تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد چهاردهم، شماره سوم، پائیز ۱۴۰۰
۶۱۹-۶۲۷
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2020.3179.1812

مقاله پژوهشی

ارزیابی تنش خشکی بر اسیدهای چرب غیراشباع و برخی صفات فیزیولوژیک چهار رقم گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) در جیرفت

بهاره پارسامطلق[1*]، سیده محبوبه میرمیران[2]، فاطمه فاطمی‌نیک[3]، مجید محمودی[3]
۱. عضو هیئت‌علمی گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت. جیرفت. ایران
۲. استادیار پژوهشی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد. ایران
۳. مربی گروه کشاورزی دانشگاه پیام نور ایران

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۲/۰۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۱/۱۵

چکیده

توسعه محصولات دانه روغنی جایگزین با عملکرد دانه قابل‌قبول در شرایط خشکی و ارقام زراعی پایدار و سازگار با محدودیت‌های زیست‌محیطی برای امنیت غذایی بسیار مهم است و می‌تواند راهبردی در مدیریت پایدار کشاورزی باشد. به همین منظور مطالعه‌ای با بررسی تأثیر تنش خشکی بر خصوصیات برخی ارقام گیاه گلرنگ به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار در مزرعه پژوهشی دانشگاه جیرفت در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ انجام شد. آبیاری به‌عنوان فاکتور اصلی در دو سطح شامل آبیاری معمول (بر اساس ۸۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر کلاس A) و تنش خشکی (قطع آبیاری از مرحله گلدهی تا مرحله رسیدگی) و رقم‌ها به‌عنوان فاکتور فرعی شامل سینا، پدیده، زرقان ۲۷۹ و ژیلا بود. نتایج نشان داد، تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار وزن هزار دانه، عملکرد دانه، درصد روغن و میزان کلروفیل برگ شد، ولی اثر تنش بر میزان کاروتنوئید برگ معنی‌دار نشد. میزان کلروفیل در شرایط تنش خشکی کمتر از آبیاری معمول بود و رقم زرقان ۲۷۹ بیشترین محتوی کلروفیل و رقم ژیلا کمترین میزان کلروفیل را داشت. عملکرد دانه در تیمارهای آبیاری در دوره گلدهی تا رسیدگی نسبت به تیمار بدون تنش ۲۰ درصد کاهش عملکرد داشت. در بین ارقام، موردمطالعه رقم زرقان ۲۷۹ بالاترین عملکرد دانه (۲۴۷۳ کیلوگرم در هکتار)، بیشترین درصد روغن (۳۵/۰۱)، پایداری روغن (۳۰ درصد)، بیشترین اسید اولئیک (۲۳/۴ درصد) و اسید لینولئیک (۷۶/۳ درصد) را داشت.

***واژه‌های کلیدی:* اسیداولئیک، اسیدلینولئیک، پایداری روغن، درصد روغن، عملکرد دانه، کاروتنوئید**

مقدمه

گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) گیاهی علفی، یک‌ساله و از خانواده کاسنیان[1] است. به دلیل کاربردهای زیاد محصول برای تولید روغن، رنگ طبیعی، سوخت بیودیزل، جایگزین تناوب آفتابگردان و ازلحاظ مقاومت به خشکی در مناطق نیمه‌خشک مورداستفاده قرار می‌گیرد (Nogales-Delgado et al., 2019). با توجه به شرایط اقلیمی کشور ایران، از بین دانه‌های روغنی، گلرنگ از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. خصوصیات مطلوب و خاص این گیاه نظیر قدرت سازگاری بالا، تحمل به سرما و مقاومت نسبی به خشکی به دلیل داشتن ریشه عمیق، همچنین مقاومت به شوری، کیفیت بالای روغن دانه آن را به‌عنوان گیاه روغنی سازگار با شرایط کشور باارزش نموده است (Khajeh pour, 2005).

[1] Compositae or Asteracea

* نگارنده پاسخگو: بهاره پارسامطلق. پست الکترونیک: bparsam@ujiroft.ac.ir

عملکرد روغن عمده‌ترین محصول اقتصادی حاصل از کشت و کار گلرنگ است، روش‌های مدیریتی کشت و شرایط محیطی، عملکرد بذر و ترکیب روغن را تغییر می‌دهند (Roche et al., 2019). روغن دانه گلرنگ حاوی مقدار زیادی اسیدهای چرب اشباع‌شده (پالمیتیک و استئاریک) و اشباع‌نشده (اولئیک، لینولئیک و لینولنیک) است که ممکن است تحت تأثیر تنش‌های غیرزنده خشکی قرار گیرد (García-Moreno et al., 2014). میزان روغن دانه گلرنگ از ۲۰ تا ۴۰ درصد به ژنوتیپ‌ها و شرایط رشد بستگی دارد و ۹۰ درصد روغن دانه گلرنگ دو اسید چرب غیراشباع اولئیک و اسید لینولئیک هستند و ۱۰ درصد باقیمانده مربوط به اسیدهای چرب اشباع، پالمیتیک و اسید استئاریک است (Liu et al., 2016). اسیدهای چرب غیراشباع اولئیک و لینولئیک بیش از ۸۷ درصد از کل اسیدهای چرب را تشکیل می‌دهند (Roche et al., 2019).

