نشریه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد پانزدهم، شماره ۱(۵۷)، بهار ۱۴۰۰، صفحه ۱۰۸-۹۱

**مقاله پژوهشی** DOI: 10.30495/jcep.2021.681008

# بررسی فتوسنتز، عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) در پاسخ به تنش توأم شوری و خشکی در مرحله رشد رویشی

**مرضیه اسماعیل‌زاده[۱]، حسین بابازاده[۲*]، هرمزد نقوی[۳]، علی صارمی[۲] و غلامحسین شیراسماعیلی[۴]**

**تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۸/۱ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۲/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۵/۲۸**

## چکیده

این تحقیق به‌منظور بررسی پاسخ گلرنگ به تنش‌های شوری، خشکی و تنش همزمان شوری- خشکی و سهم هر یک در کاهش عملکرد، اجزای عملکرد و فتوسنتز گیاه انجام شد. بدین منظور آزمایشی به‌صورت کرت‌های یک‌بار خرد شده و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در اراضی مرکز آموزش کشاورزی کبوترآباد اصفهان در سال‌های ۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵ اجرا شد. در این مطالعه گلرنگ بهاره رقم صفه در واکنش به چهار سطح شوری آب آبیاری (۲/۵، ۵، ۱۰ و ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر) و چهار سطح آبیاری (۱۰۰، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای) در مرحله رشد رویشی این گیاه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش سطوح شوری و خشکی به‌طور معنی‌داری از میانگین اکثر صفات مورد بررسی کاسته شد، به‌طوری‌که شدیدترین تیمارهای خشکی (آبیاری بر اساس ۴۰ درصد ظرفیت مزرعه) و شوری (۱۵ دسی زیمنس بر متر) کمترین مقادیر صفات را به خود اختصاص دادند. با افزایش شوری، درصد روغن دانه کاهش یافت، لیکن این کاهش (۷/۴ درصد) فقط در بالاترین سطح شوری آب (۱۵ دسی‌زیمنس بر متر) معنی‌دار بود. بالاترین سطح تنش همزمان خشکی و شوری موجب کاهش هر چه بیشتر عملکرد دانه (۸۷/۱۳ درصد کاهش) در مقایسه با بالاترین سطح هر یک از تنش‌های خشکی (۷۱/۴۰ درصد کاهش) و شوری (۵۵/۵۶ درصد کاهش) نسبت به تیمار شاهد (بدون تنش خشکی و شوری) شد و سهم تنش خشکی در مقایسه با تنش شوری در کاهش عملکرد (به‌ترتیب ۷۱/۴۰ و ۵۵/۵۶ درصد) به مراتب بیشتر بود. لذا، به‌طورکلی با در نظر گرفتن حداقل افت عملکرد دانه، آبیاری معادل ۸۰ درصد ظرفیت مزرعه با شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر در مرحله رشد رویشی تولید گلرنگ امکان پذیر می‌باشد.

**واژگان کلیدی**: درصد روغن، شاخص سطح برگ، عملکرد دانه، فتوسنتز خالص، گلرنگ.

**۱-دانشجوی دکتری، گروه مهندسی سیستم‌های کشاورزی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.**

**۲-گروه مهندسی سیستم‌های کشاورزی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.**

**۳-دانشیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران.**

**۴-استادیار بخش تحقیقات علوم و زراعی باغی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، اصفهان، ایران.**

*** نگارنده‌ی مسئول** h_babazadeh@srbiau.ac.ir

**مقدمه**

خشکی و شوری از مهم‌ترین عوامل محدود کننده تولید گیاهان زراعی در ایران است. به‌دلیل نزولات پایین، بخش عمده‌ای از کشور در منطقه خشک و نیمه خشک قرار می‌گیرد به‌طوری‌که میانگین بارش در ایران که ۲۷۴ میلی‌متر است، در مقایسه با میانگین بارش در سطح کره زمین (۶۸۰ میلی‌متر) بسیار کم است (Alizadeh, 2001). از طرف دیگر حدود ۲۵ میلیون هکتار از اراضی واقع در مناطق خشک و نیمه خشک کشور، دارای خاک شور و قلیا می‌باشد و کیفیت آب آبیاری آنها نیز در گروه آبهای شور و لب شور قرار دارد و دارای مقادیر بالای نمک‌های محلول است (Bijanzadeh *et al*., 2010). بنابراین، در مناطق خشک و نیمه‌خشک، در اغلب موارد گیاهان به‌طور همزمان تحت تأثیر تنش شوری و خشکی قرار می‌گیرند. تاثیر توأم تنش شوری و خشکی بر روی عملکرد محصولات به نوع گیاه، تناوب آبیاری، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، اقلیم و کیفیت آب آبیاری بستگی دارد (Dudley and Shani, 2003).

