University of Birjand

Journal homepage:
https://escs.birjand.ac.ir

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses In Crop Sciences

Vol. 16, No. 1, pp. 19-33 (Spring 2023)

http://dx.doi.org/10.22077/escs.2021.4271.2001

Original article

Effect of foliar application of auxin on morphophysiological and biochemical traits of safflower cultivars (spring and autumn) under drought stress

D. Pashang, W. Weisany*, F. Ghasem-Khan Ghajar

Department of Agriculture and Food Science, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Received 25 April 2021; Accepted 12 July 2021

Extended abstract

Introduction

Severe climate changes and rapid population growth have influenced global food security. Oilseeds are the second main source of human food after cereals. Increases in the demand for vegetable oil at global markets and thus increases in the price of these oils, an economic pressure has been imposed on the oil-importing countries. So, concerning population growth and increases in per capita food consumption, it is necessary to increase the area under oilseeds' cultivation and crop yield. Safflower is an oilseed crop of the family Asteraceae with favorable and unique characteristics that make it a valuable oilseed crop. Safflower due to having long roots and the high ability for absorbing water from deep soil layers, is considered as a low water-tolerant plant; but after the rosette stage, it becomes more sensitive to water stress such that since the first signs of inflorescence emergence up to the middle of the grain-filling period, it shows more sensitivity to this kind of stress.

Materials and methods

This study was performed during the 2018-2019 cultivation year in a 400-ha farm located in the Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, Iran. The geographical location of the study area is 35° 49' N, 51° 6' E, and its elevation is 1321 m AMSL. According to climate data and ambrothermic curve, this area, due to having 150- 180 dry days, is considered as hot and dry Mediterranean climate. Because of having cold and humid winters but hot and dry summers, it has a dry moisture regime. Based on the average of 30-years of climate data, the mean temperature is 13.5 °C, the soil temperature is 14.5 °C, and in terms of soil temperature regime classification, it is considered as thermic areas. Table 1 represents the mean monthly temperature and precipitation during 2018-2019 and 2019-2020 cultivation years in Karaj. The main factor of this experiment was drought stress in two levels, i.e. normal irrigation (control) and irrigation cut-off at flowering stage, and two sub-factors include safflower cultivars (Golmehr and Goldasht) and foliar application of auxin in two levels, i.e. zero-application and applying 4 gL-1 auxin.

Results and discussion

Results of the present study illustrated that compared with Golmehr cultivar, Goldasht had higher number of grains per head, grain yield and biological yield. On the other hand, Golmehr cultivar had a higher plant height, percentages of oil, linolenic acid, and oleic acid, compared to Goldasht cultivar. Under drought stress, the activities of antioxidant enzymes and proline were not significantly different

*Corresponding author: Weria Weisany; E-Mail: weria.wisany@gmail.com

© 2023, The Author(s). Published by University of Birjand. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

between the two cultivars; however, the Goldasht cultivar by accumulating the activities of catalase, peroxidase enzymes, and proline content showed higher resistance to drought condition than the Golmehr cultivar. Irrigation cut-off at flowering stage led to decreases in bush height, number of grains per head, number of plant heads, 1000-grain weight, grain yield, biological yield, harvest index, SPAD index, percentages of oil, palmitic acid, linoleic acid, oleic acid and increases in proline content, activities of antioxidant enzymes, i.e., catalase and peroxidase. In comparison with the no-auxin situation, applying auxin increased SPAD index, proline content and, activities of catalase and peroxidase so, it could alleviate the side effects of drought stress. Therefore, in addition to the reduction of production costs and saving water, especially in arid and semi-arid areas, which results from the foliar application of auxin and cutting of irrigation at flowering stage, also crop yield and oil percentage could be gained same as the ones gained under normal condition. Furthermore, concerning the evaluated characteristics and the reaction of studied cultivars to drought, Goldasht cultivar can be introduced as the preferable cultivar under drought stress conditions.

***Keywords*:** Foliar application, Head, Irrigation, Oil content, Proline

تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد شانزدهم، شماره اول، بهار ۱۴۰۲

http://dx.doi.org/10.22077/escs.2021.4271.2001

مقاله پژوهشی

اثر محلول‌پاشی اکسین بر صفات مورفوفیزیولوژیک و بیوشیمیایی ارقام گلرنگ (بهاره و پاییزه) در شرایط تنش خشکی

دانیال پشنگ[۱]، وریا ویسانی[۲*]، فریدون قاسم‌خان قاجار[۲]

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم باغبانی و زراعت، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران
۲. استادیار گروه علوم باغبانی و زراعت، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
آبیاری
پرولین
درصد روغن
طبق
محلول‌پاشی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۰/۰۲/۰۵

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۰/۰۴/۲۱

تاریخ انتشار:
بهار ۱۴۰۲

۱۹-۳۳ :(۱)۱۶

چکیده

به‌منظور مطالعه اثر محلول‌پاشی اکسین (ایندول استیک اسید) بر صفات مورفوفیزیولوژیک و بیوشیمیایی ارقام گلرنگ در شرایط تنش خشکی انتهای فصل رشد، آزمایشی به‌صورت اسپلیت‌پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج واقع در استان البرز در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل تنش خشکی در دو سطح شامل آبیاری معمول (آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) و قطع آبیاری از مرحله گلدهی به‌عنوان عامل اصلی و رقم شامل دو رقم گلمهر و گلدشت و محلول‌پاشی اکسین در دو سطح شامل عدم محلول‌پاشی و کاربرد چهار گرم در لیتر اکسین به‌عنوان کرت فرعی در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد تنش خشکی موجب کاهش ارتفاع بوته، تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص اسپد، درصد روغن و افزایش پرولین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز و پراکسیداز شد. مشاهده گردید که رقم گلمهر ارتفاع بوته و درصد روغن و رقم گلدشت تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص اسپد، پرولین و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز بیشتری داشت. بر اساس نتایج، رقم گلدشت مقاومت بیشتری به تنش خشکی در مقایسه با رقم گلمهر دارا بود. همچنین مشاهده شده که محلول‌پاشی اکسین در شرایط تنش خشکی پرولین و فعالیت آنزیم کاتالاز را افزایش داد. نتایج نشان داد که کاربرد اکسین توانست اثرات منفی تنش خشکی را با افزایش شاخص اسپد، پرولین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان تعدیل بخشد.

مقدمه

تغییرات شدید اقلیمی و رشد سریع جمعیت امنیت غذایی جهان را تحت تأثیر قرار داده‌اند (Lesk et al., 2016). دانه‌های روغنی پس از غلات دومین ذخیره غذایی جهان را تشکیل می‌دهند (Bayati et al., 2020). افزایش تقاضای روغن گیاهی در بازارهای جهانی و به دنبال آن افزایش قیمت آن، باعث فشارهای اقتصادی به کشورهای واردکننده روغن گردیده است (Bistgani et al., 2017). گلرنگ (*Carthamus tinctorius*) به دلیل استفاده‌های دارویی، صنعتی و غذایی از گلبرگ‌های آن، کیفیت بالای روغن دانه و ویژگی‌های زراعی چون مقاومت نسبتاً بالا به شوری و خشکی و فصل رشد کوتاه در کشت تابستانه، به‌عنوان گیاه روغنی باارزشی برای کشت در مناطق نیمه‌خشک و خشک مطرح نموده است (Ashrafi and Razrnjoo, 2010; Hashemi et al., 2020). گلرنگ اگرچه به دلیل داشتن ریشه‌های طویل و توانایی بالا در جذب رطوبت از اعماق خاک، به‌عنوان یک گیاه متحمل به کم‌آبی شناخته می‌شود، ولی با خروج از مرحله رزت، به تنش خشکی حساس‌تر می‌شود، به‌طوری‌که از زمان پیدایش اولین آثار تشکیل گل‌آذین تا

* نگارنده پاسخگو: وریا ویسانی. پست الکترونیک: weria.wisany@gmail.com

اواسط پر شدن دانه حساسیت بیشتری به این نوع تنش نشان می‌دهد (Rahmani et al., 2019).

تنش خشکی، مهم‌ترین عامل محدودکننده عملکرد گیاهان زراعی در بسیاری از نقاط جهان ازجمله ایران است (Arvin et al., 2018). تنش خشکی یکی از پارامترهای محیطی است که رشد، نمو و تولید گیاهان زراعی را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد (Ongom et al., 2016). میزان روغن دانه توسط کم‌آبی زمین و دما در طی دوره پر شدن دانه تحت تأثیر قرار می‌گیرد. گیاهان واکنش‌های مختلفی به تنش در سطوح مورفولوژی، آناتومیکی، سلولی مولکولی و فیزیولوژی می‌دهند (Bagheri et al., 2019; Habibi et al., 2015) و نوع پاسخ مشاهده‌شده به چندین عامل نظیر شدت تنش، مدت تنش و ژنوتیپ وابسته است (Rady et al., 2020). ازآنجایی‌که تنش خشکی کمیت و کیفیت عملکرد گیاهان را (Eyni-Nargeseh et al., 2020) از طریق تغییر رشد و فعالیت‌های متابولیکی و فیزیولوژیکی تحت تأثیر قرار می‌دهد، لذا شناسایی ارقام مقاوم همچنین عوامل و اقدامات مؤثر بر افزایش مقاومت در مراحل بحرانی یا حساس‌ترین مراحل رشدی گیاه نسبت به خشکی اهمیت زیادی دارد.

