۰ میکرومولار	۱۱۳/۴ ab	۶۰/۸ ab
۴۰۰ میکرومولار	۱۳۰/۱ a	۶۹/۴ a
ارقام		
صفه	۱۱۲/۱ ab	۵۶/۴ bc
گلدشت	۱۰۶/۴ b	۵۱/۰ c
پرنیان	۱۱۶/۶ ab	۶۶/۸ ab
فرامان	۱۲۴/۶ a	۷۲/۱ a

* میانگین‌های دارای حروف مشترک برای هر صفت در هر ستون، با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

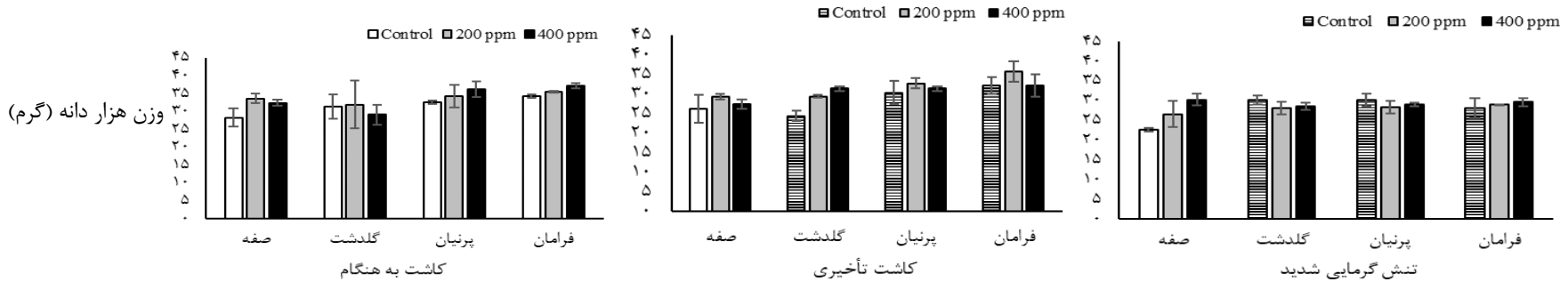


شکل۱: تأثیر هورمون اسیدسالیسیلیک و تاریخ کاشت بر تعداد شاخه فرعی ارقام گلرنگ (برش‌دهی اثرات متقابل در هر سطح تاریخ کاشت). میله‌های عمودی بر روی ستون‌های هر میانگین نشان‌دهنده خطای استاندارد است.

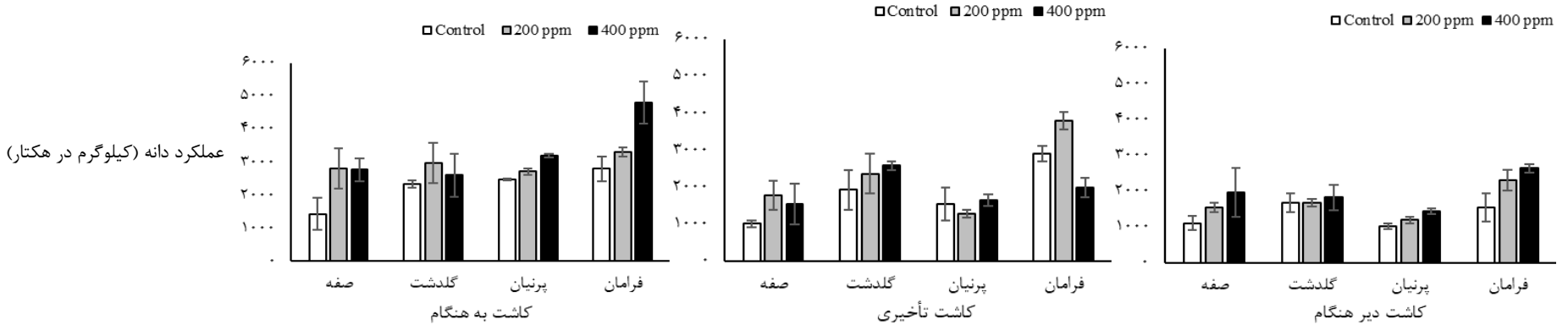


شکل۲: تأثیر هورمون اسیدسالیسیلیک و تاریخ کاشت بر تعداد طبق در بوته ارقام گلرنگ (برش‌دهی اثرات متقابل در هر سطح تاریخ کاشت). میله‌های عمودی بر روی ستون‌های هر میانگین نشان‌دهنده خطای استاندارد است.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

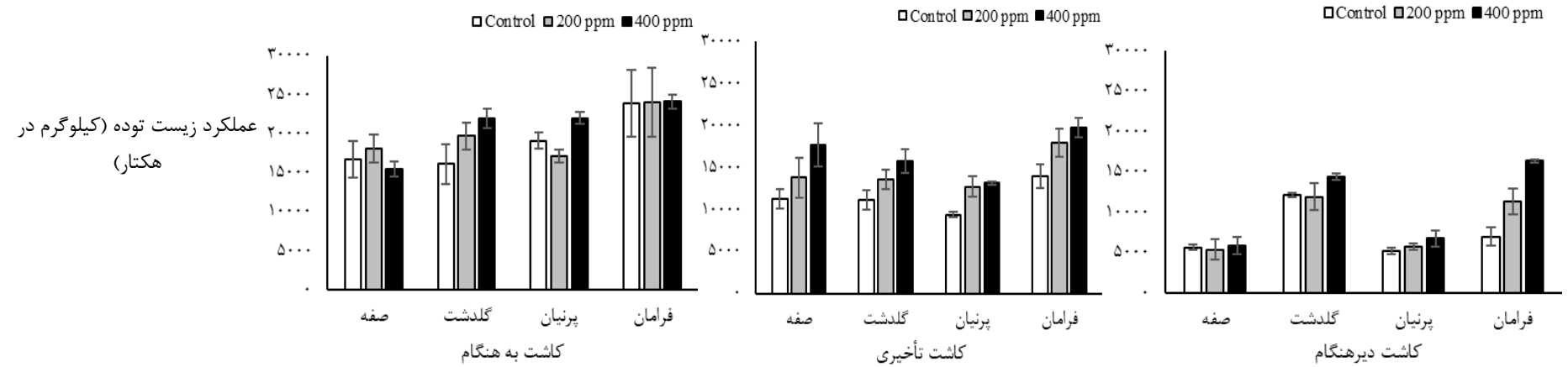


شکل ۳: تأثیر هورمون اسیدسالیسیلیک و تاریخ کاشت بر وزن هزار دانه ارقام گلرنگ (برش‌دهی اثرات متقابل در هر سطح تاریخ کاشت). میله‌های عمودی بر روی ستون‌های هر میانگین نشان‌دهنده خطای استاندارد است.

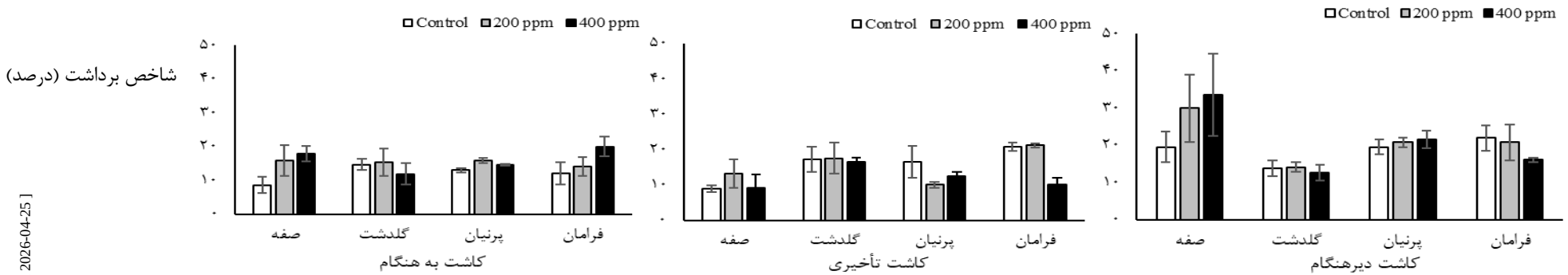


شکل ۴: تأثیر هورمون اسیدسالیسیلیک و تاریخ کاشت بر عملکرد دانه ارقام گلرنگ (برش‌دهی اثرات متقابل در هر سطح تاریخ کاشت). میله‌های عمودی بر روی ستون‌های هر میانگین نشان‌دهنده خطای استاندارد است

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]



شکل ۵: تأثیر هورمون اسیدسالیسیلیک و تاریخ کاشت بر عملکرد زیست توده ارقام گلرنگ (برش‌دهی اثرات متقابل در هر سطح تاریخ کاشت). میله‌های عمودی بر روی ستون‌های هر میانگین نشان‌دهنده خطای استاندارد است.