آب یکی از عوامل محدودکننده است که بر فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان تأثیر می‌گذارد (Stránský et al., 2005). شدت و زمان وقوع تنش خشکی بر عملکرد دانه و روغن مؤثر است (Lovelli et al., 2007). تنش خشکی در مرحله‌ی رشد رویشی از طریق کاهش تولید ماده خشک باعث کاهش عملکرد دانه در گیاه می‌شود (Omidi, 2011). از بین رفتن رنگیزه‌های سبز باعث کاهش تولید پروتئین می‌شود که ارتباط مستقیم با میزان کلروفیل دارد (Delkhoush et al., 2006; Sio-Se Mardeh et al., 2006). کلروفیل‌ها از عمده‌ترین ماکرومولکول‌ها و مهم‌ترین رنگ‌دانه‌های جذب‌کننده نور در غشاهای تیلاکوئیدی می‌باشند که در تنش‌های محیطی از قبیل خشکی، شوری، نوری، حرارتی و فلزات سنگین آسیب می‌بینند (Lichtenthaler and Babani, 2000). تحت تأثیر تنش محتوی کلروفیلی برگ تغییر و فعالیت آنزیم‌های چرخه کال وین در فرایند فتوسنتز کاهش می‌یابد (Cruz de Carvalho, 2008; He et al., 2005). در گلرنگ، تنش خشکی میزان اسید چرب غیراشباع و نسبت اسیدهای لینولنیک و لینولئیک (Hamrouni et al., 2001) و محتویات کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها (Chavoushi et al., 2020) را کاهش داد. در تحقیقی اثر آبیاری در مراحل انتهایی فصل بر اسید اولئیک و اسید لینوئیک گیاه گلرنگ معنی‌دار بود (Pourdad et al., 2008). برخی محققان، افزایش اسید اولئیک به میزان ۲/۶ درصد را در شرایط بدون آبیاری نسبت به شرایط آبیاری کامل گزارش کردند (Flagella et al., 2002). این پژوهش با هدف ارزیابی تنش خشکی بر عملکرد دانه و برخی صفات فیزیولوژیک و شناسایی رقم مطلوب از میان چهار رقم مورد مطالعه گلرنگ در منطقه جیرفت انجام شده است.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر تنش خشکی بر عملکرد و شاخص‌های تحمل به تنش گیاه گلرنگ، آزمایشی مزرعه‌ای به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه جیرفت در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ انجام شد. عامل اصلی آبیاری در دو سطح شامل ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A (تیمار بدون تنش)، قطع آبیاری از مرحله گلدهی تا مرحله رسیدگی (تیمار تنش خشکی) و عامل فرعی شامل چهار رقم گلرنگ سینا، پدیده، زرقان و ژیلا بودند. نتایج آزمایش برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از کاشت گیاهان در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1. Soil physicochemical properties at the experimental location

بافت خاک Soil texture		پتاسیم Potassium	فسفر Phosphorous	ماده آلی Organic matter	نیتروژن Nitrogen	هدایت الکتریکی Ec	اسیدیته pH
		----------ppm----------		----------%----------		dS/m	
Loamy silt	سیلت لومی	209	8	0.4	0.083	1.63	8.3

هر کرت آزمایشی شامل ۶ ردیف کاشت به طول ۶ متر بود. گیاهان بافاصله بین ردیف ۵۰ سانتیمتر و فاصله بین بوته ۴ سانتی‌متر کاشته شدند. سیستم آبیاری به‌صورت قطره‌ای و اولین آبیاری بعد از کاشت بذور انجام شد. با ظهور ۵۰ درصد

گل‌ها این مرحله به‌عنوان مرحله‌ی گلدهی در نظر گرفته شد و به‌منظور اعمال تنش تا مرحله‌ی رسیدگی فیزیولوژیک گیاهان آبیاری اعمال نشد. برداشت گیاهان پس از حذف دو ردیف حاشیه هر کرت و در سطحی معادل یک مترمربع انجام شد. اندازه‌گیری غلظت کلروفیل a، b(Arnon, 1967) و کاروتنوئیدها (Lichtenthaler, 1987) در طول‌موج‌های ۶۶۶، ۶۵۳ و ۴۷۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر جنوی (مدل Jenway۶۳۰۵) انجام شد. مقادیر جذب در معادله‌های ۱ تا ۴ قرار گرفت و غلظت کلروفیل‌های a، b، کل و کاروتنوئیدها به دست آمد.

$$Chl_a=15.65\times A_{666}-7.34\times A_{653} \quad [۱]$$

$$Chl_b=27.05\times A_{653}-11.21\times A_{666} \quad [۲]$$

$$Carotenoid=(1000\times A_{470}-1.63\times Chl_a-104.96\times Chl_b)/221 \quad [۳]$$

$$Chl_{total}=Chl_a+chl_b \quad [۴]$$

اندازه‌گیری اسیدهای چرب به روش انحلال کلروفرمی انجام شد. روغن استخراجی توسط دستگاه کروماتوگرافی گازی، مدل GC-1000، با ستون کاپیلاری به ابعاد ۳۰ متر طول با قطر داخلی ۰/۵ میلی‌متر، جداسازی و بر اساس پیک استخراجی که نمونه‌های استاندارد اسیدهای چرب داشتند، شناسایی و اندازه‌گیری شدند (Primomo et al., 2002). پایداری روغن بر اساس نسبت اسیدهای چرب اسید اولئیک (۱۸:۱) به اسید لینولئیک (۱۸:۲) محاسبه شد Purdy, (1985). تجزیه واریانس داده‌ها توسط نرم‌افزار آماری SAS 9.4 ، مقایسه میانگین تیمارها در شرایط تنش و بدون تنش با آزمون t و مقایسه میانگین رقم‌ها بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد محاسبه شد.