در طی سال‌های اخیر هورمون‌های گیاهی در توانمندسازی گیاه جهت سازگاری با تنش‌های غیرزنده معرفی‌شده‌اند (Bagheri et al., 2019). ایندول استیک اسید، اکسین اصلی در گیاهان آلی است و اثرات عمیقی در رشد و نمو گیاه ایفا می‌کند (Lang et al., 2019). در سال‌های اخیر، شواهد نشان داده است که اکسین نقش مهمی در واکنش گیاهان به شرایط نامطلوب محیطی (تنش‌های زنده و غیرزنده) ایفا می‌کند (Habibi et al., 2015; Hong et al., 2018). در این زمینه، پژوهشگران بیان داشتند که بیان ژن اکسین و میزان غلظت این هورمون در گیاه در شرایط تنش تغییرات محسوسی می‌کند. به‌عنوان‌مثال در شرایط تنش خشکی هورمون اکسین همانند آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نقش عمده‌ای در کاهش غلظت پراکسید هیدروژن در سلول‌های گیاهی دارد (Sharma et al., 2015). با عنایت به تنش خشکی ناشی از کمبود آب و خشک‌سالی ضرورت توجه به گیاهان متحمل به خشکی و شناسایی ارقام متحمل به خشکی به همراه ارائه راهکارهای زراعی نوین همچون استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد مانند اکسین متناسب با منابع آب‌وخاک هر منطقه کاملاً محسوس است. لذا هدف از این پژوهش تعیین اثر هورمون اکسین بر صفات مورفوفیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه گلرنگ و نیز بررسی تحمل به تنش خشکی و شناخت ارقام متحمل این گیاه هم‌زمان با محلول‌پاشی اکسین بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت اسپلیت‌پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه ۴۰۰ هکتاری مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج واقع در استان البرز سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ در انجام شد. عامل تنش خشکی در دو سطح شامل آبیاری معمول (آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) و قطع آبیاری از مرحله گلدهی در کرت‌های اصلی و عامل رقم شامل دو رقم گلمهر (پاییزه متحمل به سرما، دیررس و خاردار) و گلدشت (بهاره متحمل به سرما، زودرس و بدون خار) و محلول‌پاشی اکسین در دو سطح شامل عدم محلول‌پاشی (محلول‌پاشی با آب مقطر) و کاربرد اکسین (ایندول استیک اسید) با غلظت ۴ گرم در لیتر آب در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. عرض جغرافیایی محل انجام آزمایش، ۳۵ درجه و ۴۹ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی آن ۵۱ درجه و ۶ دقیقه شرقی بوده و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۳۲۱ متر بود. میانگین دمای ماهانه و بارندگی در منطقه کرج مطابق جدول ۱ است.

جدول ۱. میانگین دمای ماهانه و میزان بارندگی ماهیانه در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ در منطقه کرج

Table 1. Average air temperature and cumulative precipitation for 2019-2020 in Karaj

	Sep-Oct	Oct-Nov	Nov-Dec	Dec-Jan	Jan-Feb	Feb-Mar	Mar-Apr	Apr-May	May-Jun
Year سال	2018	2018	2018	2018-19	2019	2019	2019	2019	2019
Precipitation (mm) بارش	6.7	32.6	57.5	47.1	28.0	19.9	104.0	10.1	2.1
Temperature (°C) دما	18.8	10.9	8.4	4.7	5.7	7.7	14.0	18.3	25.1

نتایج خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۲ ارائه گردیده است. بر اساس نتایج آزمون خاک و توصیه کودی، ۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص و ۷۰ کیلوگرم در هکتار P_2O_5 خالص از دو منبع کودی اوره و فسفات آمونیوم و مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار K_2O به‌صورت کود سولفات پتاسیم به همراه ۲/۵ لیتر در هکتار علف‌کش ترفلان (تری فلورالین) به خاک داده شده و با دو دیسک عمود بر هم و سبک، با خاک مخلوط گردید. به‌منظور استفاده بهینه از نیتروژن، بقیه کود نیتروژنه موردنیاز به‌صورت سرک (به ترتیب ۵۰ و ۲۵ کیلوگرم ازت خالص از منبع کودی اوره) در مرحله ساقه‌دهی و تکمه‌دهی مصرف شد. دو خط کناری به‌عنوان حاشیه و چهار خط میانی آن برای نمونه‌برداری و بررسی صفات مختلف و عملکرد، مورداستفاده قرار گرفت.

جدول ۲. برخی از خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک محل آزمایش

Table 2. Some of the physicochemical characteristics of soil in the study area

بافت خاک Soil texture	عمق نمونه‌برداری Sampling depth	رطوبت گل اشباع Soil saturated moisture	هدایت الکتریکی Electrical conductivity	واکنش خاک pH	کربن آلی Organic carbon	فسفر قابل‌جذب Absorbable phosphorus	پتاسیم قابل‌جذب Absorbable potassium	نیتروژن کل Total nitrogen
	cm	%	ds m^{-1}		%	----------mg kg^{-1}----------		%
Clay loam	0-30	37	1.51	8.0	0.89	14.5	200	0.09
	30-60	38	1.25	7.1	0.98	16.1	152	0.07

در این تحقیق بذور موردنیاز از مؤسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج بخش دانه‌های روغنی تهیه شد. به‌منظور ضدعفونی بذور و جلوگیری از آلودگی‌های احتمالی قارچی بذور به مدت دو دقیقه در محلول هیپوکلریت سدیم یک درصد قرار گرفتند، سپس به ترتیب با آب معمولی و آب مقطر شستشو داده شدند. کاشت در ۱۳ مهر صورت پذیرفت. آبیاری بلافاصله پس از کاشت و با استفاده از سیستم آبیاری خطی یا لینیر انجام شد. میزان مصرف بذر، ۲۵ کیلوگرم در هکتار بود. به‌منظور رسیدن به تراکم بوته مناسب در مرحله ۲ تا ۶ برگی اقدام به تنک و همچنین حذف علف‌های هرز گردید. ماده تنظیم‌کننده رشد اکسین (ایندول استیک اسید) با غلظت ۳۰ سی‌سی در ۴۰۰ لیتر آب از شرکت بارافشان و از الکل جهت تهیه محلول ایندول استیک اسید استفاده گردید. محلول‌پاشی در ساعات اولیه صبح و حداقل شدت روشنایی صورت گرفت. اعمال تیمار محلول‌پاشی در یک مرحله و در اواسط گل‌دهی (دهه دوم خردادماه) انجام شد. آب تیمار تنش خشکی در مرحله شروع گلدهی قطع گردید. در طول دوره رشد برای مبارزه با علف‌های هرز نازک برگ از علف‌کش گالانت به نسبت یک در هزار استفاده شد.

تعداد کل طبق در گیاه از مجموع تعداد طبق‌های پر و پوک در ساقه اصلی و شاخه‌های فرعی در ۱۰ بوته انتخاب شده و به‌صورت تصادفی به دست آمد و میانگین آن برای هر کرت ثبت گردید. با احتساب مجموع طبق‌های دارای دانه و باز نشده، تعداد دانه در ۳۰ طبق به‌طور تصادفی شمارش شد. در پایان نیز میانگین آن‌ها به‌عنوان میانگین هر کرت آزمایشی درج گردید. به‌منظور تعیین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک، در مساحت ۳/۶ مترمربع از منطقه برداشت نهایی هر کرت آزمایشی به‌طور جداگانه کف‌بُر شد و قبل از جدا کردن دانه از طبق‌ها، وزن کل بوته‌ها (برگ، ساقه، طبق و دانه) تعیین شد. سپس به‌وسیله کمباین، دانه‌ها از طبق‌ها جدا شدند و وزن دانه‌ها با ترازوی دقیق آزمایشگاهی با دقت یک‌هزارم گرم توزین و عملکرد دانه برحسب کیلوگرم در هکتار محاسبه گردید. میزان سبزینگی هر برگ، در قسمت وسط پهنک در یک سوی رگبرگ اصلی، با دستگاه کلروفیل‌متر دستی (SPAD-502, Minolta Co. Japan) در ساعت ۹/۳۰ الی ۱۰ صبح اندازه‌گیری شد. استخراج روغن از بذور رسیده گلرنگ با دستگاه سوکسله و با استفاده از حلال هگزان انجام گرفت. برای این منظور دو گرم از بذرهای آسیاب شه را به همراه کاغذ صافی وزن کرده، در داخل قسمت استخراج دستگاه قرار داده شد و حدود ۲۵۰ میلی‌لیتر حلال Nهگزان به آن اضافه شد. عمل عصاره‌گیری نمونه‌ها به مدت ۵-۴ ساعت ادامه یافت. پس از حذف حلال توسط دستگاه روتاری میزان روغن برای هر نمونه به‌صورت درصد گزارش شد. فرآیند تولید متیل استر از اسیدهای چرب و آنالیز آن‌ها توسط کروماتوگرافی گازی (GC, Younglin 6500) انجام گرفت (Hama, 2017).

میزان پرولین برگ بر طبق روش بیتس و همکاران (Bates et al., 1973) مشخص شد. به این منظور ۰/۲ گرم بافت برگ توزین و در هاون چینی در ۳ میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک اسید ۳ درصد به‌خوبی سائیده شد. همگن حاصل با دور ۱۸۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ گردید. سپس ۲ میلی‌لیتر معرف ناین هیدرین و ۲ میلی‌لیتر استیک اسید گلاسیال اضافه شد. پس از بستن در لوله‌ها به مدت ۱ ساعت در حمام آب گرم ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از سرد شدن لوله‌ها به هرکدام از آن‌ها ۴ میلی‌لیتر تولوئن اضافه گردید و با استفاده از دستگاه ورتکس به مدت ۱۵ ثانیه لوله‌ها تکان داده شدند. فاز رویی را که به رنگ قرمز و حاوی پرولین محلول در تولوئن بود، برداشته و هم‌زمان با نمونه‌های استاندارد در دستگاه اسپکتروفتومتر قرار گرفت و جذب نمونه‌ها در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر قرائت گردید. غلظت پرولین برحسب میلی‌گرم بر گرم بافت تازه برگ با استفاده از منحنی استاندارد تعیین شد.