شکل ۶: تأثیر هورمون اسیدسالیسیلیک و تاریخ کاشت بر شاخص برداشت ارقام گلرنگ (برش‌دهی اثرات‌متقابل در هر سطح تاریخ کاشت). میله‌های عمودی بر روی ستون‌های هر میانگین نشان‌دهنده خطای استاندارد است.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

جدول۵: مقادیر ویژه، بردارهای ویژه و واریانس‌های نسبی سه مؤلفه اصلی اول در تیمارهای تاریخ کاشت در ارقام گلرنگ مورد مطالعه

کاشت به هنگام				کاشت تأخیری				کاشت دیرهنگام			
مؤلفه‌های اصلی	مؤلفه ۱	مؤلفه ۲	مؤلفه ۳	مؤلفه‌های اصلی	مؤلفه ۱	مؤلفه ۲	مؤلفه ۳	مؤلفه‌های اصلی	مؤلفه ۱	مؤلفه ۲	مؤلفه ۳
مقادیر ویژه	۹/۷۱	۲/۶۲	۱/۲۹	مقادیر ویژه	۹/۸۱	۲/۶۲	۲/۲۴	مقادیر ویژه	۸/۱۶	۳/۲۴	۲/۱۵
واریانس کل (درصد)	۵۷/۱	۱۵/۳	۷/۶۱	واریانس کل (درصد)	۵۷/۷	۱۵/۴	۱۳/۲۴	واریانس کل (درصد)	۴۷/۹	۱۹/۱۵	۱۲/۶۶
مقادیر ویژه تجمعی	۹/۷۱	۱۲/۳	۱۳/۶	مقادیر ویژه تجمعی	۹/۸۱	۱۲/۴	۱۴/۶	مقادیر ویژه تجمعی	۸/۱۶	۱۱/۴	۱۳/۵۵
واریانس تجمعی (درصد)	۵۷/۱	۷۲/۵	۸۰/۱	واریانس تجمعی (درصد)	۵۷/۷	۷۳/۲	۸۶/۳	واریانس تجمعی (درصد)	۴۷/۹	۶۷/۱۵	۷۹/۷
متغیر کسینوس مربع				متغیر کسینوس مربع				متغیر کسینوس مربع			
متغیرها	مؤلفه ۱	مؤلفه ۲	مؤلفه ۳	متغیرها	مؤلفه ۱	مؤلفه ۲	مؤلفه ۳	متغیرها	مؤلفه ۱	مؤلفه ۲	مؤلفه ۳
سرعت فتوسنتز	۰/۷۱۶	۰/۰۵۸	۰/۰۰۶	سرعت فتوسنتز	۰/۸۲۴	۰/۰۴۶	۰/۰۳۰	سرعت فتوسنتز	۰/۶۱۳	۰/۰۱۱	۰/۱۳۸
هدایت روزنه‌ای	۰/۸۴۱	۰/۰۲۰	۰/۰۱۱	هدایت روزنه‌ای	۰/۹۲۱	۰/۰۱۲	۰/۰۰۱	هدایت روزنه‌ای	۰/۹۲۷	۰/۰۰۶	۰/۰۰۳
شاخص کلروفیل	۰/۸۶۲	۰/۰۱۳	۰/۰۲۱	شاخص کلروفیل	۰/۸۱۲	۰/۱۳۰	۰/۰۰۷	شاخص کلروفیل	۰/۴۰۲	۰/۴۲۱	۰/۰۶۵
تعداد طبق	۰/۵۹۹	۰/۲۱۴	۰/۰۵۶	تعداد طبق	۰/۶۸۲	۰/۰۶۵	۰/۰۰۴	تعداد طبق	۰/۶۰۰	۰/۱۰۵	۰/۰۲۴
تعداد شاخه فرعی	۰/۳۳۴	۰/۳۰۷	۰/۰۳۷	تعداد شاخه فرعی	۰/۷۸۸	۰/۰۲۳	۰/۰۰۰	تعداد شاخه فرعی	۰/۷۸۶	۰/۰۶۲	۰/۰۵۱
ارتفاع اولین شاخه	۰/۸۷۵	۰/۰۳۵	۰/۰۰۶	ارتفاع اولین شاخه	۰/۹۱۲	۰/۰۱۶	۰/۰۰۰	ارتفاع اولین شاخه	۰/۸۹۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۸
ارتفاع بوته	۰/۸۲۲	۰/۰۰۷	۰/۰۸۱	ارتفاع بوته	۰/۸۲۰	۰/۰۰۱	۰/۱۱۸	ارتفاع بوته	۰/۶۵۶	۰/۰۸۱	۰/۰۶۴
قطر ساقه	۰/۳۰۰	۰/۰۹۸	۰/۵۴۵	قطر ساقه	۰/۴۹۲	۰/۰۸۲	۰/۱۱۱	قطر ساقه	۰/۷۸۵	۰/۰۶۲	۰/۰۵۱
وزن هزار دانه	۰/۷۵۲	۰/۰۵۰	۰/۰۹۲	وزن هزار دانه	۰/۵۸۲	۰/۰۱۵	۰/۱۸۸	وزن هزار دانه	۰/۱۶۳	۰/۰۲۲	۰/۰۲۳
عملکرد دانه	۰/۷۸۴	۰/۰۲۲	۰/۰۰۰	عملکرد دانه	۰/۱۱۳	۰/۵۴۴	۰/۳۳۴	عملکرد دانه	۰/۳۲۱	۰/۶۴۷	۰/۰۰۳
عملکرد بیولوژیک	۰/۳۳۶	۰/۱۰۱	۰/۱۰۲	عملکرد بیولوژیک	۰/۵۳۱	۰/۳۱۴	۰/۱۱۶	عملکرد بیولوژیک	۰/۰۷۸	۰/۴۴۵	۰/۴۳۸
شاخص برداشت	۰/۴۶۳	۰/۱۹۸	۰/۰۶۱	شاخص برداشت	۰/۰۰۷	۰/۲۵۷	۰/۷۰۲	شاخص برداشت	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۹۶۰

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

در مطالعه‌های قبلی نیز گزارش شده است که در شرایط تنش، تعداد سلول‌های آغازین تشکیل شده جهت تولید انشعابات اولیهٔ ساقه کاهش می‌یابد و سبب کاهش تعداد شاخه اصلی گیاه می‌شود (Cox and Jollif *et al*., 1986). نتایج مشابهی مبنی بر کاهش تعداد شاخه فرعی در شرایط تنش خشکی گزارش شده است (سید احمدی و همکاران، ۱۳۹۴). از سوی دیگر کاربرد هورمون سبب تعدیل اثرات نامطلوب دماهای بالای ناشی از تأخیر در تاریخ کاشت بر تعداد شاخهٔ فرعی شد.

تعداد طبق در بوته

تعداد طبق در بوته یکی از مهم‌ترین اجزای اصلی تشکیل‌دهندهٔ پتانسیل تولید در گیاه گلرنگ می‌باشد. این ویژگی تحت تأثیر اثرات اصلی تاریخ کاشت، رقم و هورمون و برهم‌کنش آن‌ها قرار گرفت (جداول ۲). با تأخیر در کاشت، تعداد طبق در بوته به ویژه در کاشت دیرهنگام کاهش یافت. کاربرد هر دو غلظت هورمون در همهٔ ارقام سبب بهبود این صفت شد. بیشترین تعداد طبق در بوته در کاشت به هنگام و با کاربرد ۴۰۰ میلی‌مولار هورمون در رقم فرامان (۱۷/۳ عدد) مشاهده شد و با تأخیر در کاشت و افزایش دمای محیط تعداد طبق در بوته در همهٔ ارقام مورد مطالعه کاهش یافت، به نحوی که کمترین تعداد آن در کاشت دیرهنگام و شرایط عدم کاربرد هورمون در رقم گلدشت (۵/۵ عدد) مشاهده شد (شکل ۲). به نظر می‌رسد با تأخیر در کاشت به علت مواجه شدن گیاه با دماهای بالا به ویژه در زمان گل‌دهی (جدول ۱)، رسیدگی محصول سریع‌تر شده و با کوتاه شدن طول دورهٔ رشد، پتانسیل تولیدی گیاه با کاهش تعداد شاخهٔ فرعی کاهش یافته و در نتیجه تعداد طبق در بوته با کاهش مواجه شده است. با این حال محلول‌پاشی هورمون در هردو غلظت ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌مولار سبب افزایش تعداد طبق در بوته نسبت به عدم کاربرد هورمون در تیمارهای تاریخ کاشت‌های تأخیری و دیرهنگام شد. در مطالعات گذشته نیز گزارش شده است که تأخیر در کاشت گلرنگ و برخورد با دمای بالا سبب کاهش تعداد شاخهٔ فرعی و در نهایت کاهش تعداد طبق می‌شود (Fazeli kakheli *et al*., 2008). گرمای پایان فصل رشد، علاوه بر این که سبب کاهش تعداد طبق در بوته می‌گردد، سبب اختلال در انتقال مواد ذخیره‌ای به دانه‌ها می‌شود و به موجب آن تعداد دانه در طبق و راندمان تولیدی گیاه کاهش می‌یابد (Cazzato *et al*., 2011). در پژوهش فرخی‌نیا و همکاران (۱۳۸۸) تنش در مرحلهٔ گلدهی گلرنگ موجب کاهش معنی‌دار تعداد طبق در بوته شد که این کاهش ناشی از کاهش طبق‌های فرعی فرعی بود. در شرایط دماهای بالا همچنین گیاه با افزایش سرعت رشد، چرخهٔ زندگی خود را کوتاه‌تر کرده و این امر موجب کاهش تجمع ماده خشک در گیاه و در نتیجه کاهش تعداد طبق در بوته می‌گردد. مشخص شده است که اعمال تنش پس از مرحلهٔ تشکیل طبق‌های اصلی باعث کاهش تعداد طبق‌های فرعی می‌شود که این طبق‌ها در مقایسه با طبق‌های اصلی قطر کمتری نیز دارند (Dajue and Mundel, 2006).