نتایج و بحث

محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی

محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل تحت تأثیر آبیاری، رقم و اثر متقابل آن‌ها قرار گرفت (جدول ۲). اعمال تنش خشکی به ترتیب سبب کاهش ۲۹، ۲۱ و ۲۷ درصدی در مقدار کلروفیل a، b و کلروفیل کل در مقایسه با شرایط بدون تنش شد (شکل ۱).

غلظت کلروفیل a نسبت به کلروفیل b در گیاهان تحت تنش خشکی بیشتر است (Jiang and Huang, 2001) و تغییرات محتوی کلروفیل b بیشتر از کلروفیل a بود (Amini and Haddad, 2013). در مطالعه تأثیر تنش خشکی بر گیاه گلرنگ، محتوای کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها با افزایش سطح تنش خشکی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (Chavoushi et al., 2020). بیشترین و کمترین مقدار کلروفیل a، b و کلروفیل کل نیز به ترتیب در ارقام زرقان ۲۷۹ و ژیلا به دست آمد (شکل ۱). اعمال تنش خشکی در تمامی ارقام سبب کاهش میزان کلروفیل‌های a، b و کلروفیل کل شد. بیشترین میزان کلروفیل در شرایط بدون تنش و اعمال تنش در رقم زرقان ۲۷۹ به دست آمد. در رقم پدیده هرچند اعمال تنش سبب کاهش کلروفیل a و کلروفیل کل شد، اما این کاهش ازلحاظ آماری معنی‌دار نبود. در رقم سینا نیز آبیاری تأثیر معنی‌داری بر میزان کلروفیل b نداشت (شکل ۱).

جدول ۲. تجزیه واریانس میانگین مربعات صفات موردبررسی در چهار رقم گلرنگ

Table 2. Variance analysis of measured traits in four cultivars csafflower

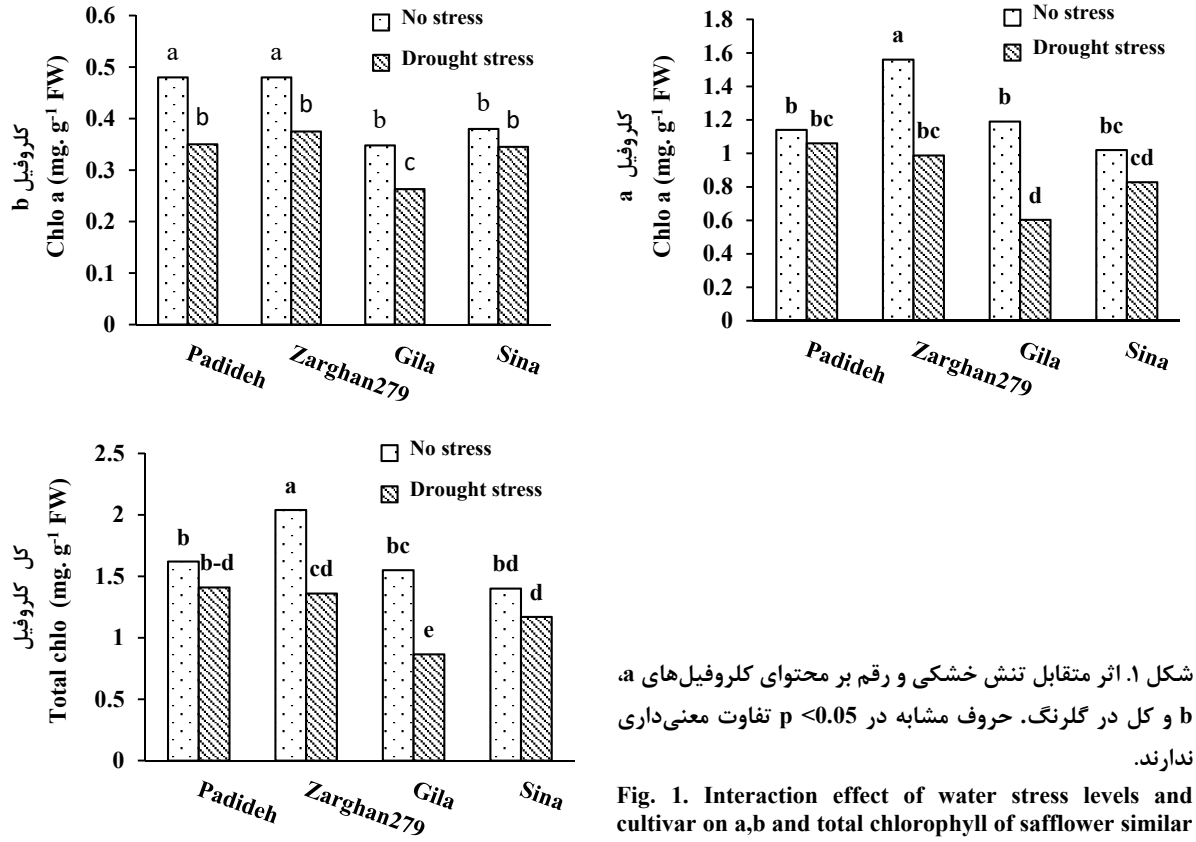
Source of variation	منابع تغییر	کلروفیل a Chl a	کلروفیل b Chl b	کلروفیل کل T. Chl	کاروتنوئید×۱۰$^{-۵}$ CRTD×10^{-5}	درصد روغن Oil.p
Block	**بلوک**	0.006^{ns}	0.003^{ns}	0.001^{ns}	4.6^{ns}	30.5*
Irrigiation (I)	**آبیاری**	1.04***	0.063***	1.61***	17.6^{ns}	1443**
Block*Irrigiation	**خطای a**	0.016	0.002	0.015	2.06	36.5
Cultivar (C)	**رقم**	0.241*	0.025***	0.403*	61***	94.9**
I × C	**آبیاری×رقم**	0.136*	0.003*	0.14*	0.645^{ns}	23.6*
Block × C	**بلوک×رقم**	0.019^{ns}		0.021	8.248*	5.07
Error b	**خطای b**	0.028	0.001	-	1.706	-
C.V (%)	**ضریب تغییرات**	*15.98*	*8.37*	*12.93*	*1.39*	*9.87*

