Iranian Journal of Field Crop Science
Vol 53, No 3, Autumn 2022 (249-261)
DOI: 10.22059/IJFCS.2021. 324063.654827

علوم گیاهان زراعی ایران
دورهٔ ۵۳، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۴۰۱ (ص ۲۶۱-۲۴۹)

Effects of cytokinin application on the photoassimilate partitioning and oil percentage in safflower cultivar under drought stress condition

Leyli Golchin[1], Afshin Tavakoli[*2], Ehsan Mohesni Fard[3]
1,2,3. Department of Plant Production and Genetics, Agriculture Faculty, University of Zanjan, Iran.
(Received: May 23, 2021 - Accepted: October 12, 2021)

ABSTRACT

In order to evaluate the possibility of partitioning photoassimilate improvement and increasing the percentage of safflower seed oil by cytokinin application, a split plot factorial experiment was conducted based on a randomized complete block design with four replications at the research farm of Agriculture Faculty, University of Zanjan, Iran, during 2018-2019 and 2019-2020 growing seasons. In this experiment, irrigation levels included optimal irrigation (-0.4MP) and drought stress (-2 MP) were the main plots and safflower cultivars (i.e Sina, Faraman, Parnyan, Gholdasht and Mahaly Esfahan), and three levels of cytokinin, (i. e no- application (control), 50 and 75 µM) were subplots. Drought stress started at flowering stage and cytokinin spray and drought stress were performed simultaneously. The results showed that drought stress increased the remobilization efficiency (42.75%) and contribution of stem reserves to grain yield (26%) and decreased the grain yield (26.8%) and seed oil percentage (10.6%). Under drought stress condition, Mahally Esfahan cultivar had the highest oil percentage with an average of 35.42% and an increase in the transfer efficiency of stem reserves to grain (52.7%). Cytokinin application minimized the negative effects of drought stress and improved traits such as stem efficiency in grain transfer, grain yield and oil percentage in the studied cultivars. The highest percentage of seed oil was obtained by 75 µM cytokinin application (with an average of 33.38%) compared to the control treatment. Therefore, cytokinin application can be suggested to reduce the negative effects of drought stress, increase photosynthetic partitioning material and of safflower seed oil percentage.

Keywords: Photoasssimilate partitioning, safflower, seed yield, stem remobilization efficiency, stress.

ارزیابی اثرات کاربرد سیتوکنین برتسهیم مواد فتوسنتزی و درصد روغن دانه در ارقام گلرنگ در شرایط تنش خشکی

لیلی گلچین[۱]، افشین توکلی[*۲]، احسان محسنی‌فرد[۳]
۱و۲و۳- به‌ترتیب دکتری، دانشیار و استادیار، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان
(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۳/۲ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۷/۲۰)

چکیده

به‌منظور مطالعه اثرات کاربرد سیتوکنین بر بهبود تسهیم مواد فتوسنتزی و امکان افزایش درصد روغن دانه گلرنگ، پژوهشی به‌صورت آزمایش اسپلیت پلات فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهارتکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان- ایران، در سال‌های زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۶ و ۱۳۹۸-۱۳۹۷ اجرا شد. در این پژوهش، سطوح آبیاری شامل آبیاری مطلوب (۰/٤- مگاپاسگال) و تنش خشکی (۲- مگاپاسگال) در کرت‌های اصلی و ارقام گلرنگ شامل سینا، فرامان، پرنیان، گلدشت و محلی اصفهان و سه سطح سیتوکنین شامل عدم مصرف (شاهد)، ۵۰ و ۷۵ میکرومولار به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. تنش خشکی در مرحله گلدهی، شروع شد و هم‌زمان با اعمال تنش خشکی، محلول‌پاشی با سیتوکنین انجام شد. نتایج نشان داد که اعمال تنش خشکی باعث افزایش کارایی انتقال مجدد (٤۲/۷۵درصد)، میزان مشارکت ذخایر ساقه به دانه (۲٦درصد) و کاهش عملکرد (۲٦/۸درصد) و روغن (۱۰/٦درصد) شد. در شرایط تنش خشکی، رقم محلی اصفهان با میانگین (۳۵/٤۲) درصد، بیشترین درصد روغن و افزایش ۵۲/۷ درصدی کارایی انتقال ذخایر ساقه به دانه را به خود اختصاص داد. کاربرد سیتوکنین باعث به حداقل رساندن اثرات منفی تنش خشکی و بهبود صفاتی چون کارایی ساقه در انتقال ذخایر به دانه، عملکرد دانه و درصد روغن در ارقام مورد مطالعه شد. بالاترین درصد روغن دانه با کاربرد غلظت ۷۵ میکرومولار سیتوکنین (با میانگین۳۳/۳۸درصد) نسبت به تیمار شاهد به‌دست آمد. بنابراین کاربرد سیتوکنین را می‌توان در جهت کاهش اثرات منفی تنش خشکی، تسهیم مواد فتوسنتزی و درصد روغن دانه گلرنگ پیشنهاد کرد.

واژه‌های کلیدی: تسهیم مواد فتوسنتزی، تنش، عملکرد دانه، کارایی انتقال مجدد ساقه، گلرنگ.

* Corresponding author E-mail: tavakoli@znu.ac.ir

مقدمه

گیاهان دانه روغنی، منبع تولید روغن خوراکی هستند. در حال‌حاضر بیش‌از ۹۰درصداز کل‌روغن‌مصرفی‌درایران از طریق واردات تأمین می‌شود که همین عامل کشور را با چالش‌اساسی‌دراین‌زمینه‌مواجه‌کرده‌است (Taleshi *et al*., 2014). از بین دانه‌های روغنی، گلرنگ به عنوان یک گیاه بومی ایران و به دلیل تحمل بالا نسبت به تنش‌های محیطی از جمله خشکی، شوری و سرمای زمستانه، از اهمیت خاصی برخوردار است (Emonoger, 2010). هم اکنون حدود ۵۲۳۹ هکتار از اراضی کشاورزی و دیم کشور به کشت گلرنگ اختصاص داده شده است که سهم ناچیزی از روغن مصرفی کشور را پوشش داده است ((Agricultural Jihad Statistics, 2020. اسیدهای چرب غیراشباع از اهمیت زیادی در کیفیت تغذیه‌ای روغن برخوردارند و روغن گلرنگ با بیش از ۸۰ درصد اسیدهای چرب غیر اشباع، بسیار با ارزش می‌باشد (Nazari *et al*., 2017). این روغن با داشتن درصد بالایی از اسیدهای چرب اشباع نشده (۱۶-۲۰ درصد اولئیک ، ۷۵- ۷۱ درصد لینولئیک و اسید۱۲-۱۰ درصد لینولنیک) و همچنین اسیدهای چرب اشباع شده (دو تا سه درصد پالمتیک اسید و ۱۶-۲۰ درصد استئاریک اسید)، از کیفیت بسیار بالایی برخوردار است (Bortolheiro & Silva, 2017).

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی محدود کننده تولید محصولات گیاهی در سراسر جهان است و اثرات نامطلوبی بر رشد و نمو گیاه و سایر فراورده‌های متابولیکی دارد (Drynto *et al*.,2016). عملکرد بسیاری از محصولات گیاهی در اثر تنش خشکی، بیش از ۵۰ درصد کاهش می‌یابد (Zlateve & Lidon, 2012). Salek *et al*., 2020 نیز نشان دادند که تنش خشکی در گیاه گلرنگ باعث کاهش ۵۱/۱۸ درصدی عملکرد دانه گلرنگ شد. کاهش عملکرد گلرنگ توسط محققان دیگر نیزگزارش شده است(Amiri *et al*., 2016; Nasiri *et al*., 2017). پر شدن دانه به فتوسنتز جاری و انتقال مجدد مواد ذخیره شده در بافت‌های رویشی در قبل و بعد از گرده‌افشانی وابسته است. انتقال مجدد قندهای محلول ساقه به‌طور معمول زمانی آغاز می‌شود که فتوسنتز جاری برگ‌ها قادر به تامین نیاز مخازن فعال گیاه نباشد (Saeidi & Moradi, 2011).

