به زراعی کشاورزی
دوره ۲۴ ■ شماره ۲ ■ تابستان ۱۴۰۱
صفحه‌های ۳۷۸-۳۶۵
DOI: 10.22059/jci.2021.316903.2500

مقاله پژوهشی:

تأثیر محلول‌پاشی هورمون اکسین در دو رقم گلرنگ آبی در شرایط تنش خشکی

سید بصیر موسوی[۱]، سعید سیف‌زاده[۲]، حمید جبّاری[۳*]، سید علیرضا ولدآبادی[۲]، اسماعیل حدیدی ماسوله[۴]
۱. دانشجوی دکتری، گروه زراعت، واحد تاکستان، دانشگاه آزاد اسلامی، تاکستان، ایران.
۲. دانشیار، گروه زراعت، واحد تاکستان، دانشگاه آزاد اسلامی، تاکستان، ایران.
۳. استادیار، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
۴. استادیار، گروه زراعت، واحد تاکستان، دانشگاه آزاد اسلامی، تاکستان، ایران.
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۱۰/۲۰ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۱۲/۱۷

چکیده
این پژوهش به‌منظور بررسی واکنش دو رقم گلرنگ آبی به شرایط تنش خشکی و محلول‌پاشی هورمون اکسین، به‌صورت آزمایش اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار طی دو سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج اجرا شد. در این آزمایش آبیاری در دو سطح بدون تنش خشکی (شاهد) و قطع آبیاری از مرحله آغاز پرشدن دانه در کرت‌های اصلی و ارقام پدیده و گلدشت و محلول‌پاشی هورمون اکسین در دو سطح محلول‌پاشی با آب مقطر (شاهد) و کاربرد هورمون اکسین در یک مرحله (اواسط گل‌دهی) به غلظت ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر (۳۰ پی‌پی‌ام) در کرت‌های فرعی به‌صورت فاکتوریل ارزیابی شدند. در شرایط محلول‌پاشی هورمون اکسین و محلول‌پاشی با آب مقطر (شاهد) در هر دو تیمار آبیاری معمول و تنش خشکی، بیش‌ترین تعداد کل طبق در بوته در رقم گلدشت به‌ترتیب به‌میزان ۲۶/۳، ۲۴/۳ و بیش‌ترین تعداد کل دانه در بوته در رقم گلدشت به‌ترتیب به‌میزان ۷۰۸ و ۵۹۲ مشاهده شد. محلول‌پاشی اکسین و آبیاری تأثیر معنی‌داری بر درصد روغن دانه نداشت. رقم گلدشت به‌دلیل دمای طبق کم‌تر، غلظت کربوهیدرات محلول برگ بیش‌تر، تعداد طبق و وزن هزاردانه بیش‌تر عملکرد دانه بالاتری در مقایسه با رقم پدیده داشت. نتایج کلی نشان داد که اثر تیمارهای موردبررسی تحت تأثیر سال قرار گرفت و با وجود تأثیر مثبت محلول‌پاشی هورمون اکسین بر برخی از اجزای عملکرد دانه گلرنگ در هر دو سطح آبیاری، محلول‌پاشی هورمون اکسین در مرحله اواسط گل‌دهی دانه تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه نداشت.

کلیدواژه‌ها: دمای طبق، شاخص سطح برگ، عملکرد دانه، قطع آبیاری، وزن هزاردانه.

The Effect of Auxin Foliar Application in Two Irrigated Safflower Cultivars under Drought Stress

Seyed Basir Mousavi[1], Saeed Sayfzadeh[2], Hamid Jabbari[3*], Seyed Alireza Valadabadi[2], Esmaeil Hadidi Masouleh[4]
1. Ph.D. Student, Department of Agronomy, Takestan Branch, Islamic Azad University, Takestan, Iran.
2. Associate Professor, Department of Agronomy, Takestan Branch, Islamic Azad University, Takestan, Iran.
3. Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran.
4. Assistant Professor, Department of Agronomy, Takestan Branch, Islamic Azad University, Takestan, Iran.
Received: January 9, 2021 Accepted: March 7, 2021

Abstract
The current study tries to evaluate the effect of auxin foliar application in two safflower cultivars under drought stress condition, using a factorial split plot experiment with randomized complete block design in two years (2017-2018 and 2018-2019). It has been conducted at research field of Seed and Plant Improvement Research Institute in Karaj and evaluates irrigation at two levels including normal irrigation (control) and interruption of irrigation from the beginning of grain filling stage (drought) in the main plots and cultivars of Padideh and Goldasht and auxin foliar application in two levels of non-foliar application of distilled water (control) and foliar application of auxin (indole acetic acid) in one step (mid-flowering) at a concentration of 3000 $mg.l^{-1}$ (30 ppm) in sub-plots as a factorial. In the auxin foliar application and non-foliar application (control) in both normal irrigation and drought stress treatments, the highest total number of heads per plant in Goldasht cultivar have been 26.3 and 24.3 respectively, and the highest grain number per plant observed in Goldasht cultivar have been at 708 and 592, respectively. Auxin foliar application and irrigation has had no significant effect on the grain oil percentage. Goldasht cultivar demonstrates a higher grain yield compared to Padideh cultivar due to lower head temperature, higher soluble carbohydrate concentration, number of heads, and 1000-grain weight. Generally, results show that the effect of the studied treatments is affected by the year and despite the positive effect of auxin foliar application on some yield components at both irrigation levels, foliar application of auxin at middle of flowering stage has no significant effect on grain yield.

Keywords: Grain yield, head temperature, interruption of irrigation, leaf area index, 1000-seed weight.

* نویسنده مسئول Email: h.jabbari@areeo.ac.ir

۱. مقدمه

تنش خشکی به‌طور اساسی و مخربی، بسیاری از فرایندها و مراحل گیاه را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد که از آن جمله می‌توان به فتوسنتز، تجمع ماده خشک، تبادلات روزنه‌ای و سنتز پروتئین اشاره کرد (Ohashi *et al*., 2006; Qaderi *et al*., 2006). واکنش‌های سازگاری گیاهان به تنش کمبود آب شامل تغییرات مورفولوژی، فیزیولوژی و بیوشیمیایی از قبیل تغییرات در سرعت رشد، هدایت روزنه‌ای، پتانسیل اسمزی بافت‌ها و دفاع آنتی‌اکسیدانی است (Duan *et al*., 2005). پاسخ‌های مورفولوژی و فیزیولوژی گیاهان نیز اساس شناسایی اثرات تنش بر عملکرد نهایی آن‌ها می‌باشد (Prins & Verkaar, 1992). گلرنگ یکی از قدیمی‌ترین گیاهان زراعی دنیا است که در مقیاس‌های کوچک کشت می‌شود (Hussain *et al*., 2016). این گیاه با سازگاری به مناطقی با بارندگی زمستانه و بهاره اندک و هوایی خشک در طول دوره گل‌دهی و پرشدن دانه از یک‌سو و با داشتن ریشه‌های طویل و با توان جذب آب بالا از بخش‌های عمیق‌تر خاک از سوی دیگر، به‌عنوان یک دانه روغنی متحمل به کمبود آب به‌حساب می‌آید (Yau, 2006). گلرنگ در جریان کمبود آب اواخر فصل، بخشی از عملکرد دانه (٦٥ تا ٩٢ درصد) را به‌وسیله انتقال مجدد ذخایر کربوهیدراتی قبل از گرده‌افشانی به دانه، تأمین می‌کند (Koutroubas *et al*., 2004). در بررسی واکنش سه رقم گلرنگ بهاره (محلی اصفهان، اصفهان ۲۸ و IL۱۱۱) به چهار سطح قطع آبیاری (آبیاری کامل، آبیاری تا مرحله دانه‌بندی، آبیاری تا مرحله گل‌دهی و آبیاری تا مرحله تکمه‌دهی) نتایج نشان داد که افزایش مدت زمان قطع آبیاری موجب زودرسی، کاهش طول دوره رشد، میزان تجمع ماده خشک، شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول و کاهش ٤٩/٦ درصدی عملکرد دانه در هر سه ژنوتیپ شد و کاهش این پارامترها در رقم محلی اصفهان نسبت به دو رقم دیگر کم‌ترین میزان بود (Moosavifar *et al*., 2011).