Table 2. Continued **جدول ۲. ادامه**

Source of variation	منابع تغییر	اسید لینولئیک lino(C18:2)	اسید اولئیک olei(C18:1)	پایداری روغن×۱۰$^{-۵}$ Oil.st×10^{-5}	وزن هزار دانه 1000 s.w	عملکرد دانه SYH
Block	**بلوک**	1.793^{ns}	0.994^{ns}	22^{ns}	8.65^{ns}	20549^{ns}
Irrigiation (I)	**آبیاری**	186***	187***	1730***	203*	1949325***
Block*Irrigiation	**خطای a**	14.7	0.237	45	3.88	2945
Cultivar (C)	**رقم**	184***	40.7***	210*	20.52^{ns}	394053***
I × C	**آبیاری×رقم**	29.4*	7.088***	290*	10.05^{ns}	56512**
Block × C	**بلوک×رقم**	-	0.497^{ns}	-	7.018^{ns}	7563^{ns}
Error b	**خطای b**	5.17	0.695	20	16.3	6246
C.V (%)	**ضریب تغییرات**	*2.27*	*3.74*	*6.62*	*9.78*	*3.58*

ns، *،** و*** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال خطای آماری پنج، یک و یک‌دهم درصد

*, ** and *** significant at 0.05, 0.01 and 0.001 levels, respectively; ns: not significant. SY: seed yield,1000 s.w= the weight of one thousand seeds, Chl a =Chlorophyll a, Chl b =Chlorophyll b, t chl=Total chlorophyll, CRTD =carotenoid,lino=linoleic acid(C18:2),oli= oleic acid (C18:1), (C18:1)/ (C18:2)=oil stability



شکل ۱. اثر متقابل تنش خشکی و رقم بر محتوای کلروفیل‌های a، b و کل در گلرنگ. حروف مشابه در p <0.05 تفاوت معنی‌داری ندارند.

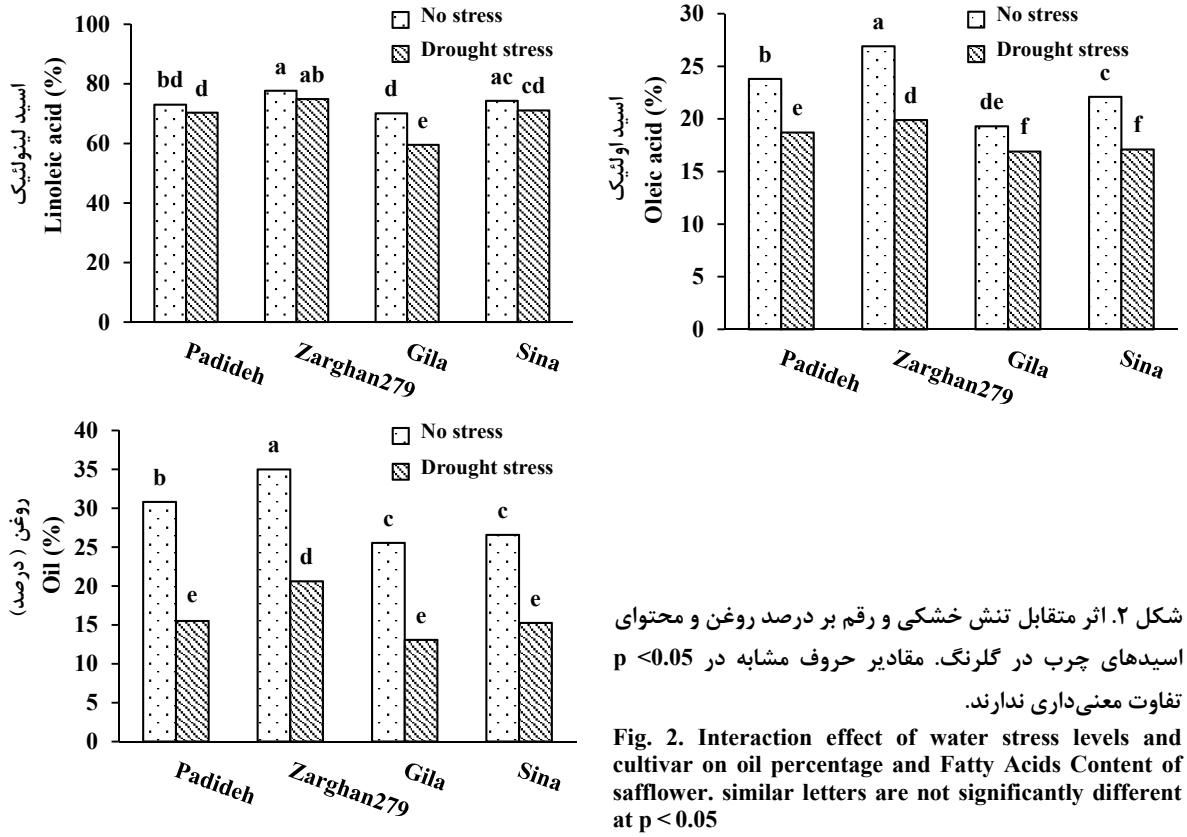
Fig. 1. Interaction effect of water stress levels and cultivar on a,b and total chlorophyll of safflower similar letters are not significantly different at p < 0.05