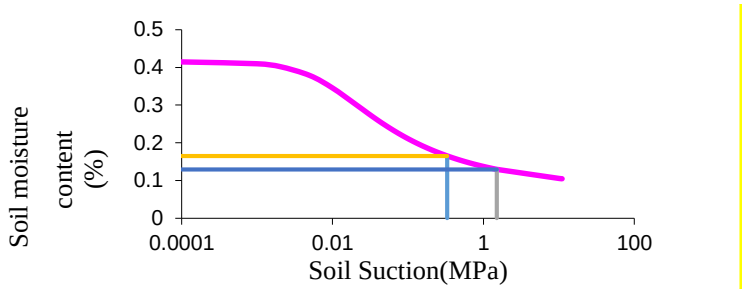
سیتوکنین‌ها گروهی از هورمون‌ها هستند که بر بسیاری از فرآیندهای نموی و فیزیولوژیک مانند انتقال مواد غذایی، پیری برگ، تشکیل و فعال‌سازی مریستم انتهایی، نمو گل، شکستن خواب جوانه و افزایش مقاومت گیاه در تنش‌های محیطی شرکت دارند (Mazid *et al*., 2011). سیتوکنین‌ها بر حرکت مواد غذایی از بخش‌های دیگر گیاه به برگ‌ها و ساقه‌ها خصوصا در شرایط تنش، تأثیر می‌گذارند و موجب افزایش حرکت مواد غذایی می شوند که به این پدیده، جابجایی مواد غذایی بر اثر سیتوکنین گفته می‌شود. Taize & Zaiger (2006) چنین فرض کرده‌اند که این هورمون با ایجاد یک رابطه منبع - مخزن جدید، موجب جابجایی مواد غذایی می‌شود. در شرایط تنش خشکی، مواد فتوسنتزی تولیدی کم و تقاضا از سوی دانه‌ها برای دریافت مواد فتوسنتزی زیاد است و سیتوکنین با افزایش حرکت مواد غذایی و تغییر الگوی تسهیم مواد فتوسنتزی، باعث کاهش تسهیم مواد به قسمت برگ‌ها و ساقه‌ها می‌شود و انتقال مواد فتوسنتزی به سمت دانه‌ها را افزایش می‌دهد و در نتیجه باعث کاهش اثرات منفی تنش می‌شود (Taize & Zaiger, 2006; Mohamadi *et al*., 2014).

با توجه به اهمیت گیاه گلرنگ در تغذیه انسان که با تأمین امنیت غذایی، سبب کاهش وابستگی به واردات دانه‌های روغنی می‌شود و همچنین با در نظر گرفتن مقاومت بالای آن به شرایط نامساعد محیطی، تحقیقات روی سازگاری و قابلیت کشت گیاه گلرنگ در داخل کشور ضروری است؛ بنابراین هدف از انجام این پژوهش، بررسی امکان افزایش تخصیص مواد فتوسنتزی و درصد روغن دانه با کاربرد سیتوکنین در دو شرایط آبیاری مطلوب و اعمال تنش خشکی و همچنین بررسی رقم جدید کشت شده در منطقه زنجان بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه زنجان، واقع در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۰ دقیقه‌ی شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و۲۴ دقیقه‌ی غربی و ارتفاع ۱۵۹۴ متری از سطح دریا در سال‌های زراعی ۹۷ -۹۶ و ۹۸-۹۷ به‌صورت آزمایش اسپیلیت پلات فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار انجام شد. هر واحد آزمایشی شامل چهار ردیف به طول شش متر بود. کاشت به‌صورت مسطح بر روی ردیف‌هایی با ۵۰ سانتی‌متر از یکدیگر و فاصله‌ی بوته‌ها بر روی ردیف ده سانتی‌متر انجام شد. عملیات تنک کردن بوته‌ها نیز در مرحله شش برگی برای رسیدن به تراکم مطلوب (۴۰ بوته در متر مربع) انجام شد و سیستم آبیاری به صورت نواری بود. تیمارهای آزمایش شامل سطوح آبیاری (پتانسیل آب خاک ۰/۴- مگاپاسکال به‌عنوان تیمار شاهد و پتانسیل آب خاک ۲- مگاپاسکال تیمار تنش خشکی) به‌عنوان فاکتور اصلی و پنج رقم گلرنگ (سینا، گلدشت، فرامان، پرنیان و محلی اصفهان) و محلول‌پاشی با هورمون سیتوکنین در سه سطح (صفر (شاهد)، ۵۰ و ۷۵ میکرومولار) به‌عنوان فاکتورهای فرعی بود (Mohammadi *et al.*, 2014). در بین ارقام کشت شده،رقم پرنیان، رقم اصلاح شده جدیدی بود که برای اولین بار در منطقه زنجان کاشته شد. آماده‌سازی زمین در اسفند سال‌های ۱۳۹۷و ۱۳۹۸ انجام شد. و بذرها در هر دو سال در تاریخ بیستم فروردین کاشته شدند و بلافاصله آبیاری انجام شد. تا مرحله ۵۰ درصد گلدهی، آبیاری در تمام کرت‌ها به‌صورت یکسان انجام شد و جهت اعمال تنش خشکی، آبیاری در مرحله ۵۰ درصد گلدهی در کرت‌های تنش خشکی قطع شد و قطع آبیاری تا رسیدن پتانسیل آب خاک به ۲- مگاپاسکال ادامه یافت (Contour- Ansel *et al.*, 2010) و سپس آبیاری مجدد انجام شد. برای تعیین درصدی از رطوبت خاک که در آن پتانسیل آب خاک به ۲- مگاپاسگال برسد، از منحنی رطوبتی خاک استفاده شد (شکل ۱). برای این منظور، بعد از قطع آبیاری هر دو روز یک‌بار، نمونه برداری از خاک صورت گرفت و درصد رطوبت وزنی خاک تعیین شد. و تیمار تنش وقتی آبیاری شد که درصد رطوبت خاک به ۱۲ درصد (نقطه پژمردگی دائم) رسید. همچنین تیمار شاهد هر هفته یک‌بار آبیاری شد، به‌گونه‌ای که رطوبت خاک در محدوده رطوبت سهل‌الوصول (۱۸ تا ۲۲ درصد رطوبت وزنی) حفظ شود. درصد وزنی رطوبت خاک مزرعه آزمایش، در ظرفیت زراعی ۳۳ درصد، و در نقطه پژمردگی دائم، ۱۲درصد تعیین شد (شکل ۱). جهت اعمال تیمار سیتوکینین، از ۶-بنزیل آمینوپورین استفاده شد. تیمار هورمون سیتوکینین در غلظت‌های اشاره شده (صفر(شاهد)، ۵۰ و ۷۵ میکرومولار) همزمان با اعمال تنش خشکی و سه بار با فاصله پنج روز یک‌بار در هنگام غروب آفتاب اعمال شد. به‌منظور کاهش کشش سطحی آب و در نتیجه جذب بهتر، مقدار پنج سی‌سی ماده توئین ۲۰ رقیق شده (۰/۰۱ درصد) به مخزن سمپاش اضافه شد. تیمار شاهد (غلظت صفر) شامل اسپری با آب مقطر بدون استفاده از هورمون سیتوکنین بود. برای اندازه‌گیری میزان انتقال مجدد مواد فتوسنتزی، به حداکثر وزن خشک ساقه پس از گلدهی (اتمام گلدهی) و همچنین وزن خشک ساقه در مرحله رسیدگی کامل نیاز است. برای تعیین حداکثر وزن خشک ساقه، در سه مرحله (به فاصله پنج روز بعد از هر نوبت هورمون پاشی) و در هر مرحله ده بوته رقابت کننده از هر واحد آزمایشی انتخاب و برداشت شدند و سپس در آزمایشگاه، برگ، ساقه و طبق‌ها از یکدیگر جدا شدند و ساقه‌ها در پاکت کاغذی و در آون با دمای ۸۰ درجه سانتیگراد به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفتند تا وزن خشک آن‌ها به‌دست آید. همچنین برای اندازه‌گیری تسهیم مواد فتوسنتزی، در پایان فصل رشد (در زمان رسیدگی کامل)، از سه خط وسط هر واحد آزمایشی و با حذف اثر حاشیه‌ای، ده بوته به‌طور تصادفی برداشت شدند. در آزمایشگاه، برگ، ساقه و طبق‌ها از یکدیگر جدا شدند و هر کدام به‌صورت جداگانه در پاکت کاغذی در آون ۸۰ درجه سانتیگراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد و وزن خشک آن‌ها به‌دست آمد و در نهایت تسهیم مواد فتوسنتزی به برگ، ساقه و طبق‌ها محاسبه شد. در نهایت میزان انتقال مجدد مواد فتوسنتزی از ساقه به دانه و سهم ذخایر ساقه در عملکرد دانه با استفاده از روابط زیر محاسبه