برای سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز، ۰/۲ گرم نمونه منجمد در ۳ میلی‌لیتر بافر سدیم فسفات ۲۵ میلی مولار با pH ۶/۸ عصاره گیری شد. همگن حاصل در دور ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه، به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شده و سپس محلول فوقانی برای سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز استفاده شد. تجزیه آب‌اکسیژنه با کاهش در جذب در طول‌موج ۲۴۰ نانومتر موردسنجش قرار گرفت (Cakmak and Horst, 1991). در سنجش فعالیت پراکسیداز، برای تهیه محلول عصاره‌گیری، ۱/۲ گرم تریس، ۲ گرم اسید آسکوربیک، ۳/۸ گرم بوراکسی، ۵۰ گرم پلی‌اتیلن گلایکول ۲۰۰۰ و ۲ گرم $EDTA\ Na_2$ را با آب مقطر به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. برای استخراج عصاره آنزیمی، ۱ گرم نمونه را در ۴ میلی‌لیتر محلول عصاره‌گیری سائیده، به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگه‌داری شد. سپس به مدت ۳۰ دقیقه در ۴۰۰۰g سانتریفیوژ گردید. برای سنجش فعالیت آنزیمی، ۲ میلی‌لیتر تامپون استات M ۰/۲، ۰/۴ میلی‌لیتر آب‌اکسیژنه ۳ درصد و ۰/۲ میلی‌لیتر بنزیدین را در لوله‌آزمایش مخلوط نموده، ۰/۲ میلی‌لیتر از عصاره آنزیمی به آن اضافه نموده، جذب آن پس از یک دقیقه در طول‌موج ۵۳۰ nm در دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد (Nickel and Cunningham, 1969). پس از پایان آزمایش‌ها، تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹,۱ و مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثرات اصلی خشکی و رقم در سطح احتمال یک درصد و اثر اصلی اکسین در سطح احتمال پنج درصد بر ارتفاع بوته معنی‌دار شد، در اثرات متقابل دو فاکتوره و سه فاکتوره تأثیر معنی‌داری مشاهده نگرید (جدول ۳). خشکی موجب کاهش ۲/۹۱ درصدی ارتفاع بوته نسبت به شاهد شد. اطلاعات به‌دست‌آمده از مقایسه میانگین ارتفاع بوته تحت تأثیر رقم مشخص کرد که رقم گلمهر در مقایسه با رقم گلدشت از ارتفاع بوته بیشتری به میزان ۱۴/۷۴ درصد برخوردار بود. طبق نتایج، کاربرد اکسین باعث افزایش ارتفاع بوته نسبت به شاهد گردید (جدول ۵). به نظر می‌رسد که در تنش خشکی، سنتز کمتر مواد فتوسنتزی به علت محدودیت دسترسی گیاه به آب و دی‌اکسید کربن باعث اختصاص کمتر مواد فتوسنتزی به بخش‌های در حال رشد گیاه شده و درنتیجه پتانسیل رشدی گیاه در مقایسه با شرایط دسترسی به آب بیشتر، به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. به عبارتی احتمالاً کاهش آماس و رشد سلولی و در نتیجه کاهش سطح برگ، بسته شدن روزنه‌ها و محدودیت فتوسنتز در شرایط کمبود آب از دلایل اصلی مؤثر در کاهش ارتفاع بوته و سایر صفات مورفولوژیکی است (Papastylianou and Argyrokastritis, 2014; Rady et al., 2016). تنش خشکی به‌عنوان یک عامل محیطی، منتج به کاهش رطوبت خاک و در نتیجه کاهش مواد فتوسنتزی شده و درنهایت باعث می‌شود گیاه به پتانسیل ارتفاع خود نرسد (Said-Al Ahl et al., 2016). اثر مثبت اکسین در افزایش ارتفاع بوته را می‌توان به نقش آن در تنظیم چیرگی انتهایی ارتباط داد. اکسین موجود در جوانه انتهایی از رشد جوانه‌های جانبی جلوگیری می‌کند (Valiyari and Nourafcan, 2018).

تعداد طبق در بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تنش خشکی در سطح احتمال یک درصد و اکسین در سطح احتمال پنج درصد بر تعداد طبق در بوته تأثیر معنی‌دار داشت (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین تعداد طبق در بوته تحت تأثیر خشکی نشان داد که خشکی موجب کاهش ۱۰/۰۳ درصدی تعداد طبق در

بوته نسبت به شاهد شد. کاربرد اکسین باعث افزایش ۷/۹۴ درصدی تعداد طبق در بوته نسبت به شاهد گردید (جدول ۴). حساس‌ترین مرحله رشد و نمو به کمبود آب، مرحله گلدهی است. کمبود آب در این مرحله سبب افت شدید تعداد گل، طبق و دانه می‌شود. تنش خشکی باعث می‌شود گیاه در شرایط نامساعد محیطی به گل رفته و در اثر گرما، تعدادی از گل‌ها عقیم مانده و ریزش کنند. چون گیاه در اثر بالا بودن دمای محیط در مدت‌زمان کمتری نیاز حرارتی خود را تأمین می‌کند طول دوره گلدهی گیاه کوتاه شده و پتانسیل تولید طبق کاهش می‌یابد (Sepehri and Golparvar, 2011). محدودیت آب در زمان گلدهی باعث ریزش گل‌ها، سقط‌جنین و در نتیجه کاهش تعداد نهایی طبق می‌شود (Jaberi et al., 2015; Karami chame et al., 2016).

تعداد دانه در طبق

نتایج تجزیه واریانس مشخص کرد که اثرات اصلی خشکی، رقم و اکسین در سطح احتمال یک درصد بر تعداد دانه در طبق تأثیر معنی‌دار داشتند (جدول ۳). بر اساس نتایج مقایسه میانگین تعداد دانه در طبق تحت تأثیر خشکی، اعمال خشکی موجب کاهش ۱۰/۰۳ درصدی تعداد دانه در طبق نسبت به شاهد شد. رقم گلدشت در مقایسه با رقم گلمهر از تعداد دانه در طبق بیشتری به میزان ۱۱/۳۸ درصد دارا بود. همچنین کاربرد اکسین افزایش ۵/۷۲ درصدی تعداد دانه در طبق نسبت به شاهد را به همراه داشت (جدول ۴). اعمال تنش خشکی در طول دوره رشد از طریق محدودیت در فراهمی مواد فتوسنتزی بر گرده‌افشانی و باروری گلچه‌های تأثیر گذاشته و باعث سقط گلچه‌ها و درنهایت کاهش تعداد دانه در طبق می‌شود (Moravveji et al., 2016). وقوع تنش خشکی در مرحله رشد زایشی موجب کاهش جذب مواد پرورده کاهش آماس سلولی، اختلال در فتوسنتز گردیده که این وضعیت موجب زردی، ریزش و زودرسی آن‌ها و در نتیجه افزایش آسیب‌پذیری تشکیل دانه در طبق‌ها در شرایط تنش خشکی می‌شود (Karami chame et al., 2016). در اثر کاربرد هورمون، به دلیل تأخیر در پیری برگ بارگیری مواد از مبدأ به مقصد بیشتر می‌شود، در نتیجه تعداد دانه تشکیل‌شده بیشتر می‌شود (Habibi et al., 2015).

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس محلول‌پاشی اکسین بر خصوصیات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی ارقام گلرنگ و تنش خشکی

Table 3. Results of compound variance analysis of the effects of auxin foliar application on the morphological, physioloical and biochemical characteristics of safflower cultivars under drought stress condition

منابع تغییرات S.O.V	df	ارتفاع بوته Plant height	تعداد طبق در بوته Head per plant	تعداد دانه در طبق Seed per head	وزن هزار دانه Weight of 1000 seeds	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield
بلوک Replication	2	10.59**	0.67^{ns}	0.79^{ns}	1.88*	33852.54^{ns}	460229.63*
خشکی Drought stress (a)	1	64.68**	54**	30.38**	19.26**	1686990.38**	5558437.5**
خطا Error	2	0.19	9.5	0.88	0.08	61861.63	78991.13
رقم Cultivar (b)	1	1879.74**	0.67^{ns}	45.38**	1658.34**	4261365.38**	100466784**
اکسین Auxin (c)	1	10.4*	28.17*	12.04**	10.01**	375250.04*	599768.17*
خشکی×رقم a×b	1	2.28^{ns}	8.17^{ns}	1.04^{ns}	1^{ns}	116343.38^{ns}	231280.67^{ns}
خشکی×اکسین a×c	1	0.06^{ns}	0.000000007^{ns}	0.04^{ns}	0.18^{ns}	681600.04^{ns}	1040.17^{ns}
رقم×اکسین b×c	1	0.2^{ns}	2.67^{ns}	0.04^{ns}	0.18^{ns}	93875.04^{ns}	1536^{ns}
خشکی×رقم×اکسین a×b×c	1	0.43^{ns}	0.17^{ns}	0.38^{ns}	0.004^{ns}	104940.38^{ns}	29.04^{ns}
خطا Error	12	1.34	3.14	0.61	0.47	53283.75	80612.21
ضریب تغییرات (٪) CV%		*1.04*	*6.23*	*3.06*	*1.91*	*10.96*	*2.89*