انتخاب محصولات زراعی، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک جهان نظیر ایران از اهمیت بیشتری برخوردار است. دانه‌های روغنی علاوه بر مصارف صنعتی از منابع مهم غذایی برای انسان و حیوان محسوب می‌شوند و با توجه به روند رو به افزایش مصرف روغن‌های گیاهی و هزینه زیاد تأمین روغن مورد نیاز کشور از طریق واردات، توسعه کشت دانه‌های روغنی سازگار به شرایط اقلیمی کشور حایز اهمیت است. از بین دانه‌های روغنی، گلرنگ به‌عنوان یک گیاه مقاوم به تنش شوری و خشکی مطرح بوده (Bassil and Kaffka, 2002) و با داشتن تیپ‌های بهاره و پاییزه از آینده نویدبخشی برخوردار است، به طوری‌که می‌توان از آب شور برای آبیاری گلرنگ استفاده کرد بدون اینکه سبب کاهش عملکرد شود، مشروط به اینکه سطوح مؤثر شوری آب و خاک در کمتر از ۸ دسی‌زیمنس بر متر نگه داشته شود (Bassil and Kaffka, 2002). مشاهده شده است که عملکرد بذر گلرنگ تا شوری ۶/۷ دسی زیمنس بر متر تحت تأثیر قرار نمی‌گیرد (Bassil and Kaffka, 2002)، و زمانی که شوری به حدود ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر می‌رسد، عملکرد این گیاه به نصف کاهش می‌یابد (Hans-Henning *et al*., 2004)، به نظر می‌رسد که تحت شرایط شوری، تعداد دانه در طبق تغییری نمی‌کند، اما تعداد طبق، وزن دانه و درصد روغن کاهش می‌یابد (Hans-Henning *et al*., 2004).

نتایج مطالعات حاکی از آن است که تنش خشکی به‌طور معنی‌داری شاخص سطح برگ (Ashkani *et al*., 2007; Lak *et al*., 2007; Rezaeizad *et al*., 2007; Shir-esmaeili *et al*., 2018) و عملکرد دانه (Esendel *et al*., 2008; Mosavifar *et al*., 2011; Zafari *et al*., 2017; Shir-esmaeili *et al*., 2018) گلرنگ را کاهش داده ولی اثر معنی‌داری بر درصد روغن ندارد (Shir-esmaeili *et al*., 2018). گزارش شده است درصد روغن دانه در اثر اعمال تیمارهای مختلف آبیاری تغییر اندکی می‌کند. دو دلیل برای تغییرات اندک درصد روغن مطرح می‌باشد: اول اینکه درصد روغن دانه صفت کمّی است که توسط تعداد زیادی ژن کنترل می‌شود و بنابراین احتمال صدمه به تمامی ژن‌های کنترل‌کننده این صفت بسیار کم است (Yadollahi *et al*., 2014) دوم اینکه درصد روغن، نسبت روغن موجود در دانه به کل وزن دانه است که شامل پوست و فیبر نیز می‌شود (Shir-esmaeili *et al*., 2018) و در

شرایط اعمال تنش، کل وزن دانه کاهش می‌یابد و موجب می‌شود که با وجود کاهش میزان روغن دانه، درصد روغن دانه تغییر زیادی نداشته باشد (Mosavifar *et al.*, 2009).