اکسین‌ها گروه کوچکی از هورمون‌های گیاهی هستند که نقش مهمی در تنظیم رشدونمو گیاه ایفا می‌کنند (Sen Raychaudhuri, 2000). اکسین در جنبه‌های مختلف رشدونمو گیاهان که در برابر تنش‌های محیطی واکنش نشان می‌دهند، نقش اساسی دارد (Park *et al*., 2019). اکسین نقش مهمی در واکنش گیاهان به شرایط نامطلوب محیطی (تنش‌های زنده و غیرزنده) ایفا می‌کند (Sharma *et al*., 2015). در آزمایشی، Abeysingha (2015) در بررسی اثر اکسین بر پارامترهای عملکرد دانه در کلزا تحت شرایط بدون تنش و با تنش گرما و کمبود رطوبت خاک گزارش کرد که کاربرد هورمون اکسین با غلظت 10^{-4} ×۱ مولار در ارقام آزاد گرده‌افشان و هیبرید به‌ترتیب سبب افزایش ٥١ و ٣٦ درصد عملکرد دانه در شرایط تنش در مرحله آغاز گل‌دهی در مقایسه با شرایط بدون کاربرد اکسین شد. تأثیر هورمون اکسین بر اجزای عملکرد کلزا بیش‌تر بر افزایش حجم دانه و وزن آن ذکر شده است.

هم‌چنین در پژوهشی، Shi *et al*. (2014) در این زمینه اظهار داشتند که با استفاده از کاربرد خارجی هورمون اکسین در فنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی در گیاه رشادی (*Arabidopsis thaliana*)، کاهش تجمع اکسیژن فعال (ROS)، به‌واسطه القای ژن‌های مرتبط با تنش و فعال‌شدن پاسخ آنتی‌اکسیدانی قابل مشاهده است. در آزمایش دیگری، Rastogi *et al*. (2013) در بررسی تأثیر کاربرد اکسین و جیبرلیک اسید بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه کتان (*Linum usitatissimum* L.) گزارش نمودند که کاربرد ۰/٥ میلی‌گرم در لیتر اکسین برای تحریک رشد رویشی و کاربرد یک میلی‌گرم در لیتر اکسین و ۲۰۰ میلی‌گرم جیبرلین در لیتر برای افزایش عملکرد دانه و اجزای آن توصیه می‌شود. بیش‌ترین تأثیرگذاری اکسین بر اجزای عملکرد دانه نظیر تعداد کپسول و هم‌چنین افزایش وزن خشک بوته ذکر شده است. هم‌چنین، Mahrokh *et al*. (2019) نیز گزارش کردند

افزایش هورمون اکسین باعث افزایش رشد سلولی و افزایش شاخص سطح برگ و در نهایت افزایش رشد رویشی در ذرت می‌شود.

به‌نظر می‌رسد افزایش دانش ما از تحمل به تنش خشکی اهمیت زیادی در کشت گیاهان و پیداکردن روش‌های مؤثر برای کاهش اثرات مضر خشکی بر روی گیاهان داشته باشد (Fleta-Soriano & Munné-Bosch, 2016)، بنابراین درک سازوکارهای تحمل گیاه تحت تنش خشکی، یک موضوع تحقیقاتی مهم است. از این‌رو، هدف از این مطالعه مقایسه دو رقم بهاره و زمستانه گلرنگ از نظر واکنش به تیمارهای محلول‌پاشی اکسین در شرایط تنش خشکی و شناسایی صفات فیزیولوژیک و زراعی مهم به‌منظور گزینش ارقام متحمل به خشکی بوده است.

۲. مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج با موقعیت طول جغرافیایی ′۷۵ °۵۰ شرقی و عرض جغرافیایی ′۵۹ °۳۵ شمالی و ارتفاع ۱۳۱۳ متر از سطح دریا طی دو سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ و ۹۷-۱۳۹۶ انجام شد. براساس سیستم طبقه‌بندی کوپن، منطقه کرج دارای اقلیم سرد نیمه‌خشک[1] با متوسط بارندگی سالیانه ۲۴۳ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت ۱۳/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. بافت خاک مزرعه آزمایش، لومی رسی بود و مشخصات خاک محل آزمایش در جدول (۱) ارائه شده است. میانگین دمای ماهانه و بارندگی در طی سال‌های زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ در منطقه کرج مطابق جدول (۲) می‌باشد.

۲. ۱. طرح آماری و تیمارهای موردمطالعه

این مطالعه به‌صورت آزمایش اسپیلت‌پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. در این آزمایش آبیاری در دو سطح بدون تنش خشکی (شاهد) و قطع آبیاری از مرحله آغاز پرشدن دانه در کرت‌های اصلی و ارقام پدیده (پاییزه متحمل به سرما، دیررس و خاردار) و گلدشت (بهاره متحمل به سرما، زودرس و بدون خار) و محلول‌پاشی هورمون اکسین در دو سطح محلول‌پاشی با آب مقطر (شاهد) و کاربرد هورمون اکسین (ایندول استیک اسید) در کرت‌های فرعی به‌صورت فاکتوریل ارزیابی شدند. ماده تنظیم‌کننده رشد اکسین (ایندول استیک اسید) با غلظت ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر (۳۰ پی‌پی‌ام) از شرکت بارافشان و از الکل به‌عنوان حلال جهت تهیه محلول ایندول‌استیک‌اسید استفاده شد. پس از اعمال قطع آبیاری، هیچ بارندگی روی نداد.

محلول‌پاشی در ساعت‌های اولیه صبح و حداقل شدت روشنایی صورت گرفت. اعمال تیمار محلول‌پاشی در یک مرحله و در دهه دوم خردادماه (۵۰ درصد گل‌دهی، کد ۶۵ از مقیاس BBCH) انجام شد (Flemmer *et al.*, 2015). به‌منظور افزایش مدت زمان ماندگاری اکسین در زمان محلول‌پاشی، روی بوته‌ها از سورفکتانت توین ۲۰ با نسبت ۰/۵ درصد حجمی استفاده شد. کاشت در طی دو سال موردمطالعه به‌ترتیب در تاریخ‌های ۱۷ و ۱۳ مهرماه انجام شد و بلافاصله بعد از کاشت، آبیاری انجام شد. هر کرت آزمایشی شامل شش خط به طول چهار متر بود و فاصله خطوط کشت ۳۰ سانتی‌متر، فاصله بوته‌ها روی خطوط کاشت پنج سانتی‌متر و تراکم ۶۷ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد. آبیاری براساس ۸۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر کلاس A صورت گرفت. میزان آب ورودی به کرت‌ها با کنتور اندازه‌گیری شد. تعداد دفعات آبیاری در تیمارهای بدون تنش و تنش خشکی آخر فصل به‌ترتیب پنج و چهار مرتبه و میزان آب مصرفی در تیمارهای مذکور به‌ترتیب ۳۲۰۰ و ۲۵۶۰ مترمکعب در هکتار بود.

1. Cold semi-arid climates (BSK)

جدول ۱. نتایج ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

عمق خاک	بافت خاک	اسیدیته خاک (pH)	کربن آلی (%)	هدایت الکتریکی ($dS.m^{-1}$)	نیتروژن کل (%)	فسفر قابل جذب (ppm)	پتاسیم قابل جذب (ppm)	شن (%)	رس (%)	سیلت (%)
۳۰-۰	لومی-رسی	۷/۲	۰/۵۸	۲/۲	۰/۰۶	۱۲/۶	۲۵۶	۲٤	۲۷	٤۹

جدول ۲. میانگین دمای ماهانه و میزان بارندگی ماهیانه در طی سال‌های زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ در منطقه کرج

	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد
سال	۱۳۹٦	۱۳۹٦	۱۳۹٦	۱۳۹٦	۱۳۹٦	۱۳۹٦	۱۳۹۷	۱۳۹۷	۱۳۹۷
بارش (mm)	۰	٤/۸	۰/٦	٤/۷	۳۷	۲۱	۳۲	۳۳	۱۰
دما (°C)	۱۷	۱٤/۹	۵/۲	٦/۸	۳/۹	۱۰/۷	۱٤/٦	۱۷/۱	۲۳/٦
	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد
سال	۱۳۹۷	۱۳۹۷	۱۳۹۷	۱۳۹۷	۱۳۹۷	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۸	۱۳۹۸
بارش (mm)	٦/۷	۲۲/٦	۵۷/۵	٤۷/۱	۲۸	۱۹/۹	۱۰٤	۱۰/۱	۲/۱
دما (°C)	۱۸/۸	۱۰/۹	۸/٤	٤/۷	۵/۷	۷/۷	۱٤	۱۸/۳	۲۵/۱