شدند:



شکل ۱- منحنی رطوبتی خاک محل آزمایش. منحنی صورتی نمایانگر منحنی رطوبتی، خط زرد پتانسیل آب خاک در ۰/۴- مگاپاسگال به عنوان تیمار شاهد، خط آبی نیز پتانسیل آب خاک در ۲- مگاپاسگال به عنوان تیمار تنش خشکی می‌باشد.

Figure 1. Soil moisture curve of the experimental site soil. Pink curve: moisture curve; Yellow: soil water potential in -0.4 MP as control treatment, Blue: soil water potential in -2 MP as drought stress

رابطه۱ (Kobata *et al.*, 1992)

حداکثر وزن خشک ساقه بعد از رسیدگی کامل- حداکثر وزن خشک ساقه بعد از گلدهی = انتقال مجدد مواد فتوسنتزی از ساقه به دانه‌ها

رابطه۲ (Plata *et al.*,1994)

۱۰۰×[وزن خشک ساقه در زمان گلدهی/(وزن خشک ساقه در رسیدگی-وزن خشک ساقه درمرحله گلدهی)]= کارایی ساقه در انتقال ذخایر به دانه

رابطه۳ (Niu *et al.*, 1998) ×۱۰۰

(عملکرد دانه/ انتقال مجدد از ساقه به دانه)= سهم ذخایر ساقه در عملکرد دانه

برای اندازه‌گیری عملکرد دانه در مرحله رسیدگی کامل، دو متر مربع از وسط هر کرت پس از حذف اثر حاشیه‌ای برداشت شد و سپس وزن کل بوته‌های برداشت شده اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری درصد روغن از روش سوکسله .(Ullah & Bano, 2011) استفاد شد. تجزیه و تحلیل داده‌های دو سال از طریق مدل خطی (GLM) به کمک نرم افزار SAS (نسخه ۹,۱) انجام شد. به دلیل اینکه این پژوهش در دو سال زراعی انجام شد، از تست بارتلت استفاده شد. سطح معنی داری (P=0.05) بالای پنج درصد بود که فرض برابری واریانس ها پذیرفته شد و معلوم شد که واریانس ها همگن هستند. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن سطح احتمال پنج درصد استفاده شد. نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel (2013) رسم شد.

نتایج و بحث

تسهیم مواد فتوسنتزی به برگ

نتایج تجزیه واریانس صفت وزن خشک برگ، بیانگر تفاوت معنی‌داری بین شرایط آبیاری، رقم، اثر متقابل شرایط آبیاری و رقم و اثرمتقابل رقم در سال بود (جدول۱). اعمال تنش خشکی در رقم‌های پرنیان، سینا، فرامان، محلی اصفهان و گلدشت به‌ترتیب باعث کاهش ۲/۲۳، ۵۵/۵، ۵۶/۵، ۲۲ و ۱۳/۱۲ درصدی وزن خشک برگ نسبت به آبیاری مطلوب شد(جدول۲). تنش خشکی در مرحله زایشی با القای پیری به برگ‌ها، باعث کاهش وزن برگ می‌شود. بسته شدن روزنه‌ها در اثر تنش خشکی، افزایش تولید کلروفیلاز و کاهش محتوی کلروفیل یکی از عوامل مهم پیری و کاهش وزن برگ‌هاست(Pereira *et al.*, 2008). رقم محلی اصفهان در سال اول و دوم آزمایش به‌ترتیب با میانگین ۴/۵۸ و ۶/۷ گرم، بیشترین وزن خشک برگ و رقم‌های فرامان و گلدشت به‌ترتیب در سال اول و دوم آزمایش با میانگین ۳/۵۱ و ۳/۵۶ گرم، کمترین وزن خشک برگ را به خود اختصاص دادند (جدول۳). نتایج تجزیه واریانس نسبت وزن خشک برگ به وزن خشک کل بیانگر تفاوت معنی‌داری بین رقم و عدم معنی داری هورمون پاشی بود (جدول۱). در بین ارقام مورد مطالعه، رقم فرامان و پرنیان به‌ترتیب با میانگین ۱۲/۲۲ و۱۰/۱۷درصد، بیشترین و کمترین نسبت وزن خشک برگ به وزن خشک کل را به خود اختصاص دادند

(جدول۴). عدم وجود تفاوت معنی‌دار اثر کاربرد هورمون سیتوکنین نیز طبیعی و نرمال است، زیرا هورمون‌پاشی در مرحله گلدهی اعمال شد که برگ‌ها تشکیل شده بودند؛ بنابر این هورمون نتوانسته است بر برگ‌های گیاه تاثیر معنی‌داری داشته باشد.

تسهیم موادفتوسنتزی به ساقه

نتایج تجزیه واریانس صفت وزن خشک ساقه، بیانگر تفاوت معنی‌داری بین شرایط آبیاری، رقم، هورمون-پاشی، اثر متقابل شرایط آبیاری و رقم و اثر متقابل رقم در سال بود (جدول۱). اعمال تنش خشکی در رقم‌های سینا، فرامان و محلی اصفهان به‌ترتیب باعث کاهش ۵۷/۲، ۱۱/۷۳ و۲۸/۱ درصدی وزن خشک ساقه نسبت به آبیاری مطلوب شد و این درحالی‌است که تنش خشکی، تأثیر معنی‌داری بر رقم‌های پرنیان و گلدشت نداشت (جدول۲). در شرایط تنش شدید، نقش و سهم انتقال مجدد مواد ذخیره شده غیر ساختمانی در برگ و ساقه که در اثر تحریک تنش به قندهای قابل حل و انتقال تبدیل شده‌اند، جهت جبران کاهش فتوسنتز جاری برای پر کردن دانه‌ها به شدت افزایش می‌یابد (Ghassemi-Golezani *et al*., 2014). در سال اول و دوم آزمایش، رقم محلی اصفهان بیشترین وزن خشک ساقه را به خود اختصاص داد (جدول۳). کاربرد غلظت ۷۵ و ۵۰ میکرومولار سیتوکنین به‌ترتیب باعث کاهش۳۰/۶ و ۱۹/۶ درصدی وزن خشک ساقه نسبت به عدم کاربرد آن شد (جدول۴).