جدول ۳. ادامه

Table 3. Continued

منابع تغییرات S.O.V	df	شاخص اسپد SPAD index	درصد روغن Percentage of oil	پرولین Proline	کاتالاز Catalase	پراکسیداز Peroxidase
بلوک Replication	2	0.96*	5.09*	0.68*	0.02**	0.05 ns
خشکی Drought stress (a)	1	32.9**	1.35**	84.38**	5.29**	27.03**
خطا Error	2	0.66	0.17	0.34	0.06	0.15
رقم Cultivar (b)	1	703.08**	50.17**	4**	0.11**	4.62**
اکسین Auxin (c)	1	12.47**	0.18ns	3.53**	0.32**	3.69**
خشکی×رقم a×b	1	0.7ns	0.00000003ns	6.83**	0.09**	1.14*
خشکی×اکسین a×c	1	0.51ns	0.07ns	5.04**	0.28**	0.72 ns
رقم×اکسین b×c	1	2.15**	0.01ns	0.6 ns	0.03 ns	0.1 ns
خشکی×رقم×اکسین a×b×c	1	1.26*	0.000000007ns	0.81 ns	0.03 ns	0.04 ns
خطا Error	12	0.17	0.95	0.17	0.007	0.16
ضریب تغییرات (٪) CV%		*0.58*	*3.76*	*5.91*	*11*	*6.45*

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد را نشان می‌دهند.

Ns, * and ** indicates insignificant, significant at significance levels of 5% and 1%, respectively.

جدول ۴. نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی محلول‌پاشی اکسین بر خصوصیات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی ارقام گلرنگ در شرایط تنش خشکی

Table 4. Results of comparing the mean of the main effects of auxin foliar application on morphological, physiological and biochemical characteristics of safflower cultivars under drought stress

فاکتور Factor	Treatment	تیمار	ارتفاع بوته Plant height	تعداد طبق در بوته Head per plant	تعداد دانه در طبق Seed per head	وزن هزار دانه Weight of 1000 seeds	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield
			cm			g	----------kg.ha^{-1}----------	
تنش خشکی Drought stress	آبیاری معمول Normal irrigation		112.89a	29.92a	26.67a	36.85a	2371.67a	10304a
	قطع آبیاری در مرحله گلدهی Irrigation cut-off at flowering stage		109.61b	26.922b	24.42b	35.06b	1841.42b	9341.5b
رقم Cultivar	Golmehr	گلمهر	120.1a	28.25a	24.17b	27.64b	1685.17b	7776.75b
	Goldasht	گلدشت	102.4b	28.58a	26.92a	44.27a	2527.92a	11868.75a
اکسین Auxin	Control	عدم مصرف	110.59b	27.33b	24.83b	35.31b	1981.5b	9664.67b
	using	مصرف	111.91a	29.5a	26.25a	36.6a	2231.58a	9980.83a

جدول ۴. ادامه

Table 4. Continued

فاکتور Factor	تیمار Treatment	شاخص اسپد SPAD index	درصد روغن Percentage of oil	پرولین Proline	کاتالاز Catalase	پراکسیداز Peroxidase
			%	mM.g^{-1}FW	µmol min $^{-1}$ mg protein^{-1}	
تنش خشکی Drought stress	آبیاری معمول Normal irrigation	72.54^{a}	26.1^{a}	5.16^{b}	0.29^{b}	5.09^{b}
	قطع آبیاری در مرحله گلدهی Irrigation cut-off at flowering stage	70.2^{b}	25.63^{b}	8.91^{a}	1.23^{a}	7.21^{a}
رقم Cultivar	گلمهر Golmehr	65.95^{b}	27.31^{a}	6.63^{b}	0.69^{b}	5.71^{b}
	گلدشت Goldasht	76.78^{a}	24.42^{b}	7.44^{a}	0.83^{a}	6.59^{a}
اکسین Auxin	عدم مصرف Control	70.65^{b}	25.78^{a}	6.65^{b}	0.64^{b}	5.76^{b}
	مصرف using	72.09^{a}	25.95^{a}	7.42^{a}	0.88^{a}	6.54^{a}

میانگین‌هایی که در هر ستون و برای هر عامل حرف مشترک دارند، اختلاف آماری در آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح پنج درصد ندارند.
Means which have at least one common letter are not significantly different at the 5% level using DMRT.

جدول ۵. نتایج مقایسه میانگین پرولین و فالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز ارقام مختلف گلرنگ در شرایط تنش خشکی

Table 5. Results of comparing mean proline and catalase and peroxidase activity of different safflower cultivars under drought stress

تنش خشکی Drought stress	رقم Cultivar	پرولین Proline	کاتالاز Catalase	پراکسیداز Peroxidase
		mM.g^{-1}FW	µmol min $^{-1}$ mg protein^{-1}	
آبیاری معمول Normal irrigation	گلمهر Golmehr	5.28^{c}	0.28^{b}	4.87^{c}
آبیاری معمول Normal irrigation	گلدشت Goldasht	5.03^{c}	0.3^{b}	5.31^{bc}
قطع آبیاری در مرحله گلدهی Irrigation cut-off at flowering stage	گلمهر Golmehr	7.97^{b}	1.1^{a}	6.55^{ab}
قطع آبیاری در مرحله گلدهی Irrigation cut-off at flowering stage	گلدشت Goldasht	9.85^{a}	1.36^{a}	7.87^{a}

میانگین‌هایی که در هر ستون و برای هر عامل حرف مشترک دارند، اختلاف آماری در آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح پنج درصد ندارند.
Means which have at least one common letter are not significantly different at the 5% level using DMRT.

وزن هزار دانه

در نتایج تجزیه واریانس مشاهده گردید که اثرات اصلی خشکی، رقم و اکسین بر وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین وزن هزار دانه تحت تأثیر خشکی حاکی از آن بود که خشکی موجب کاهش وزن هزار دانه از ۳۶/۸۵ گرم به ۳۵/۰۶ گرم شد، به‌عبارت‌دیگر تنش خشکی کاهش ۴/۸۶ درصدی وزن هزار دانه را نسبت به شاهد نشان داد. نتایج وزن هزار دانه تحت تأثیر رقم حاکی از آن بود که رقم گلدشت در مقایسه با رقم گلمهر از وزن هزار دانه بیشتری به میزان ۶۰/۱۷ درصد برخوردار بود. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده کاربرد اکسین افزایش ۳/۶۵ درصدی وزن هزار دانه نسبت به شاهد را موجب گردید (جدول ۴). در بررسی حاضر نیز، دلیل کاهش وزن هزار دانه در شرایط تنش خشکی می‌تواند به این دلیل باشد که وقوع تنش موجب کاهش جذب آب و املاح و در نتیجه، کاهش فتوسنتز برگ و تولید شیره پرورده گردیده است (Moradi Aghdam et al., 2019). کاهش وزن هزار دانه به دنبال تنش خشکی احتمالاً به دلیل کاهش جذب آب و املاح توسط گیاه و به دنبال آن کاهش ساخت و انتقال مواد فتوسنتزی و آسیمیلات‌ها به دانه بوده است که در این شرایط

گیاه حتی با انتقال مجدد ذخایر اندوخته شده خود نیز نتوانسته کاهش آسیمیلات ناشی از تنش را جبران نماید و این وضعیت منجر به کاهش وزن دانه‌ها گردیده است (Zhang et al., 2013). اکسین‌ها با تأثیر بر تقسیم سلولی و بزرگ شدن سلول‌های آندوسپرم و یا کنترل انتقال مواد پرورده به در تعیین ظرفیت مخزن نقش دارند و از این طریق افزایش وزن هزار دانه را به همراه دارند (Hansen and Grossmann, 2000).