۲. ۲. کود موردنیاز و سموم شیمیایی

براساس نتایج تجزیه خاک مزرعه (جدول ۱) و توصیه کودی، اقدام به کودپاشی (کود اوره ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار در سه نوبت ۱۰۰ کیلوگرم به‌صورت پایه، ۱۰۰ کیلوگرم در مرحله ساقه‌دهی و ۵۰ کیلوگرم در مرحله غنچه‌دهی، کود فسفات آمونیوم و سولفات پتاسیم به‌ترتیب ۱۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌صورت پایه) شد. در مرحله شش‌برگی برای مبارزه با علف‌های هرز نازک برگ، یک مرتبه از علف‌کش سوپرگالانت به نسبت یک در هزار استفاده شد و جهت کنترل آفت مگس گلرنگ (*Acanthiophilus helianthi* Rossi) از مرحله طبق‌دهی تا پایان گل‌دهی، سه مرتبه با استفاده از سم دیازینون به میزان ۱/۵ لیتر در هکتار مبارزه شیمیایی به‌عمل آمد.

۲. ۳. اندازه‌گیری صفات فیزیولوژی

اندازه‌گیری شاخص سطح برگ با دستگاه Sun Scan (Type ss1 DELTA-T DEVICES Cambridge-England) در مرحله پرشدن دانه انجام شد. بر این اساس میزان نور بالا و پایین کانوپی توسط دستگاه Sun Scan در پنج نقطه از هر کرت و در فاصله ساعت ۱۱ تا ۱۳ انجام گرفت و عدد شاخص سطح برگ محاسبه‌شده توسط دستگاه مذکور ثبت شد. دمای طبق در مرحله اواخر پرشدن دانه با استفاده از دماسنج مادون قرمز Testo 825-T2 ایتالیا اندازه‌گیری شد (Singh *et al*., 1985). جهت اندازه‌گیری کربوهیدرات‌های محلول برگ به‌روش تغییر داده شده اشلیگل (Sheligl, 1986)، بین ساعت ۱۳-۱۱ ظهر در مرحله اواخر پرشدن دانه، از شش برگ جوان و توسعه یافته در هر تیمار نمونه‌گیری شد.

۲. ٤. اندازه‌گیری صفات زراعی و درصد روغن

در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک از هر کرت شش بوته به‌صورت تصادفی انتخاب شد و صفات ارتفاع بوته، تعداد طبق در بوته و تعداد دانه پر در طبق اندازه‌گیری شد. در پایان فصل با درنظرگرفتن اثرات حاشیه ای با

حذف دو خط کناری و ۰/۵ متر از ابتدا و انتهای خطوط برداشت انجام و محصول دانه هر کرت توزین شد. وزن هزاردانه نیز توسط توزین چهار تکرار ۱۰۰۰ تایی و میانگین‌گرفتن از عدد حاصله به‌دست آمد. اندازه‌گیری درصد روغن دانه با دستگاه رزونانس مغناطیسی هسته‌ای (NMR) در آزمایشگاه روغن بخش تحقیقات دانه‌های روغنی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج انجام شد.

۲. ۵. آنالیز آماری

قبل از انجام آنالیز آماری، آزمون نرمال‌بودن داده‌ها با استفاده از گزاره UNIVARIATE با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) انجام شد و قبل از انجام تجزیه واریانس، آزمون یکنواختی واریانس اشتباهات آزمایشی با استفاده از آزمون بارتلت بین دو سال آزمایش به‌عمل آمد و واریانس اشتباه آزمایشی برای هر آزمایش به‌طور مجزا برای تک‌تک صفات مشخص شد. در پایان تجزیه واریانس مرکب داده‌ها و نتایج آزمایشی با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) انجام شد. به‌دلیل تصادفی درنظرگرفتن اثر سال، تجزیه واریانس داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها براساس امید ریاضی اثرات انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش حداقل اختلاف معنی‌دار محافظت‌شده (FLSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت و از برش‌دهی برای مقایسه میانگین اثرات ساده در زمانی‌که اثر متقابل معنی‌دار شده است، استفاده شد.

۳. نتایج و بحث

۳. ۱. دمای طبق

اثر سال بر دمای طبق در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). اثر آبیاری، محلول‌پاشی اکسین و رقم و کلیه اثرات متقابل بجز اثر متقابل سال× رقم در سطح آماری بر روی دمای طبق معنی‌دار نبود (جدول ۳).

میانگین دمای طبق در سال دوم آزمایش (۳۱/۸ درجه سانتی‌گراد) به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از سال اول آزمایش (۳۰/۳ درجه سانتی‌گراد) بود (جدول ٤)، که به بالاتربودن میانگین درجه حرارت ماه‌های اردیبهشت و خرداد در سال دوم در مقایسه با سال اول آزمایش مرتبط است (جدول ۲). محدوده درجه حرارت گیاه در مرحله قبل از گل‌دهی گلرنگ در شرایط مختلف رطوبتی خاک می‌تواند از ۲۹ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد متغیر باشد (Achhale, 2016).

مقایسه میانگین دمای طبق دو رقم موردمطالعه در دو سال آزمایش در جدول (۵) نشان می‌دهد که در سال اول آزمایش تفاوت دمای طبق در دو رقم گلدشت و پدیده در حدود چهار درجه سانتی‌گراد بود، اما در سال دوم آزمایش دمای طبق در هر دو رقم بیش‌تر از سال اول بود و این تفاوت به حدود یک درجه سانتی‌گراد کاهش یافت (جدول ۵). به‌نظر می‌رسد بالاتربودن میانگین درجه حرارت و کم‌تربودن بارندگی در اردیبهشت‌ماه و خردادماه در سال دوم در مقایسه با سال اول آزمایش سبب ایجاد تنش گرما و خشکی در سال دوم آزمایش شده است (جدول ۲). درجه حرارت گیاه به‌عنوان یک روش غیرمستقیم برای تعیین میزان تنش پیشنهاد شده است و در صورت وجود رطوبت کافی، آبی که در اثر تعرق از بین می‌رود سبب خنک‌ترشدن برگ‌های گیاه خواهد شد (Asemanrafat & Honar, 2017) که با نتایج حاصل از سال اول و دوم این آزمایش تطابق داشت.

۳. ۲. شاخص سطح برگ

اثر سال، آبیاری، محلول‌پاشی اکسین و رقم بر شاخص سطح برگ معنی‌دار نبود (جدول ۳). در بین اثرات متقابل نیز تنها اثرات سال× آبیاری، سال× رقم و سال× محلول‌پاشی اکسین در سطح احتمال یک درصد بر شاخص سطح برگ معنی‌دار بود (جدول ۳).