نتایج تجزیه واریانس صفت نسبت وزن خشک ساقه به وزن خشک کل، بیانگر تفاوت معنی‌داری بین آبیاری، رقم و هورمون‌پاشی($p\leq0.01$) بود (جدول ۱). همچنین تنش خشکی باعث کاهش ۱۲/۲ درصدی نسبت وزن خشک ساقه به وزن خشک کل شد(جدول۴). در بین ارقام مورد مطالعه، رقم سینا کمترین نسبت وزن خشک ساقه به وزن خشک کل و محلی اصفهان بیشترین نسبت وزن خشک ساقه به وزن کل را داشتند (جدول۴). کاربرد غلظت ۵۰ میکرومولار سیتوکنین، باعث کاهش ۴۵/۶ درصدی وزن خشک ساقه نسبت به عدم کاربرد آن شد (جدول۴). دلیل کاهش وزن خشک ساقه و نسبت وزن خشک ساقه به وزن خشک کل با کاربرد سیتوکنین، افزایش تحرک و انتقال مواد فتوسنتزی بیشتر به طبق‌ها نسبت به عدم کاربرد آن بیان شده است (Lopez Pereia *et al*., 2008).

تسهیم موادفتوسنتزی به طبق

نتایج تجزیه واریانس صفت وزن خشک طبق بیانگر تفاوت معنی‌داری بین شرایط آبیاری، رقم، هورمون-پاشی، اثر متقابل شرایط آبیاری و رقم و اثرمتقابل هورمون‌پاشی در سال بود (جدول۱). اعمال تنش خشکی در رقم‌های پرنیان، سینا، فرامان، محلی اصفهان و گلدشت، به‌ترتیب باعث کاهش ۱۵/۶، ۲۸/۶،۱۲/۹، ۲۹/۶ و ۲۴/۸ درصدی وزن خشک طبق نسبت به آبیاری مطلوب شد (جدول۲). در هنگام اعمال تنش خشکی در مرحله گلدهی، تعداد زیادی از گل‌ها که توانایی بالقوه تبدیل شدن به طبق را داشتند، به‌دلیل کاهش فتوسنتز و عدم فرآهمی منابع، از بین می‌روند و تعداد طبق در بوته کاهش می‌یابد (Dawood, 2018). کاربرد ۷۵ میکرومولار سیتوکنین در سال اول آزمایش با میانگین ۱۴/۶ و در سال دوم آزمایش با میانگین ۱۳/۹۹ گرم، بیشترین وزن طبق را به خود اختصاص داد و این درحالی‌است که کاربرد ۵۰ میکرومولار سیتوکنین در سال اول آزمایش، با میانگین ۱۴/۸۹ گرم، بیشترین وزن خشک طبق را نسبت به عدم کاربرد این هورمون داشت (شکل ۲). نتایج تجزیه واریانس صفت نسبت وزن خشک طبق به وزن خشک کل، بیانگر تفاوت معنی‌داری بین رقم و هورمون‌پاشی بود (جدول ۱). از لحاظ اختصاص وزن خشک کل به وزن خشک طبق، رقم سینا با میانگین۶۲/۱۶ درصد و پرنیان با میانگین ۵۹/۳۳ درصد، بر دیگر ارقام برتری داشتند (جدول۴). سایتوکنین‌ها بر حرکت مواد غذایی خصوصا در شرایط تنش، از بخش‌های دیگر گیاه به برگ‌ها و ساقه‌ها تأثیر می‌گذارند و موجب افزایش حرکت مواد غذایی می‌شوند (Koutrobas *et al*., 2004).

کارایی ساقه در انتقال ذخایر به دانه

نتایج تجزیه واریانس صفت کارایی ساقه در انتقال ذخایر به دانه، نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین شرایط آبیاری، رقم، هورمون‌پاشی و اثر متقابل شرایط آبیاری و رقم بود (جدول ۱).

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر غلظت‌های مختلف سیتوکنین(C) بر صفات مختلف پنج رقم گلرنگ (B) در دو سطح آبیاری (I) دو سال زراعی (Y)

Table 1. Variance Analysis of the effects of different cytokinin concentrations (C) on different traits of five safflower cultivars (B) under two irrigation treatments (I) in two crop years(Y)

S.O.V	d.f	Dry weight of Leaves	Dry weight of stem	Dry weight of capitule	Total dry weight	Dry weight of Leaves/ Total dry weight	Dry weight of stem / Total dry weight	Dry weight of capitule/ Total dry weight	Transfer efficiency of stem reserves to grain	Contribution of stem reserves to grain yield	Seed yield	Oil percentage
Y	1	^{ns} 30.87	0.076^{ns}	107.25^{ns}	61.53^{ns}	61.53^{ns}	472.9^{ns}	349.71^{ns}	137.22^{ns}	0.007^{ns}	2406003.7^{ns}	3543.09**
R(Y)	6	3.25	13.47	26.59	28.8	18.84	73.30	89.56	55.46	0.405	1301843.1	37.46
I	1	**70.08	193.39**	153.29*	2501.05**	2501.05**	29.44**	3.1^{ns}	1676.9*	0.94*	30317041.6**	192.67*
I×Y	1	^{ns} 0.79	1.19^{ns}	4.17^{ns}	1.192^{ns}	1.192^{ns}	0.876^{ns}	8.44^{ns}	15.5^{ns}	0.08^{ns}	67000.4^{ns}	95.18^{ns}
R×I(Y)	6	1.18	16.19	13.85	36.66	26.21	308.92	311.48	134.48	321.28	906571.6	25.91
B	4	**26.49	171.34**	350.54**	827.23**	827.23**	132.34*	1093.3**	179.4**	0.73**	2666561.6**	274.44**
C	2	56.9^{ns}	119.8**	201.55**	678.27**	678.27**	4481.55**	2911.92**	1273.3**	0.67**	13097337.6**	265.14**
I×B	4	**2.6	24.34**	37.70**	91.24^{ns}	91.24^{ns}	37.74^{ns}	30.64^{ns}	119.6**	0.05^{ns}	771797.6*	5.54**
I×C	2	^{ns} 0.042	0.97^{ns}	4.92^{ns}	57.16^{ns}	57.16^{ns}	32.26^{ns}	51.96^{ns}	42.01^{ns}	0.07^{ns}	211019.4^{ns}	38.30**
B×C	8	^{ns} 2.57	5.08^{ns}	9.57^{ns}	118.55^{ns}	118.55^{ns}	54.34^{ns}	89.74^{ns}	31.71^{ns}	0.07^{ns}	392740.99^{ns}	7.74^{ns}
I×B×C	8	^{ns} 1.152	1.38^{ns}	8.36^{ns}	18.44^{ns}	18.44^{ns}	31.22^{ns}	78.98^{ns}	47.11^{ns}	0.08^{ns}	415814.7^{ns}	8.75^{ns}
B×Y	4	**10.29	29.105**	10.46^{ns}	29.105^{ns}	29.105^{ns}	207.46^{ns}	146.94^{ns}	67.23^{ns}	0.91^{ns}	2900048.5**	9.58^{ns}
C×Y	2	2.98^{ns}	9.27^{ns}	16.77*	9.73^{ns}	9.73^{ns}	82.18^{ns}	57.32^{ns}	70.95^{ns}	0.09^{ns}	1427609.06*	26.26^{ns}
Y ×B×I	4	^{ns} 0.96	5.96^{ns}	5.36^{ns}	5.96^{ns}	5.96^{ns}	35.84^{ns}	27.13^{ns}	29.42^{ns}	0.11^{ns}	187903.01^{ns}	6.61^{ns}
I×C×Y	2	^{ns} 2.20	0.28^{ns}	6.45^{ns}	0.194^{ns}	0.194^{ns}	3.44^{ns}	2.33^{ns}	30.11^{ns}	0.61^{ns}	722888.8^{ns}	24.03^{ns}
B×C×Y	8	^{ns} 1.63	2.06^{ns}	10.55^{ns}	2.06^{ns}	2.06^{ns}	11.72^{ns}	8.30^{ns}	27.66^{ns}	0.05^{ns}	157967.4^{ns}	5.38^{bs}
I×B×C×Y	8	^{ns} 2.07	2.01^{ns}	2.71^{ns}	0.68^{ns}	0.68^{ns}	11.74^{ns}	8.4^{ns}	15.26^{ns}	0.1^{ns}	424261.5^{ns}	5.48^{ns}
Total Error	168	1.04	3.44	5.09	27.08	27.08	49.47	58.96	30.06	0.5	330931.9	5.128
Cv(%)		21	24.8	18.7	19.6	21.6	19.6	13.53	23.6	24.7	19.31	6.95

ns،* و **: به‌ترتیب نشان دهنده عدم تفاوت معنی دار و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and **: Non significant and significant differences at 5% and 1% of probability levels, respectively.

