

Eco-physiological and Agronomic Responses of Safflower Fall Genotypes under Drought Stress in Plant Settlement and Seed Filling Stages

Bahman Pasban Eslam^{1*}

Received: 22 January 2021 Accepted: 01 July 2021

1- Assoc. Prof., of Crop and Horticultural Science Research Dept. East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Tabriz, Iran.

*Corresponding Author Email: b.pasbaneslam@areeo.ac.ir

Abstract

Background and Objective: In order to consider some eco-physiological responses related to the productivity of safflower fall genotypes to drought stress at plant greening, establishment, and seed filling stages and to recognize drought-tolerant genotypes, the present study was done.

Materials and Methods: An experiment was conducted as a split-plot based on a randomized complete blocks design with three replications in the Khosrow Shah station of East Azarbaijan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center during the 2019-20 cropping season. The experimental factors included drought stress (non-stressed and stressed during plant greening and the establishment and seed filling stages, and five safflower genotypes including Padideh, Golemehr, Parnian, Mexico248, and Mexico14.

Results: Occurring drought stress at the seed filling stage significantly decreased chlorophyll concentration, stomatal conductance, Relative water content, seed and oil yields, and seed yield components in fall genotypes of safflower. Correlation among mentioned indices eco-physiological indices with each other and with seed and oil yields were positive and significant. Also, the amounts of mentioned indices among studied genotypes were significantly different.

Conclusion: The seed filling period of fall genotypes of safflower was critical for water requirements. Chlorophyll concentration, stomatal conductance, relative water content indices were able to reflect the drought stress effect during the seed filling period and can recognize the fall genotypes of safflower with high seed and oil yields under drought conditions. It seems that these eco-physiological indices are suitable to select late-season drought-tolerant safflower genotypes.

Keywords: Chlorophyll Index, Drought, Relative Water Content, Seed Yield, Stomatal Conductance

بازتاب‌های اکوفیزیولوژیک و زراعی ژنوتیپ‌های پاییزه گلرنگ در شرایط تنش خشکی در مراحل استقرار بوته و پرشدن دانه

بهمن پاسبان اسلام^۱

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۱/۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۴/۱۰

۱-دانشیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران
*مسئول مکاتبه: Email: b.pasbaneslam@areeo.ac.ir

چکیده

اهداف: برای بررسی برخی واکنش‌های اکوفیزیولوژیک مرتبط با محصول‌دهی ژنوتیپ‌های پاییزه گلرنگ در برابر تنش خشکی واقع شده در مراحل سبز شدن، استقرار بوته و پرشدن دانه و شناسایی ارقام متحمل به خشکی، این آزمایش انجام گردید.

مواد و روش‌ها: مطالعه به‌صورت اسپلیت پلات بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه خسروشاه مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی طی سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ اجرا شد. فاکتور اصلی تنش خشکی با سه سطح بدون تنش و بروز خشکی در دوره‌های سبز شدن و استقرار بوته و پرشدن دانه و فاکتور فرعی ژنوتیپ‌های پاییزه گلرنگ در پنج سطح شامل: پدیده، گل‌مهر، پرنیان، مکزیک ۱۴ و مکزیک ۲۴۸ بودند.

یافته‌ها: وقوع تنش خشکی در مرحله پرشدن دانه‌ها باعث کاهش معنی‌دار غلظت کلروفیل، هدایت روزنه، مقدار نسبی آب برگ، عملکرد دانه و روغن و اجزای آن در ژنوتیپ‌های پاییزه گلرنگ گردید. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین شاخص‌های اکوفیزیولوژیک مذکور با همدیگر و با عملکرد دانه و روغن دیده شد. همچنین بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری از نظر مقادیر آنها به‌دست آمد.

نتیجه‌گیری: دوره پرشدن دانه در گلرنگ پاییزه از نظر نیاز آبی بحرانی دیده شد. شاخص‌های غلظت کلروفیل، هدایت روزنه و مقدار نسبی آب برگ از توان بازتاب اثرات تنش خشکی در دوره پرشدن دانه برخوردار بوده و توانستند ژنوتیپ‌های پاییزه گلرنگ با عملکرد دانه و روغن بالا را شناسایی کنند. به‌نظر می‌رسد بتوان از این شاخص‌های اکوفیزیولوژیک برای گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به کمبود آب واقع شده در دوره پرشدن دانه استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: شاخص کلروفیل، عملکرد دانه، خشکی، مقدار نسبی آب برگ، هدایت روزنه

مقدمه

کافکا ۲۰۰۲، اسنل و همکاران (۱۹۹۲) از آینده نوید بخشی برخوردار است. گیاه گلرنگ می‌تواند بدون کاهش چشمگیر در عملکرد دانه، تحت شرایط کمبود آب رشد و نمو کند (پاپایون و همکاران ۲۰۱۹). نتایج حاصل از بررسی سازگاری ۱۰ لاین گلرنگ در کرج، اصفهان و داراب فارس طی سه سال زراعی، نشان داد

قسمت اعظم روغن خوراکی مصرفی کشور از طریق واردات تامین می‌گردد. بنابراین توسعه کشت دانه‌های روغنی اهمیت ویژه‌ای دارد. از بین دانه‌های روغنی سازگار با شرایط آب و هوایی کشور، گلرنگ به‌عنوان یک گیاه متحمل به تنش‌های خشکی و شوری (باسیل و

برگ بین ژنوتیپ‌های مقاوم و حساس به خشکی گندم و وجود همبستگی منفی و معنی‌دار بین شاخص مورد بحث و عملکرد دانه در شرایط تنش آبی را گزارش کردند. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین هدایت روزنه، RWC و تنظیم اسمزی با همدیگر و همبستگی منفی و معنی‌دار بین این شاخص‌ها با دمای برگ در ژنوتیپ‌های بهاره گلرنگ گزارش شده است. در این مطالعه مشاهده شد که شاخص‌های مذکور از توان تفکیک ژنوتیپ‌های بهاره گلرنگ با عملکرد دانه و روغن بیشتر در شرایط خشکی برخوردار بودند (پاسبان اسلام ۲۰۱۱).