جدول ۳. تجزیه واریانس مرکب صفات اندازه‌گیری‌شده دو رقم گلرنگ در سطوح مختلف آبیاری و محلول‌پاشی اکسین

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		دمای طبق	شاخص سطح برگ	کربوهیدرات‌های محلول برگ	تعداد کل طبق در بوته
سال	۱	۲۵/۵ **	۰/۲۲٦ ns	۹۷٦/۵ **	۸۰/۰ **
تکرار× سال	٤	۰/٤	۰/۲۰۷	۷/۱	۲/۲
آبیاری	۱	٤٦/۰ ns	٦/۳۸ ns	۹۷٦/۵ ns	۱۰۲/۱*
سال× آبیاری	۱	۲/۱ ns	۰/۳۵ **	٤۳/۹ ns	۰/۱ ns
خطای کرت اصلی	٤	۰/۹	۰/۰۰۲	۱۸/۹	۸/۲
رقم	۱	۷۱ ns	۰/۱۵۱ ns	۱۵۵/۱ ns	۳۳/۳ ns
محلول‌پاشی اکسین	۱	۱۷/۵ ns	۲/٤۷۵ ns	۱۳۳/٦ ns	٦۰/۷ *
سال× رقم	۱	۱٦/۸**	۰/٤٦۰ **	۷۳/۲ **	۲۱/۳ **
سال× محلول‌پاشی اکسین	۱	۱/٤ ns	۰/۵۰۰**	٤۱/٦ **	۰/۱ ns
رقم× آبیاری	۱	۲/۲ ns	۰/۰۳۵ns	۱۸/۳ ns	۸/۳ ns
سال× رقم× آبیاری	۱	۲/٦ ns	۰/۰۱ns	۲۱/۲ *	۱/۳ ns
آبیاری× محلول‌پاشی اکسین	۱	۰/۸ ns	۰/۰۰۱ns	۱/۱۷ ns	۰/۷ ns
سال× آبیاری× محلول‌پاشی اکسین	۱	۰/۱ ns	۰/۰۰۵ns	۰/۹۳ ns	۰/۷ ns
رقم× محلول‌پاشی اکسین	۱	۱/٤ ns	۰/۰۳۵ns	۰/۰۱ ns	۰/۳ ns
سال× محلول‌پاشی اکسین× رقم	۱	۰/٤ ns	۰/۰۰۵ns	۰/۱۷ ns	۰/۳ ns
آبیاری× رقم× محلول‌پاشی اکسین	۱	۰/٦ ns	۰/۰۰۱ns	۰/۳۵ ns	۰/۳**
سال× آبیاری× رقم× اکسین	۱	۰/۱ ns	۰/۰۰۱ns	۰/۳۲ ns	۰/۱ ns
خطای کرت فرعی	۲٤	۰/٦	۰/۰۲۳	۳/۳۹	۲/۰
ضریب تغییرات (%)		۲/۵	۷/۵	٦/۷	٦/۱

ادامه جدول ۳. تجزیه واریانس مرکب صفات اندازه‌گیری‌شده دو رقم گلرنگ در سطوح مختلف آبیاری و محلول‌پاشی اکسین

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		تعداد دانه پر در طبق	تعداد کل دانه پر در بوته	وزن هزاردانه	عملکرد دانه	روغن دانه
سال	۱	۵۹۵/۰*	۱٦۵٦۷۵**	٤۸/۸ **	٤۵۱۵۳٦۰ **	۰/۸۵ ns
تکرار× سال	٤	٤۱/۸	٤۸۵	۱/۲	۱۷٤۳٤	۲/۵۵
آبیاری	۱	٤۷۵/۰ ns	۱۹٦٦۰۸ **	۲۹/٤ ns	۱۰۲۳۷۵۲ ns	۱/۹۳ ns
سال× آبیاری	۱	۱۳۰/۰**	۱۷٦ ns	۰/۵ ns	۷۲۰۳ ns	۰/۰۵ns
خطای کرت اصلی	٤	۲/٦	٦٦۰٦	۰/۳	۵٤۱۳۳	۰/۱۸
رقم	۱	۱۵۷/٦ ns	۹٤۳٤۱ ns	۳۱۱٦۹ *	۷۹٤٤٦٤۱ ns	۱۰۲/٦٦ **
محلول‌پاشی اکسین	۱	٤٦/۰ ns	۱۰۳٤۱٦ *	۱٦/۸ ns	۱۱۵۷۵٤٤ ns	۰/۲۲ ns
سال× رقم	۱	۱۷/۵ **	٤۱۰۷ ns	۳/۰**	۲۸٤۳۱۰٦ **	۰/۰۱ ns
سال× محلول‌پاشی اکسین	۱	۰/۵ ns	۵٦۰ ns	۰/۱ ns	۳۱٦۲۱ ns	۰/۰۲ ns
رقم× آبیاری	۱	۱۵/۱ ns	۲۳۵۲ ns	۲/٦ ns	۱۰۰٦۵۰ ns	۰/۰۱ ns
سال× رقم× آبیاری	۱	۹/۱ ns	۳٦۰۵ ns	۰/۱ ns	۵٤٦۷۵ ns	۰/۰۱ ns
آبیاری× محلول‌پاشی اکسین	۱	۰/۵ ns	٤۵٦ ns	۰/۱ ns	۸۵ ns	۰/۰۲ ns
سال× آبیاری× محلول‌پاشی اکسین	۱	۰/۱ ns	۹۰۱ ns	۰/٤ ns	۹۳٤۵٦ ns	۰/۰۲ ns
رقم× محلول‌پاشی اکسین	۱	۰/۱ ns	٤٦٤۱ ns	۰/۱ ns	۲۰٤۱۸ ns	۰/۰۱ ns
سال× محلول‌پاشی اکسین× رقم	۱	۲/۵ ns	۸ ns	۰/۱ ns	۱۳۲۰۰ ns	۰/۰۱ ns
آبیاری× رقم× محلول‌پاشی اکسین	۱	۰/۱ ns	۷۳٦ *	۰/۱ ns	۸۹٦۵ ns	۰/۰۱ ns
سال× آبیاری× رقم× اکسین	۱	۰/۱ ns	۱ ns	۰/۱ ns	۵۰۳۱۰ ns	۰/۰۱ ns
خطای کرت فرعی	۲٤	۲/۱	۱٦۹۹	۰/٤	۱۸۹۸۹۱	۰/٤۸
ضریب تغییرات (%)		۲/۸	۷/۵	۱/۸۱	۲۳/٤	۲/۷۲

ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

جدول ٤. مقایسه میانگین صفات موردبررسی در پاسخ به تیمارهای آزمایش

تیمار	دمای طبق (°C)	شاخص سطح برگ	کربوهیدرات‌های محلول برگ (mg.g $^{-1}$ fresh weight)	تعداد کل طبق در بوته	تعداد دانه پر در طبق
سال					
۱۳۹٦–۹۷	۳۰/۳ b	۲/۱ a	۳۱/۸ a	۲٤/٤ a	٥٤/۷ a
۱۳۹۷–۹۸	۳۱/۸ a	۱/۹ a	۲۲/۸ b	۲۱/۸ b	٤۷/۷ b
آبیاری					
آبیاری معمول (شاهد)	۳۰/۱ a	۲/۳ a	۲۲/۸ a	۲٤/٥ a	٥٤/۳ a
قطع آبیاری از مرحله پرشدن دانه	۳۲/۰ a	۱/٦ a	۳۱/۹ a	۲۱/٦ b	٤۸/۰ a
محلول‌پاشی اکسین					
شاهد (آب مقطر)	۳۱/۷ a	۱/۷۷ a	۲٥/٦ a	۲۲/۰ b	٥۰/۰ a
محلول‌پاشی اکسین	۳۰/٥ a	۲/۲۲ a	۲۹/۰ a	۲٤/۲ a	٥۲/۲ a
ارقام					
پدیده	۳۲/۳ a	۲/۰٥ a	۲٥/٤ a	۲۲/۲ a	٥۳/۰ a
گلدشت	۲۹/۸ a	۱/۹٤ a	۲۹/۱ a	۲۳/۹ a	٤۹/٤ a

ادامه جدول ٤. مقایسه میانگین صفات موردبررسی در پاسخ به تیمارهای آزمایش

تیمار	تعداد کل دانه پر در بوته	وزن هزاردانه (g)	عملکرد دانه (kg.ha^{-1})	روغن دانه(%)
سال				
۱۳۹٦–۹۷	٦۰۸ a	۳۳/۷ a	۲۱٦۸ a	۲٥/۷ a
۱۳۹۷–۹۸	٤۹۰ b	۳۱/۷ b	۱٥٥٥ b	۲٥/٤ a
آبیاری				
آبیاری معمول (شاهد)	٦۱۳ a	۳۳/٥ a	۲۰۰۸ a	۲٥/۸ a
قطع آبیاری از مرحله پرشدن دانه	٤۸٦ b	۳۱/۹ a	۱۷۱٦ a	۲٥/٤ a
محلول‌پاشی اکسین				
شاهد (آب مقطر)	٥۰۳ b	۳۲/۱ a	۱۷۰۷ a	۲٥/٥ a
محلول‌پاشی اکسین	٥۹٦ a	۳۳/۳ a	۲۰۱۷ a	۲٥/٦ a
ارقام				
پدیده	٥۰٥ a	۲٤/٦ b	۱٤٥٥ a	۲۷/۱ a
گلدشت	٥۹۳ a	٤۰/۸ a	۲۲٦۹ a	۲٤/۱ b

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار براساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار محافظت شده در سطح احتمال پنج درصد است.