عملکرد دانه

بررسی نتایج جدول تجزیه واریانس حکایت از معنی‌دار شدن خشکی و رقم در سطح احتمال یک درصد و اکسین در سطح احتمال پنج درصد بر عملکرد دانه داشت (جدول ۳). بر اساس نتایج مقایسه میانگین عملکرد دانه تحت تأثیر خشکی، اعمال خشکی موجب کاهش عملکرد دانه از ۲۳۷۱/۶۷ به ۱۸۴۱/۴۲ کیلوگرم در هکتار گردید، به‌عبارت‌دیگر تنش خشکی باعث کاهش ۲۲/۳۶ درصدی عملکرد دانه نسبت به شاهد شد. رقم گلدشت (۲۵۲۷/۹۲ کیلوگرم در هکتار) در مقایسه با رقم گلمهر (۱۶۸۵/۱۷ کیلوگرم در هکتار) از عملکرد دانه بیشتری به میزان ۵۰/۰۱ درصد دارا بود. طبق نتایج مقایسه میانگین عملکرد دانه تحت تأثیر اکسین، کاربرد اکسین موجب افزایش عملکرد دانه از ۱۹۸۱/۵ به ۲۲۳۱/۵۸ کیلوگرم در هکتار شد که افزایش ۱۲/۶۲ درصدی عملکرد دانه نسبت به شاهد را به همراه داشت (جدول ۴). تنش خشکی از طریق تأثیر بر آنزیم‌های مؤثر در فرایند فتوسنتز، بستن منفذ روزنه‌ها و کاهش میزان فتوسنتز، ضمن کاهش سطح برگ‌ها، منجر به تسریع پیری برگ شده و باعث کاهش قدرت منبع می‌گردد و این موضوع کاهش عملکرد اقتصادی گیاه را به دنبال دارد (Basal et al., 2014). محققان اظهار داشتند هنگامی‌که گیاه با کمبود آب مواجه گردد، انتقال مواد غذایی به دانه‌ها تقلیل یافته و عملکرد کاهش می‌یابد که ناشی از کاهش تعداد و اندازه طبق‌ها است. تأمین آب کافی در طی مراحل گلدهی و نمو اولیه طبق‌ها، زمانی که تعداد طبق‌ها و دانه‌ها مشخص می‌شود، نقش حیاتی دارد و کمبود آب در مرحله گلدهی با تأثیر منفی بر تشکیل طبق و اندازه دانه، موجب کاهش عملکرد دانه می‌گردد (Khalili and Hamze, 2019). افزایش عملکرد می‌تواند بازتابی از اثر تحریک‌کنندگی هورمون‌های رشد بر رشد گیاه و افزایش در محتوای رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی باشد که می‌تواند منجر به افزایش تولید مواد فتوسنتزی و همچنین انتقال بیشتر مواد فتوسنتزی به دانه باشد (Mervat et al., 2013). به نظر می‌رسد اکسین منجر به بهبود مدیریت دوره رشد رویشی و زایشی گیاه شود. همچنین ممکن است منجر به عملکرد کمی و کیفی مناسب گردد که در پایان سود اقتصادی مناسبی را به دنبال خواهد داشت (Habibi et al., 2015).

عملکرد بیولوژیک

همان‌طور که در جدول تجزیه واریانس ارائه شده است اثر خشکی و رقم در سطح احتمال یک درصد و اثر اکسین در سطح احتمال پنج درصد بر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار شد (جدول ۳). اعمال خشکی موجب کاهش عملکرد بیولوژیک از ۱۰۳۰۴ به ۹۳۴۱/۵ کیلوگرم در هکتار گردید، به‌عبارت‌دیگر تنش خشکی باعث کاهش ۹/۳۴ درصدی عملکرد بیولوژیک نسبت به شاهد شد. رقم گلدشت (۱۱۶۸/۷۵ کیلوگرم در هکتار) در مقایسه با رقم گلمهر (۷۷۷۶/۷۵ کیلوگرم در هکتار) از عملکرد بیولوژیک بیشتری به میزان ۵۲/۶۲ درصد دارا بود. همچنین طبق نتایج مقایسه میانگین عملکرد بیولوژیک تحت تأثیر اکسین، کاربرد اکسین موجب افزایش عملکرد بیولوژیک از ۹۶۶۴/۶۷ به ۹۹۸۰/۸۳ کیلوگرم در هکتار شد که افزایش ۳/۲۷ درصدی عملکرد بیولوژیک نسبت به شاهد را به همراه داشت (جدول ۴). نتایج حاکی از کاهش عملکرد بیولوژیک در اثر تنش خشکی بود، کمبود آب با تأثیر منفی بر باز و بسته شدن روزنه‌ها و فعالیت‌های آنزیمی گیاه، فرایندهای فتوسنتزی، تنفس و تعرق گیاه را مختل می‌کند و در نتیجه رشد گیاه و تولید ماده خشک را کاهش می‌دهد (Andalibi and Nouri, 2014). یکی از علائم کمبود آب در گیاهان، کاهش فشار تورگر و در نتیجه کاهش رشد و توسعه سلولی است، به نظر می‌رسد تنش آب از طریق تأثیر بر طویل شدن و حجیم شدن سلول (رشد) و کاهش کلروفیل و مواد فتوسنتزی ساخته‌شده در گیاه، منجر به کاهش بیوماس و ماده خشک تولیدی می‌شود (Nooruz Poor and Rezvani Moghadam, 2005). از اثرات کاربرد اکسین می‌توان به نقش این هورمون در مسیر فتوسنتز اشاره نمود که بر عملکرد بیولوژیک و میزان شیره پرورده تأثیرگذار می‌باشند. اثر غیرمستقیم هورمون اکسین نیز می‌توان به تأخیر انداختن پیری برگ اشاره نمود که با افزایش دوام سطح برگ میزان انتقال مواد و تولید خالص فتوسنتز در طی فصل رشد بیشتر شده و در نتیجه میزان رشد نیز به دلیل بالا بودن

فتوسنتز بیشتر خواهد بود عدم ریزش برگ‌ها می‌تواند در میزان عملکرد بیولوژیک تأثیرگذار باشد و ازاین‌رو با افزایش سطح برگ و عدم ریزش برگ وزن بوته نیز افزایش خواهد یافت (Maghsodi et al., 2014). اکسین‌ها به‌طورمعمول به‌منظور تحریک تقسیم یاخته‌ای و سیتوکینین‌ها برای تقسیم یاخته‌ای و تمایزیابی از بافت‌های گیاهی و پینه نقش دارند و موجب افزایش وزن گیاه می‌شوند (Zhang and Li, 2006).

شاخص اسپد

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر خشکی، رقم، اکسین و اثر متقابل رقم با اکسین در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل سه فاکتوره خشکی با رقم و اکسین در سطح احتمال پنج درصد بر شاخص اسپد در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌دار داشت (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین شاخص اسپد تحت تأثیر رقم و اکسین نشان داد که مصرف اکسین باعث افزایش ۳/۲ درصدی شاخص اسپد در رقم گلمهر شد ولی در رقم گلدشت تأثیر معنی‌داری را موجب نگردید، به‌طورکلی بیشترین شاخص اسپد به میزان ۷۶/۳۸ و ۷۷/۱۸ در عدم مصرف و مصرف اکسین در رقم گلدشت به دست آمد (جدول ۷). بر اساس نتایج مقایسه میانگین شاخص اسپد تحت تأثیر خشکی، رقم و اکسین بیانگر آن بود که بیشترین شاخص اسپد به میزان ۷۷/۳ و ۷۸/۲۷ از عدم مصرف و مصرف اکسین در رقم گلدشت در شرایط آبیاری معمول حاصل گردید (جدول ۸). در طی تنش کلروپلاست تجزیه و ساختارهای تیلاکوئیدی ناپدید می‌گردند. از طرفی دیگر تنش خشکی باعث ایجاد اختلال در سیستم‌های آنزیمی کاهش‌دهنده فعالیت اکسیژن فعال و افزایش پراکسیداسیون چربی‌ها و در نتیجه خسارت به غشای سلولی و تخریب رنگ‌دانه‌ها می‌گردد (Ruiz-Sanchez et al., 2011). دلیل کاهش کلروفیل را می‌توان تخریب غشاهای تیلاکوئیدهای کلروپلاست و اکسیداسیون نوری کلروفیل به دلیل افزایش فعالیت گونه‌های فعال اکسیژن و افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز دانست (Chegeni et al., 2016). در زمان تنش خشکی روزنه برگ‌ها به‌طور کامل یا جزئی بسته می‌شود و این فرآیند طبیعی فتوسنتز را مختل می‌کند. تنش خشکی تأثیر مستقیم بر کاهش شاخص کلروفیل برگ گیاه دارد (Adebayo et al., 2014). تفاوت بین ژنوتیپ‌ها را می‌توان با مقاومت آن‌ها در برابر تنش خشکی مرتبط دانست. ژنوتیپ‌هایی که مقدار کلروفیل بالاتری داشتند مقاومت بیشتری در برابر تنش خشکی نشان دادند (Gregersen and Holm, 2007). تنش خشکی در رقم‌های حساس به تنش نسبت به رقم‌های متحمل کاهش بیشتری ازلحاظ عدد کلروفیل‌متر در مقایسه با شرایط آبیاری کامل باعث می‌شود. اگر ژنوتیپی تحت تنش خشکی به‌طور نسبی فعالیت فتوسنتزی ثابتی داشته باشد و به‌عبارت‌دیگر سبزینگی برگ خود را حفظ کند، می‌توان فرض نمود که برخی از شکل‌های تحمل در فرایند فتوسنتز تحت تنش خشکی مثل حفظ پتانسیل فشاری در اثر تنظیم اسمزی و یا حفظ پتانسیل آب بالا را دارا است (Bocco et al., 2012).