نتایج یک مطالعه در دشت تبریز، همبستگی مثبت و معنی‌دار بین تعداد دانه در طبق با عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های پاییزه گلرنگ را نشان داد (پاسبان اسلام ۲۰۱۲). از بین اجزای عملکرد، تعداد طبق در بوته و وزن هزار دانه در تعیین عملکرد دانه گلرنگ نقش برجسته‌تری داشته‌اند (کوترباس و همکاران ۲۰۰۴). گلرنگ‌هایی که در مرحله گل‌دهی و گرده افشانی در معرض تنش خشکی قرار گرفتند، ۲۱/۵ درصد تعداد دانه در طبق کمتری از گیاهان گلرنگ پرورش یافته در شرایط عادی داشتند (مقصودی و همکاران ۲۰۱۸). نتایج ارزیابی ژنوتیپ‌های گلرنگ در شرایط اقلیمی همدان نشان داد که تحت خشکی اعمال شده از مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی و شروع دانه‌بندی به ترتیب وزن هزار دانه و شاخص برداشت بیشترین اثر مستقیم را بر عملکرد دانه داشتند. همچنین همبستگی مثبت و معنی‌داری بین وزن هزار دانه و عملکرد دانه در شرایط بروز تنش از زمان ۵۰ درصد گل‌دهی دیده شد (یاری و کشتکار ۲۰۱۶). امیدی تبریزی و همکاران (۲۰۰۸) با بررسی صفات مهم زراعی ارقام گلرنگ بهاره، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد روغن با عملکرد دانه را مشاهده نموده و نتیجه‌گیری کردند که با افزایش عملکرد دانه در بوته، عملکرد روغن نیز افزایش می‌یابد. نتایج ارزیابی ژنوتیپ‌های ایرانی گلرنگ در شرایط قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی نشان داد که خشکی باعث کاهش عملکرد دانه در همه آنها گردیده و تنوع معنی‌داری از نظر تحمل به کمبود آب بین ژنوتیپ-

که بین لاین‌های مورد بررسی تفاوت معنی‌داری از نظر عملکرد دانه و روغن در این محیط‌ها وجود دارد (امیدی تبریزی ۲۰۰۶). تنش خشکی متوسط و شدید در گلرنگ باعث کاهش معنی‌دار رشد بوته‌ها گردید (سالم و همکاران ۲۰۱۴). با کاهش میزان آب در دسترس گیاهان گلرنگ به کمتر از ۲۵ درصد آب قابل استفاده خاک، عملکرد دانه و اجزای آن به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد (نوروزی و کاظمینی ۲۰۱۳). در شرایط کمبود آب، ارقام با رشد بالاتر گلرنگ از ثبات عملکرد بیشتری برخوردارند (استانبول اوغلو و همکاران ۲۰۰۹). مشاهده گردید که گلرنگ پاییزه رقم پدیده در دشت تبریز با تولید عملکرد دانه و روغن به ترتیب ۴۴۲۰ و ۱۳۶۹ کیلوگرم در هکتار، رقم برتر بوده است (پاسبان اسلام ۲۰۱۵). نشان داده شده است که ژنوتیپ‌های گلرنگ کارایی متفاوتی در مصرف آب حاصل از آبیاری تکمیلی در شرایط تنش کمبود آب دارند (باهاتاری و همکاران ۲۰۲۰).

عقیده بر این است که مقدار نسبی آب برگ (RWC) شاخص مناسب تری برای بیان وضعیت آب برگ در گیاهان زراعی می‌باشد (سینکلر و لودلاو ۱۹۸۵). پاسبان اسلام (۲۰۱۲) با بررسی ژنوتیپ‌های کلزا، گزارش کرد تنش کمبود آب باعث کاهش RWC و افزایش دمای برگ شده و در ژنوتیپ‌های متحمل‌تر در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها این تغییرات کمتر بوده و پایداری عملکرد بیشتر است. به‌طور کلی دمای تاج پوشش برگ با تنش خشکی مطابقت دارد. به دنبال کاهش آب قابل استفاده خاک، پتانسیل آب گیاه و در نهایت تعرق آن نیز کاهش می‌یابد. بر مبنای بیلان انرژی در سطح برگ، تنزل تعرق منجر به افزایش دمای تاج پوشش برگ می‌گردد (کارکوا و همکاران ۱۹۹۸). در یک آزمایش مزرعه‌ای روی سه رقم یونجه مشاهده گردید که مقادیر پایین‌تر هدایت روزنه‌ای با دماهای بالاتر تاج پوشش برگ مطابقت دارد (جانسون و رامباق ۱۹۹۵). در آزمایشی دمای برگ شاخص مناسبی در گزینش ژنوتیپ‌های بهاره متحمل به خشکی گلرنگ گزارش گردید (پاسبان اسلام ۲۰۱۱). گلستانی عراقی و آساد (۱۹۹۸) وجود تفاوت معنی‌دار در دمای تاج پوشش

ها دیده شد (زارعی و همکاران ۲۰۱۳). نتایج ارزیابی ۶۴ ژنوتیپ گلرنگ تحت تنش کمبود آب در شرایط اقلیمی اصفهان نشان داد که کمبود آب باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه در همه ژنوتیپ‌ها شد ولی میزان این کاهش به‌طور معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها متفاوت بوده و تجزیه کلاستر آنها را در دو گروه حساس و متحمل به‌خشکی قرار داد (بهرامی و همکاران ۲۰۱۴). تنوع ژنتیکی معنی‌داری از نظر عملکرد دانه بین لاین‌های گلرنگ در شرایط تنش کمبود آب گزارش شده است که امکان گزینش لاین‌های متحمل به کمبود آب را فراهم می‌سازد (بورتوهریرو و سیلوا ۲۰۱۷).

هدف از این پژوهش ارزیابی اثرات تنش خشکی در مرحله سبز، استقرار بوته و دوره پرشدن دانه روی برخی ویژگی‌های اکوفیزیولوژیک مرتبط با محصول-دهی و عملکرد و اجزای عملکرد دانه و روغن ژنوتیپ-های پاییزه گلرنگ به‌منظور شناسایی ارقام متحمل به خشکی بودند.