میزان کاروتنوئیدهای برگ نیز تحت تأثیر رقم قرار گرفت و بیشترین و کمترین میزان کاروتنوئیدها به ترتیب در ارقام زرقان ۲۷۹ و ژیلا مشاهده شد. کاهش تجمع کلروفیل در گیاهان ممکن است به دلیل کاهش بیوسنتز کلروفیل یا به دلیل افزایش تخریب آن یا اثر ترکیبی باشد (Fahad et al., 2017). تنش‌های آبی بر بخش نوری فتوسنتز و سیستم رنگیزه‌ای مؤثر واقع می‌شود. درواقع با افزایش مقدار تنش و یا کاهش پتانسیل آب خاک روند تخریب رنگیزه‌های کلروفیل

با سرعت بیشتری انجام می‌شود (Mittler, 2002). در شرایط تنش خشکی گیاه جهت حفظ آب سلول اندام‌های مختلف، روزنه‌های خود را می‌بندد و میزان فتوسنتز به دلیل کمبود میزان دی‌اکسید کربن کاهش می‌یابد در چنین شرایطی میزان تشکیل رادیکال‌های فعال اکسیژن به‌ویژه رادیکال سوپر اکسید در کلروپلاست افزایش پیدا می‌کند. رادیکال‌های آزاد باعث تخریب ماکرومولکول‌ها و پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء می‌شوند (Sofo et al., 2004).

درصد روغن

تأثیر تیمار آبیـاری، رقم و اثر متقابل آن‌ها بر درصد روغن گلرنگ معنی‌دار بود (جدول ۲). بررسی‌ها در سـطوح تیمار آبیاری نشان داد قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی تا رسیدگی، درصد روغـن نسبت به تیمار بدون تنش را ۴۲ درصد کاهش داده است و به ترتیب بیشترین و کمترین درصد روغن به رقم‌های زرقان ۲۷۹ (۳۵ درصد) و سینا (۲۵/۵ درصد) تعلق داشت (شکل ۲). تنش خشکی هنگام پر شدن بذر دلیل اصلی کاهش محتوای روغن گلرنگ است (Mohammadi et al., 2016). محققان گزارش کردند کاهش قابل‌توجهی در میزان اسید اولئیک، اسید لینولئیک، اسید لینولنیک و اسید پالمیتیک به دلیل کمبود آب آبیاری در گیاهان آفتابگردان، کنجد و گلرنگ مشاهده شد (Ebrahimian et al., 2019)؛ بنابراین به نظر می‌رسد درصد روغن در شرایط تنش رطوبتی به علت عدم انتقال مواد غذایی منجر به کاهش اندازه و کیفیت بذر و کاهش وزن هزار دانه و زودرسی گیاه نسبت به شرایط بدون تنش شده و درصد روغن کاهش می‌یابد.



شکل ۲. اثر متقابل تنش خشکی و رقم بر درصد روغن و محتوای اسیدهای چرب در گلرنگ. مقادیر حروف مشابه در $p<0.05$ تفاوت معنی‌داری ندارند.

Fig. 2. Interaction effect of water stress levels and cultivar on oil percentage and Fatty Acids Content of safflower. similar letters are not significantly different at $p < 0.05$

اسید اولئیک و اسید لینولئیک

نتایج نشان داد آبیاری، رقم و اثر متقابل آن‌ها بر اسید اولئیک و اسید لینولئیک معنی‌دار بود (جدول ۲).

نتایج مقایسه میانگین‌های تیمارهای آبیاری نشان داد که اعمال تنش به ترتیب سبب کاهش ۲۱ و ۶ درصد اسیدهای چرب اولئیک و لینولئیک شد. بیشترین و کمترین درصد اسیدهای چرب اولئیک و لینولئیک به ترتیب در ارقام زرقان ۲۷۹ و ژیلا مشاهده شد (شکل ۲). به نظر می‌رسد تفاوت درصد اسیدهای چرب بین ارقام مختلف بیانگر آن است که با افزایش شدت تنش آبی، مقدار تنفس گیاه افزایش می‌یابد و

از این طریق انرژی نگهداری پایه گیاه بیشتر و از ذخایر چربی گیاه کاسته خواهد شد و درنتیجه کاهش اسیدهای چرب را به دنبال دارد (Sibi et al., 2011). تنش خشکی میزان اسید چرب غیراشباع و نسبت اسیدهای لینولنیک و لینولئیک را کاهش می‌دهد (Hamrouni et al., 2001). قطع آبیاری باعث افزایش اسیدهای چرب اشباع (اسید پالمیتیک و استئاریک) و کاهش ویتامین E و اسید لینولئیک می‌شود (Taghizadeh et al., 2019). برخی از پژوهشگران گزارش دادند که ارقامی که دارای اولئیک اسید پایینی دارند دارای لینولئیک بالایی دارند (Dajue and Griffee, 2001). نتایج این پژوهش با گزارش گکجل و همکاران (Gecgel et al., 2005) مطابقت دارد ارقامی از گلرنگ که دارای اسید اولئیک بالایی دارند از اسید لینولئیک بالایی نیز برخوردار هستند. در پژوهش حاضر، رقم و آبیاری، میزان اسید اولئیک و اسید لینولئیک را تحت تأثیر قرارداد به‌طوری‌که بیشترین میزان اسید اولئیک و لینولئیک در رقم زرقان ۲۷۹ و در شرایط آبیاری معمول حاصل شد. نتایج این تحقیق با نتایج محققین دیگری (Berquin et al., 2008; Smith, 2005) که بیان داشتند درصد اسید چرب لینولئیک تحت تأثیر آبیاری قرار داشت، در یک راستا بود. تأثیر آبیاری تنها بین تیمار کم‌آبیاری در مراحل گلدهی و دانه‌بندی با آبیاری کامل اختلاف معنی‌داری وجود داشت و دارای درصد کمتری اسید لینولئیک بود (Karimi et al., 2010). تنش خشکی موجب زودرسی شده که طول دوره پر شدن دانه کاهش می‌یابد و زمان کوتاه‌تر برای تبدیل اولئیک به اسید لینولئیک را کاهش می‌دهند که دلیل اصلی کاهش نسبت اسید لینولئیک در شرایط تنش خشکی باشد (Nazari et al., 2017).