اعمال تنش خشکی در رقم‌های پرنیان، سینا، فرامان، محلی اصفهان و گلدشت به‌ترتیب باعث افزایش ۲۵/۲، ۳۰/۱۲،۶۷/۹، ۵۲/۷ و ۲۵/۸ درصدی کارایی ساقه در انتقال ذخایر به دانه نسبت به آبیاری مطلوب شد (جدول۲). افزایش تسهیم مواد فتوسنتزی ذخیره‌ای به دانه‌ها در شرایط تنش در مرحله دانه‌بندی می‌تواند در ارتباط با روابط منبع به مخزن باشد (Lopez Pereia *et al.*, 2008). این بدان مفهوم است که در شرایط تنش خشکی، با نقصان فتوسنتز جاری و پیر شدن برگ‌ها، ذخایر ساقه یکی از منابع مهم فتوسنتزی برای دانه-هاست که تقاضای زیادی برای منابع فتوسنتزی دارند. در این حالت است که ذخایر موجود در بافت‌های رویشی و خصوصا ساقه‌ها به عنوان مبدا ثانوی، نقش مهم‌تری را نسبت به حالت بدون تنش در پر شدن دانه ایفا می‌کنند. کارایی انتقال مجدد ماده خشک، تحت تاثیر ژنتیک و محیط است و تولید ماده خشک بیشتر در مرحله گرده افشانی، باعث انتقال مجدد بیشتر ماده خشک به سمت دانه خواهد شد (Marefatzadeh Khamaneh, 2012).

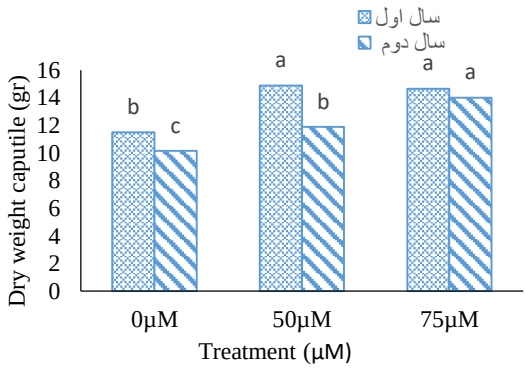
جدول ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح آبیاری و رقم بر صفات مختلف ارقام گلرنگ در دو سطح آبیاری و غلظت‌های مختلف سیتوکنین

Table 2. Mean comparison of the interaction effects of irrigation levels and cultivar on different traits of safflower cultivars in two irrigation levels and different cytokinin concentrations

Irrigation	Cultivar	Dry weight of Leaves (gr)	Dry weight of Stem (gr)	Dry weight of capitule (gr)	Transfer efficiency of stem reserves to grain (%)	Seed yield (kg h^{-1})	Oil (%)
Normal	Sina	4.9bc	11.8b	25.42a	12.9def	3195abc	35.92a
	Parneyan	4.8bc	8.5b	15.85bc	12.72def	3256.7ab	30.31de
	Mahahhy Esfahan	6.2a	13.35a	15.69bc	9.65f	3243.8ab	36.77a
	Goldasht	4.31cd	7.93cd	15.67bc	13.38cde	3030.2abcd	32.66bc
	Faraman	4.35cd	7.62cd	17.43b	14cde	3365.8a	31.55cd
Stress	Sina	3.15f	7.11d	22.5ab	21.67a	2949cde	33.93b
	Parneyan	3.97d	7.84cd	13.7cd	15.8bcd	2874.4cde	29.08e
	Mahahhy Esfahan	5.09b	10.42b	12.1d	14.73cde	2820.8de	35.42a
	Goldasht	3.81de	7.4d	12.55d	16.8bc	2639.6e	29.77e
	Faraman	3.28ef	6.82d	13.55cd	18.18b	2776de	30.04e

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک، براساس آزمون دانکن و در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means with the same letters in the same column are not significantly different based on Duncan's test at 5% of probability level.



شکل ۲- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سال و هورمون‌پاشی بر وزن خشک طبق. میانگین‌های دارای حروف مشابه، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Figure 2. Mean comparison of the interaction effects of year × hormone spraying on capitule dry weight. Means with the same letters are not significantly different based on Duncan's test at 5% of probability level.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل سال و رقم برصفات مختلف ارقام گلرنگ در دو سطح آبیاری و غلظت‌های مختلف سیتوکنین
Table 3. Mean comparison of the interaction effects of year × cultivar on different traits of safflower cultivars in two irrigation levels and different cytokinin concentrations

Year	Cultivar	Dry weight of Leave(gr)	Dry weight of stem(gr)	Seed yield (kg h^{-1})
First	Sina	4.1cd	9.4b	2995.8abc
	Parneyan	3.97cd	8.2bc	2889.4bc
	Mahally Esfahan	4.58bc	11.6a	2764.6bc
	Goldasht	4.2cd	8.9bc	2889.4bc
	Faraman	3.51d	8.5bc	3008.3abc
Second	Sina	4.09cd	9.24b	3049abc
	Parneyan	4.8b	8.2bc	3366. 7a
	Mahally Esfahan	6.7a	12.17a	3300a
	Goldasht	3.56d	6.12d	3115.4ab
	Faraman	4.1cd	5.9d	2697.9c

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک، براساس آزمون دانکن و در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌داری ندارند.
Means with the same letters in the same column are not significantly different based on Duncan's test at 5% of probability level.

سهم ذخایر ساقه در عملکرد دانه

تفاوت معنی‌داری بین اثر شرایط آبیاری، رقم و هورمون‌پاشی بر سهم ذخایرساقه در عملکرد دانه وجود داشت (جدول ۱). اعمال تنش خشکی باعث افزایش ۲۶/۱ درصدی سهم ذخایر ساقه در عملکرد دانه شد (جدول۴). محققان نیز بیشترین میزان، سهم و کارایی انتقال مجدد از ساقه گیاه را در شرایط تنش خشکی شدید (بدون آبیاری) گزارش نمودند (Mansorifar *et al.*, 2012). از لحاظ سهم ذخایر ساقه در بین ارقام مورد مطالعه، رقم سینا با میانگین ۰/۷۵ درصد بر دیگر ارقام برتری داشت و رقم محلی اصفهان با میانگین ۰/۴۶ درصد، کمترین سهم ذخایر ساقه را در عملکرد دانه داشت(جدول۴). این نتایج نشان دهنده این‌ست که در رقم محلی اصفهان، سهم بیشتری از مواد فتوسنتزی که در دانه‌ها ذخیره شده‌اند، از فتوسنتز جاری گیاه تامین شده است و دیگر ارقام برای پر کردن دانه، وابستگی بیشتری به مواد فتوسنتزی ذخیره شده در ساقه دارند. کاربرد غلظت ۷۵ میکرومولار سیتوکنین، به‌ترتیب باعث افزایش ۴۳/۹ درصدی سهم ذخایر ساقه در عملکرد دانه نسبت به عدم کاربرد آن شد (جدول۴). محققان با کاربرد چهار غلظت سیتوکنین (۱۰۰ و ۵۰،۷۵، ۲۵) نشان دادند که کارایی ساقه در انتقال ذخایر به دانه به‌ترتیب ۱۶/۳۷، ۳۱/۲۷، ۸۴/۸۹ و ۷۹/۹۰ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت و این در حالی‌ست که که بالاترین کارایی ساقه با کاربرد ۷۵ میکرو مولار هورمون سیتوکنین به‌دست آمد(Mohammadi *et al.*, 2013). سایتوکنین‌ها بر حرکت مواد غذایی خصوصا در شرایط تنش، از بخش‌های دیگر گیاه به برگ‌ها و ساقه‌ها تأثیر می‌گذارند و موجب افزایش حرکت مواد غذایی می‌شوند (Koutrobas *et al.*, 2004).