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

وزن هزار دانه

اثرات اصلی تاریخ کاشت، رقم و هورمون و برهم‌کنش آن‌ها بر وزن هزار دانه معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین وزن هزار دانه مربوط به رقم فرامان در شرایط کشت به هنگام و کاربرد ۴۰۰ میلی‌مولار هورمون (۳۷/۲ گرم) و کمترین مقدار آن مربوط به رقم صفه در شرایط عدم محلول‌پاشی هورمون (۲۸/۲ گرم) بود. در کاشت تأخیری نیز بیشترین مقدار مربوط به رقم فرامان و کاربرد ۲۰۰ میلی‌مولار هورمون (۳۵/۶ گرم) و کمترین مقدار آن در رقم گلدشت در شرایط عدم محلول-پاشی (۲۴/۲ گرم) مشاهده شد. در شرایط کاشت دیرهنگام میزان وزن هزار دانه مربوط به رقم صفه و کاربرد ۴۰۰ میلی-مولار هورمون (۳۰/۳ گرم) و کمترین مقدار نیز در رقم صفه در شرایط عدم کاربرد هورمون (۲۲/۶ گرم) مشاهده شد (شکل ۳). ارقام به میزان متفاوتی تحت‌تأثیر تنش گرمای ناشی از تاریخ کاشت و محلول‌پاشی هورمون قرار گرفتند، به گونه‌ای که رقم صفه بیشترین تأثیر را از محلول‌پاشی ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌مولار هورمون پذیرفت. رقم فرامان در شرایط کاشت به هنگام و دیرهنگام از وزن هزار دانه بیشتری نسبت به سایر ارقام برخوردار بوده و رقم صفه نیز کاهش بیشتری نسبت به دیگر ارقام نشان داد. کاهش تعداد دانه در اثر تنش گرما موجب کاهش تعداد مخازن فیزیولوژیک در گیاه شده که این امر همراه با انتقال کربوهیدرات محلول در نتیجه فتوسنتز جاری موجب افزایش وزن هزار دانه‌های لقاح یافته می‌گردد. البته باید توجه داشت که اثر تنش گرما در اوایل گلدهی با کاهش وزن دانه‌ها و کاهش تعداد آن‌ها در غوزه مشخص می-گردد، چراکه تنش دمای بالا با خسارت به سازوکارهای دخیل در فتوسنتز جاری موجب کاهش تولید مواد فتوسنتزی خواهد شد. در این مطالعه نیز مشخص گردید که در ارقام حساس صفه و پرنیان در نتیجهٔ برخورد با گرمای انتهای فصل رشد درصد تشکیل دانه‌های پوک در طبق‌ها افزایش یافته که همین امر موجب کاهش وزن هزار دانه در این ارقام شده است. هرچند محلول‌پاشی هورمون تأثیر معنی‌داری در افزایش مقادیر وزن دانه نشان داد. بر اساس نتایج این آزمایش به نظر می‌رسد که در شرایط برخورد با گرمای شدید آخر فصل، محلول‌پاشی با غلظت بالاتر (۴۰۰ میکرومولار) واکنش بهتری در صفات مرتبط با عملکرد به ویژه وزن هزار دانه ایجاد خواهد کرد. در شرایط تنش گرما با کاهش رشد سلول از طریق کاهش تقسیم و اندازهٔ سلول، وزن هزاردانه محدود می‌گردد. در این پژوهش نیز طول دورهٔ رشد در کاشت دیرهنگام در مقایسه با کاشت به هنگام کوتاه‌تر شد و دلیل کاهش وزن هزار دانه در کاشت دیرهنگام را می‌توان به هم‌زمانی دورهٔ پر شدن دانه با دماهای بالا در اواخر فروردین و اوایل اردیبهشت‌ماه و کاهش دورهٔ پر شدن دانه‌ها و در نتیجه چروکیده شدن و کاهش وزن دانه‌ها نسبت داد.

عملکرد دانه

عملکرد دانه به طور معنی‌داری تحت تأثیر اثرات اصلی تاریخ کاشت، رقم و هورمون و برهم‌کنش آن‌ها قرار گرفت

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

(جدول ۲). با افزایش دمای ناشی از تغییر تاریخ کاشت عملکرد دانه ارقام مورد مطالعه کاهش یافت و کاربرد هر دو سطح هورمون در هر سه تاریخ کاشت موجب بهبود عملکرد دانهٔ ارقام مورد مطالعه گردید. در تاریخ کشت به هنگام بیشترین عملکرد دانه در رقم فرامان تحت محلول‌پاشی ۴۰۰ میلی‌مولار هورمون (۴۸۰۹ کیلوگرم در هکتار) و کمترین مقدار در رقم صفه تحت تیمار عدم کاربرد هورمون (۱۴۳۳ کیلوگرم در هکتار) حاصل شد. در تاریخ کاشت تأخیری نیز بیشترین عملکرد دانه در رقم فرامان با کاربرد ۲۰۰ میلی‌مولار هورمون (۳۷۹۳ کیلوگرم در هکتار) و کمترین مقدار در رقم صفه در شرایط عدم کاربرد هورمون (۱۰۰۷ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد. در تاریخ کشت دیرهنگام بیشترین عملکرد دانه در رقم فرامان و کاربرد ۴۰۰ میلی‌مولار هورمون (۲۶۳۶ کیلوگرم در هکتار) و کمترین مقدار در رقم پرنیان و شرایط عدم کاربرد هورمون (۱۰۱۹ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد (شکل ۴). عملکرد دانه در کاشت دیرهنگام به دلیل تأخیر در کاشت و افزایش دمای هوا و کاهش طول دورهٔ رشد گیاه باعث مواجه شدن دوران گرده‌افشانی و پر شدن دانه با دماهای بالای هوا در اوایل فروردین تا اوایل اردیبهشت‌ماه شد و در نتیجه منجر به کاهش اجزای عملکرد و عملکرد دانه شد، که با نتایج سایر محققان بر روی گیاه کلزا (دیناروندی و همکاران، ۱۴۰۴)، آفتابگردان (شیخ ممو و همکاران، ۱۴۰۲) و گلرنگ (Rahnama *et al*., 2024) هم‌خوانی داشت. مشخص شده است که تنش گرما سبب تسریع رشد (Rahnama *et al*., 2024)، پیری برگ و کاهش فتوسنتز (Prasad *et al*., 2011) می‌گردد و در نهایت بر عملکرد کمی و کیفی گیاه اثر می‌گذارد. کاهش عملکرد دانه در نتیجه بروز تنش گرمایی در انتهای دورهٔ رشد رویشی و همچنین کل دورهٔ زایشی توسط سایر محققان گزارش شده است (Wallwork *et al*., 2018;). در این پژوهش، در کاشت به‌هنگام با توجه به مواجه شدن دورهٔ پر شدن دانه با میانگین دمای ۳۲-۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد در اسفند و فروردین‌ماه و در کشت تأخیری و دیرهنگام به دلیل تأخیر در کاشت و افزایش دمای هوا و کاهش طول دورهٔ رشد گیاه باعث مواجه شدن دوران گرده‌افشانی و پر شدن دانه با دماهای بالای هوا در اوایل فروردین تا اوایل اردیبهشت‌ماه شده و در نتیجه سبب کاهش عملکرد دانه از طریق کاهش در اجزای عملکرد شد، که با نتایج سایر محققان بر روی گیاه آفتابگردان (شیخ ممو و همکاران، ۱۴۰۲) و گلرنگ (Rahnama et al., 2024) هم خوانی داشت. کاشت تأخیری در ارقام صفه، گلدشت و پرنیان منجر به کاهش ۲۹ ، ۱۸ و ۳۷ درصدی عملکرد دانه شد، در حالی که این کاهش در کاشت دیرهنگام ارقام صفه، گلدشت، پرنیان و فرامان برابر با ۲۳، ۲۸، ۵۸ و ۴۴ درصد بود (شکل ۴). به عبارتی به ازای هر روز تأخیر در کاشت مقادیر کاهش در کاشت تأخیری برای ارقامم ورد اشاره به ترتیب برابر با ۱/۴۵، ۰/۹۰و ۱/۸۵ درصد بود، در حالی‌که مقادیر کاهش برای کاشت دیرهنگام ارقام مورد اشاره برابر با ۱/۱۵، ۱/۴۰، ۲/۹۰ و ۲/۲۰ درصد بود. نتایج این پژوهش نیز تأیید می‌کند که دمای بالا به طور قابل‌توجهی بر نمو بذر و مدت زمان پر شدن دانه اثر گذاشته و در نهایت عملکرد دانه را کاهش داده است (دیناروندی و همکاران، ۱۴۰۴). عملکرد