جدول ٥. نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل سال× رقم بر برخی از صفات فیزیولوژیک و زراعی گلرنگ

سال	رقم	دمای طبق (°C)	شاخص سطح برگ	کربوهیدرات‌های محلول برگ (mg.g $^{-1}$ fresh weight)	تعداد کل طبق در بوته	تعداد دانه پر در طبق	وزن هزاردانه (g)	عملکرد دانه (kg.ha^{-1})
سال اول	پدیده	۳۲/۱ a	۲/۲۲ a	۲۸/۸ b	۲٤/۲ a	٥۷/۱ a	۲٥/٤ b	۱٥۱۸ b
(۱۳۹٦–۹۷)	گلدشت	۲۸/٥ b	۱/۹۱ b	۳٤/۸ a	۲٤/٥ a	٥۲/۳ b	٤۲/۰ a	۲۸۱۹ a
سال دوم	پدیده	۳۲/٤ a	۱/۹۰ a	۲۲/۲ b	۲۰/۳ b	٤۸/۹ a	۲۳/۹ b	۱۳۹۲ b
(۱۳۹۷–۹۸)	گلدشت	۳۱/۲ b	۱/۹۷ a	۲۳/۳ a	۲۳/۳ a	٤٦/٥ b	۳۹/٥ a	۱۷۱۹ a

در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون برش‌دهی اثر متقابل در سطح احتمال ٥ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

در بین دو سال آزمایشی، واکنش دو رقم گلرنگ از نظر شاخص سطح برگ متفاوت بود (جدول ۵). در سال اول آزمایش، شاخص سطح برگ در رقم پدیده به‌دلیل دیررس‌بودن این رقم به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از رقم گلدشت بود. این در حالی است که در سال دوم آزمایش، شاخص سطح برگ در دو رقم گلرنگ موردمطالعه تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۵). به‌نظر می‌رسد بالاتربودن میانگین بارندگی و کم‌تربودن درجه حرارت در خردادماه سال اول در مقایسه با سال دوم آزمایش سبب بیش‌تر بودن شاخص سطح در دو رقم گلرنگ شده است و در سال دوم به‌واسطه وجود تنش، شاخص سطح برگ در هر دو رقم کم‌تر بوده است (جدول‌های ۲ و ۵). هم‌چنین میانگین شاخص سطح برگ در تیمارهای آبیاری در دو سال آزمایش متفاوت بود (جدول ٦).

شاخص سطح برگ به‌واسطه تنش خشکی در هر دو سال آزمایش کاهش یافت و میزان کاهش شاخص سطح برگ به‌واسطه تنش خشکی در مقایسه با شاهد در سال اول و دوم به‌ترتیب برابر با ۲۳/۸ و ۳۷/۸ درصد بود (جدول ٦). هم‌چنین میانگین شاخص سطح برگ در تیمارهای محلول‌پاشی در دو سال آزمایش متفاوت بود و در هر دو سال مطالعه، شاخص سطح برگ در تیمار محلول‌پاشی هورمون اکسین به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از محلول‌پاشی با آب مقطر بود، اما این موضوع در سال اول آزمایش محسوس‌تر بود (جدول ۷). دلیل این موضوع بالاتربودن میانگین درجه حرارت و کم‌تربودن بارندگی در خرداد ماه سال دوم در مقایسه با سال اول می‌باشد (جدول ۲). هورمون اکسین به‌واسطه افزایش دوام برگ، تأخیر در پیری برگ‌ها و جلوگیری از ریزش آن‌ها در مرحله پرشدن دانه گلرنگ سبب افزایش شاخص سطح برگ در مقایسه با محلول‌پاشی با آب مقطر شد که با نتایج Mahrokh *et al.* (2019) مطابقت داشت. به‌نظر می‌رسد هورمون اکسین با تولید آنتی‌اکسیدان‌های مفید در مهار رادیکال‌های آزاد اکسیژن توانسته آسیب سلولی به غشای تیلاکوئید و پیری برگ را به تعویق اندازد (Mahrokh *et al.*, 2019).

کمبود آب علاوه بر کاهش توسعه برگ می‌تواند از طریق ریزش و مرگ برگ‌ها در طول مراحل مختلف رشد بر شاخص سطح برگ مؤثر باشد. تنش کمبود آب از طریق کاهش تولید و رشد برگ (Cakir, 2004)، پیری زودرس برگ‌ها (Singh *et al.*, 1990) و افزایش پیری برگ‌ها (Wolfe *et al.*, 1988) میزان شاخص سطح برگ را کاهش می‌دهد. سایه‌انداز گیاهان در مواجه با تنش خشکی با سرعت کم‌تری گسترش یافته، اندازه برگ‌ها کوچک‌تر شده و به‌واسطه ریزش زودهنگام برگ‌های پایین سایه‌انداز گیاهی، گیاه سطح برگ خود را با سرعت بیش‌تری از دست می‌دهد و درنهایت شاخص سطح برگ تحت شرایط خشکی کاهش می‌یابد.

جدول ٦. نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل سال× آبیاری بر شاخص سطح برگ و تعداد دانه پر در طبق گلرنگ

سال	آبیاری	شاخص سطح برگ	تعداد دانه پر در طبق
سال اول (۹۷-۱۳۹٦)	آبیاری معمول (شاهد)	۲/۳۵ a	٥٦/۲ a
	قطع آبیاری از مرحله پرشدن دانه	۱/۷۹ b	٥۳/۲ b
سال دوم (۹۸-۱۳۹۷)	آبیاری معمول (شاهد)	۲/۳۸ a	٥۲/٥ a
	قطع آبیاری از مرحله پرشدن دانه	۱/٤۸ b	٤۲/۹ b

در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون برش‌دهی اثر متقابل در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

۳. ۳. غلظت کربوهیدرات‌های محلول برگ

اثر سال، سال× رقم و سال× محلول‌پاشی اکسین در سطح احتمال یک درصد و اثر سال× رقم× آبیاری در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). در هر دو سال مطالعه، غلظت کربوهیدرات‌های محلول برگ در تیمار محلول‌پاشی اکسین به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از محلول‌پاشی با آب مقطر بود، اما با این‌حال میزان افزایش بسیار متفاوت و در سال اول و دوم آزمایش به‌ترتیب ۱۷/۸ و ٦/۸ درصد بود (جدول ۷).

بالاتربودن میانگین درجه حرارت و کم‌تر بودن بارندگی در خردادماه سال دوم آزمایش احتمالاً سبب تأثیر کم‌تر محلول‌پاشی اکسین بر افزایش غلظت کربوهیدرات‌های محلول برگ شده است (جدول ۲). نتایج نشان‌دهنده نقش اصلی ایندول‌استیک‌اسید بر فعالیت آنزیم اینورتاز و تجزیه نشاسته و تبدیل آن به قندهای محلول در مرحله پرشدن دانه می‌باشد (French *et al*., 2014). هورمون اکسین با افزایش فعالیت آنزیم اینورتاز سبب افزایش تبدیل نشاسته به قندهای محلول می‌شود که خود می‌تواند عاملی در جهت افزایش تحمل به تنش خشکی باشد (French *et al*., 2014; Mahrokh *et al*., 2019).

مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل سال× آبیاری× رقم نشان می‌دهد که تفاوت معنی‌داری بین دو رقم گلرنگ در واکنش به سطوح آبیاری در دو سال آزمایش وجود داشت (جدول ۸). در سال اول آزمایش غلظت کربوهیدرات‌های محلول برگ در هر دو رقم گلرنگ در تیمارهای آبیاری بسیار بیش‌تر از سال دوم آزمایش بود (جدول ۸).