مواد و روش‌ها

مطالعه در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی (۴۶ درجه و ۲ دقیقه شرقی، ۳۷ درجه و ۵۸ دقیقه شمالی) طی سال زراعی ۱۳۹۸-۹۹ اجرا شد. این ایستگاه دارای اقلیم سرد و نیمه خشک است (علیخانی ۲۰۱۳). همچنین منطقه زمستان‌هایی با روزهای یخبندان داشته و میانگین دراز مدت بارندگی سالانه ۲۷۰ میلی‌متر می‌باشد. جدول یک مشخصات آب و هوایی ایستگاه طی دوره آزمایش را نشان می‌دهد. خاک محل آزمایش لوم رسی بوده و دارای ۱/۵ درصد ماده آلی و با هدایت الکتریکی ۴/۷ دسی‌زیمنس بر متر در عصاره گل اشباع تا عمق ۴۵ سانتی‌متری خاک بود. آزمایش در قالب طرح آماری اسپلیت پلات بر پایه بلوک کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. کاشت در ۲۱ شهریور ماه انجام گردید. فاکتورهای آزمایش شامل تنش خشکی به‌عنوان فاکتور اصلی با سه سطح: بدون تنش و تنش در مراحل سبز و استقرار بوته و پرشدن دانه و فاکتور فرعی پنج ژنوتیپ گلرنگ شامل: پدیده، گل‌مهر و پرنیان ارقام ایرانی و

پاییزه و مکزیک ۱۴ و مکزیک ۲۴۸ لاین‌های مکزیکی و پاییزه بودند. آستانه تحمل این ژنوتیپ‌ها در برابر شوری خاک ۷/۲ دسی‌زیمنس بر متر گزارش شده است (امیدی ۲۰۱۶). هر کرت متشکل از شش ردیف به فاصله ۳۰ سانتی‌متر و طول پنج متر بود. برای جلوگیری از نشت آب بین کرت‌های اصلی و بین تکرارها دو متر فاصله ایجاد شد. در این آزمایش از تشت تبخیر کلاس A استفاده گردید. برای سطوح بدون تنش، آبیاری به‌هنگام ۸۰ میلی‌متر تبخیر و برای تیمارهای تنش، آبیاری پس از ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر جمعی از تشت انجام گرفت (پاسبان اسلام ۲۰۱۱ و شرقی و همکاران ۲۰۱۱). آبیاری به‌روش سیفونی صورت گرفت. کوددهی مزرعه بر پایه نتایج آزمون خاک با استفاده از کود نیتروژنه به‌شکل اوره به‌مقدار ۲۱۰ کیلوگرم (در سه قسط شامل: زمان کاشت، شروع رشد بهاره و گل‌دهی)، سولفات پتاسیم ۷۰ کیلوگرم و سوپر فسفات تریپل ۶۵ کیلوگرم (هر دو در زمان کاشت) به ازای هر هکتار محاسبه و اعمال گردید. در زمان شروع غنچه‌دهی بوته‌ها برای مبارزه با آفت مگس گلرنگ، مزرعه با سم تماسی دیازینون با غلظت یک و نیم در هزار سمپاشی شد.

برای تعیین مقدار نسبی آب برگ (RWC) از هر نمونه برگ برداشت شده سه دیسک به قطر ۲۰ میلی‌متر جدا گردیده و بلافاصله وزن شدند (وزن تر، FW)، سپس نمونه‌ها به مدت چهار ساعت در آب مقطر دوبار تقطیر با دمای حدود ۵ درجه سانتی‌گراد و نور اندک غوطه‌ور شده و پس از گرفتن آب روی آنها با کاغذ صافی، وزن شدند (وزن تورم کامل، TW) سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شده و وزن شدند (وزن خشک، DW). در نهایت مقدار نسبی آب برگ از فرمول: $RWC = \frac{FW - DW}{TW}$ محاسبه گردید. دمای برگ با استفاده از دماسنج مادون قرمز مدل T۲-۸۲۵ ساخت کارخانه تستو (Testo) ایتالیا اندازه‌گیری شد (پاسبان اسلام ۲۰۱۲، کومار و سینک ۱۹۹۸). هدایت روزنه‌های برگ نیز با استفاده از دستگاه پورومتر پخشی مدل AP4 ساخت انگلستان اندازه‌گیری شد (کومار و سینک

محصول (۱۵ مرداد ماه) پس از حذف حاشیه‌ها، کرت‌ها برداشت و عملکرد دانه، وزن هزار دانه و درصد روغن دانه‌ها تعیین شدند و سپس با برداشت و خرمن‌کوبی بوته‌ها عملکرد دانه به دست آمد. در نهایت تجزیه داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها با نرم افزار آماری MSTATC و تعیین همبستگی صفات به روش پیرسون با استفاده از نرم افزار آماری SPSS نسخه ۱۶ صورت گرفت. درصد روغن دانه‌ها به روش استخراج پیوسته سوکسله تعیین شد (میر نظامی ضیابری و صمصامی شریعت ۱۹۹۴).

۱۹۹۸). شاخص کلروفیل برگ با استفاده از دستگاه کلروفیل متر (Minolta Moel: SPAD-502) ساخت کشور ژاپن اندازه گیری گردید. صفات مذکور در دوره اعمال تنش اندازه‌گیری شدند. برای تعیین تعداد طبق در بوته و تعداد دانه در طبق در زمان رسیدگی فیزیولوژیک بوته‌ها از هر کرت آزمایشی ۱۰ بوته به صورت تصادفی انتخاب و ارتفاع بوته‌آنها بر حسب سانتی‌متر، تعداد طبق‌ها در هر بوته و تعداد دانه‌ها در هر طبق شمارش شده و میانگین آنها برای هر کرت تعیین گردید. به‌هنگام رسیدگی وزنی

جدول ۱- ویژگی‌های آب و هوایی ایستگاه خسروشاه در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸.