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

بالاتر هر چهار رقم کلزا در تاریخ کاشت به هنگام را می‌توان به دسترسی بیشتر به آب در دورهٔ رشد محصول (۲۱ میلی‌متر) در مقایسه با تاریخ کاشت دیرهنگام نسبت داد (جدول ۱). در کاشت تأخیری کاربرد ۲۰۰ میکرومولار سالیسیلیک اسید بر ارقام صفه، گلدشت و فرامان به ترتیب سبب افزایش ۷۵، ۲۳، ۵ درصدی عملکرد دانه در مقایسه با شرایط عدم محلول-پاشی شد. مقادیر افزایش در کاشت دیرهنگام و کاربرد ۴۰۰ میکرومولار اسید سالیسیلیک بر ارقام صفه، گلدشت، پرنیان و فرامان به ترتیب برابر با ۷۷، ۸، ۴۱ و ۷۰ درصد بود. افزایش عملکرد دانه ناشی از کاربرد سالیسیلیک اسید در شرایط کشت تأخیری را می‌توان به تأثیر مثبت این هورمون در افزایش وزن دانه نسبت داد. به نظر می‌رسد سالیسیلیک اسید در واکنش‌های ایجاد شده به تنش گرما توسط گیاهان دخالت داشته باشد. سالیسیلیک اسید جزئی مهم از مسیرهای پیام-رسانی در واکنش به مقاومت سیستمیک اکتسابی محسوب می‌شود. سالیسیلیک اسید موجب پایداری فاکتورهای رونویسی شوک گرمایی می‌شود. همچنین امکان القای تحمل حرارتی بلندمدت توسط اسیدسالیسیلیک وجود دارد که به نظر می-رسد هر دو سیستم هوموستازی کلسیم و آنتی‌اکسیدان در آن دخالت دارند، (Wahid *et al*., 2007). افزایش عملکرد دانه ممکن است به افزایش اجزای عملکرد و افزایش جابجایی مواد فتوسنتزی از برگ‌ها به بخش‌های زایشی در نتیجهٔ کاربرد سالیسیلیک اسید مربوط باشد؛ همچنین سالیسیلیک اسید از طریق انتقال بیشتر مواد پرورده از منبع به مخزن سبب بهبود رشد و افزایش عملکرد می‌شود (کشاورز و مدرس ثانوی، ۱۳۹۳). آن‌ها در مطالعات خود نشان دادند که مهم‌ترین اثر زیان-آور درجه حرارت بالا کاهش وزن نهایی دانه بود. افزایش سرعت پرشدن دانه در شرایط کشت دیرهنگام می‌تواند حاکی از سرعت بالاتر انتقال مجدد مواد فتوسنتزی باشد. افزایش دمای محیط در زمان پرشدن دانه‌ها سرعت پر شدن دانه را افزایش می‌دهد که بر مدت پرشدن دانه تأثیر منفی بیشتری داشته و آن را کاهش می‌دهد و در نتیجه از عملکرد نهایی دانه کاسته می‌شود (Triboi and Leblevece *et al*., 2015). همانند نتایج برخی مطالعات (Mohankumar *et al*., 2010) نتایج این بخش از مطالعه نیز نشان داد که افزایش عملکرد را می‌توان به بیشتر بودن تمامی اجزای عملکرد در شرایط مساعد نسبت داد

عملکرد زیست توده

عملکرد زیست توده تحت‌تأثیر اثرات اصلی تاریخ کاشت، رقم و هورمون و برهم‌کنش آن‌ها قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین عملکرد زیست توده به کاشت به هنگام تعلق داشت و با افزایش غلظت هورمون افزایش یافت (شکل ۵). رقم فرامان در این تاریخ کاشت بالاترین عملکرد زیست توده در هر سه تیمار هورمونی و رقم صفه کمترین مقدار را به خود اختصاص داد. عملکرد زیست تودهٔ ارقام در شرایط کاشت تأخیری یکسان نبود، به‌طوری که بیشترین و کمترین مقدار آن به ترتیب مربوط به رقم فرامان تحت تیمار محلول‌پاشی ۴۰۰ میلی‌مولار هورمون (۱۹۷۴۷ کیلوگرم در هکتار) و رقم پرنیان

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

در شرایط عدم کاربرد هورمون (۹۳۶۱ کیلوگرم در هکتار) بود. به عبارتی با افزایش دما در طول فصل رشد و به علت کاهش طول دورهٔ رشد گیاه گلرنگ و به دنبال آن عملکرد زیست توده کاهش یافت. بیشترین کاهش عملکرد زیست توده در تاریخ کشت دیرهنگام در ارقام پرنیان و صفه مشاهده شد، به نحوی که کمترین میزان آن در رقم پرنیان در شرایط عدم کاربرد هورمون (۵۲۳۷ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد. رقم فرامان تحت کاربرد ۴۰۰ میلی‌مولار هورمون بالاترین میزان عملکرد زیست توده را به خود اختصاص داد که این امر نشان دهنده تحمل بالای این رقم به دماهای بالا و واکنش مثبت آن به کاربرد اسید سالیسیلیک می‌باشد (شکل ۵). در این پژوهش مشخص شد افزایش دمای هوا سبب اختلال در چرخهٔ رشد ارقام حساس پرنیان و صفه شده و در نتیجه زیست توده گیاه در اندام‌ها به خوبی تأمین نشده و عملکرد زیست‌توده روند کاهشی داشته است. با توجه به روند افزایش درجه حرارت هوا با تأخیر در کاشت، می‌توان نتیجه گرفت که نیاز حرارتی ارقام در کشت‌های تأخیری و دیرهنگام طی مدت زمان کوتاه‌تری تأمین گشته و ارقام با تنش‌گرما مواجه گشته و دورهٔ رشد کوتاه‌تری داشته‌اند (خواجوی و همکاران، ۱۴۰۲). در شرایط تنش گرما پیری زودرس اندام‌های فتوسنتز کننده و همچنین کاهش فتوسنتز جاری گیاه باعث کاهش کل زیست‌توده تولیدی می‌گردد (صالحی و همکاران، ۱۳۹۸; خواجوی و همکاران، ۱۴۰۲). تولید کل مادهٔ خشک در شرایط تنش دمایی به عنوان یک شاخص ارزیابی تحمل به تنش استفاده می‌گردد (Azevedo *et al*., 2014). در همین راستا، گزارش شده است که ارقام حساس به تنش، میزان مادهٔ خشک کمتری نسبت به ارقام متحمل در شرایط تنش تولید می‌نمایند (Eker *et al*., 2016; Azevedo *et al*., 2014). بر این اساس، نیز ارقام پرنیان و صفه نسبت به رقم فرامان از تنش دمایی بیشتر متاثر شده و میزان تولید ماده خشک آن کمتر بود که با کاربرد هورمون تا حدودی این کاهش جبران گردید. با توجه به نتایج پژوهش حاضر با افزایش دما به بالاتر از تحمل گیاه به ویژه در کاشت دیرهنگام، تعداد طبق‌ها، ارتفاع ساقه و وزن دانه کاهش یافت، که این امر موجب کم شدن عملکرد زیست توده شد. از سوی دیگر با افزایش دما و بسته شدن روزنه‌ها جذب کربن و تولید کربوهیدارت کاهش می‌یابد. سالیسیلیک اسید در شرایط دمای بالا با حفظ رطوبت از طریق افزایش محتوای نسبی آب برگ در توسعه و رشد سطح برگ مؤثر بوده و به ثبات فتوسنتز در این شرایط کمک می‌کندو منجر به تولید ماده خشک بیشتری می‌شود. گزارش شده است که سالیسیلیک اسید با افزایش جذب دی اکسید کربن و فتوسنتز در افزایش وزن خشک گیاه مؤثر بوده است (Fariduddin *et al*., 2003).

شاخص برداشت

شاخص برداشت تحت‌تأثیر اثرات اصلی تاریخ کاشت، رقم و هورمون و برهم‌کنش آن‌ها قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین شاخص برداشت در کاشت به هنگام و تأخیری در رقم فرامان به ترتیب تحت تیمار ۴۰۰ (۲۰/۱ درصد) و ۲۰۰ (۲۱/۲

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

درصد) میلی‌مولار هورمون و کمترین میزان در تیمار کاشت به هنگام در رقم صفه در شرایط عدم محلول‌پاشی هورمون (۸/۵ درصد) مشاهده شد. در کاشت تأخیری نیز کمترین میزان شاخص برداشت در رقم صفه در شرایط عدم محلول‌پاشی هورمون (۸/۹ درصد) مشاهده شد. در کاشت دیرهنگام نتایج متفاوت بود. بالاترین میزان شاخص برداشت در رقم صفه (۳۳/۶ درصد) و پایین‌ترین مقدار در رقم گلدشت تحت تیمار محلول‌پاشی ۴۰۰ میلی‌مولار هورمون (۱۲/۶ درصد) حاصل شد (شکل ۶). شاخص برداشت بالاتر در کشت به هنگام بیانگر بالا بودن عملکرد دانه در این تاریخ کاشت می‌باشد که بیانگر رشد رویشی بهتر در شرایط مناسب حرارتی و به تبع آن تخصیص مواد فتوسنتزی بیشتر به دانه در این تاریخ کشت است. همچنین علت کاهش شاخص برداشت درکشت دیرهنگام را می‌توان با کاهش دورهٔ پرشدن دانه و کاهش بیشتر عملکرد دانه مرتبط دانست. البته بالاتر بودن شاخص برداشت در برخی ارقام مورد مطالعه مانند رقم صفه تحت کشت تأخیری و دیرهنگام حاکی از توان تخصیص بیشتر مواد فتوسنتزی به مخزن این رقم است که این امر می‌تواند، برتری فیزیولوژیک مهمی به‌ویژه در شرایط تنش‌های محیطی باشد (Reynolds *et al*., 2005).