عملکرد دانه

شرایط آبیاری، رقم، هورمون‌پاشی و اثرات متقابل شرایط آبیاری و رقم، اثر متقابل رقم و سال و هورمون‌پاشی و سال بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۱). اعمال تنش خشکی در رقم‌های پرنیان، سینا، فرامان، محلی اصفهان و گلدشت به‌ترتیب باعث کاهش۱۳/۳، ۸، ۲۱/۲، ۱۴/۹ و ۱۴/۷ درصدی عملکرد دانه نسبت به آبیاری مطلوب شد (جدول۲). به‌نظر می‌رسد که رقم سینا توانسته است در شرایط تنش خشکی، عملکرد دانه بیشتری نسبت به به دیگر ارقام داشته باشد و رقم متحمل‌تری نسبت به دیگر ارقام در شرایط تنش خشکی باشد. در سال اول آزمایش، رقم فرامان و سینا به‌ترتیب با میانگین ۳۰۰۸/۳ و ۲۹۹۵/۸ کیلوگرم در هکتار و در سال دوم آزمایش، پرنیان و محلی اصفهان به‌ترتیب با میانگین ۳۳۶۶/۷ و ۳۳۰۰کیلوگرم در هکتار، بیشترین عملکرد دانه را داشتند (جدول۳).

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر غلظت‌های مختلف سیتوکنین بر صفات مختلف گلرنگ در دو سطح آبیاری و دو سال زراعی

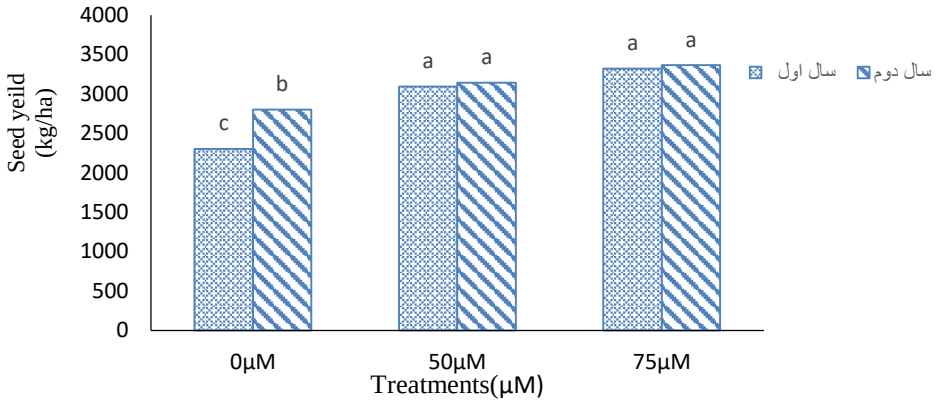
Table 4. Mean comparison of the effects of different cytokinin concentrations on the different safflower traits under two irrigation conditions in two cropping years.

	Dry weight of Leaves (gr)	Dry weight of Stem (gr)	Dry weight of capitule (gr)	Total dry weight (gr)	Dry weight of Leaves / Total dry weight (%)	Dry weight of stem / Total dry weight (%)	Dry weight of capitule/ Total dry weight (%)	Transfer efficiency of stem reserves to grain (%)	Contribution of stem reserves to grain yield (%)	Seed yield (Kg/h)	Oil percentage (%)
Year											
First Year	2.89a	9.33a	16.04a	28.28a	10.45a	34.15a	57.8a	14.23a	0.51a	2905.5a	28.7b
Second Year	2.78a	8.32b	16.02a	27.21a	10.84a	31.34b	57.7a	15.57a	0.53a	3105.8a	36.39a
Irrigation level											
Optimal irrigation	3.26a	9.72a	18.01a	31.04a	10.88a	33.80a	56.71a	12.35b	0.46b	3361.1a	34.74a
Drought stress	2.52b	7.93b	14.08b	24.54b	10.41a	30.10b	56.48a	17.63a	0.58a	2650.3b	31.41b
Cultivar											
Sina	3.53a	9.32b	21.96a	34.61a	10.22b	27.80c	62.16a	17.28a	0.57a	3194.3a	34.92b
Goldasht	2.62c	8.19c	14.76b	25.58c	10.28b	32.31b	57.39b	14.26bc	0.51ab	2841.5bc	29.69d
Mahally Esfahan	3.03a	11.8a	13.88b	28.81b	10.53b	35.63a	54.82b	13.49b	0.46b	3258.8a	36.09a
Faraman	2.97b	7.52cd	14.11b	24.61c	12.22a	31.5b	56.26b	15.09ab	0.54ab	2697c	31.22c
Parneyan	2.52b	7.22d	15.51b	25.25c	10.17b	30.4bc	59.33ab	16.13ab	0.52ab	3035.9ab	30.79c
Hormone											
0	3.17a	10.18a	12.6c	25.9 5c	11.88a	41.39a	49.63b	10.61c	0.41b	2556.8c	30.46b
50	3.36a	8.51b	16.65b	30.77a	11.31a	28.41b	60.25a	16.18b	0.56a	3117.56b	33.34a
75	3.15a	7.79c	18.89a	27.61b	11.66a	28.44b	59.88a	18.18a	0.59a	3342.5a	33.83a

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک، براساس آزمون دانکن و در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means with the same letters in the same column are not significantly different based on Duncan's test at 5% of probability level.

در شرایط تنش خشکی، کاهش اجزای عملکرد و کاهش فتوسنتز جاری، باعث کاهش عملکرد دانه می‌شود (Dawood, 2018). به‌نظر می‌رسد که تنش کمبود آب در دوره پر شدن دانه، موجب نقصان در فتوسنتز جاری به عنوان مبدأ مهم پر شدن دانه می‌شود، درصورتی‌که تقاضای زیاد دانه‌ها (مقصد) هم‌چنان وجود دارد. در این حالت، ذخایر موجود در بافت‌های رویشی به‌عنوان یک مبدأ ثانوی، نقش مهم‌تری را نسبت به حالت بدون تنش در پر شدن دانه ایفا می‌کنند (Naseri *et al.*, 2017). کاهش عملکرد دانه گلرنگ توسط محققان دیگر هم گزارش شده است (Ahmed & Suliman, 2010). بیشترین عملکرد دانه با کاربرد ۷۵ میکرومولار در سال دوم آزمایش (با میانگین ۳۳۶۵ کیلوگرم در هکتار) و کمترین آن با عدم کاربرد هورمون در سال اول آزمایش (با میانگین ۲۳۰۲/۵ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد. (شکل ۳). در مرحله گلدهی، تخمدان‌های بارور شروع به رشد و تکامل می‌کنند و نیاز به تقسیم سلولی بیشتر می‌شود. سیتوکینین‌ها با افزایش ژن‌های درگیر در فرآیند چرخه سلولی، سبب تحریک و تسریع تقسیم سلولی می‌شوند. از طرفی سلول‌های جدید نیاز به مواد غذایی برای رشد و نمو دارند. سیتوکنین‌ها با افزایش تخلیه قندها از آوند آبکش و کمک به انتقال آن‌ها به آپوپلاست و همچنین اثر بر تحرک قندهای ذخیره شده در واکوئل، به تأمین مواد غذایی برای دانه‌های درحال رشد کمک می‌کنند و از این طریق باعث حفظ تعداد بیشتری از دانه‌ها و ذخیره بیشتری در آن‌ها می‌شوند (Roith & Ehneb, 2000). محققان دیگر نیز با کاربرد غلظت های سیتوکنین بر گیاه گلرنگ بیان کردند که کاربرد سیتوکنین‌ها باعث افزایش تخصیص مواد فتوسنتزی از برگ‌ها و ساقه‌ها به دانه‌ها و تغییر الگوی تخصیص مواد فتوسنتزی عملکرد دانه می‌شود(Mohammadi *et al.*,2014).