پایداری روغن

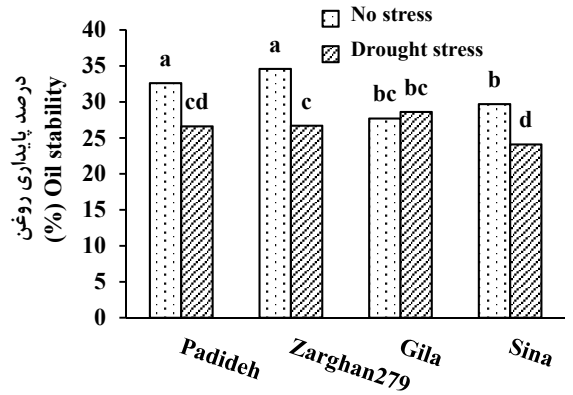
پایداری روغن نسبت اسید اولئیک (۱۸:۱) به اسید لینولئیک (۱۸:۲) است که در ارقام گلرنگ از ۰/۲ تا ۰/۳ اسید لینولئیک، ۵/۳۴ تا ۱۱/۳ اسید اولئیک متغیر است، در ارقام وحشی گلرنگ این نسبت‌ها بالاتر است (Arslan, 2007). روغن‌هایی که پایداری اکسیداتیو بالایی دارند برای درجه حرارت بالا مانند سرخ کردن و سوخت بیودیزل مناسب هستند (Fernandez Cuesta et al., 2014). اثر متقابل آبیاری و رقم بر پایداری روغن معنی‌دار بود (جدول ۲). پایداری روغن در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط بدون تنش ۱۵/۱۱ درصد کاهش یافت و بیشترین پایداری روغن در رقم زرقان ۲۷۹ (۳۰ درصد) که بیشترین اولئیک را داشت و کمترین مقدار در رقم سینا (۲۶ درصد) مشاهده شد (شکل ۳).

وزن هزار دانه

وزن هزار دانه در تیمارهای آبیاری در مرحله گلدهی تا رسیدگی گلرنگ اختلاف معنی‌داری وجود داشت ولی بین ارقام اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۲). بیشترین وزن هزار دانه مربوط به رقم زرقان ۲۷۹ (۴۲/۹ گرم) و کمترین مقدار را رقم سینا (۳۹ گرم) داشت. اثرمتقابل آبیاری و رقم بر عملکرد وزن هزار دانه معنی‌دار نبود. ساختار ژنتیکی و عوامل محیطی دو عامل اصلی هستند که بر وزن هزار دانه تأثیرگذار هستند (Beyyavas et al., 2011). نتایج این پژوهش با گزارش نتایج (Khalili et al., 2015) وزن صد دانه ۱۵ ژنوتیپ گلرنگ بهاره در تیمارهای آبیاری اختلاف معنی‌دار داشت، در یک راستا بود.

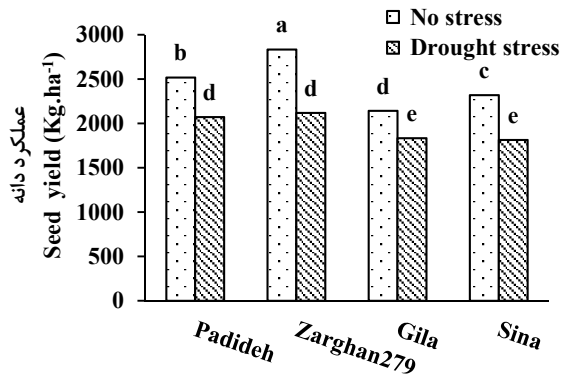
عملکرد دانه

اثر آبیاری، رقم و اثر متقابل تیمارها بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۲). اثرات منفی خشکی بر عملکرد عمدتاً به‌شدت تنش و مرحله رشد گیاه بستگی دارد (Fahad et al., 2017). گلرنگ نسبت به تنش‌های محیطی نسبتاً متحمل است؛ اما بین ارقام مختلف اختلاف معنی‌داری وجود دارد (Aboodeh et al., 2019). بیشترین عملکرد دانه در تیمار (بدون تنش) با مقدار ۲۴۵۳ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد و قطع آبیاری در دوره گلدهی تا رسیدگی محصول باعث کاهش ۲۰ درصد عملکرد دانه شد. بیشترین کاهش عملکرد دانه به ترتیب مربوط به رقم زرقان ۲۷۹ (۲۵ درصد)، سینا (۲۱ درصد)، پدیده (۱۷ درصد) و ژیلا (۱۴ درصد) بود. تغییرات عملکرد می‌تواند به دلیل شرایط محیطی یا پتانسیل ژنتیکی عملکرد دانه ارقام موردبررسی باشد. مقایسه میانگین اثرات متقابل آبیاری و رقم نشان داد که رقم زرقان ۲۷۹، پدیده، ژیلا و سینا به ترتیب بالاترین عملکرد دانه را داشتند (شکل ۴). در شرایط تنش خشکی، فعالیت آنزیمی گیاهان کاهش می‌یابد که منجر به کاهش عملکرد و کیفیت محصولات زراعی دانه روغنی می‌شود (Fahad et al., 2017). در مطالعه تأثیر رژیم‌های مختلف آب آبیاری بر عملکرد دانه و کیفیت روغن، عملکرد دانه گیاهان تحت آبیاری کامل ۲۸ درصد بیشتر از گیاهانی بود که در آبیاری محدود رشد کرده بودند (Pasandi et al., 2018).