سرعت فتوسنتز

سرعت فتوسنتز تحت‌تأثیر اثرات اصلی تاریخ کاشت، رقم و هورمون و برهم‌کنش آن‌ها قرار گرفت (جدول ۲). بین ارقام تفاوت معنی‌داری وجود داشت و افزایش تدریجی دمای محیط تأثیر معنی‌داری بر سرعت فتوسنتز خالص در واحد سطح برگ ارقام داشت و کاربرد اسید سالیسیلیک سبب بهبود سرعت فتوسنتز همه ارقام در هر سه تاریخ کاشت شد (جدول ۴). در شرایط کاشت به‌هنگام بیشترین میزان سرعت فتوسنتز در رقم فرامان و در سطح هورمونی ۴۰۰ میکرومولار هورمون (۳۶/۷ میکرومول بر متر مربع بر ثانیه) و کمترین مقدار مربوط به رقم پرنیان بدون کاربرد هورمون (۲۰/۱ میکرومول بر متر مربع بر ثانیه) حاصل شد. در تاریخ کاشت تأخیری و دیرهنگام نیز تغییرات سرعت فتوسنتزی در بین ارقام و سطوح هورمونی روند مشابهی نشان داد به گونه‌ای که بیشترین مقادیر مربوط به رقم فرامان در سطح هورمونی ۴۰۰ میکرومولار هورمون و کمترین مقدار مربوط به رقم پرنیان بدون کاربرد هورمون مشاهده شد (جدول ۴).. به نظر می‌رسد که غلظت ۴۰۰ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک هم در شرایط مختلف تاریخ کاشت می‌تواند سبب افزایش سرعت فتوسنتز در ارقام صفه، پرنیان و فرامان گردد، درحالی که در رقم گلدشت سرعت فتوسنتز در شرایط کاربرد ۲۰۰ میلی‌مولار هورمون بیشتر از تیمار ۴۰۰ میلی‌مولار بود که حاکی از تأثیر متفاوت غلظت‌های تیمار سالسیلیک اسید بر ارقام گلرنگ می‌باشد. افزایش سرعت فتوسنتز و به تبع آن میزان کربوهیدرات‌های محلول در اندام‌های رویشی در واکنش به غلظت‌های هورمون در بین ارقام مورد مطالعه می‌تواند شرایط انطباق اسمزی گیاه تحت شرایط تنش گرمای آخر فصل رشد را به نحو مطلوب‌تری فراهم سازد. در این راستا عطارزاده و همکاران (۱۳۹۳) در بررسی برهم‌کنش سالسیلیک اسید و دمای بالا بر گیاه ذرت اظهار داشتند که محتوی کلروفیل، و کربوهیدرات‌های محلول که با سرعت فتوسنتز گیاه در ارتباط هستند تحت کاربرد

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

غلظت‌های متفاوت سالسیلیک اسید و شرایط تنش گرما متفاوت بوده که این نتیجه حاکی از تفاوت‌های ژنتیکی بین گونه-های گیاهی و تأثیر محیط بر آن‌هاست. فتوسنتز یکی از حساس‌ترین فرآیندهای فیزیولوژیک نسبت به تنش‌های محیطی به‌ویژه تنش گرما است. تحت شرایط تنش گرما، کاهش اندازهٔ سلولی اتفاق افتاده و از طریق تغییر در ساختار تیلاکوئیدها و میزان کلروفیل سبب کاهش فتوسنتز می‌شود (Esendel *et al*., 2013). به‌نظر می‌رسد کاربرد سالیسیلیک اسید، واکنش پیش‌سازگاری به تنش را در گیاهان القا می‌کند که منجر به تنظیم فتوسنتز، تعرق و فعالیت آنزیم‌های دخیل در این فرآیندها می‌شود و این امر در بهبود رشد گیاه منعکس می‌گردد (Rivas-San and Plasencia, 2011). نتایج برخی مطالعات نشان داده که استفاده از غلظت‌های پایین سالیسیلیک اسیدمی‌تواند بر تحمل بافت‌های گیاه به تنش گرمای کوتاه‌مدت مؤثر باشد، در حالی که در شدت بالاتر تنش، همانند نتایج این پژوهش غلظت‌های پایین سالیسیلیک اسید بر دو رقم صفه و پرنیان کم‌اثر بوده است (Aldesuquy *et al*., 2012). در مطالعات انجام شده نیز وجود تنوع ژنتیکی در سرعت فتوسنتز ارقام تحت تنش گرما اثبات شده است (Corleto, 2008).

هدایت روزنه‌ای

هدایت روزنه‌ای تحت‌تأثیر اثرات اصلی تاریخ کاشت، رقم و هورمون و برهم‌کنش آن‌ها قرار گرفت (جدول ۲). بین ارقام از نظر هدایت روزنه‌ای تفاوت معنی‌داری وجود داشت و افزایش دمای تاریخ کاشت تأثیر معنی‌داری بر هدایت روزنه‌ای ارقام داشت و سالیسیلیک اسید هدایت روزنه‌ای همهٔ ارقام را در هر سه تاریخ کاشت بهبود بخشید (جدول ۶).

در شرایط کاشت به‌هنگام بیشترین هدایت روزنه‌ای در رقم فرامان و در سطح هورمونی ۴۰۰ میکرومولار هورمون (۳۸۰ میکرومول بر متر مربع بر ثانیه) و کمترین مقدار مربوط به رقم پرنیان بدون کاربرد هورمون (۲۶۰ میکرومول بر متر مربع بر ثانیه) بود. در تاریخ کاشت تأخیری و دیرهنگام نیز تغییرات هدایت روزنه‌ای در بین ارقام و سطوح هورمونی روند مشابهی نشان داد به گونه‌ای که بیشترین مقادیر مربوط به رقم فرامان در سطح هورمونی ۴۰۰ میکرومولار هورمون و کمترین مقدار مربوط به رقم پرنیان بدون کاربرد هورمون بود (جدول ۶).

با توجه به این نتایج، با تأخیر در کاشت، هدایت روزنه‌ای کاهش یافت و با محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید میزان هدایت روزنه‌ای تا حدودی بهبود یافت. هدایت روزنه‌ای به‌عنوان یکی از روش‌های قابل اعتماد برای اندازه‌گیری واکنش گیاه به تنش شناسایی شده است (Rahnama *et al*., 2010). از دلایل کاهش هدایت روزنه‌ای در شرایط تنش گرما 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).

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

جدول ۶: مقایسه میانگین برهم‌کنش تاریخ کاشت، هورمون و رقم بر برخی صفات فتوسنتزی

تاریخ کاشت	رقم	هورمون میکرومولار	سرعت فتوسنتز (میکرومول مترمربع بر ثانیه)	هدایت روزنه‌ای (میکرومول بر مترمربع بر ثانیه)	شاخص سبزینگی
کشت به هنگام	صفه	صفر	۲۵/۹ j-n	۲۷۰ e	۴۳ d
		۲۰۰	۲۹/۵ d-h	۲۸۱ c-e	۵۲ bc
		۴۰۰	۳۰/۵ d-g	۲۹۰ cd	۵۸ ab
	پرنیان	صفر	۲۰/۱ q-s	۲۶۰ ef	۴۰ d
		۲۰۰	۲۶/۵ i-m	۲۷۳ e	۴۱ d
		۴۰۰	۳۱/۱ c-e	۲۸۲ c-e	۴۹ c
	گلدشت	صفر	۲۶/۲ j-m	۲۶۴ ef	۴۷ c
		۲۰۰	۳۴/۲ ab	۲۷۶ e	۵۴ ab
		۴۰۰	۲۹/۱ d-i	۲۸۳ c-e	۵۸ ab
	فرامان	صفر	۲۸/۵ e-j	۲۹۰ cd	۴۹ c
		۲۰۰	۳۳/۳ bc	۳۳۰ b	۵۹ ab
		۴۰۰	۳۶/۷ a	۳۸۰ a	۷۰ a
کشت تأخیری	صفه	صفر	۱۹/۱ r-t	۲۰۶ i	۳۱ ef
		۲۰۰	۲۵/۶ k-n	۲۲۵ h	۴۰ d
		۴۰۰	۲۸/۳ f-k	۲۴۰ gh	۵۱ bc
	پرنیان	صفر	۱۷/۷ s-u	۲۴۰ gh	۳۷ e
		۲۰۰	۲۱/۶ o-r	۲۰۵ i	۵۰ bc
		۴۰۰	۲۴/۲ m-o	۲۰۸ i	۵۱ bc
	گلدشت	صفر	۲۱/۵ p-r	۲۰۵ i	۲۷ ef
		۲۰۰	۲۷/۸ g-k	۲۲۶ h	۳۷ e
		۴۰۰	۲۴/۹ l-n	۲۳۰ h	۴۶ c
	فرامان	صفر	۲۵/۱ l-n	۲۴۰ gh	۴۴ d
		۲۰۰	۳۰/۸ c-f	۲۹۰ cd	۵۶ ab
		۴۰۰	۳۱/۵ cd	۳۲۰ bc	۵۸ ab
کشت دیرهنگام	صفه	صفر	۱۴/۴ vw	۱۸۲ k	۲۶ fg
		۲۰۰	۲۳/۳ n-p	۲۲۰ h	۲۹ ef
		۴۰۰	۱۹/۶ q-s	۲۳۲ h	۴۱ d
	پرنیان	صفر	۱۰/۸ x	۱۸۰ k	۲۹ ef
		۲۰۰	۱۳/۲ wx	۲۱۵ hi	۳۱ ef
		۴۰۰	۱۶/۵ t-v	۲۲۲ h	۳۹ e
	گلدشت	صفر	۱۵/۲ u-w	۱۸۶ jk	۲۲ g
		۲۰۰	۲۲/۲ o-q	۲۱۶ hi	۲۸ ef
		۴۰۰	۱۹/۶ q-s	۲۲۶ h	۳۶ e
	فرامان	صفر	۱۹/۱ r-t	۲۰۰ i	۳۵ e
		۲۰۰	۲۳/۹ m-p	۲۵۱ gh	۴۰ d
		۴۰۰	۲۷/۴ h-l	۲۷۳ c-e	۴۲ d

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) اختلاف معنی‌داری با همدیگر در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

تنظیم هدررفت آب از طریق بسته‌شدن روزنه‌ها به عنوان یک سازوکار تحمل به تنش محسوب می‌شود (Rahnama *et al*., 2010). در همین راستا، کاربرد خارجی سالیسیلیک اسید از بسته شدن روزنه‌ها ناشی از افزایش میزان اسید آبسیزیک در شرایط تنش محیطی بر گیاه جلوگیری می‌کند (Assmann, 2010). تأثیر مثبت و بهبوددهنده سالیسیلیک اسید در شرایط نامساعد محیطی توسط سایر محققان (Hussain *et al*., 2009) گزارش شده است. کاهش هدایت روزنه‌ای با حساسیت به تنش مرتبط می‌باشد (Rahnama *et al*., 2010). به تازگی نیز گزارش شده است اسید سالیسیلیک با کنترل فتوسنتز از طریق تعدیل فعالیت آنزیم رابیسکو و افزایش هدایت روزنه‌ای به کاهش اثرهای تنش کمک می‌کند (Ilyas *et al*., 2024).