درصد روغن

بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثرات اصلی خشکی و رقم در سطح احتمال یک درصد بر درصد روغن معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین درصد روغن تحت تأثیر خشکی نشان داد که خشکی موجب کاهش ۱/۸ درصدی میزان روغن نسبت به شاهد شد. همچنین اطلاعات به‌دست‌آمده از مقایسه میانگین درصد روغن تحت تأثیر رقم مشخص کرد که رقم گلمهر در مقایسه با رقم گلدشت از درصد روغن بیشتری به میزان ۱۰/۶۸ درصد برخوردار بود (جدول ۴). محتوای روغن در شرایط تنش خشکی عمدتاً به دلیل اکسید شدن برخی اسیدهای چرب اشباع‌نشده کاهش می‌یابد (Singh and Sinha, 2005). هدف اصلی از کشت گلرنگ استحصال روغن است، بنابراین عملکرد روغن اهمیت بیشتری نسبت به میزان روغن دانه دارد. دلیل این امر ناشی از کنترل بیشتر درصد روغن دانه توسط عوامل ژنتیکی و تأثیرپذیری بالای عملکرد روغن از تغییرات عملکرد دانه نسبت به درصد روغن بوده است (Soleimani et al., 2011). گزارش شده است درصد روغن دانه در اثر اعمال تیمارهای مختلف آبیاری تغییر اندکی می‌کند و دو دلیل ممکن برای تغییرات اندک درصد روغن مطرح است اول اینکه مقدار روغن دانه صفت کمی است که توسط تعداد زیادی ژن کنترل می‌شود و بنابراین احتمال صدمه به‌تمامی ژن‌های کنترل‌کننده این صفت بسیار کم است دوم اینکه درصد روغن، نسبت روغن موجود در دانه به کل وزن دانه است که شامل پوست و فیبر نیز می‌شود. در شرایط اعمال تنش کل وزن دانه نیز کاهش می‌یابد و موجب می‌شود

که با وجود کاهش میزان روغن دانه، درصد روغن دانه تغییر زیادی نداشته باشد (Mosavifar et al., 2009). درصد روغن در شرایط خشکی کاهش یافت. یکی از دلایل آن می‌تواند افزایش میزان اکسیداسیون اسیدهای چرب در شرایط تنش و در نتیجه کاهش درصد روغن باشد. همچنین محققان به کاهش کربوهیدرات‌های قابل‌دسترس، در شرایط تنش خشکی جهت ساختن روغن اشاره کرده‌اند (Awasthi et al., 2014). از طرفی در شرایط تنش خشکی فرآیندهای آنزیمی و تشکیل پروتئین‌ها باعث مصرف آسیمیلات‌ها می‌شود، درواقع گیاه در برابر تنش غیرزنده با تولید ترکیبات زیستی فعال با آثار تنش مقابله می‌کند که با اثر بر عملکرد محصول میزان روغن را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد (Sanchez et al., 2018).

جدول ۶. نتایج مقایسه میانگین تأثیر محلول‌پاشی اکسین بر پرولین و فعالیت آنزیم کاتالاز گلرنگ در شرایط تنش خشکی

Table 6. Results of comparing the mean effect of auxin foliar application on proline and safflower catalase activity under drought stress

تنش خشکی Drought stress	اکسین Auxin	پرولین Proline	کاتالاز Catalase
		$mM.g^{-1}FW$	$\mu mol\ min^{-1}\ mg\ protein^{-1}$
آبیاری معمول Normal irrigation	عدم مصرف Control	5.23[c]	0.28[c]
	مصرف Using	5.08[c]	0.3[c]
قطع آبیاری در مرحله گلدهی Irrigation cut-off at flowering stage	عدم مصرف Control	8.07[b]	1.01[b]
	مصرف Using	9.75[a]	1.46[a]

میانگین‌هایی که در هر ستون و برای هر عامل حرف مشترک دارند، اختلاف آماری در آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح پنج درصد ندارند.
Means which have at least one common letter are not significantly different at the 5% level using DMRT.

پرولین

نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه واریانس حاکی از آن بود که اثر تنش خشکی، رقم و اکسین در سطح احتمال یک درصد بر پرولین معنی‌دار بود، همچنین اثرات متقابل خشکی با رقم و تنش خشکی با اکسین در سطح احتمال یک درصد بر پرولین تأثیر معنی‌دار داشت (جدول ۳). تنش خشکی نسبت به آبیاری معمول موجب افزایش پرولین به میزان ۵۰/۹۵ درصد در رقم گلمهر و ۴۸/۹۳ درصد در رقم گلدشت شد، در شرایط تنش خشکی رقم گلدشت (۹/۸۵ میلی‌مول در گرم وزن تر) دارای پرولین بیشتری نسبت به رقم گلمهر (۷/۹۷ میلی‌مول در گرم وزن تر) بود درحالی‌که در شرایط آبیاری معمول بین دو رقم موردبررسی تفاوت معنی‌داری ازنظر آماری مشاهده نگردید (جدول ۵). طبق نتایج مقایسه میانگین پرولین تحت تأثیر خشکی و اکسین، کاربرد اکسین تأثیر معنی‌دار بر پرولین در شرایط آبیاری معمول نداشت ولی در شرایط تنش خشکی با افزایش پرولین همراه بود. بیشترین پرولین به میزان ۹/۷۵ میلی‌مول در گرم وزن‌تر مربوط به مصرف اکسین در شرایط تنش خشکی بود (جدول ۶).

جدول ۷. نتایج مقایسه میانگین تأثیر محلول‌پاشی اکسین بر شاخص اسپد ارقام مختلف گلرنگ

Table 7. Results of comparing the mean effect of auxin foliar application on the SPAD index of different safflower cultivars.

رقم Cultivar	اکسین Auxin		شاخص اسپد SPAD index
گلمهر Golmehr	Control using	عدم مصرف مصرف	64.92[c] 67[b]
گلدشت Goldasht	Control using	عدم مصرف مصرف	76.38[a] 77.18[a]

میانگین‌هایی که در هر ستون و برای هر عامل حرف مشترک دارند، اختلاف آماری در آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح پنج درصد ندارند.
Means which have at least one common letter are not significantly different at the 5% level using DMRT.

افزایش پرولین در زمان بروز تنش نشان‌دهنده نقش این اسیدآمینه در تنظیم فشار اسمزی است (Din et al., 2011). پژوهشگران عامل تجمع پرولین در اثر تنش خشکی را به افزایش پرولین در شیره سلولی گیاهان و انتقال آن به برگ‌ها مربوط دانستند. ازآنجایی‌که مقادیر پرولین توسط تعادل بین بیوسنتز و کاتابولیسم تعیین می‌شود، لذا، کاهش مصرف پرولین نیز در شرایط تنش از دلایل تجمع آن در گیاه است، به‌طوری‌که توقف در اکسایش پرولین در پتانسیل‌های آب پایین اتفاق می‌افتد. از دیگر دلایل تجمع پرولین می‌تواند تخریب پروتئین‌ها باشد (Jain et al., 2010). پرولین سبب استواری ساختار سه‌بعدی پروتئین‌ها و محافظت از سیستم غشاء سلولی (Verbruggen and Hermans, 2008)، تنظیم اسمزی سلولی (Bhardwaj and Yadav, 2012) و جاروبگری حساس به خشکی است و این امر با افزایش تحمل به خشکی و سازگاری گیاه با شرایط خشک ارتباط نزدیکی دارد. انباشت پروتئین در تنش خشکی ناشی از اکسیداسیون

آن، اتصال و ترکیب ناقص آن در داخل مجموعه پروتئینی است، لذا پرولین در شرایط تنش در سلول انباشت می‌شود (Mostajerani and Rahimi-Eichi, 2008). هورمون‌های گیاهی ازجمله اکسین نقش القای ژن‌های ویژه در سنتز پروتئین‌ها را دارند، همچنین افزایش میزان پرولین با هورمون دلیلی بر افزایش میزان آب بافت‌های گیاه است؛ زیرا پرولین به‌عنوان تنیم کننده‌ای اسمزی عمل می‌کند (Sharma and Dietza, 2006).

جدول ۸. نتایج مقایسه میانگین تأثیر محلول‌پاشی اکسین بر شاخص اسپد ارقام گلرنگ در شرایط تنش خشکی
Table 8. Results of comparing the mean effect of auxin foliar application on the SPAD index of safflower cultivars under drought stress conditions

تنش خشکی Drought stress	Cultivar	رقم	Auxin	اکسین	شاخص اسپد SPAD index
آبیاری معمول Normal irrigation	Golmehr	گلمهر	Control	عدم مصرف	66.63[d]
			Using	مصرف	67.97[c]
	Goldasht	گلدشت	Control	عدم مصرف	77.3[a]
			Using	مصرف	78.27[a]
قطع آبیاری در مرحله گلدهی Irrigation cut-off at flowering stage	Golmehr	گلمهر	Control	عدم مصرف	63.2[e]
			Using	مصرف	66.03[d]
	Goldasht	گلدشت	Control	عدم مصرف	75.47[b]
			Using	مصرف	76.1[b]

میانگین‌هایی که در هر ستون و برای هر عامل حرف مشترک دارند، اختلاف آماری در آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح پنج درصد ندارند.

Means which have at least one common letter are not significantly different at the 5% level using DMRT

کاتالاز

در نتایج تجزیه واریانس مشاهده گردید که اثرات اصلی خشکی، رقم، اکسین و اثرات متقابل خشکی با رقم و خشکی با اکسین بر فعالیت آنزیم کاتالاز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۳). بین ارقام گلمهر و گلدشت تفاوت معنی‌داری در شرایط آبیاری معمول و همچنین در شرایط تنش خشکی وجود نداشت. بااین‌حال تنش خشکی در هر دو رقم موردبررسی با افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز همراه بود. این افزایش در رقم گلمهر ۲۹۲/۸۶ درصد و در رقم گلدشت ۳۵۳/۳۳ درصد بود (جدول ۵). کاربرد اکسین تأثیر معنی‌دار بر فعالیت آنزیم کاتالاز در شرایط آبیاری معمول نداشت ولی در شرایط تنش خشکی با افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز همراه بود، به‌طورکلی بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز به میزان ۱/۴۶ میکرومول پراکسید هیدروژن تجزیه‌شده بر دقیقه در میلی‌گرم پروتئین مربوط به مصرف اکسین در شرایط تنش خشکی بود (جدول ۶). کاتالاز از گروه آنزیم‌های اکسیدوردوکتاز و از دسته پروتئین‌های آهن‌دار محسوب می‌شود که می‌تواند به‌طور مستقیم پراکسید هیدروژن را به آب و اکسیژن تبدیل و سمیت این رادیکال آزاد اکسیژن را به‌طور کامل حذف کند (Sarvajeet and Narendra, 2010). تنش خشکی با القاء تنش اکسیداتیو در گیاهان موجب افزایش ترکیبات ROS می‌شود. در این شرایط فعالیت آنزیم‌های کاتالاز افزایش می‌یابد (Hayat et al., 2010). کاتالاز یکی از مهم‌ترین آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان است که نقش مهمی در سمیت زدایی پراکسید هیدروژن بازی می‌کند (Reddy et al., 2004). به علت نقش اکسین در امر ریشه‌زایی در گیاه و به‌ویژه ریشه‌های جانبی، این امکان وجود دارد که تغییر در فعالیت‌های آنزیمی با تجمع مواد سنتزی در ساقه در مراحل پس از محلول‌پاشی تنظیم‌کننده رشد اکسین در ارتباط باشد (Quddoury and Amssa, 2004).