هم‌چنین غلظت کربوهیدرات‌های محلول برگ به‌واسطه قطع آبیاری از مرحله آغاز پرشدن دانه در هر دو رقم گلرنگ افزایش یافت، اما این میزان افزایش در دو سال آزمایش متفاوت بود (جدول ۸). در سال اول آزمایش، به‌واسطه تنش خشکی غلظت کربوهیدرات‌های محلول برگ در دو رقم پدیده و گلدشت به‌ترتیب ۱۷/٤ و ٤۸/۰ درصد در مقایسه با شرایط بدون تنش افزایش یافت. در مقابل، در سال دوم آزمایش، این مقادیر در دو رقم پدیده و گلدشت به‌ترتیب ۳۸/۰ و ۳۵/۸ درصد بود (جدول ۸). در این مطالعه میزان کربوهیدارات محلول برگ به‌عنوان تنظیم‌کننده اسمزی در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط بدون تنش افزایش چشم‌گیری نشان داد (جدول ۸). قندهای محلول تنظیم‌کننده اسمزی هستند که با افزایش فشار اسمزی و نگهداری تورژسانس و نیز پایداری غشاها و پروتئین‌ها به گیاه در تحمل به تنش خشکی کمک می‌کند (Sanchez *et al*., 1998). در مجموع قندهای محلول طی تنش خشکی می‌تواند به‌دلیل تخریب کربوهیدرات‌های نامحلول و تبدیل به قندهای محلول و سنتز این ترکیبات از مسیرهای غیرفتوسنتزی و متوقف‌شدن رشد افزایش یابد (Hsiao, 1973).

جدول ۷. نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل سال× محلول‌پاشی اکسین بر شاخص سطح برگ و کربوهیدرات‌های محلول برگ

سال	محلول‌پاشی اکسین	شاخص سطح برگ	کربوهیدرات‌های محلول برگ (mg.g $^{-1}$ fresh weight)
سال اول (۹۷-۱۳۹٦)	شاهد (آب مقطر)	۱/۷٤ b	۲۹/۲ b
	محلول‌پاشی اکسین	۲/٤۰ a	۳٤/٤ a
سال دوم (۹۸-۱۳۹۷)	شاهد (آب مقطر)	۱/۸۰ b	۲۲/۰ b
	محلول‌پاشی اکسین	۲/۰۵ a	۲۳/۵ a

در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون برش‌دهی اثر متقابل در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

جدول ۸. نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل سال× آبیاری× رقم بر کربوهیدرات‌های محلول برگ

سال	آبیاری	رقم	کربوهیدرات‌های محلول برگ (mg.g $^{-1}$ fresh weight)
سال اول (۹۷-۱۳۹۶)	آبیاری معمول (شاهد)	پدیده	۲٤/٦ c
		گلدشت	۲۸/۱ b
	قطع آبیاری از مرحله پرشدن دانه	پدیده	۲۸/۹ b
		گلدشت	٤۱/٦ a
سال دوم (۹۸-۱۳۹۷)	آبیاری معمول (شاهد)	پدیده	۱۸/٦ c
		گلدشت	۱۹/۸ c
	قطع آبیاری از مرحله پرشدن دانه	پدیده	۲۵/۸ b
		گلدشت	۲٦/۹ a

در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون برش‌دهی اثر متقابل در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

۳. ٤. تعداد کل طبق در بوته

اثر سال، آبیاری و محلول‌پاشی اکسین بر تعداد کل طبق در بوته به‌ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). هم‌چنین اثر متقابل سال× رقم و آبیاری× رقم× اکسین بر این صفت در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). در بین دو سال آزمایشی تفاوت معنی‌داری از نظر تعداد کل طبق در بوته وجود داشت، به‌طوری‌که در سال اول و دوم میانگین این صفت به‌ترتیب ۲٤/٤ و ۲۱/۸ بود (جدول ٤). نتایج مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل آبیاری× رقم× اکسین در جدول (۹) نشان می‌دهد که واکنش دو رقم گلرنگ موردبررسی به سطوح محلول‌پاشی اکسین در دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی متفاوت بود. با اعمال قطع آبیاری از مرحله پرشدن دانه در هر دو رقم گلدشت و پدیده تعداد کل طبق در بوته در هر دو سطح محلول‌پاشی کاهش یافت اما میزان کاهش در رقم گلدشت و به‌ویژه در شرایط محلول‌پاشی اکسین کم‌تر بود (جدول ۹). به‌طور مثال، مقادیر تعداد کل طبق در بوته در شرایط بدون تنش برای رقم پدیده در دو تیمار بدون محلول‌پاشی و محلول‌پاشی اکسین به ۲۳/۵ و ۲٤/۸ بود و در شرایط تنش خشکی این مقادیر به‌ترتیب به ۱۹/۳ و ۲۱/۵ تقلیل یافت (جدول ۹). در مقابل، مقادیر تعداد کل طبق در بوته در شرایط بدون تنش برای رقم گلدشت در دو تیمار بدون محلول‌پاشی و محلول‌پاشی اکسین به‌ترتیب ۲۳/٦ و ۲٦/۳ بود و در شرایط تنش خشکی این مقادیر به‌ترتیب به ۲۱/۵ و ۲٤/۳ تقلیل یافت (جدول ۹). از این‌رو، نتایج به‌دست‌آمده در کلیه تیمارها برتر بودن رقم گلدشت را در مقایسه با رقم پدیده از نظر تعداد کل طبق در بوته نشان می‌دهد (جدول ۹).

در بررسی Rastogi *et al.* (2013) افزایش تعداد طبق به‌واسطه محلول‌پاشی اکسین با غلظت‌های ۰/۵ و ۱/۰ و ۲/۰ میلی‌گرم در لیتر در هر دو شرایط گلخانه و مزرعه گزارش شده است که با نتایج این آزمایش مطابقت داشت. با افزایش غلظت هورمون اکسین و افزایش غالبیت انتهایی قاعدتاً تعداد طبق باید کاهش یابد، اما به‌نظر می‌رسد در این آزمایش به‌دلیل کاربرد این هورمون در مرحله اواسط گل‌دهی در تیمار محلول‌پاشی هورمون اکسین به‌واسطه بیش‌تربودن دوام برگ (شاخص سطح برگ) و غلظت کربوهیدرات‌های محلول برگ، اثرات تنش خشکی در شرایط قطع آبیاری از مرحله پرشدن دانه تعدیل شده و تعداد طبق در بوته بیش‌تر بوده است.

جدول ۹. نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل آبیاری× رقم× محلول‌پاشی اکسین بر تعداد کل طبق در بوته و تعداد کل دانه پر در بوته

آبیاری	محلول‌پاشی اکسین	رقم	تعداد کل طبق در بوته	تعداد کل دانه پر در بوته
آبیاری معمول (شاهد)	شاهد (آب مقطر)	پدیده	۲۳/۵ c	٥٤٦ d
		گلدشت	۲۳/٦ c	٥٩٣ c
	محلول‌پاشی اکسین	پدیده	۲٤/۸ b	٦٠٥ b
		گلدشت	۲٦/۳ a	۷۰۸ a
قطع آبیاری از مرحله پرشدن دانه	شاهد (آب مقطر)	پدیده	۱۹/۳ c	۳۹۰ d
		گلدشت	۲۱/٥ b	٤٨١ b
	محلول‌پاشی اکسین	پدیده	۲۱/٥ b	٤۷۷ bc
		گلدشت	۲٤/۳ a	٥۹۲ a

در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون برش‌دهی اثر متقابل در سطح احتمال ٥ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

۳. ٥. تعداد دانه پر در طبق

در بین اثرات ساده و متقابل، تنها اثر سال، در سطح احتمال پنج درصد و اثر سال× آبیاری و سال× رقم بر تعداد دانه پر در طبق در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). در بین دو سال آزمایشی تفاوت معنی‌داری از نظر تعداد دانه پر در طبق در تیمارهای آبیاری و دو رقم گلرنگ وجود داشت، به‌طوری‌که در سال اول میانگین این صفت در دو رقم پدیده و گلدشت به‌ترتیب ۵۷/۱ و ۵۲/۳ و در سال دوم به‌ترتیب ٤٨/۹ و ٤٦/٥ بود (جدول ٥). احتمالاً بالاتربودن میانگین درجه حرارت در خرداد ماه در سال دوم به‌همراه بیش‌تر بودن دمای طبق می‌تواند یکی از دلایل کم‌تر بودن تعداد دانه پر در طبق در سال دوم آزمایش باشد (جدول‌های ۲ و ٥).