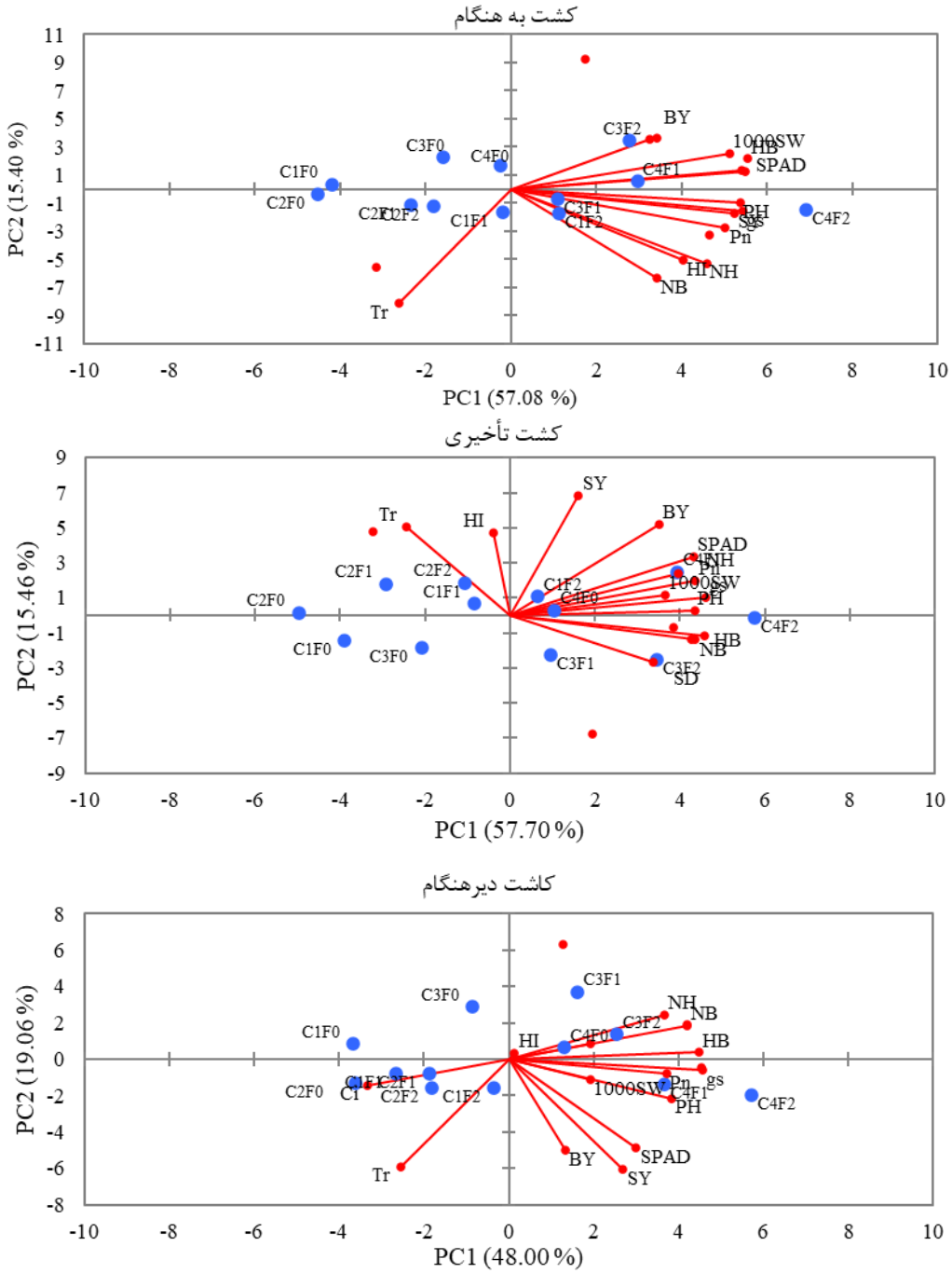
شاخص سبزینگی

تمامی اثرات اصلی تاریخ کاشت، رقم و هورمون و برهم‌کنش آن‌ها بر شاخص سبزینگی معنی‌دار بود (جدول ۲). شاخص سبزینگی و به دنبال آن غلظت کلروفیل یکی از عوامل مؤثر در ظرفیت فتوسنتزی و در نتیجه پتانسیل رشد گیاه می‌باشند که در شرایط نامطلوب محیطی مانند بروز دمای بالا به واسطه محدود کردن فتوسنتز می‌توانند رشد گیاهان زراعی را تحت تأثیر قرار دهند. بررسی روند تغییرات این شاخص در هر چهار رقم نشان داد که شاخص سبزینگی به شدت تحت تأثیر تاریخ کاشت و کاربرد سالیسیلیک اسید قرار گرفت. در هر سه تاریخ کاشت محلول‌پاشی هورمون به طور متفاوتی سبب افزایش شاخص کلروفیل ارقام گردید (جدول ۶). در شرایط کاشت به هنگام بیشترین میزان شاخص سبزینگی در رقم فرامان و کاربرد ۴۰۰ میکرومولار هورمون (۷۰) و کمترین مقدار مربوط به رقم پرنیان و صفه بدون کاربرد هورمون (۴۰) حاصل شد. در تاریخ کاشت تأخیری و دیرهنگام نیز تغییرات این شاخص در بین ارقام و سطوح هورمونی روند مشابهی داشت به گونه‌ای که بیشترین مقادیر مربوط به رقم فرامان و کاربرد ۴۰۰ میکرومولار هورمون و کمترین مقدار مربوط به رقم گلدشت بدون کاربرد هورمون مشاهده شد (جدول ۶). کاهش میزان سبزینگی برگ در کاشت تأخیری شدت بیشتری نسبت به کاشت دیرهنگام نشان داد. کارایی ۴۰۰ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید نسبت به تیمار ۲۰۰ میلی-مولار در تمامی تاریخ‌های کاشت قابل مشاهده بود. تغییر مقدار سبزینگی برگ تحت شرایط تنش گرما و بهبود آن پس از محلول‌پاشی با اسیدسالیسیلیک در مطالعات پیشین نیز گزارش شده است، از دلایل آن می‌توان به جلوگیری از فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کنندهٔ کلروفیل مانند کلروفیل‌اکسیداز توسط سالیسیلیک اسید و در نتیجه حفظ و بهبود وضعیت کلروفیل برگ اشاره کرد (Ilyas *et al*., 2024; Aldesuquy *et al*., 2012). همچنین به نظر می‌رسد سالیسیلیک اسید از طریق تأثیر بر ساختار برگ و کلروپلاست‌ها (Kaya and Yigit., 2014) منجر به حفظ بیشتر سبزینگی برگ در شرایط تنش-های محیطی مانند تنش گرمای آخر فصل رشد ناشی از تأخیر در کاشت می‌گردد. از سوی دیگر مقادیر متفاوت شاخص