سال	ماه‌های سال	میانگین دمای حداقل (°C)	میانگین دمای حداکثر (°C)	میانگین کل دما (°C)	مجموع بارندگی (mm)
۱۳۹۸	شهریور	۱۶/۴	۳۰/۵	۲۳/۴	۰
	مهر	۱۱/۷	۲۵/۸	۱۸/۸	۱۷/۳
	آبان	-۰/۲	۱۲/۶	۷/۸	۷/۱
	آذر	-۱/۴	۷/۰	۲/۸	۱۶/۰
	دی	-۳/۵	۵/۱	۰/۸	۳۱/۸
	بهمن	-۷/۶	۲/۴	-۲/۶	۱۳/۶
۱۳۹۹	اسفند	۱/۷	۱۲/۰	۶/۸	۳۴/۴
	فروردین	۴/۰	۱۴/۶	۹/۳	۷۲/۴
	اردیبهشت	۸/۳	۲۲/۳	۱۵/۳	۲۸/۱
	خرداد	۱۴/۱	۳۰/۷	۲۲/۴	۳/۹
	تیر	۱۸/۵	۳۲/۸	۲۵/۶	۵/۰
	مرداد	۱۸/۶	۳۳/۰	۲۵/۸	۲/۸

- داده‌ها از ایستگاه سینوپتیک مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی (خسروشاه) به دست آمده است.

نتایج و بحث

دانه و روغن و درصد روغن دانه دیده شد (جدول ۲). نتایج ارزیابی سازگاری ژنوتیپ‌های گلرنگ در کرج، اصفهان و داراب فارس نیز نشان داد که بین لاین‌های مورد بررسی تفاوت معنی‌داری از نظر عملکرد دانه و روغن در این محیط‌ها وجود دارد (امیدی تبریزی ۲۰۰۶). اثر متقابل تنش خشکی با ژنوتیپ برای صفات غلظت کلروفیل، دمای برگ و تعداد دانه در طبق معنی‌دار بود (جدول ۲).

تنش خشکی اثر معنی‌داری روی غلظت کلروفیل، دمای برگ، هدایت روزنه، مقدار نسبی آب برگ، تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و روغن نشان داد. در آزمایشی دمای برگ شاخص مناسبی در نشان دادن اثرات خشکی روی ژنوتیپ‌های بهاره گلرنگ گزارش شده است (پاسبان اسلام ۲۰۱۱). بین ارقام و ژنوتیپ‌های مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری از نظر غلظت کلروفیل، دمای برگ، هدایت روزنه، مقدار نسبی آب برگ، تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه، عملکرد

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده روی ژنوتیپ‌های گلرنگ طی سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸.

میانگین مربعات						
منابع تغییر	درجه آزادی	غلظت کلروفیل	دمای برگ	هدایت روزنه	مقدار نسبی آب برگ	تعداد طبق در بوته
تکرار	۲	۲۶/۷۵۶	۱/۶۸۹	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۷	۱/۳۵۶
تنش خشکی	۲	۱۱۷۳۱/۳۵۶**	۲۱۸/۸۲۲**	۰/۰۳۹**	۰/۰۷۲**	۴/۸۳۳
خطای صلی	۴	۵۹/۹۲۲	۷/۹۵۶	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۳	۱/۰۲۲
ژنوتیپ	۴	۲۹۷/۶۴۴**	۵/۶۴۴*	۰/۰۰۵**	۰/۰۰۴**	۱/۱۴۴
تنش خشکی × ژنوتیپ	۸	۱۹۰/۵۷۸**	۶/۷۱۱**	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۲	۰/۷۱۱
خطای فرعی	۲۴	۴۹/۷۸۳	۱/۵۰۶	۰/۰۰۰۲۹	۰/۰۰۰۲	۰/۶۰۶
ضرب تغییرات (%)		۸/۱۱	۵/۹۸	۲/۵۴	۲/۱۶	۶/۷۶

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

ادامه جدول ۲

میانگین مربعات						
منابع تغییر	درجه آزادی	تعداد دانه در طبق	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	درصد روغن دانه	عملکرد روغن دانه
تکرار	۲	۱/۶۲۲	۰/۱۷۰	۶۱۱۶۵/۷۵۶	۰/۴۲۲	۶۹۴۲/۹۵۴
تنش خشکی	۲	۲۹۰/۷۵۶**	۲۰/۶۰۶**	۱۸۰۶۳۲۲/۹۵۶**	۳/۸۸۹	۱۵۱۵۹۹۰/۱۵۸**
خطای صلی	۴	۲/۷۸۹	۰/۲۷۳	۱۷۵۲۴/۹۲۲	۲/۹۸۹	۴۱۱۷/۷۹۱
ژنوتیپ	۴	۶۰/۷۰۰**	۳/۳۴۹**	۴۲۹۳۳۴/۶۸۹**	۱۱/۳۰۰**	۶۳۱۳۷/۲۲۰**
تنش خشکی × ژنوتیپ	۸	۱۳/۳۶۷**	۰/۳۶۱	۱۰۸۷۵/۱۲۲	۱/۰۸۳	۱۹۳۴/۷۷۲
خطای فرعی	۲۴	۱/۱۷۸	۰/۳۶۳	۱۱۳۰۳/۸۱۱	۱/۲۷۲	۱۸۵۶/۶۷۸
ضرب تغییرات (%)		۲/۳۵	۱/۹۱	۳/۶۹	۴/۰۳	۵/۳۰

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

تابستان بوده و مرحله سبز شدن و استقرار بوته‌ها در منطقه آزمایش و در ژنوتیپ‌های پاییزه گلرنگ به‌عنوان دانه روغنی متحمل به خشکی، بحرانی دیده نشد. نشان داده شده که گیاهان گلرنگ می‌توانند بدون کاهش فاحش عملکرد دانه، تحت شرایط کمبود آب رشد و نمو کنند (پایون ۲۰۱۹). بروز تنش خشکی در مرحله پرشدن دانه به‌طور معنی‌داری هدایت روزنه، مقدار نسبی آب برگ، غلظت کلروفیل، عملکرد دانه (۱۹۰۶ کیلوگرم در هکتار) و روغن (۵۵۸ کیلوگرم در هکتار) را کاهش داد (جدول‌های ۳ و ۵). این امر حاکی از بحرانی بودن و حساسیت این مرحله رشدی در ژنوتیپ‌های گلرنگ پاییزه در برابر کمبود آب بوده و ضرورت تامین آب در این مرحله را برجسته می‌سازد. همچنین شاخص‌های هدایت روزنه، مقدار نسبی آب برگ و غلظت کلروفیل توانستند اثرات کمبود آب را بازتاب