شکل ۳. اثر متقابل تنش خشکی و رقم بر درصد پایداری روغن در گلرنگ (حروف مشابه در $p<0.05$ تفاوت معنی‌داری ندارند)

Fig. 3. Interaction of water stress levels and cultivar on oil staibility of safflower. Similar letters are not significantly different at $p<0.05$.



شکل ۴. اثر متقابل تنش خشکی و رقم بر عملکرد دانه در گلرنگ (حروف مشابه در $p<0.05$ تفاوت معنی‌داری ندارند.)

Fig. 4. Interaction of water stress levels and cultivar on seed yield of safflower. Similar letters are not significantly different at $p<0.05$

نتیجه‌گیری نهایی

تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار صفات موردبررسی در این مطالعه شد. تیمار آبیاری در دوره گلدهی تا رسیدگی عملکرد دانه را کاهش داد. رقم‌های زرقان ۲۷۹ و پدیده ازنظر میزان اسید اولئیک، اسید لینولئیک و پایداری روغن نسبت به سایر رقم‌ها مطلوب‌تر بودند. بر اساس نتایج مقایسه میانگین برای تولید حداکثر عملکرد دانه، روغن و همچنین تولید روغن باکیفیت مطلوب در شرایط اقلیمی مشابه، رقم‌های زرقان ۲۷۹ و پدیده پیشنهاد می‌شود که در هر دو شرایط تنش خشکی و بدون تنش خشکی دارای عملکرد بالایی بودند.

منابع

Aboodeh, H., Moradi Telavat, M.R., Moshatati, A., Mousavi, S.H., 2019. Evaluation of spring safflower genotypes by using tolerance and sensitivity indices to terminal heat stress. Environmental Stresses in Crop Sciences. 12, 607-616. [In Persian with English Summary].

Amini, Z., Haddad, R., 2013. Role of photosynthetic pigments and antioxidant enzymes against oxidative stress. Molecular and Cellular Research (Iranina Jounal of Biology). 26, 251-265. [In Persian with English Summary].

Arnon, A., 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agronomy Journal. 23(1), 112-121.

Arslan, B., 2007. The determination of oil content and fatty acid compositions of domestic and exotic safflower (*Carthamus tinctorius* L.) genotypes and their interactions. Journal of Agronomy. 6, 415.

Berquin, I. M., Edwards, I.J., Chen, Y.Q., 2008. Multi-targeted therapy of cancer by omega-3 fatty acids. Cancer letters. 269, 363-377.

Beyyavas, V., Haliloglu, H., Copur, O., Yilmaz, A., 2011. Determination of seed yield and yield components of some safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars, lines and populations under the semi-arid conditions. African Journal of Biotechnology. 10, 527-534.

Chavoushi, M., Najafi, F., Salimi, A., Angaji, S.A., 2020. Effect of salicylic acid and sodium nitroprusside on growth parameters, photosynthetic pigments and secondary metabolites of safflower under drought stress. Scientia Horticulturae. 259, 108823.

Cruz de Carvalho, M.H., 2008. Drought stress and reactive oxygen species: production, scavenging and signaling. Plant Signaling & Behavior. 3, 156-165.

Dajue, L., Griffee, P., 2001. International safflower trials in China, India and Thailand. Sesame and Safflower Newsletter 16, 98-104.

Delkhoush, B., Shiranirad, A.H., Nourmohammadi, Gh., Darvish, F., 2006. Effect of drought stress on grain yield and chlorophyll in rapessed cultivars. Agricultural Sciences. 12, 359-368. [In Persian with English Summary].

Ebrahimian, E., Seyyedi, S.M., Bybordi, A., Damalas, C.A., 2019. Seed yield and oil quality of sunflower, safflower, and sesame under different levels of irrigation water availability. Agricultural Water Management. 218, 149-157.

Fahad, S., Bajwa, A.A., Nazir, U., Anjum, S.A., Farooq, A., Zohaib, A., Saud, S., 2017. Crop production under drought and heat stress: plant responses and management options. Frontiers in Plant Science. 8, 11-27.

Fernandez Cuesta, A., Velasco, L., Ruiz Méndez, M.V., 2014. Novel safflower oil with high γ tocopherol content has a high oxidative stability. European Journal of Lipid Science and Technology. 116, 832-836.

Flagella, Z., Rotunno, T., Tarantino, E., Di Caterina, R., De Caro, A., 2002. Changes in seed yield and oil fatty acid composition of high oleic sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids in relation to the sowing date and the water regime. European Journal of Agronomy. 17, 221-230.

García-Moreno, M.J., Fernández-Martínez, J.M., Velasco, L., Pérez-Vich, B., 2014. Characterization of a γ-tocopherol methyltransferase mutant gene in wild (*Carthamus oxyacanthus* M. Bieb.) and cultivated safflower (*Carthamus. tinctorius* L.). Euphytica. 200, 231-238.