پراکسیداز

بررسی نتایج جدول تجزیه واریانس حکایت از معنی¬دار شدن خشکی، رقم و اکسین در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل خشکی با رقم در سطح احتمال پنج درصد بر فعالیت آنزیم پراکسیداز داشت. (جدول ۳). اعمال خشکی موجب کاهش ۴۱/۶۵ درصدی فعالیت آنزیم پراکسیداز نسبت به شاهد شد. نتایج مقایسه میانگین فعالیت آنزیم پراکسیداز

تحت تأثیر رقم حاکی از آن بود که رقم گلدشت در مقایسه با رقم گلمهر از فعالیت آنزیم پراکسیداز بیشتری به میزان ۱۵/۴۱ درصد دارا بود. طبق نتایج مقایسه میانگین فعالیت آنزیم پراکسیداز تحت تأثیر اکسین، کاربرد اکسین افزایش ۱۳/۵۴ درصدی فعالیت آنزیم پراکسیداز نسبت به شاهد را به همراه داشت (جدول ۴). همان‌طور که از نتایج مقایسه میانگین فعالیت آنزیم پراکسیداز تحت تأثیر خشکی و رقم مشهود است، بین ارقام گلمهر و گلدشت تفاوت معنی‌داری در شرایط آبیاری معمول و همچنین در شرایط تنش خشکی وجود داشت. نتایج نشان داد که تنش خشکی در هر دو رقم موردبررسی با افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز همراه بود. این افزایش در رقم گلمهر ۳۴/۵ درصد و در رقم گلدشت ۴۸/۲۱ درصد بود، به‌طورکلی بیشترین فعالیت آنزیم پراکسیداز به میزان ۷/۸۷ میکرومول پراکسید هیدروژن تجزیه‌شده بر دقیقه در میلی‌گرم پروتئین مربوط به اعمال تنش خشکی در رقم گلدشت بود (جدول ۵). بر اساس نتایج در شرایط تنش خشکی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان افزایش یافت، سلول‌های گیاهی برای حفاظت در مقابل آسیب‌های تنش‌ها، مجهز به یک سیستم جاروب‌کننده رادیکال‌های آزادند که بخشی از این سیستم شامل آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند پراکسیداز و کاتالاز است (Cho and Park, 2000). به نظر می‌رسد پراکسیدازها عموماً به‌عنوان آنزیم‌های مسمومیت زدای گونه-های اکسیژن فعال عمل می‌کنند، زیرا هیدروژن پراکسید ماده‌ای است که برای دامنه گسترده‌ای از واکنش‌های وابسته به پراکسیداز به‌عنوان ماده پذیرنده الکترون عمل می‌کند و در این میان، پراکسیدازها در امر شکستن هیدروژن پراکسیداز طریق چندین سازوکار مختلف عمل می‌کند. بنابراین چنین استنباط می‌گردد که محلول‌پاشی اکسین ازلحاظ سطوح فعالیت آنزیم پراکسیداز موجب شکسته شدن هیدروژن پراکسید در سلول خواهد شد. بدین شکل از تولید ROSها جلوگیری می‌نماید و با بالا رفتن سطوح فعالیت این آنزیم گیاه کمتر موردتهاجم ROSها قرار می‌گیرد؛ زیرا آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز به‌عنوان اصلی‌ترین آنزیم‌های از بین برنده هیدروژن پراکسید شناخته‌شده‌اند (Kawano, 2003).

نتیجه‌گیری نهایی

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش، رقم گلدشت مقاومت بیشتری به تنش خشکی در مقایسه با رقم گلمهر داشت. همچنین مشاهده گردید که محلول‌پاشی اکسین در شرایط تنش خشکی پرولین و فعالیت آنزیم کاتالاز را افزایش داد. نتایج نشان داد که با محلول‌پاشی اکسین، می‌توان به عملکرد دانه و روغن بیشتری دست پیدا کرد. ضمناً با توجه به صفات مورد ارزیابی و واکنش ارقام موردبررسی می‌توان رقم گلدشت را به‌عنوان رقم برتر در شرایط تنش توصیه نمود

منابع

Adebayo, M.A., Menkir, A., Blay, E., Gracen, V., Danquah, E., Hearne, S., 2014. Genetic analysis of drought tolerance in adapted × exotic crosses of maize inbred lines under managed stress conditions. Euphytica. 196, 261-270.

Andalibi, B., Nouri, F., 2014. Effect of cycocel on photosynthetic activity and essential oil of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) under drought stress. Iranian Journal of Plant Biology. 22, 91-104. [In Persian with English Summary].

Arvin, P., Vafabakhsh, J., Mazaheri, D., 2018. Study of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and drought on physiological traits and ultimate yield of cultivars of oilseed rape (*Brassica* spp. L.). Journal of Agroecology. 9, 1208-1226. [In Persian with English Summary].

Ashrafi, E., Razmjoo, K., 2010. Effect of irrigation regimes on oil content and composition of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars. Journal of the American Oil Chemists' Society. 87, 499-506.

Awasthi, R., Kaushal, N., Vadez, V., Turner, N.C., Berger, J., Siddique, K.H., Nayyar, H., 2014. Individual and combined effects of transient drought and heat stress on carbon assimilation and seed filling in chickpea. Functional Plant Biology. 41, 1148-1167.

Bagheri, N., Alizadeh, O., Zadeh, S.S., Aref, F., Ordookhani, K., 2019. Evaluation of auxin priming and plant growth promoting Rhizobacteria on yield and yield components of

wheat under drought stress. EurAsian Journal of BioSciences. 13, 711-716.

Basal, H., Sezener, V., Canavar, O., Kızılkaya, K., Dagdelen, N., 2014. Effects of water stress and plant density on cotton (*Gossypium hirsutum* L.) cultivars differing in maturity and seed size: I. Yield components and fiber quality parameters. International Journal of Agriculture Innovations Research. 3, 755-760.

Bates, L.S., Waldren, R.P., Teare, I., 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil. 39, 205-207.

Bayati, P., Karimmojeni, H., Razmjoo, J., 2020. Changes in essential oil yield and fatty acid contents in black cumin (*Nigella sativa* L.) genotypes in response to drought stress. Industrial Crops and Products. 155, 112764.

Bhardwaj, J., Yadav, S.K., 2012. Comparative study on biochemical parameters and antioxidant enzymes in drought tolerant and a sensitive variety of Horsegram (*Macrotyloma uniflorum*) under drought stress. American Journal of Plant Physiology. 7, 17-29.

Bistgani, Z.E., Siadat, S.A., Bakhshandeh, A., Pirbalouti, A.G., Hashemi, M., 2017. Interactive effects of drought stress and chitosan application on physiological characteristics and essential oil yield of Thymus daenensis Celak. Crop Journal. 5, 407-415.

Bocco, R., Lorieux, M., Seck, P. A., Futakuchi, K., Manneh, B., Baimey, H., Ndjiondjop, M.N., 2012. Agro-morphological characterization of a population of introgression lines derived from crosses between IR64 (*Oryza sativa* Indica) and TOG 5681 (*Oryza glaberrima*) for drought tolerance. Plant Science. 183, 65–76.

Cakmak, I., Horst, W., 1991. Effect of aluminium on lipid peroxidation, superoxide dismutase, catalase and peroxidase activities in root tip of soybean (*Glysin max*). Plant Phisiology. 83, 463-468.

Chegeni, H., Goldani, M., Shirani Rad, A.H, Kafi, M., 2016. Effects of terminal drought stress on some biochemical and agronomic characteristics in some rapeseed lines (*Brassica napus* L.). Plant Ecophysiology. 27, 20-31. [In Persian with English Summary].

Cho, U.H., Park, J. O., 2000. Mercury- induced oxidative stress in tomato seedlings. Plant Science. 156, 1-9.

Din, J., Soukhan, I., Gurmani, A.R., 2011. Physiological and agronomic response of canola varieties to drought stress. Journal of Plant and Animal Sciences. 21, 78-82.

Eyni-Nargeseh, H., AghaAlikhani, M., Shirani Rad, A.H., Mokhtassi-Bidgoli, A., Modarres Sanavy, S.A.M., 2020. Late season deficit irrigation for water-saving: selection of rapeseed (*Brassica napus*) genotypes based on quantitative and qualitative features. Archives of Agronomy and Soil Science. 66, 126-137.

Gregersen, P.L., Holm, P.B., 2007. Transcriptome analysis of senescence in the flag leaf of wheat. Plant Biotechnology. 5, 192-206.

Habibi, H., Ghavami, M., Fotokian, M., Talaei, G., 2015. Effect of foliar applications with auxin (indole-3-acetic acid (IAA)) and planting dates on yield quality and quantity of in three cultivars of cotton fibers. International Journal of Biosciences. 6, 9-15.