نتایج مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه در سطوح مختلف تنش خشکی نشان داد که بروز تنش در دوره سبز شدن و استقرار بوته‌های گلرنگ اثر معنی‌داری روی هدایت روزنه، مقدار نسبی آب برگ، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و روغن نداشت. دوره سبز و استقرار بوته‌های گلرنگ در اقلیم سرد و نیمه خشک منطقه آزمایش (علیخانی ۲۰۱۳) با هوای خنک پاییز مواجه شده و شب‌ها شب‌ها روی برگ‌ها را پوشانده و جذب گیاه می‌شود. بنابراین تنش خشکی به‌کار رفته در آزمایش روی شاخص‌های هدایت روزنه و مقدار نسبی آب برگ در این مرحله اثر معنی‌داری نشان نداد. اثر کمبود آب در این مرحله روی عملکرد دانه و روغن نیز منعکس نگردید (جدول ۳). شکل‌گیری اجزای عملکرد دانه و به‌طبع آن عملکرد دانه و روغن در بهار و اوایل

دهند. پاسبان اسلام (۲۰۱۲) با بررسی ژنوتیپ‌های کلزا، گزارش کرد تنش کمبود آب باعث کاهش مقدار نسبی آب برگ شده و در ژنوتیپ‌های متحمل‌تر در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها این تغییرات کمتر بوده و پایداری عملکرد بیشتر است. مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه روی ژنوتیپ‌های گلرنگ نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین آنها از نظر هدایت روزنه، مقدار نسبی آب برگ (جدول ۴) و غلظت کلروفیل (جدول ۵) وجود دارد. این امر نشان دهنده کارایی شاخص‌های هدایت روزنه، مقدار نسبی آب برگ و غلظت کلروفیل در تمایز ژنوتیپ‌ها از نظر بازتاب به تنش خشکی می‌باشد. همچنین اثر تنش خشکی روی وزن هزار دانه، عملکرد دانه و روغن بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه متفاوت بوده (جدول ۴) و امکان انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل‌تر را فراهم می‌سازد. شیر اسماعیلی و همکاران (۲۰۱۸) با ارزیابی ارقام و لاین‌های گلرنگ در شرایط عادی و تنش خشکی آخر فصل در شرایط اقلیمی اصفهان گزارش کردند که بروز خشکی در مراحل گل‌دهی و پرشدن دانه باعث کاهش معنی‌دار مقدار نسبی آب برگ، شاخص برداشت و عملکرد دانه و روغن گردید. در این مطالعه همواره رقم صفة عملکردهای بیشتری نشان داد. نتایج مطالعه لاین‌های گلرنگ در برزیل نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار مقدار کلروفیل کل برگ، مقدار نسبی آب برگ و درنهایت عملکرد دانه و روغن می‌گردد (برتو هیرو و سیلوا ۲۰۱۷). همه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از نظر دمای برگ در همه سطوح تنش خشکی در یک سطح آماری قرار داشتند (جز مکزیک ۱۴ در بروز تنش طی مرحله سبز شدن و استقرار بوته) و معنی‌داری اثر متقابل تنش و ژنوتیپ روی این صفت بیشتر از نوع تغییر در ترتیب بود هر چند که تنش باعث افزایش معنی‌دار آن گردید (جدول ۵). بنابراین شاخص دمای برگ در این آزمایش برای تفکیک ژنوتیپ‌های متحمل‌تر و حساس‌تر مناسب دیده نشد. بروز تنش خشکی در مرحله پرشدن دانه باعث کاهش معنی‌دار تعداد دانه در طبق در همه ژنوتیپ‌های

مورد مطالعه گردید (جدول ۵). پاسبان اسلام و امیدي (۲۰۱۹) عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های پاییزه گلرنگ را مورد بررسی قرار داده و گزارش کردند که خشکی واقع شده از مرحله گل‌دهی با افت معنی‌دار تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه، عملکرد دانه و روغن را کاهش داد. جوشن و همکاران (۲۰۱۹) با مطالعه بازتاب عملکرد و اجزای عملکرد دانه گلرنگ در شرایط کمبود آب نشان دادند که کمبود آب عملکرد دانه را با کاهش همه اجزای عملکرد کاهش داد ولی ابراهیمی و همکاران (۲۰۱۹) با بررسی ژنوتیپ‌های پاییزه گلرنگ به این نتیجه رسیدند که کاهش عملکرد دانه در اثر تنش خشکی، از طریق کاهش تعداد دانه در هر طبق بوده است. بررسی میانگین صفات مورد مطالعه بین ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی در این آزمایش نشان داد که همه ژنوتیپ‌ها به‌جز پرنیان و مکزیک ۱۴ در همه شرایط آبی از تعداد دانه در طبق و عملکرد دانه و روغن بالاتری برخوردار بودند (جدول‌های ۴ و ۵). انتظار می‌رود این ژنوتیپ‌ها بتوانند برای کشت در اراضی کم‌بازده دچار کمبود آب آخر فصل اقلیم‌های سرد و نیمه خشک کشور به‌کار روند. نتایج مطالعه زارعی و همکاران (۲۰۱۳) نشان داد بین گلرنگ‌های ایرانی ارزیابی شده در شرایط قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی، پرنیان بیشترین افت عملکرد دانه را داشت. در یک مطالعه با اعمال تنش خشکی روی بوته‌های گلرنگ، عملکرد دانه و اجزای آن به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (نوروزی و کاظمینی ۲۰۱۳). نتایج مطالعه اثرات تنش خشکی روی روغن دانه و ترکیبات آن در گلرنگ نشان داد که کمبود آب باعث کاهش معنی‌دار درصد روغن دانه می‌گردد (اشرفی و رزمجو ۲۰۱۰). حسینی و همکاران (۲۰۱۸) با ارزیابی پانزده ژنوتیپ گلرنگ در شرایط عادی و تنش خشکی گزارش کردند ژنوتیپ‌هایی که در هر دو شرایط آبی عملکرد دانه بیشتری داشتند، از پایداری عملکرد بالاتری برخوردار بوده و برای اقلیم‌های مواجه با خشکی مناسب می‌باشند.