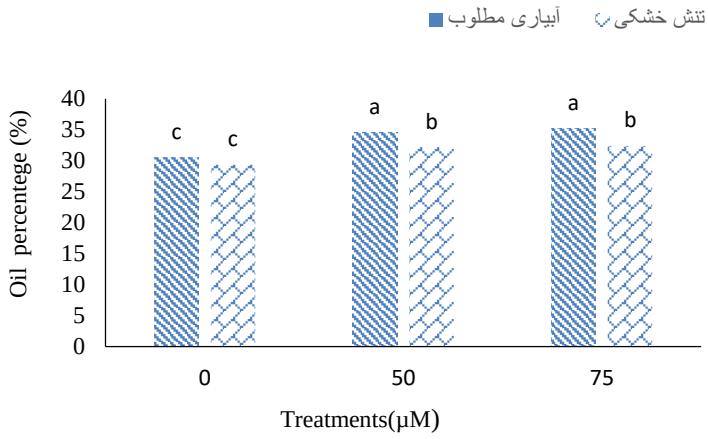
شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل سال و هورمون‌پاشی بر عملکرد دانه. میانگین‌های دارای حروف مشابه، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Figure 3. Mean comparison of the interaction effects of year × hormone spraying on seed yield. Means with the same letters are not significantly different based on Duncan's test at 5% of probability level.

درصد روغن دانه

بر اساس نتایج، اثر سال، شرایط آبیاری، رقم، هورمون‌پاشی و اثر متقابل شرایط آبیاری و رقم و نیز شرایط آبیاری و هورمون‌پاشی بر درصد روغن دانه معنی‌دار بود (جدول ۱). در شرایط آبیاری مطلوب، ارقام محلی اصفهان و سینا به‌ترتیب با میانگین های ۳۶/۷۷ و ۳۵/۹۲ درصد و در شرایط تنش خشکی نیز رقم محلی اصفهان با میانگین ۳۵/۴۲ درصد بیشترین درصد روغن را داشتند (جدول۲). مهم‌ترین عاملی که برای کاهش درصد روغن دانه در تنش خشکی می‌توان عنوان کرد این است که تنش خشکی، باعث بروز اختلال در پر شدن دانه‌ها می‌شود و طول دوره پر شدن دانه‌ها را کاهش می‌دهد؛ بنابراین فرصت برای تجمع پروتئین در

دانه فراهم می‌شود و در نتیجه درصد روغن کاهش می‌یابد. در واقع تنش خشکی به‌ویژه در هنگام رسیدگی دانه‌ها، درصد روغن را کاهش و درصد پروتئین را افزایش می‌دهد و در این حالت، فرصت کافی برای سنتز روغن از پروتئین‌ها فراهم نمی‌شود (Maleki Nejad & Majidi, 2015). مقایسه میانگین داده‌های اثر متقابل شرایط آبیاری و هورمون‌پاشی نیز نشان داد که شرایط آبیاری مطلوب و تیمار ۷۵ میکرومولار سیتوکنین با میانگین ۳۵/۲۵ درصد، بیشترین درصد روغن و تیمار عدم کاربرد هورمون هم در شرایط آبیاری مطلوب و هم در شرایط تنش خشکی کمترین درصد روغن دانه را داشتند (شکل ۴). درصد روغن دانه با تیمار۷۵ میکرومولار سیتوکنین در شرایط مطلوب آبیاری، ۱۵درصد و در شرایط تنش خشکی، ۱۰ درصد افزایش یافت و این در حالی‌است که بین تیمار ۷۵ میکرومولار و۵۰ میکرومولار سیتوکنین، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. کاربرد هورمون سیتوکنین باعث افزایش محتوی روغن گلرنگ در پژوهش دیگری نیز شده است (Ullah & Bano ,2011). ستیوکنین با افزایش انتقال مواد فتوسنتزی و اسمیلات‌ها و تنظیم روابط منبع و مخزن، باعث افزایش وزن دانه شده است (Mahrokh *et al*., 2019) و این درحالی‌است که سیتوکنین‌ها با افزایش انتقال شیره پرورده به دانه، باعث افزایش مغز دانه به پوسته دانه می‌شوند؛ با افزایش نسبت مغز دانه به پوسته آن، درصد روغن نیز افزایش می یابد. Mohammadi *et al* (2014) با مطالعه چهار زمان محلول‌پاشی با هورمون سیتوکنین (شاهد، آغاز رشد جوانه‌های جانبی، گلدهی و پر شدن دانه) و سه رقم گلرنگ بهاره (زنده رود، MEC191 و سینا) بیان نمودند که محلول‌پاشی طبق‌ها با غلظت ۷۵ میکرومولار هورمون سیتوکنین در مرحله گلدهی، باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه و درصد روغن ارقام گلرنگ شد؛ بالاترین عملکرد دانه و درصد روغن در رقم MEC191 بود که‌به‌ترتیب ۶۲/۸۴ و ۶۵/۱۲ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. بنابراین با توجه به نتایج این پژوهش می‌توان گفت که سیتوکنین‌ها هم در شرایط آبیاری مطلوب و هم در شرایط تنش خشکی، باعث کاهش اثرات ناشی از تنش و افزایش درصد روغن می‌شوند.



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح آبیاری و هورمون‌پاشی بر درصد روغن . میانگین‌های دارای حروف مشابه، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Figure 4. Mean comparison of the interaction effects of irrigation levels × hormone on oil percentage. Means with the same letters are not significantly different based on Duncan's test at 5% of probability level.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج به‌دست آمده از این پژوهش که حاکی از تاثیر تنش خشکی در مرحله گلدهی بر تسهیم مواد فتوسنتزی به دانه‌ها، و درصد روغن دانه گلرنگ است، می‌توان بیان داشت که تنش خشکی، باعث افزایش تسهیم و تخصیص مواد فتوسنتزی و کاهش عملکرد دانه و درصد روغن دانه گلرنگ در هر دو سال آزمایش شده است. رقم سینا در شرایط تنش خشکی با میانگین

۲۹۴۹ کیلوگرم در هکتار و رقم محلی اصفهان در شرایط آبیاری مطلوب با میانگین۳۲۴۷ کیلوگرم در هکتار، بیشترین عملکرد دانه را داشتند. در بین ارقام مورد مطالعه، رقم سینا با میانگین ۲۲/۶۷ درصد، بیشترین کارایی ساقه را در انتقال ذخایر به دانه داشت. کاربرد ۷۵ میکرومولار سیتوکنین، باعث افزایش ۲۰/۶ درصدی تخصیص مواد فتوسنتزی کل به طبق‌ها شد. بیشترین درصد روغن دانه گلرنگ با کاربرد ۷۵ میکرومولار در شرایط آبیاری مطلوب (با میانگین۳۵/۲۵ درصد) و در شرایط تنش خشکی (با میانگین ۳۲/۴۱) به‌دست آمد که باعث افزایش ۱۰ درصدی روغن در شرایط تنش خشکی شد. کاربرد هورمون سیتوکنین با افزایش تحرک و انتقال مواد ذخیره‌ای در گیاه، باعث کاهش اثرات ناشی از تنش در گیاه شده است؛ بنابراین کاربرد هورمون سیتوکنین را می‌توان به عنوان راهکاری برای بهبود تخصیص مواد فتوسنتزی، عملکرد دانه و عملکرد روغن دانه در گلرنگ، هم در شرایط آبیاری مطلوب و هم در شرایط تنش خشکی گزارش کرد. برای بررسی رقم جدید کشت شده (پرنیان) بایستی پژوهش-های دیگری نیز در مناطق آب و هوایی مختلف و در مناطق مختلف که اولین بار کشت می شود، انجام گیرد.