در هر دو سال آزمایش، بیش‌ترین تعداد دانه پر در طبق در تیمار آبیاری معمول به‌دست آمد و با قطع آبیاری از مرحله پرشدن دانه میانگین این صفت در سال اول و دوم آزمایش به‌ترتیب ۵/۳ و ۱۸/۳ درصد کاهش یافت (جدول ٦). این نتایج نشان می‌دهد در سال دوم آزمایش، خشک‌تر و گرم‌تربودن خردادماه سبب کاهش محسوس تعداد دانه پر در طبق در مقایسه با سال اول آزمایش شد (جدول‌های ۲ و ٦). آبیاری مناسب یک عامل با اهمیت در جهت دستیابی به بیش‌ترین تعداد دانه پر در طبق در گلرنگ بوده، به‌طوری‌که با قطع آبیاری در مرحله آخر فصل به‌دلیل پوک‌شدن برخی از دانه‌های تشکیل‌شده، تعداد دانه پر در طبق به‌ویژه سال دوم آزمایش کاهش یافت.

۳. ٦. تعداد کل دانه پر در بوته

نتایج تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد اثر سال و اثر آبیاری در سطح احتمال یک درصد و اثر محلول‌پاشی اکسین بر تعداد کل دانه پر در بوته در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). در بین اثرات متقابل، تنها اثر متقابل آبیاری× رقم× اکسین بر این صفت در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). در سال اول میانگین این صفت از ٦۰۸ با بیش از ۱۱۸ عدد کاهش به ٤۹۰ در سال دوم رسید (جدول ٤). نتایج مقایسه میانگین‌های اثر متقابل آبیاری× رقم× اکسین در جدول (۹) نشان داد که تعداد کل دانه پر در بوته با قطع آبیاری در مرحله آخر فصل در هر دو رقم گلرنگ موردمطالعه به‌طور چشم‌گیری کاهش یافت، اما این میزان کاهش به‌واسطه تنش خشکی در شرایط محلول‌پاشی اکسین به‌دلیل کاهش تعداد

دانه‌های پوک تعدیل شد (جدول ۹). با اعمال تیمار محلول‌پاشی اکسین تعداد کل دانه پر در بوته نسبت به شرایط محلول‌پاشی با آب مقطر (شاهد) در ارقام گلدشت و پدیده افزایش معنی‌داری یافت، اما در بین دو رقم موردبررسی در این آزمایش تعداد کل دانه پر در بوته در رقم گلدشت به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از رقم پدیده بود که می‌تواند به تفاوت در اندازه و قطر طبق این دو رقم مرتبط باشد (جدول ۹). بزرگ‌تربودن طبق‌های گلدشت از ویژگی‌های ریخت‌شناسی آن است (Pasban Eslam, 2008).

۳. ۷. وزن هزاردانه

در این آزمایش، اثر سال، رقم و سال× رقم بر وزن هزاردانه به‌ترتیب در سطح احتمال یک، پنج و یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). میانگین وزن هزاردانه رقم پدیده و گلدشت در سال اول به‌ترتیب ۲۵/٤ و ٤۲/۰ گرم و در سال دوم به‌ترتیب ۲۳/۹ و ۳۹/۵ گرم بود (جدول ۵). علت بالاتربودن وزن دانه‌های گلرنگ در سال اول آزمایش، پایین‌تربودن میانگین درجه حرارت در خردادماه بوده است که توسط Pasban Eslam (2017) نیز بیان شده است (جدول‌های ۲ و ۵). هم‌چنین در هر دو سال آزمایش بیش‌ترین میزان وزن هزاردانه در رقم گلدشت مشاهده شد (جدول ۵). بیش‌تر بودن وزن دانه‌ها در رقم گلدشت از ویژگی‌های آن است که در سایر گزارش‌ها نیز بیان شده است (Pasban Eslam, 2017).

۳. ۸. عملکرد دانه

اثر سال و اثر سال× رقم بر عملکرد دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). در دو سال آزمایش، تفاوت عملکرد دانه در دو رقم گلرنگ موردمطالعه کاملاً مشهود بود (جدول ۵). در سال اول، میانگین عملکرد دانه در ارقام پدیده و گلدشت به‌ترتیب ۱۵۱۸ و ۲۸۱۹ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۵). در سال دوم آزمایش عملکرد دانه در هر دو رقم گلرنگ بسیار کم‌تر از سال اول بود و در ارقام پدیده و گلدشت میانگین عملکرد دانه به‌ترتیب ۱۲٦ و ۱۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کم‌تر از سال اول بود (جدول ۵). دلیل این موضوع، دمای طبق بیش‌تر، شاخص سطح برگ و میزان کربوهیدرات‌های محلول برگ کم‌تر و در نتیجه کم‌تربودن اجزای عملکرد در سال دوم آزمایش می‌باشد (جدول ۵). Behdani *et al.* (2011) نیز نشان دادند که در بین ژنوتیپ‌های موردمطالعه رقم گلدشت بیش‌ترین عملکرد دانه را دارا بود که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد. به‌نظر می‌رسد با وجود تأثیر مثبت محلول‌پاشی اکسین بر تعداد کل طبق در بوته و در نتیجه تعداد دانه پر در بوته و عدم تأثیر محلول‌پاشی بر تعداد دانه پر در طبق و وزن هزاردانه، افزایش عملکرد دانه در تیمار محلول‌پاشی اکسین در مقایسه با محلول‌پاشی با آب مقطر معنی‌دار نبوده است (جدول ٤).

۳. ۹. درصد روغن دانه

اثر سال، آبیاری و محلول‌پاشی اکسین بر درصد روغن دانه معنی‌دار نبود و تنها اثر رقم بر درصد روغن دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). در این مطالعه، رقم پدیده بیش‌ترین (۲۷/۱ درصد) و رقم گلدشت کم‌ترین (۲٤/۱ درصد) درصد روغن دانه را دارا بودند (جدول ٤). بیش‌تر بودن درصد روغن دانه در رقم پدیده توسط سایر پژوهش‌گران نیز بیان شده است (Rahmani *et al.*, 2019). به‌نظر می‌رسد علت کم‌تربودن درصد روغن دانه در رقم گلدشت کوتاه‌تربودن دوره پرشدن دانه بوده است (Pasban Eslam, 2017).

٤. نتیجه‌گیری

در این آزمایش واکنش دو رقم گلرنگ موردمطالعه از نظر

دمای طبق، شاخص سطح برگ، غلظت کربوهیدرات‌های محلول برگ، وزن هزاردانه و عملکرد دانه تحت تأثیر سال قرار داشت. هم‌چنین اثر تیمار آبیاری بر شاخص سطح برگ، تعداد دانه پر در طبق و اثر تیمار محلول‌پاشی اکسین بر شاخص سطح برگ و غلظت کربوهیدرات‌های محلول برگ تحت تأثیر سال متفاوت بود. رقم گلدشت به‌دلیل دمای طبق کم‌تر و غلظت کربوهیدرات محلول برگ بیش‌تر از تعداد طبق و وزن هزاردانه بیش‌تر و در نهایت عملکرد دانه بالاتری در هر دو سال آزمایش برخوردار بود. هم‌چنین بیش‌ترین تعداد کل طبق در بوته و تعداد کل دانه پر در بوته در شرایط محلول‌پاشی اکسین و محلول‌پاشی با آب مقطر (شاهد) در هر دو تیمار آبیاری معمول و تنش خشکی، در رقم گلدشت مشاهده شد. تعداد کل دانه پر در بوته با قطع آبیاری در هر دو رقم گلرنگ موردمطالعه به‌طور چشم‌گیری کاهش یافت، اما این میزان کاهش به‌واسطه تنش خشکی در شرایط محلول‌پاشی اکسین به‌دلیل کاهش تعداد دانه‌های پوک تعدیل شد. با این‌حال، با اعمال تیمار محلول‌پاشی اکسین تعداد کل دانه پر در بوته نسبت به شرایط محلول‌پاشی با آب مقطر (شاهد) در ارقام گلدشت و پدیده افزایش معنی‌داری یافت، اما در بین دو رقم موردبررسی در این آزمایش تعداد کل دانه پر در بوته در رقم گلدشت به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از رقم پدیده بود که می‌تواند به تفاوت در اندازه و قطر طبق این دو رقم مرتبط باشد. در مقابل، درصد روغن دانه بیش‌تر تحت تأثیر عوامل ژنتیکی بود و محلول‌پاشی اکسین و آبیاری تأثیر معنی‌داری بر درصد روغن دانه نداشت. به‌نظر می‌رسد با وجود تأثیر مثبت محلول‌پاشی اکسین بر تعداد کل طبق در بوته و در نتیجه تعداد دانه پر در بوته و عدم تأثیر محلول‌پاشی بر تعداد دانه پر در طبق و وزن هزاردانه، افزایش عملکرد دانه در تیمار محلول‌پاشی اکسین در مقایسه با محلول‌پاشی با آب مقطر معنی‌دار نبوده است.