جدول ۳- میانگین صفات مورد مطالعه در سطوح مختلف تنش خشکی طی سال زراعی ۱۳۹۸-۹۹

عملکرد روغن دانه (Kg.ha ⁻¹)	عملکرد دانه (Kg.ha ⁻¹)	وزن هزار دانه (g)	مقدار نسبی آب برگ	هدایت روزنه (cm. s ⁻¹)	سطح تنش خشکی
۱۰۰۴ a	۳۵۲۲ a	۳۲/۵ a	۰/۷۴ a	۰/۷۲ a	بدون تنش
۹۸۸ a	۳۵۱۰ a	۳۲/۰ a	۰/۷۲ a	۰/۷۱ a	تنش در مرحله سبز و استقرار بوته
۴۴۶ b	۱۶۱۶ b	۳۰/۳ b	۰/۶۱ b	۰/۶۳ b	تنش در مرحله پرشدن دانه

حروف مشابه در هر ستون نشانگر عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد می‌باشد.

جدول ۴- میانگین صفات مورد مطالعه روی ژنوتیپ‌های گلرنگ طی سال زراعی ۱۳۹۸-۹۹

عملکرد روغن دانه (Kg. ha ⁻¹)	درصد روغن دانه	عملکرد دانه (Kg. ha ⁻¹)	وزن هزار دانه (g)	مقدار نسبی آب برگ	هدایت روزنه (cm. s ⁻¹)	ژنوتیپ
۸۷۷ a	۲۹/۲ a	۳۰۰۳ ab	۳۲/۱ a	۰/۷۲ a	۰/۷۱ a	پدیده
۸۴۰ ab	۲۸/۵ a	۲۹۲۲ bc	۳۱/۷ a	۰/۷۰ ab	۰/۷۰ ab	گل مهر
۶۷۳ c	۲۶/۲ b	۲۵۴۰ d	۳۰/۶ b	۰/۶۶ c	۰/۶۵ c	پرنیان
۸۰۱ b	۲۸/۲ a	۲۸۳۲ c	۳۱/۵ a	۰/۶۹ b	۰/۷۰ ab	مکزیک ۱۴
۸۷۳ a	۲۷/۹ a	۳۱۱۷ a	۳۲/۲ a	۰/۷۰ b	۰/۶۸ b	مکزیک ۲۴۸

حروف مشابه در هر ستون نشانگر عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد می‌باشد.

جدول ۵- میانگین صفات مورد مطالعه روی ژنوتیپ‌های گلرنگ در شرایط عادی و تنش خشکی طی سال زراعی ۱۳۹۸-۹۹

غلظت کلروفیل	تعداد دانه در طبق	دمای برگ (°C)	ژنوتیپ	سطح تنش خشکی
۱۰۳ a-c	۵۲/۰ a	۱۹/۶ c-e	پدیده	بدون تنش
۹۸ bc	۵۲/۷ a	۲۰/۰ cd	گل مهر	
۹۰ c	۴۲/۷ c-e	۱۷/۶ d-f	پرنیان	
۱۱۹ a	۵۱/۷ a	۲۰/۰ cd	مکزیک ۱۴	
۸۹ c	۵۳/۳ a	۱۷/۳ d-f	مکزیک ۲۴۸	
۱۰۵ a-c	۴۶/۰ b	۱۷/۰ d-f	پدیده	تنش در مرحله سبز و استقرار بوته
۱۰۶ a-c	۴۵/۰ bc	۱۶/۶ ef	گل مهر	
۱۰۵ a-c	۴۳/۰ cd	۱۷/۶ d-f	پرنیان	
۱۱۱ ab	۴۶/۷ b	۲۱/۰ bc	مکزیک ۱۴	
۱۰۴ a-c	۵۱/۰ a	۱۶/۳ f	مکزیک ۲۴۸	
۶۵ d	۴۲/۰ de	۲۵/۰ a	پدیده	تنش در مرحله پرشدن دانه
۴۵ e	۴۲/۰ de	۲۵/۶ a	گل مهر	
۴۹ de	۴۰/۰ e	۲۳/۶ ab	پرنیان	
۵۵ de	۴۱/۷ de	۲۴/۰ a	مکزیک ۱۴	
۶۰ de	۴۲/۷ c-e	۲۶/۰ a	مکزیک ۲۴۸	

حروف مشابه در هر ستون نشانگر عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد می‌باشد.

تبریزی و همکاران (۲۰۰۸) با بررسی صفات مهم زراعی ارقام گلرنگ، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد روغن با عملکرد دانه را مشاهده نموده و نتیجه‌گیری کردند که با افزایش عملکرد دانه در بوته، عملکرد روغن نیز افزایش می‌یابد. نتایج یک مطالعه در دشت تبریز، همبستگی مثبت و معنی‌دار تعداد دانه در طبق با عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های پاییزه گلرنگ را نشان داد (پاسبان اسلام ۲۰۱۲). از بین اجزای عملکرد، تعداد طبق در بوته و وزن هزار دانه در تعیین عملکرد دانه گلرنگ نقش برجسته‌تری داشته‌اند (کوتریاس و همکاران ۲۰۰۴). همچنین همبستگی مثبت و معنی‌داری بین وزن هزار دانه و عملکرد دانه در شرایط بروز تنش از زمان ۵۰ درصد گل‌دهی گزارش شده است (یاری و کشتکار ۲۰۱۶).