REFERENCES

1. Ahmed, F.E. & Suliman, A. S. H. (2010). Effect of water stress applied at different stages of growth on seed yield and water-use efficiency of cowpea. *Agriculture and Biology Journal of North America*, 1(4), 534-540.
2. Agricultural Jihad Statistics, Ministry of Agriculture. (2020).
3. Amiri, A., Sirousmehr, A. & Esmaeilzadeh Bahabadi, S., (2016). Effect of foliar application of salicylic acid and chitosan on yield of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Iranian Journal of Plant Researches*, 28(4), 712-725.
4. Bortolheiro, F. P & Silva, M. A. (2017): Physiological response and productivity of safflower lines under water deficit and rehydration. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 89(4), 3051-3066.
5. Contour-Ansel, D., Torres-Franklin, M. L., Zuily-Fodil, Y. & De Carvalho, M. H. C. (2010). An aspartic acid protease from common bean is expressed ‘on call’during water stress and early recovery. *Journal of plant physiology*, 167(18), 1606-1612.
6. Daryanto, S., Wang, L. & Jacinthe, P. A. (2016). Global synthesis of drought effects on maize and wheat production. *PloS one*, 11(5), e0156362.
7. Dawood, M. G. (2018). Improving drought tolerance of quinoa plant by foliar treatment of trehalose. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 19(5), 245-254.
8. Emongor, V. (2010). Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) the underutilized and neglected crop: a review. *Asian Journal of Plant Sciences*, 9(6), 299-306.
9. Ghassemi-Golezani, K., FarhanghiAbriz, S., Hassannejad, S. & Hassanpour-Bourkheili, S. (2014). Some physiological responses of mung-bean at different plant densities to water deficit. *International Journal of Biosciences*. 4(12), 19-26.
10. Lopez Pereia, M., Bereny, A., Hall, A. J. & Trapani, N. (2008). Contribution of pre-anthesis photoassimilates to grain yield: Its relationship with yield in Argentine sunflower cultivars released between 1930 and 1995. *Field Crops Research*, 105 (1-2), 88–96.
11. Kobata, T., Palta, J. A. and Turner, N. C. (1992). Rate N application enhances remobilization and reduces losses of pre-anthesis N in wheat grown on a duplex soil. *Australian Journal of Agricultural Research*, 46(3), 519 – 531.
12. 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(2-3), 263-274.
13. 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. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 12(1),1-15. (In Persian)
14. Maleki Nejad, R.& Majidi, M. M. (2015). Evaluation of Iranian and foreign safflower germplasms under normal and drought stress conditions. J*ournal of Crop Breeding*, 7(15), 1-13.
15. Mansoorifar, S., Shaban, M., Ghobadi, M. & Sabbaghpour, S. H. (2012). Evaluation of grain filling rate and durability in (*Cicer arietinm* L.) cultivars under drought stress with the use of nitrogen fertilizer. *Iranian Agricultural Research*, 10, 602-591. (In Persian)
16. MarefatzadehKhameneh, M. (2012). Echophysiological impact of water stress on growth and

development of Mungbean. *International journal of Agronomy and Plant Production*, 3(12),599.
17. Mazid, M., Khan, T. A. & Mohammad, F. (2011). Cytokinins, a classical multifaceted hormone in plant system. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 7(4), 123-136.
18. Mohamadi, M & Tavakoli, A. (2013). Evaluation of the effect of application of different concentrations cytokinin hormone on increasing photosynthetic remobilization of two spring safflower cultivars (Carthamus tinctorius L.). *The first national conference on sustainable development using the agricultural model*, 13-16 March., Hamadan, 666-674.
19. Mohamadi, M., Tavakoli, A. &Pouryosef, M. (2014). Evaluation of the effect of foliar application of cytokinin hormone at different growth stages on yield components and yield of spring safflower cultivars (*Carthamus* tinctorius L.). *National Electronic Conference on New Achievements in Engineering and Basic Sciences*, 11-13 November., Mohagheg university Ardabil, 606-611.
20. Mohammadi, M., Tavakoli, A. & Saba, J. (2014). Effects of foliar application of 6-benzylaminopurine on yield and oil content in two spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars. *Plant growth regulation*, 73(3), 219-226.
21. Nasiri, M., Ramezani, A. & Zeyae nasab, M. (2017). The effect of poor irrigation and use of phosphate-soluble biofertilizer On yield and yield components of safflower. *Journal of Ecology*, 32-42. (In Persian)
22. Nazari, M., Mirlohi, A. & Majidi, M. M. (2017). Effects of drought stress on oil characteristics of *Carthamus* species. *Journal of American Oil and Chemistry Society*, 94, 247-256.
23. Niu, J., Gan, Y., Zhang, J. & Yang, Q. (1998). Postanthesis dry matter accumulation and redistribution in spring wheat mulched with plastic film. *Crop Since*, 38, 1562-1568.
24. Pereira, M. L., Berney, A., Hall, A. J. & Trápani, N. (2008). Contribution of pre-anthesis photoassimilates to grain yield: Its relationship with yield in Argentine sunflower cultivars released between 1930 and 1995. *Field crops research*, 105(1-2), 88-96.
25. Plata, J., Kobata, T., Turner, N. C. & Fillery, I. R. (1994). Remobilization of carbon and nitrogen in wheat as influenced by postanthesis water deficits. Crop *Science*, 34,118-124.
26. Reiahisamani, N., Esmaeili, M., Sima, N. A. K., Zaefarian, F. & Zeinalabedini, M. (2018). Assessment of the oil content of the seed produced by Salicornia L., along with its ability to produce forage in saline soils. *Genetic Resources and Crop Evolution, 65*(7), 1879-1891.
27. Roitsch, T. & Ehnab, R. (2000). Regulation of source/sink relations by cytokinins. *Plant growth regulation*, 32, 359-367.
28. Saeidi, M. & Moradi, F. (2011). Effect of post-anthesis water stress on remobilization of soluble carbohydrates from peduncle and penultimate internodes to the developing grains of two bread wheat cultivars. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 13(3), 548-564.
29. Salek Mearaji, H. & Tavakoli. A. (2020). Evaluation of yield and some traits of two safflower (*Carthamus tinctorius L.*) cultivars under different irrigation regimes. *Environmental Stresses In Crop Sciences*, 13(3), 763-775.
30. Taize, L. & Zaiger , A. (2006). *Plant Physiology. Fourth edition. Adequate translation* (A. Zand, B. Kamkar, M. Mahdavi , A. Damghani & M. Abasi, Trans.): Mashhad university Jihad Publications. 648p.
31. Taleshi, K., Shokoh Far, A., Rafiee, M., Noormahamadi, G. & Sakinejhad, T. (2014). Safflower yield respond to chemical and biotic fertilizer on water stress condition. *World Applied Sciences Journal*, 20(11), 1472-1477.
32. Ullah, F. & Bano, A. (2011). Effect of plant growth regulators on oil yield and biodiesel production of safflower (Carthamus tinctorius L.). *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 23(1), 27-31.
33. Zlatev, Z. & Lidon, F. C. (2012). An overview on drought induced changes in plant growth, water relationsand photosynthesis. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 57-72.