در مطالعه روی ارقام زراعی گندم بیان شد که اثر تنش همزمان شوری و خشکی بر عملکرد گندم کمتر از مجموع اثرات آنها است و همچنین سهم تنش خشکی در کاهش عملکرد گندم از سهم تنش شوری بیشتر بود (Shahidi *et al.*, 2010). بیان شده که با افزایش تنش شوری، رشد رویشی نسبت به زمانی که تنش خشکی اعمال شده است کمتر کاهش یافته ولی در تنش‌های خشکی بالاتر با افزایش تنش شوری، رشد رویشی گیاه به شدت کاهش یافته است (Mohammad *et al.*, 2011). با مطالعه رژیم‌های آبیاری و تنش شوری بر روی صفات عملکردی گلرنگ در منطقه رودشت اصفهان کاهش تعداد طبق در بوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه گزارش شده است (Feizi *et al.*, 2010). در اغلب پژوهش‌های گذشته تاثیر تنش‌های خشکی و شوری بر روی گیاهان به صورت جداگانه مطالعه شده است. اثر توام تنش شوری و خشکی ناشی از وجود منابع آب آبیاری محدود و با کیفیت پایین (شور)، که احتمال رخداد آن در مزارع کاشت گلرنگ وجود دارد، کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است. بنابراین، نظر به اجتناب ناپذیر بودن استفاده از آب‌هایی با کیفیت پایین و نیز اهمیت توسعه کشت گلرنگ به عنوان یک گیاه دانه روغنی، مطالعه‌ای با هدف بررسی اثر سطوح مختلف شوری، خشکی و شوری- خشکی توام بر صفات عملکرد دانه، اجزای عملکرد، درصد و عملکرد روغن و پارامترهای فتوسنتزی گیاه گلرنگ در مرحله رشد رویشی انجام گرفت.

## مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال‌های ۹۵-۹۴ و ۹۶-۹۵ در شرایط مزرعه در اراضی مرکز آموزش کشاورزی کبوترآباد اصفهان اجرا گردید. کبوترآباد در فاصله ۳۰ کیلومتری جنوب شرقی شهر اصفهان با مختصات طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۴۹ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی و در ارتفاع ۱۵۴۱ متری از سطح دریا واقع شده است. میانگین دراز مدت بارندگی در این منطقه ۱۲۲ میلی‌متر و میانگین دراز مدت دمای سالانه ۱۶/۱ درجه سلسیوس می‌باشد. تغییرات دما و بارندگی این منطقه در طول اجرای این آزمایش در شکل ۱ نشان داده شده است. آزمایش به صورت کرت‌های یک بار خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. در این آزمایش فاکتور اصلی شامل چهار سطح شوری آب آبیاری (۲/۵، ۵، ۱۰ و ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر) و فاکتور فرعی شامل چهار سطح آبیاری (۱۰۰، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای) بود. آبیاری به‌صورت قطره‌ای با استفاده از نوار تیپ و کنتور حجمی صورت گرفت. دور آبیاری بر اساس ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A تنظیم شد. حجم آب آبیاری در هر دور آبیاری (جهت رساندن رطوبت خاک به حد ظرفیت مزرعه‌ای) با استفاده از لایسیمتر حجمی مشخص شد و بر اساس آن مقدارهای ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای تعیین گردید. همچنین، جهت تهیه سطوح شوری از نمک‌های کلرید کلسیم و کلرید سدیم به نسبت ۱:۱ استفاده شد که بر اساس تیمارهای مربوطه در مخازن جداگانه تهیه و همراه با آبیاری به‌صورت کنترل شده وارد کرت‌ها گردید. تیمارهای آزمایش از زمان استقرار بوته‌ها تا ابتدای مرحله تکمه‌دهی اعمال و پس از آن

اعمال تنش‌های شوری و خشکی متوقف شد. عملیات تهیه فیزیکی و شیمیایی زمین دو هفته قبل از کاشت صورت گرفت. نتایج آزمون خاک در جدول ۱ نشان داده شده است.

کاشت در تاریخ ۱۵ فروردین ماه انجام شد. به‌منظور کنترل علف‌های هرز، علف‌کش ترفلان به میزان ۲ لیتر در هکتار پاشیده و به کمک دیسک با خاک مخلوط گردید. کشت به‌صورت خطی و در هر کرت پنج خط به فاصله ۴۰ سانتی‌متر و به طول ۵ متر انجام و کرت‌ها بلافاصله آبیاری شد. در مرحله ۳ تا ۴ برگی، خطوط کاشت تنک شده و فاصله بوته‌ها روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر تنظیم شد، به‌طوری‌که تراکم ۲۵ بوته در مترمربع حاصل شد. به‌منظور محاسبه شاخص سطح برگ از رابطه LAI= LA × 1/GA استفاده گردید. در این رابطه LA سطح برگ بوته و GA سطح زمین می‌باشد (Gardner *et al*., 1985).