در آزمایش حاضر همبستگی بین غلظت کلروفیل، هدایت روزنه و مقدار نسبی آب برگ با همدیگر و با اجزای عملکرد، عملکرد دانه و روغن مثبت و معنی‌دار بود (جدول ۶). بنابراین شاخص‌های مذکور از توان‌گزینش ژنوتیپ‌های پاییزه گلرنگ با عملکرد دانه و روغن بالا برخوردار می‌باشند. همبستگی بین اجزای عملکرد دانه با عملکرد دانه و روغن نیز مثبت و معنی‌دار گردید (جدول ۶). این امر نشان دهنده نقش برجسته آنها در محصول‌دهی ژنوتیپ‌های پاییزه گلرنگ است. البته با توجه به اثر غیرمعنی‌دار تنش خشکی در دوره‌های مورد مطالعه روی تعداد طبق در بوته به علت عدم هم‌زمانی دوره تنش با شکل‌گیری این بخش از عملکرد دانه، اثر کاهشی تنش روی محصول‌دهی گیاه از طریق این صفت نبوده است. همبستگی عملکرد روغن دانه با عملکرد دانه نیز مثبت و معنی‌دار بود (جدول ۶). امیدی

جدول ۶- ضرایب همبستگی ساده بین صفات مورد مطالعه روی ژنوتیپ‌های گلرنگ طی سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸

صفات	غلظت کلروفیل	دمای برگ	هدایت روزنه	مقدار نسبی آب برگ	تعداد طبق در بوته	تعداد دانه در طبق	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	درصد روغن	عملکرد روغن
غلظت کلروفیل										
دمای برگ	۰/۸۱**									
هدایت روزنه	۰/۸۶**	-۰/۷۳**								
مقدار نسبی آب برگ	۰/۹۱**	-۰/۸۴**	۰/۹۶**							
تعداد طبق در بوته	۰/۵۵*	-۰/۷۳**	۰/۵۴*	۰/۶۲*						
تعداد دانه در طبق	۰/۶۷**	-۰/۵۴*	۰/۷۸**	۰/۷۹**	۰/۶۱*					
وزن هزار دانه	۰/۷۶**	-۰/۷۴**	۰/۹۱**	۰/۹۲**	۰/۷۵**	۰/۹۸**				
عملکرد دانه	۰/۹۳**	-۰/۸۸**	۰/۹۲**	۰/۹۷**	۰/۷۲**	۰/۸۰**	۰/۹۲**			
درصد روغن	۰/۴۳	-۰/۲۱	۰/۷۱**	۰/۵۸*	۰/۱۲	۰/۵۵**	۰/۶۲*	۰/۴۵		
عملکرد روغن	۰/۹۲**	-۰/۸۶**	۰/۹۴**	۰/۹۸**	۰/۷۰**	۰/۸۲**	۰/۹۳**	۰/۹۹**	۰/۵۴*	

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

نتیجه‌گیری

از نظر نیاز آبی بحرانی به نظر نمی‌رسد. علت این امر خشک بودن هوا در این مرحله سبز شدن و استقرار آبی گیاه می‌تواند باشد. تنش خشکی در مرحله پرشدن دانه‌ها باعث کاهش معنی‌دار غلظت کلروفیل (۴۵ واحد)، هدایت روزنه (۰/۰۹ سانتی‌متر بر ثانیه)، مقدار نسبی آب برگ (۰/۱۳)، اجزای عملکرد دانه، عملکرد دانه (۱۹۰۶ کیلوگرم در هکتار) و روغن (۵۵۸ کیلوگرم در

وقوع تنش خشکی در مرحله سبز شدن و استقرار بوته ژنوتیپ‌های گلرنگ پاییزه در اقلیم سرد و نیمه خشک آذربایجان شرقی اثر معنی‌داری روی هدایت روزنه، مقدار نسبی آب برگ، دمای برگ، غلظت کلروفیل برگ، عملکرد دانه و روغن نداشت. بنابراین دوره مذکور در اقلیم‌های سرد و نیمه خشک طی فصل پاییز

تنش خشکی طی دوره پرشدن دانه برخوردار باشند. همبستگی بین اجزای عملکرد دانه با عملکرد دانه و روغن نیز مثبت و معنی‌دار شد. این امر نشان دهنده نقش برجسته آنها در محصول‌دهی ژنوتیپ‌های گلرنگ بود.

سپاسگزاری

بدینوسیله از زحمات کادر کوشای ایستگاه خسروشاه و مدیریت محترم مزرعه برای انجام شایسته امور زراعی شامل کاشت، داشت و برداشت مزرعه پژوهشی سپاسگزاری می‌گردد.

هکتار) ژنوتیپ‌های گلرنگ گردید. چنین نتیجه‌گیری می‌گردد که کاهش عملکرد دانه و روغن ناشی از تنش کمبود آب طی دوره پرشدن دانه، در اثر کاهش آب برگ‌ها و به تبع آن فتوسنتز و تولید کلروفیل و لذا کاهش مضاعف فتوسنتز در ادامه مرحله پرشدن دانه و در نتیجه کوچک‌تر ماندن طبق‌ها، کاهش تعداد دانه‌ها و وزن آنها در طبق‌ها بوده باشد. همبستگی بین غلظت کلروفیل، هدایت روزنه و مقدار نسبی آب برگ با همدیگر و با اجزای عملکرد، عملکرد دانه و روغن مثبت و معنی‌دار بود. به نظر می‌رسد شاخص‌های اکوفیزیولوژیک مذکور از توان‌گزینه‌ش ژنوتیپ‌های پاییزه گلرنگ با عملکرد دانه و روغن بالا در شرایط