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

کلروفیل در ارقام و در تاریخ‌های مختلف کاشت را می‌توان به مقادیر متفاوت شاخص سطح برگ و طول متفاوت دورهٔ رشد ارقام نسبت داد، به گونه‌ای که این تفاوت‌ها در سایر صفات مورد بررسی نیز مشهود بود. به نظر می‌رسد در شرایط تنش شدید گرما، مقادیر کلروفیل به دلیل پراکسیداسیون لیپیدهای کلروپلاست و غشاهای تیلاکوئیدی دچار تجزیه شود و کاهش یابد، همچنان که نتایج مشابهی در مطالعات پیشین نیز گزارش شده است (Mohammed and Tarpley, 2010). در این مطالعه، فقط دو مؤلفه اصلی برای ارائهٔ روابط بین ارقام در شرایط کاربرد هورمون برای صفات فیزیولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد تحت تیمارهای تاریخ کاشت آورده شده است (شکل ۱). نتایج مربوط به تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در شرایط کاشت به هنگام، تأخیری و دیرهنگام ارقام گلرنگ در جدول (۵) ارائه شده است. سه مؤلفه‌ای که دارای مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک بودند، استخراج گردید. در شرایط کاشت به هنگام، تأخیری و دیرهنگام به ترتیب ۸۰/۰۸، ۸۶/۳۵ و ۷۹/۷۲ درصد از کل واریانس موجود در داده‌ها توسط این سه مؤلفه تبیین شد که سهم مؤلفه‌های اول، دوم و سوم در شرایط کاشت به هنگام به ترتیب ۵۷/۰۸، ۱۵/۳۹ و ۷/۶۰ درصد، در شرایط کاشت تأخیری به ترتیب ۵۷/۷۰، ۱۵/۴۵ و ۱۳/۱۹ درصد و در شرایط کاشت دیرهنگام به ترتیب ۴۷/۹۹، ۱۹/۰۶ و ۱۲/۶۷ درصد بود. بزرگ‌ترین ضرایب مؤلفهٔ اول در شرایط کاشت به هنگام مربوط به صفات عملکرد و اجزای عملکرد و صفات فیزیولوژیک شامل سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و شاخص کلروفیل بود. به عبارتی این مؤلفه با بیشتر صفات مورد بررسی در تاریخ کشت به هنگام مرتبط بود. بزرگ‌ترین ضرایب مؤلفهٔ دوم نیز در شرایط کاشت به هنگام مربوط به سرعت تعرق بود. در شرایط کاشت تأخیری نیز بزرگ‌ترین ضرایب مؤلفهٔ اول مربوط به سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، شاخص کلروفیل و تمام صفات عملکردی به جز شاخص برداشت و عملکرد دانه بود. بزرگ‌ترین ضرایب مؤلفهٔ دوم نیز در شرایط کاشت تأخیری مربوط به عملکرد دانه و بزرگ‌ترین ضرایب مؤلفهٔ سوم تنها مربوط به سرعت تعرق و شاخص برداشت بود. در کشت دیرهنگام، بزرگ‌ترین ضرایب مؤلفهٔ اول مربوط به سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، تعداد طبق، تعداد شاخه فرعی، ارتفاع تا اولین شاخهٔ اصلی و ارتفاع بوته بود. بزرگ‌ترین ضرایب مؤلفهٔ دوم نیز مربوط به سرعت تعرق، شاخص کلروفیل، عملکرد دانه و عملکرد زیست توده و بزرگ‌ترین ضرایب مؤلفهٔ سوم تنها مربوط به شاخص برداشت بود. بر اساس نتایج نمودارهای بای‌پلات تجزیه به مؤلفه‌های اصلی مشخص شد برای دستیابی به عملکرد مناسب در شرایط مواجهه با تنش گرمای آخر فصل رشد، ارقام فرامان و گلدشت در شرایط کاربرد ۴۰۰ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید و در شرایط تاریخ کشت مناسب ارقام پرنیان و فرامان با کاربرد ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید تیمارهای مناسب رقم و محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید در این آزمایش به دست آمدند (شکل ۱).

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]



شکل ۱: نمودارهای بای‌پلات تجزیه به مؤلفه‌های اصلی ارقام گلرنگ تحت محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک و تنش گرمایی آخر فصل رشد (Pn: سرعت فتوسنتز، Gs: هدایت روزنه‌ای، Tr: سرعت تعرق، SPAD: شاخص کلروفیل، NH: تعداد طبق در واحد سطح، NB: تعداد شاخه فرعی، HB: ارتفاع تا اولین شاخه فرعی، PH: ارتفاع بوته، 1000SW: وزن هزار دانه، SY: عملکرد دانه، BY: عملکرد بیولوژیک و HI: شاخص برداشت

نتیجه‌گیری

در این پژوهش تنش گرمای آخر فصل در کشت تأخیری و دیرهنگام اثر نامطلوبی بر صفات مورفوفیزیولوژیک و عملکردی گلرنگ داشت و به دلیل برخورد دوران زایشی و پرشدن دانه با دماهای بالا، عملکرد دانه، سرعت فتوسنتز،

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

هدایت روزنه‌ای و شاخص کلروفیل را کاهش داد. همچنین در میان ارقام مورد مطالعه، رقم صفه و پرنیان حساسیت بیشتری به تنش گرما داشتند و برای کشت در شرایط آب و هوایی اهواز به دلیل بروز گرمای آخر فصل رشد مناسب نبودند، در حالی که دو رقم گلدشت و فرامان به دلیل پایداری عملکرد بیشتر و دستیابی به عملکرد بالاتر در شرایط تأخیر در کاشت توانستند در شرایط تنش گرمای پایان فصل ارقام برتری ارزیابی گردند. محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک با غلظت ۴۰۰ میکرومولار در کشت‌های تأخیری و دیرهنگام سبب بهبود این صفات گردید. ارقام فرامان و گلدشت در زمان وقوع تنش گرمای آخر فصل، توانستند عملکرد بالای خود را تا حدود زیادی حفظ نمایند. لذا به نظر می‌رسد که این دو رقم برای کشت در هر سه تاریخ کاشت در شرایط اهواز قابل توصیه باشند. در مجموع محلول‌پاشی ۴۰۰ میلی‌مولار اسیدسالیسلیک توانست اثرات نامطلوب تنش گرمای آخر فصل بر صفات عملکردی ارقام گلرنگ را بهبود ببخشد و منجر به بهبود عملکرد دانه گردد.

سپاس‌گزاری

بدین‌وسیله نویسندگان از حمایت‌های معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز به شماره پژوهانه SCU.AA1402.96 سپاسگزاری می‌نمایند.

منابع

خواجوی، م.، راهنماقهفرخی، ا.، مسکرباشی، م.، موسوی، س. ا. و هریسون‌متیوو، تام. ۱۴۰۱. اثر هورمون سیتوکینین بر صفات مورفولوژیکی، عملکرد دانه و روغن آفتابگردان (*Helianthus annuus L.*) در شرایط تنش گرمای آخر فصل. فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۱۴(۵۶): ۶۳-۷۸.

سیداحمدی، ع. بخشنده ، ع. قرینه، م.ح. ۱۳۹۴. ارزیابی خصوصیات فیزیولوژیکی و عملکرد دانه ارقام کلزا در شرایط تنش خشکی پایان فصل در شرایط آب و هوایی اهواز. نشریه پژوهشهای زراعی ایران. ۱۳(۱):۷۱-۸۰.

شیخ ممو، ب.، راهنما، ا.، و حسیبی، پ. ۱۴۰۲. تأثیر تنش گرمای انتهای فصل بر برخی صفات فیزیولوژیک و عملکردی ارقام امیدبخش آفتابگردان در شرایط آب و هوایی اهواز. تنش‌های محیطی در علوم زراعی. ۱۶(۳): ۸۵۱-۸۳۵.

صالحی، ف.، راهنما قهفرخی، ا.، مسکرباشی، م. و مهدی‌خانلو، خ. ۱۳۹۸. اثر تنش گرمای آخر فصل بر برخی صفات زراعی, فیزیولوژیک و عملکرد روغن ارقام گلرنگ (*Carthamus tinctorius L.*) در شرایط آب و هوایی اهواز. پژوهش‌های زراعی ایران. ۱۷(۳): ۵۰۲-۴۹۱.

گودرزیان قهفرخی، م.، مسکرباشی، م.، راهنما، ا.، اسمیت، د. ۱۳۹۹. ارزیابی خصوصیات فیزیولوژیک و عملکرد

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

ارقام گلرنگ در واکنش به محلول‌پاشی اسیدسالسیلیک و تنش گرمای پایان‌فصل. علوم گیاهان زراعی ایران. ۵۱(۳): ۵۲-۷۲.

فرخی‌نیا، م.، رشدی، م.، پاسبان اسلام، ب.، ساسان دوست، و. ر. ۱۳۸۸. بررسی برخی از ویژگی‌های فیزیولوژیک و عملکرد گلرنگ بهاره تحت تنش کمبود آب. مجله علوم گیاهان زراعی ایران. ۴۲(۳): ۵۴۵-۵۵۳.

عطارزاده، م.، ترابی، ب.، و مداح‌حسینی، ش. ۱۳۹۳. ارزیابی برهمکنش اسید سالیسیلیک و گرما بر برخی صفات فیزیولوژیک ذرت (*Zea mays* L.). مجله پژوهش‌های زراعی ایران. ۱۲(۴): ۷۱۸-۷۲۶.

Aldesuquy, H.S., Abo-Hamed, S.A., Abbas, M.A. and 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(4), 149-171.

Assmann, S. M. 2010. Abscisic acid signal transduction in stomatal responses. Plant Hormones 19(3), 399-426.

Attaran, E., and He, S.Y. 2012. The Long-Sought-After Salicylic Acid Receptors. Molecular Plant 5, 971-973.

Azevedo, N., Prisco, J., Enéas-Filho, J., Lacerda, C., Silva, J., Costa, P. and Gomes-Filho, E. 2014. Effects of salt stress on plant growth, stomatal response and solute accumulation of different maize genotypes. Brazilian Journal of Plant Physiology 16(1), 31-38.

Balfagón, D., Rambla, J.L., Granell, A., Arbona, V., and Gómez-Cadenas, A. 2022. Grafting improves tolerance to combined drought and heat stresses by modifying metabolism in citrus scion. Environmental and Experimental Botany 195, 104793.

Cazzato, E., Ventricelli, O. and Coleto, A. 2011. Effect of date of seeding and supplemental irrigation on hybrid and open-pollinated safflower production in southern Italy. p. 119-124. 4the International Safflower Conference, June 2-7. Italy.

Chávez-Arias, C.C., Ramírez-Godoy, A., and Restrepo-Díaz, H. 2022. Influence of drought, high temperatures, and/or defense against arthropod herbivory on the production of secondary metabolites in maize plants. A review. Current Plant Biology 32, 100268.

Clarke, S.M., Cristescu, S.M., Miersch, O., Harren, F. J., Wasternack, C., and Mur, L.A. 2009. Jasmonates act with salicylic acid to confer basal thermotolerance in Arabidopsis thaliana. New Phytologist 182: 175- 87.

Corleto, A. 2008. A note on safflower plant ideotype suitable for Mediterranean environments. Waga Waga Conference, 1–4. Retrieved from.

Cox, W. J., and Jollif, G. D. 1986. Growth and yield of sunflower and soybean under soil water deficits. Agronomy Journal 78: 226-230.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

Dajue, L., and Mundel, H. 2006. Saffower (*Carthamus tinctorius* L). Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. IPGCPR, Catersleben, IPGRI, Rome, Italy. 83pp.