Gecgel, U., Demirci, M., Esendal, E., Tasan, M., 2005. Effects of sowing dates on some physical, chemical and oxidative properties of different varieties of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Proceedings of the VIth International Safflower Conference, Istanbul-Turkey. 6-10 June, 2005.

Hamrouni, I., Salah, H.B., Marzouk, B., 2001. Effects of water-deficit on lipids of safflower aerial parts. Phytochemistry. 58, 277-280.

He, P., Osaki, M., Takebe, M., Shinano, T., Wasaki, J., 2005. Endogenous hormones and expression of senescence-related genes in different senescent types of maize. Experimental Technology and Management. 56, 1117-1128.

Jiang, Y., Huang, B., 2001. Effects of calcium on antioxidant activities and water relations associated with heat tolerance in two cool season grasses. Journal of Experimental Botany. 52, 341-349.

Karimi, K.M., Sepehri, A., Hemati, M.H., 2010. Investigation of oil and protein content and fatty acid composition of sunflower cultivars under different irrigation conditions. Crop Production. 3, 63-80. [In Persian with English Summary].

Khajehpour, M.R., 2005. Industrial Crop Production. University Jihad. Isfahan University of Technology. Isfahan. [In Persian].

Khalili, M., Naghavi, M.R., Pour-Aboughadareh, A., 2015. Evaluation of grain yield and some of agro-morphological characters in spring safflowers genotypes under irrigated and rainfed conditions. Journal of Crop Breeding. 7, 139-148. [In Persian with English Summary].

Lichtenthaler, H.K., 1987. Chlorophyll fluorescence signatures of leaves during the autumnal chlorophyll breakdown. Journal of Plant Physiology. 131, 101-110.

Lichtenthaler, H.K., Babani, F., 2000. Detection of photosynthetic activity and water stressby imaging the red chlorophyll fluorescence. Plant Physiology and Biochemistry. 38, 889-895.

Liu, L., Guan, L., Yang, Y., 2016. A review of fatty acids and genetic characterization of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) seed oil. Organic Chemistry: Current Research. 2(2), 48-52.

Lovelli, S., Perniola, M., Ferrara, A., Di Tommaso, T., 2007. Yield response factor to water (Ky) and water use efficiency of *Carthamus tinctorius* L. and *Solanum melongena* L. Agricultural Water Management. 92, 73-80.

Mittler, R., 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. Trends in Plant Science. 7, 405-410.

Mohammadi, M., Ghassemi-Golezani, K., Zehtab-Salmasi, S., Nasrollahzade, S., 2016. Assessment of some physiological traits in spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars under water stress. International Journal of Life Sciences. 10, 58-64.

Nazari, M., Mirlohi, A., Majidi, M.M., 2017. Effects of drought stress on oil characteristics

of Carthamus species. Journal of the American Oil Chemists' Society. 94, 247-256.

Nogales-Delgado, S., Encinar, J.M., González, J.F., 2019. Safflower Biodiesel: Improvement of its Oxidative Stability by Using BHA and TBHQ. Energies. 12, 1940.

Omidi, A., 2011. Effect of irrigation withhold at different growth stages on grain yield and stress tolerance indices in three safflower cultivars. Iranian Journal of Crop Sciences. 13, 116-130. [In Persian with English Summary].

Pasandi, M., Janmohammadi, M., Abasi, A., Sabaghnia, N., 2018. Oil characteristics of safflower seeds under different nutrient and moisture management. Nova Biotechnologica et Chimica. 17, 86-94.

Pourdad, S., Alizadeh, K., Azizinegad, R., Shariati, A., Eskandari, M., Khiavi, M., Nabatee, E., 2008. Study on drought resistance in spring safflower (*Carthamus tinctorus* L.) in different lLocations. Journal of Water and Soil Science. 12, 403-415. [In Persian with English Summary].

Purdy, R.H., 1985. Oxidative stability of high oleic sunflower and safflower oils. Journal of the American Oil Chemists' Society. 62, 523-525.

Primomo, V.S., Falk, D.E., Ablett, G.R., Tanner, J. W., Rajcan, I., 2002. Inheritance and interaction of low palmitic and low linolenic soybean. Crop Science. 42, 31-36.

Roche, J., Mouloungui, Z., Cerny, M., Merah, O., 2019. Effect of sowing dates on fatty acids and phytosterols patterns of *Carthamus tinctorius* L. Applied Sciences. 9, 2839.

Sibi, M., Mirzakhani, M., Gomarian, M., 2011. Effect of water stress, taking zeolite and salicylic acid on yield and yield components of spring safflower. New Findings in Agriculture. 3, 275-290. [In Persian with English Summary].

Sio-Se Mardeh, A, Ahmadi, A., Poustini, K., Mohammadi, V., 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. Field Crops Research. 98, 222-229.

Smith, J., 2005. Safflower Oil. Bailey's industrial oil and fat products.

Sofo, A., Dichio, B., Xiloyannis, C., Masia, A., 2004. Lipoxygenase activity and proline accumulation in leaves and roots of olive trees in response to drought stress. Physiologia Plantarum. 121, 58-65.

Stránský, K., Zarevúcka, M., Wimmer, Z., 2005. Gas chromatography analysis of blackcurrant oil in relation to its stability. Food chemistry, 92, 569-573.

Taghizadeh, Y., Jalilian, J., Moghaddam, S.S., 2019. Do Fertilizers and Irrigation Disruption Change Some Physiological Traits of Safflower? Journal of Plant Growth Regulation. 38, 1439–1448.