۵. تشکر و قدردانی

این مقاله مستخرج از رساله دکتری دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان می‌باشد، که بدین‌وسیله از گروه زراعت دانشکده کشاورزی و هم‌چنین کلیه تکنسین‌ها و کارگران مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج، تشکر و قدردانی می‌گردد.

٦. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۷. منابع

Abeysingha, G.L.D.N. (2015). The effect of auxins on seed yield parameters in wheat, pea and canola grown under controlled environment and western Canadian field conditions. A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Plant Science. Department of Agricultural, Food and Nutritional Science University of Alberta. 148 p.

Achhale, D. (2016). Screening of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) genotypes for drought tolerance. M.Sc.(Ag.) Thesis, Rajmata Vijayaraje Scindia Krishi Vishwavidyalaya, Madhya pradesh.

Asemanrafat, M., & Honar, T. (2017). Effect of water stress and plant density on canopy temperature, yield components and protein concentration of red bean (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Akhtar). *International Journal of Plant Production*, *11*(2), 241-258.

Behdani, M. A., & Mousavifar, B. E. (2011). Effect of insufficient irrigation on plant dry mater and remobilization in three spring safflower genotypes (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Agroecology*, *3*(3), 406.

Cakir, R. (2004). Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of Corn. *Field Crops Research*, *89*, 1-16.

Duan, B., Lu, Y. Yin, C. Junttila, C. & Li, C. (2005). Physiological responses to drought and shade in two contrasting *Picea asperata* populations. *Physiologia Plantarum*, *124*, 476-484.

Eslam, B. P. (2017). Effect of planting date on reducing growth period of spring safflower cultivars in Tabriz cold and semi-arid climate. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *15*(4), 851-860.

Flemmer, A.C., Franchini, M.C., & Lindström, L.I. (2015). Description of safflower (*Carthamus tinctorius*) phenological growth stages according to the extended BBCH scale. *Annals of Applied Biology 166*, 331-339.

Fleta-Soriano, E. & Munné-Bosch, S. (2016). Stress memory and the inevitable effects of drought: a physiological perspective. *Frontiers in Plant Science*, *7*, 1-6.

French, S.R., Abu-Zaitoon, Y., Uddin, M.M., Bennett, K. & Nonhebel, H.M. (2014). Auxin and Cell Wall Invertase Related Signaling during Rice Grain Development. *Plants (Basel, Switzerland)*, *3*(1), 95-112.

Hsiao, T.C. (1973). Plant Responses to Water Stress. *Annual Review of Plant Physiology*, *24* (1), 519-570.

Hussain, M.I., Lyra, D.A., Farooq, M., Nikoloudakis, N. & Khalid, N. (2016). Salt and drought stresses in safflower: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, *36*(1), 4.

Koutroubas, S.D., Papakosta, D.K., & Doitsinis, A. (2004). Cultivar and seasonal effects on the contribution of pre-anthesis assimilates to safflower yield. *Field Crops Research*, *90*, 263-274.

Mahrokh, A., Nabipour, M., Roshanfekr, H. A., & Choukan, R. (2019). Response of some grain maize physiological parameters to drought stress and application of auxin and cytokinin hormones. *Journal of Environmental Stresses in Crop Sciences*, *12*(1), 1-15. (In Persian)

Moosavifar, B., Behdani, M., Jami Alahmadi, M., & Hosaini Bojd, M. (2011). Effect of deficit irrigation on growth and yield of spring safflowers (*Carthamus tinctorius* L.) genotypes in Birjand. *Agroecology*, *2*(4), 627-639. (In Persian)

Ohashi, Y., Nakayama, N., Saneoka, H., & Fujita, K. (2006). Effects of drought stress on photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and stem diameter of soybean plants. *Biologia Plantarum*, *50*, 138-141.

Park, J.S., Hye, J., Kim, Cho, H.S., Jung, H.W., Cha, J.Y., Yun, D.J., Oh, S.W., & Chung, Y.S. (2019). Overexpression of AtYUCCA6 in soybean crop results in reduced ROS production and increased drought tolerance. *Plant Biotechnology Reports*, *13*(2), 161-168.

Pasban Eslam, B. (2008). Evaluation of physiological and agronomical characters of spring genotypes of safflower for drought tolerance. Final Report of Research Project. No. 87.346. AREEO. pp. 13-21.

Prins, A.H., & Verkaar, H.J. (1992). Defoliation: do physiological and morphological responses lead to (over) compensatin? In: Ayres, P.G. (Ed.), Pests and Pathogens. *Plant Responses to Foliar Attack*. Bios Scientific Publishers. Oxford, UK, pp. 13-21.

Qaderi, M.M., Kurepin, L.V., & Reid, D.M. (2006). Growth and physiological responses of canola (*Brassica napus*) to three components of global climate change: temperature, carbon dioxide and drought. *Journal of Plant Physiology*, *128*, 710-721.

Rahmani, F., Sayfzadeh, S. Jabbari, H. Valadabadi, S.A., & Hadidi Masouleh, E. (2019). Alleviation of drought stress effects on safflower yield by foliar application of zinc. *International Journal of Plant Production*, *13*, 297-308.

Rastogi, A., Siddiqui, A., Mishra, B.K., Srivastava, M., Pandey, R., Misra, P., Singh, M., Shukla, S. (2013). Effect of auxin and gibberellic acid on growth and yield components of linseed (*Linum usitatissimum* L.). *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, *13*(2), 136-143.

Sanchez, F.J., Manzanares, M., De Andres, E.F., Tenorio, J.L., & Ayerbe, L. (1998). Turgor maintenance, osmotic adjustment and soluble sugar and proline accumulation in 49 pea cultivars in response to water stress. *Field Crops Research*, *59*, 225-235.

Sen Raychaudhuri, S. (2000). The role of superoxide dismutase in combating oxidative stress in higher plants. *Botanical Review*, *66*, 89-98.

Sharma, E., Sharma, R., Borah, P., Jain, M., & Khurana J.P. (2015). Emerging Roles of Auxin in Abiotic Stress Responses. G.K. Pandey (ed.), Elucidation of Abiotic Stress Signaling in Plants, Springer Science+Business Media New York.

Sheligl, H.Q. (1986). Die verwertung orgngischer souren durch chlorella lincht. *Planta Journal*, 47-51.

Shi, H., Chen, L., Ye, T., Liu, X., Ding, K., & Chan, Z. (2014). Modulation of auxin content in Arabidopsis confers improved drought stress resistance. *Plant Physiology and Biochemistry*, *82*, 209-217.

Singh, D.P., Chaudhary, B.D., Singh, P., Sharma, H.C., & Karwasra, S.P.S. (1990). Drought tolerance in oilseed brassicas and chickpea. Hisar, India: Directorate of Research, Haryana Agricultural University.

Singh, D.P., Singh, P., Kumar, A., & Sharma, H.C. (1985). Transpiration. Cooling as a screening technique for drought tolerance in oilseed Brassica. *Annals of Botany*, *56*, 815-820.

Wolfe, D.W., Henderson, D.W., Hsiao, T.C., & Alvino, A. (1988). Interactive water and nitrogen effects on senescence of maize. I. Leaf area duration, nitrogen distribution, and yield. *Agronomy Journal*, *80*, 859-864.

Yau, S.K. (2006). Winter versus spring sowing of rain-fed safflower in a semi-arid, high-elevation Mediterranean environment. *European Journal of Agronomy*, *10*, 1-8.