Duvnjak, J., Lončarić, A, Brkljačić, L., Šamec, D., Šarčević, H., Salopek-Sondi, B., and Španić, V. 2023. Morpho-Physiological and Hormonal Response of Winter Wheat Va ies to Drought Stress at Stem Elongation and Anthesis Stages. Plants 12, 418.

Eker, S., Comertpay, G., Konuskan, O., Ulger, A., Ozturk, L. and Cakmak, I. 2016. Effect of salinity stress on dry matter production and ion accumulation in hybrid maize varieties. Turkish Journal of Agriculture and Forestry 30(5), 365-373.

FAO. 2023. https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL

Fariduddin, Q., Hayat, S., and Ahmad, A. 2003. Salicylic acid influences net photosynthetic rate, carboxylation efficiency, nitrate reductase activity, and seed yield in Brassica juncea. Photosynthetica 41(3), 281-284.

Fazelikakheli, S. F., Sadrabadi, R., Zareh, A. and Ahmadi, M. 2008. Effect of planting date and plant density on yield and yield components in safflower in Spring Planting in Torbat. *Iranian Journal of Agricultural Research,* 5 (2): 327-332.

Hao, L., Guo, L., Li, R., Cheng, Y. and 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(3), 251-264.

Harrison, M.T. 2021. Climate change benefits negated by extreme heat. Nature Food 2(11): 855- 856.

Ilyas, M., Maqsood, M.F., Shahbaz, M., Zulfiqar, U., Ahmad, K., Naz, N., Fraz Ali, M., Ahmad, M., Ali, Q., Hong Yong, J. W., and Ali, H.M. 2024. Alleviating salinity stress in canola (*Brassica napus L.*) through exogenous application of salicylic acid. BMC Plant Biology 24: 611.

Hussain, M., Malik, M.A., Farooq, M., Khan, M.B., Akram, M. and Saleem, M.F. 2009. Exogenous glycinebetaine and salicylic acid application improves water relations, allometry and quality of hybrid sunflower under water deficit conditions. Journal of Agronomy and Crop Science, 195(2): 98-109.

Kaleem, S., Hassan, F. U., and Saleem, A. 2009. Influence of environmental variations on physiological attributes of sunflower. African Journal of Biotechnolog 8: 3531-3539.

Kaya, A., and Yigit, E. 2014. The physiological and biochemical effects of salicylic acid on sunflowers (Helianthus annuus) exposed to flurochloridone. Ecotoxicology and Environmental Safety, 106(3): 232-238.

Khan, W., Prithiviraj, B., and Smith, D.L. 2003. Photosynthetic response of corn and soybean to foliar application of salicylates. Plant Physiology 160: 485-492.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

Khoshru, B., Mitra, D., Joshi, K., Adhikari, P., Rion, M.S.I., Fadiji, A.E., Alizadeh, M., Priyadarshini, A., Senapati, A., Sarikhani, M.R., Panneerselvam, P., Mohapatra, P.K.D., Sushkova, S., Minkina, T., and Keswani, C. 2023. Decrypting the multi-functional biological activators and inducers of defense responses against biotic stresses in plants. Heliyon 9, e13825.

Kumar, S., Korra, T., Thakur, R., Arutselvan, R., Kashyap, A.S., Nehela, Y., Chaplygin, V., Minkina, T., and Keswani, C. 2023. Role of plant secondary metabolites in defence and transcriptional regulation in response to biotic stress. *Plant Stress* 8, 100154.

Lesjak, J., and Calderini, D.F. 2017. Increased night temperature negatively affects grain yield, biomass, and grain number in Chilean quinoa. Frontiers in Plant Science 8: 352.

Li, Y., Han, X., Ren, H., Zhao, B., Zhang, J., Ren, B., Gao, H., and Liu, P.E. 2023. Exogenous SA or 6-BA maintains photosynthetic activity in maize leaves under high temperature stress. The Crop Journal 11, 605-617.

Mohammed, A.R., and Tarpley, L. 2010. Effects of high night temperature and spikelet position on yield-related parameters of rice (*Oryza sativa* L.) plants. European Journal of Agronomy 33, 117-123.

Mohankumar, S., Chimmad, V.P., and Ravikumar, R.L. 2010. Characterization of safflower genotypes for physiological parameters and yield under rainfed condtions. Karnataka Journal of Agricultural Sciences 18(2), 63-76.

Prasad, P.V., Bheemanahalli, R., and Jagadish, S.V. 2017. Field crops and the fear of heat stress-opportunities, challenges and future directions. Field Crops Research 200: 114-121.

Prasad, P.V. V., Pisipati, S. R., Momčilović, I., and Ristic, Z. 2011. Independent and combined effects of high temperature and drought stress during grain filling on plant yield and chloroplast EF-Tu expression in spring wheat. Journal of Agronomy and Crop Science 197 (6): 430-441.

Rahnama, A., Salehi, F., Meskarbashee, M., Mehdi Khanlou, K., Ghorbanpour, M., and Harrison, M.T. 2024. High temperature perturbs physicochemical parameters and fatty acids composition of safflower (*Carthamus tinctorius L.*). BMC Plant Biology 24: 1080.

Rahnama, A., James, R. A., Poustini, K., and 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.

Reynolds, M.P., Pellergrineschi, A., and Skovmand, B. 2005. Sink–Limitation to yield and biomass: A summary of some investigations in spring wheat. Annals of Applied Biology 146(1): 39-49.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

Rivas-San Vicente, M., and Plasencia, J. 2011. Salicylic acid beyond defence: its role in plant growth and development. *Journal of Experimental Botany,* 62(10): 3321-3338.

Singh, M., Rathore, S. S., and Raja, P. 2014. Physiological and stress studies of different rapeseed-mustard genotypes under terminal heat stress. Journal of Genetic Engineering and Biotechnology 5, 133-42.

Song, W., Shao, H., Zheng, A., Zhao, L., and Xu, Y. 2023. Advances in roles of salicylic acid in plant tolerance responses to biotic and abiotic stresses. Plants 12(19), 3475.

Talaat, N.B., and Hanafy, A.M.A. 2023. Spermine-salicylic acid Interplay restrains salt toxicity in wheat (*Triticum aestivum* L.). Plants 12, 352.

Triboi, E., and Leblevece, L. 2015. Temperature effect on grain growth and protein contet fraction accumulation in winter wheat. J. O.P. Bot., 46: (supplement p.8).

Wahid, A. and Close, T. J. 2007. Expression of dehydrins under heat stress and their relationship with water relations of sugarcane leaves. *Biologia Plantarum,* 51(1): 104-109.

Wallwork, M.A. B., Macleod, L.C., and Jenner, C. F. 2018. Effect of a period of high temperature during grain filling on the grain growth characteristics and malting quality of three Australian malting barleys. Australian Journal of Agriculture Research 49(3), 1287-1296.

Wei, Y., Zhu, B., Liu, W., Cheng, X., Lin, D., He, C., and Shi, H. 2021. Heat shock protein 90 co-chaperone modules fine-tune the antagonistic interaction between salicylic acid and auxin biosynthesis in cassava. Cell Reports 34, 108717.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

The effect of salicylic acid application on morpho-physiological and yield traits of safflower cultivars under terminal heat stress

M. Goodarzian Ghahfarokhi[1], A. Rahnama[*2], M. Meskarbashee[3] and D. L. Smith[4]

1, 2 & 3) Department of Plant Production and Genetics, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.
4) Department of Plant Science, McGill University, Montreal, Canada.
*** Corresponding Author Email: a.rahnama@scu.ac.ir**

Received date: 2025.03.09 **Accepted date: 2025.05.03**

Abstract

Salicylic acid plays a pivotal role in the regulation of plants biotic and abiotic stress response. To study the effect of salicylic acid foliar application on morpho-physiological, and seed yield traits of safflower cultivars in three sowing dates, a field experiment carried out in a split plot factorial in randomized complete block design with three replications at the research farm of Shahid Chamran University of Ahvaz in 2018-2019 growing season. Main plots consisted of three sowing dates; 11th December, 31th December and 21th January (Normal, delay and late sowing dates, respectively), and sub plot consisted of factorial arrangement of different concentrations of salicylic acid (0, and 200 and 400 µm l^{-1}, salicylic acid), and safflower cultivars (Faraman, Parnian, Goldasht and Sofeh). The interaction between sowing date, hormone foliar application, and cultivars significantly affected number of sub-branches, capitulum number per plant, 1000-seed weight, seed yield, biological yield, harvest index, photosynthetic rate, transpiration, stomatal conductance, and chlorophyll index. Heat stress caused by delayed and late sowing date showed a significant decrease in all traits, but salicylic acid enhanced traits in three sowing dates. In delayed sowing date, foliar application of 200 µm l^{-1} salicylic acid enhanced seed yield by 75, 23, and 5%, in Sofeh, Goldasht and Faraman cultivars, respectively, when compared to salicylic acid-deficient plants. In late sowing date, values for foliar application of 400 µm l^{-1} salicylic acid was by 77, 8, 41, and 70%, in Sofeh, Goldasht, Parnian and Faraman cultivars, respectively. Faraman and Goldasht cultivars along with 400 µm l^{-1} salicylic acid foliar application showed the highest seed yield in three sowing dates. Overall, salicylic acid foliar application mitigated the negative effects of heat stress by improving physiological traits and seed yield.

Key Words: Heat stress, Seed yield, Photosynthetic rate and Stomatal conductance.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]