منابع مورد استفاده

- Alikhani B. 2013. Climatology of Iran (geography branch). Peyameh Nour University Publication. 236 p. (In Persian).
- Ashrafi E and Razmjoo K. 2010. Irrigation regimes effect on oil content and composition of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars. Journal of the American Chemists Society, 87: 499-506.
- Bahattarai B, Singh S, Angadi SV, Begna S, Saini R and Auld D. 2020. Spring safflower water use patterns in response to pre-season and in-season irrigation applications. Agricultural Water Management Journal, 228(20): 276-286.
- Bahrami F, Arzani A and Karimi V. 2014. Evaluation of yield-based drought tolerance indices for screening safflower genotypes. Agronomy Journal, 106: 1219-1224.
- Bassil BS and Kaffka SR. 2002. Response of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) to saline soils and irrigation. II Crop response to salinity. Agricultural Water Management, 54: 81-92.
- Bortolheiro FPAP and Silva MA. 2017. Physiological response and productivity of safflower lines under water deficit and rehydration. Annuals of the Brazilian Academy of Science, 89: 3051-3066.
- Carcova J, Maddonni GA and Ghera CM. 1998. Crop water stress index of three maize hybrids grown in soils with different quality. Field Crops Research, 55: 165-174.
- Ebrahimian E, Seyyedi SM, Bybordi A and Damalas CA. 2019. Seed yield and oil quality of sunflower, safflower and sesam under different levels of irrigation water availability. Agricultural Water Management Journal, 218: 149-157.
- Esendel E, Kevseroglu KE, Ulsa N and Aytac S. 1992. Performance of late autumn and spring planted safflower under limited environment. Proceeding of the Third International Safflower Conference. 14-18 Jun. China. P. 221-280.
- Golestani-Araghi S and Assad MT. 1998. Evaluation of four screening techniques for drought resistance and their relationship to yield reduction ratio in wheat. Euphytica, 103: 293-299.
- Hosseini SZ, Esmaili A and Sohrabi SS. 2018. Evaluation of drought tolerance in safflower (*Carthamus tinctorius*) under limited irrigation condition. Plant Genetic Research Journal, 5: 55-72. (In Persian).
- Istanbulluoglu A, Gocmen E, Gezer E, Pasa C and Konukcu F. 2009. Effects of water stress at different development stages on yield and water productivity of winter and summer safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Agricultural Water Management, 96: 1429-1434.

- Johnson DA and Rumbaugh MD. 1995. Genetic variation and inheritance characteristics for carbon isotope discrimination in alfalfa. *Range Management Journal*, 48: 126-131.
- Joshan Y, Sani B, Jabbari H, Mozafari H and Moaveni P. 2019. Effect of drought stress on oil content and fatty acids composition of some safflower genotypes. *Plant, Soil and Environment Journal*, 65 (11): 563-567.
- Koutroubas SD, Papakosta DK and Doitsinis A. 2004. Cultivar and seasonal effects on the contribution of pre-anthesis assimilates to safflower yield. *Field Crops Research*, 90: 263-274.
- Kumar A and Singh DP. 1998. Use of physiological indices as screening technique for drought tolerance in oil seed Brassica species. *Annual of Botany*, 81: 413-420.
- Magsoudi E, Yadavi AR, Movahedi-Dehnavi M and Balouch HR. 2018. Effect of water off and different nutrition systems on yield and yield components of spring safflower in Yasouj. *Crop Production Journal*, 11: 101-112. (In Persian).
- Mirnezami-Ziabari SH and Sanei-Shariatpanah M. 1994. Usual methods in fats and oils analysis. Mashhad Astaneh Gods. 274p. (In Persian).
- Noroozi M and Kazemeini SA. 2013. Effect of irrigation deficit and plant density on growth and seed yield of safflower. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 10: 781-788. (In Persian).
- Omidi, AH. 2016. Evaluation of new safflower cultivars lines for seed yield in saline regions of the country. Final Report of Research. No. 52203. Seed and Plant Improvement Institute. Karaj. 17 p. (In Persian).
- Omidi-Tabrizi AH. 2006. Stability and adaptability estimates of some safflower cultivars and lines in different environmental conditions. *Agricultural Science Technology Journal*, 8:141-151.
- Omidi-Tabrizi AH, Gannadha MR and Peygambari SA. 2008. Study of important agronomic traits in spring cultivars of safflower by multivariate statistical methods. *Iranian Agriculture Science Journal*, 30: 817-826. (In Persian).
- Pasban Eslam B. 2015. Effects of row spacing and seeding rate on seed yield and its components in safflower Padideh cv. in Tabriz region. *Seed and Plant Improvement Journal*, 30 (2): 223-236. (In Persian).
- Pasban Eslam B. 2012. Effect of drought stress on seed and oil yields of safflower fall genotypes. *Iranian Agronomy Science Journal*, 42: 275-283. (In Persian).
- Pasban Eslam B. 2011. Evaluation of physiological indices for improving water deficit tolerance in spring safflower. *Journal of Agriculture Science and Technology*, 13: 327-338.
- Pasban Eslam B and Omidi AH. 2019. Evaluation of yield components, seed and oil yields of safflower fall genotypes under water deficit stress during reproductive period. *Agriculture Science and Sustainable Production Journal*, 29(3): 73-84. (In Persian).
- Pobuayon ILB, Singh S and Ritchie GL. 2019. Effect of deficit irrigation on yield and oil content of sesame, safflower and sunflower. *Agronomy Journal*, 111(6): 3091-3098.
- Salem N, Msaada K, Dhifi W, Sriti J, Mejri H, Liman F and Marzouk B. 2014. Effect of drought on safflower natural dyes and their biological activity. *Excli Journal*, 13: 1-8.
- Sharghi Y, Shirani-Rad, AH, Ayeneh B and A, Nourmohammadi G and Zahedi H. 2011. Yield and yield components of six canola (*Brassica napus* L.) cultivars affected by planting date and water deficit stress. *African Journal of Biotechnology*, 10(46): 9309-9313.
- Shiresmaeili GH, Maghsudimood AA, Khajueinejad GR and Abdolshahi R. 2018. Yield and oil percentage of safflower cultivars (*Carthamus tinctorius* L.) in spring and summer planting seasons affected by drought stress. *Journal of Crop Ecophysiology*, 12: 237-252. (In Persian).
- Sinclair TR and Ludlow MM. 1985. Who taught plants thermodynamics? The unfulfilled potential of plant water potential. *Australian Journal of Plant Physiology*, 12: 213-217.

- Yari P and Keshtkar AH. 2016. Correlation between traits and path analysis of safflower grain yield under water stress conditions. Iranian Journal of Field Crops Research, 14: 427-437. (In Persian).
- Zareie S, Mohamadi-Nejad G and Sardouie-Nasab S. 2013. Screening of Iranian safflower genotypes under water deficit and normal conditions using tolerance indices. Australian Journal of Crop Science, 7: 1032-1037.