Hama, J.R., 2017. Comparison of fatty acid profile changes between unroasted and roasted brown sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds oil. International Journal of Food Properties. 20, 957-967.

Hansen, H.K., Grossmann, K., 2000. Auxin-induced enthylene triggers abscisic acid biosynthesis and growth inhibition. Plant Physiology. 124, 1437-1448.

Hashemi, S.S., Mirmohamadsadeghi, S., Karimi, K., 2020. Biorefinery development based on whole safflower plant. Renewable Energy. 152, 399-408.

Hayat, Q., Hayata, S.H., Irfan, M., Ahmad, A., 2010. Effect of exogenous salicylic acid under changing environment review. Environmental and Experimental Botany. 68, 14–25.

Hong, L., Ye, C., Lin, J., Fu, H., Wu, X., Li, Q.Q., 2018. Alternative polyadenylation is involved in auxin-based plant growth and development. The Plant Journal. 93, 246-258.

Jaberi, H., Lotfi, B., Jamshidnia, T., Fathi, A., Olad, R., Abdollahi, A., 2015. Survey of yield of winter canola cultivars under drought stress on the yield at four different phonological stages. Scientia. 12, 144-148.

Jain, S., Yue-Lioang, R., Mei-wang, L.E., Ting-Xian, Y., Xiao-Wen, Y., Hong- Ving, Z., 2010. Effect of drought stress on sesame growth and yield characteristics and comprehensive

evaluation of drought tolerance. Chinese Journal of Oil Crops Sciences. 4, 42-48.

Karami Chame, S., Khalil-Tahmasbi, B., ShahMahmoodi, P., Abdollahi, A., Fathi, A., Seyed Mousavi, S.J., Bahamin, S., 2016. Effects of salinity stress, salicylic acid and Pseudomonas on the physiological characteristics and yield of seed beans (*Phaseolus vulgaris*). Scientia. 14, 234-238.

Kawano, T., 2003. Roles of the reactive oxygen species-generating peroxidase reactions in plant defense and growth in duction. Plant Cell Reproduction. 21, 829-837.

Khalili, M., Hamze, H., 2019. Effect of Super-Adsorbent and Irrigation Levels on Quantitative and Qualitative Characteristics of Sugar Beet (*Beta vulgaris*). Journal of Crop Ecophysiology. 3, 395-412.

Lang, D., Lyu, D., Zhu, Z., Qin, S., 2019. Exogenous Glucose Mediates the Regulation of Root Morphology and Carbon–Nitrogen Metabolism by Indole-3-Acetic Acid (IAA) in *Malus baccata* L. Borkh. in Soil with Low Organic Carbon Content. Journal of Plant Growth Regulation. 38, 1598-1615.

Lesk, C., Rowhani, P., Ramankutty, N., 2016. Influence of extreme weather disasters on global crop production. Nature. 529, 84-87.

Maghsodi, B., Jafari, B., Jafari., A., 2014. Effect of micronutrient elements and hormone auxin on yield and yield components of durum wheat. Journal of Plant Ecophysiology. 16, 13-26. [In Persian with English Summary].

Mervat, S.S., Mona, G.D., Bakry, B.A., El-Karamany, M.F., 2013. Synergistic effect of indole acetic acid and kinetin on performance, some biochemical constituents and yield of faba bean plant grown under newly reclaimed sandy soil. World Journal of Agricultural Sciences. 9, 335-344.

Moradi Aghdam, A., Sayfzadeh, S., Shirani Rad, A.H., Valadabadi, S.A., Zakerin, H.R., 2019. The assessment of water stress and delay cropping on quantitative and qualitative traits of rapeseed genotypes. Industrial Crops and Products. 131, 160-165.

Moravveji, S., Zamani, G.R., Kafi, M., Alizadeh, Z., 2016. Effect of different salinity levels on yield and yield components of spring canola cultivars (*Brassica napus* L.) and Indian mustard (B. *juncea* L.). Environmental Stresses in Agricultural Sciences. 10, 445-457.

Mosavifar, B.A., Behdani, M.A., Jami Alahmadi, M., Hoseini Bojd, M.S., 2009. The effect of irrigation disruption in different reproductive growth stages on yield, yield components and oil content in three spring safflower cultivars. Agroecology. 1, 41-51. [In Persian with English Summary].

Mostajerani, A., Rahimi-Eichi, V., 2008. Drought stress effects on root anatomical characteristics of rice cultivars (*Oryza sativa* L.). Pakistan Journal of Biological Science. 11, 2173-2183.

Nickel, R.S., Cunningham, B.A., 1969. 'Improved peroxidase assay method using Ieuco 2,3,6-trichlcroindophenol and application to comparative measurements of peroxidase catalysis'. Analytical Biochemistry. 27, 292–299.

Nooruz Poor, G., Rezvani Moghadam, P., 2005. Effect of different irrigation intervals and plant density on yield and yield components of Nigella sativa. Iranian Journal of Field Crops Research. 3, 305-315. [In Persian with English Summary].

Ongom, P.O., Volenec, J.J., Ejeta, G., 2016. Selection for drought tolerance in sorghum using desiccants to simulate post-anthesis drought stress. Field Crops Research. 198, 213-321.

Papastylianou, P., Argyrokastritis, I.G., 2014. Effect of limited drip irrigation regime on yield, yield components, and fiber quality of cotton under Mediterranean conditions. Agricultural Water Management. 142, 127–134.

Quddoury, A., Amssa, M., 2004. Effect of exogenous indole butyric acid on root formation and peroxidase and indole-3-acetic acid oxidase activities and phenolic contents in date palm offshoots. Botanical Bulletin Academic Sinia. 45, 127-131.

Rady, M.M., Abd El-Mageed, T.A., Abdurrahman, H.A., Mahdi, A.H., 2016. Humic acid application improves field performance of cotton (*Gossypium barbadense* L.) under saline conditions. The Journal of Animal and Plant Sciences. 26, 487-493.

Rady, M.O., Semida, W.M., Abd El-Mageed, T.A., Howladar, S.M., Shaaban, A., 2020. Foliage Applied Selenium Improves Photosynthetic Efficiency, Antioxidant Potential and Wheat Productivity under Drought Stress. International Journal of Agriculture and Biology. 24, 1293-1300.

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

Reddy, A.R., Chaitany, K.V., Vivekanandan, M., 2004. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. Journal Plant Physiology. 161, 1189-1202.

Ruiz-Sanchez, M., Armada, E., Munoz, Y., Garcia de Salamone, I.E., Aroca, R., Ruiz-Lozano, J.M., Azcon, R., 2011. Azospirillum and arbuscular mycorrhizal colonization enhance rice growth and physiological traits under wellwatered and drought conditions. Journal of Plant Physiology. 168, 1031–1037.

Said-Al Ahl, H.A.H., Mehanna, H.M., Ramadan, M.F., 2016. Impact of water regime and phosphorus fertilization and their interaction on the characteristics of rapeseed (*Brassica napus* L.) and fatty acid profile of extracted oil. Communications in Biometry and Crop Science. 11, 64-76.

Sanchez, J., Canales Castilla, F.J., Tweed, J.K., Lee, M.R.F., Rubiales, D., Gómez-Cadenas, A., Arbona, V., Mur, L.A., Prats, E., 2018. Fatty acid profile changes during gradual soil water depletion in oats suggests a role for jasmonates in coping with drought. Frontiers in Plant Science. 9, 1077.

Sarvajeet, S.G., Narendra, T., 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in a biotic stress tolerance in crop plants. Plant Physiology and Biochemistry. 3, 1-22.

Sepehri, A., Golparvar, A.R., 2011. The effect of drought stress on water relations, chlorophyll content and leaf area in canola cultivars (*Brassica napus* L.). Electronic Journal of Biology. 7, 49-53.

Sharma, E., Sharma, R., Borah, P., Jain, M., Khurana, J. P., 2015. Emerging roles of auxin in abiotic stress responses. Elucidation of Abiotic Stress Signaling in plants. Springer. pp. 299-328.

Sharma, S.S., Dietza, K., 2006. The significance amino acids and amino acid-derived molecules in plant responces and adaptation to heavy metal stress. Journal of Experimental Botany. 57, 711-726.

Singh, S., Sinha, S., 2005. Accumulation of metals and its effects in *Brassica juncea* L. Czern. (cv. Rohini) grown on various amendments of tannery waste. Ecotoxicology and Environmental Safety. 62, 118–127.

Soleimani, A., Moradi, E., Narenjani, L., 2011. Investigation of the effects of irrigation interruption at different growth stages on seed and oil yield of autumn rapeseed cultivars. Journal of Soil and Water Science and Technology. 25, 426-435.

Valiyari, M., Nourafcan, H., 2018. Effect of IAA and BAP on morphophysiological traits of lemon balm. Agroecology Journal. 13, 23-32. [In Persian with English Summary].

Verbruggen, N., Hermans, C., 2008. Proline accumulation implants: A review. Amino Acids. 35, 753–759.

Zhang, H., Berger, J.D., Milroy, S.P., 2013. Genotype × environment interaction studies highlight the role of phenology in specific adaptation of canola (*Brassica napus*) to contrasting Mediterranean climates. Field Crops Research. 144, 77-88.

Zhang, S.Z., Li, J.R., 2006. Effect of plant growth regulators combination to the stem disc callus regeneration system of garlic (*Allium sativum* L.). Seed. 6, 38-40.