میزان فتوسنتز خالص، هدایت روزنه‌ای و تعرق نیز با استفاده از دستگاه فتوسنتزمتر مدل CI-340 ساخت کشور امریکا اندازه‌گیری شدند. اندازه‌گیری‌ها با استفاده از برگ‌های انتهایی گیاه در ساعات بین ۱۱ قبل از ظهر تا ۲ بعد از ظهر و در یک نوبت انجام شد.

عملیات برداشت در تاریخ ۲۵ تیر ماه انجام شد. با رعایت اثر حاشیه‌ای، برداشت دانه از سطحی معادل ۳/۶ مترمربع از هر کرت فرعی، برای محاسبه عملکرد دانه، درصد و عملکرد روغن انجام گردید. جهت تجزیه واریانس از نرم‌افزار SAS v. 9.1 و مقایسه میانگین‌ها از نرم‌افزار MSTATC استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ انجام گرفت.

## نتایج و بحث

**شاخص سطح برگ (LAI)**: طبق نتایج تجزیه واریانس، اثر ساده تنش خشکی و تنش شوری و اثر متقابل آنها در سطح احتمال یک درصد برای این صفت معنی‌دار گردید (جدول ۲). بیشترین شاخص سطح برگ (۳/۱۰) از تیمار آبیاری با آب غیرشور (شاهد) به‌میزان ۸۰ درصد ظرفیت مزرعه حاصل شد که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای آبیاری با آب شور ۵ دسی‌زیمنس بر متر به‌میزان ۱۰۰ و ۸۰ درصد ظرفیت مزرعه نداشت (جدول ۶). همچنین، کمترین شاخص سطح برگ (۱/۲۳) از تیمار آبیاری با آب شور ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر بر اساس۴۰ درصد ظرفیت مزرعه به‌دست آمد (جدول ۶). کاهش کلی سطح برگ در شرایط تنش شوری بیشتر به علت کاهش آماس برگ، خصوصیات دیواره سلولی و یا کاهش میزان فتوسنتز می‌باشد (Franco *et al*., 2000). ناوارو و همکاران (Navarro *et al*., 2008) در طی افزایش تنش شوری، کاهش سطح برگ نشاهای *Arbutus unedo* را از ۵/۶۳ به ۳/۲۲ سانتی‌متر مربع مشاهده نمودند. هر چند کسوری و همکاران (Ksouri *et al*., 2007) بیان داشتند سطح برگ گیاه *Cakile maritime* در تنش متوسط شوری تحریک شده و اندکی افزایش یافت. یاری و همکاران (Yari *et al*., 2014) با اعمال تنش خشکی بر گلرنگ بهاره گزارش کردند که تنش موجب کاهش معنی‌دار شاخص سطح برگ این گیاه شد. کاهش سطح برگ در شرایط خشکی و شوری را می‌توان یک رویداد اجتنابی قلمداد نمود (Torrecillas *et al*., 2003). این رویکرد در هنگام بسته بودن روزنه‌ها سبب به حداقل رسیدن هدر رفت آب شده و در بسیاری از گونه‌ها در شرایط

تنش اسمزی رخ می‌دهد (Ruiz-Sanchez *et al.*, 2000).

**فتوسنتز خالص:** فتوسنتز عامل اصلی تعیین کننده رشد و عملکرد گیاهان است و توانایی حفظ آن در شرایط تنش‌های محیطی برای حفظ ثبات عملکرد مهم است (Javadipour *et al.*, 2013). در این تحقیق، فتوسنتز خالص تنها تحت تاثیر فاکتور تنش خشکی و فاکتور تنش شوری (در سطح احتمال یک درصد) قرار گرفت (جدول ۲). بر این اساس بیشترین میزان فتوسنتز خالص (۱۶/۸۷ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه) از تیمار آبیاری بر اساس ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه (شاهد) به‌دست آمد که با میانگین به‌دست آمده از تیمار آبیاری ۶۰ درصد (۱۵/۵۳ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه) و تیمار آبیاری ۴۰ درصد (۱۶/۰۷ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه) اختلاف معنی‌داری داشت (جدول ۴). کاهش فتوسنتز را می‌توان به نقصان هدایت روزنه‌ای نسبت داد که در این تحقیق نیز تحت تنش کاهش یافته است. بسته شدن روزنه‌ها در شرایط تنش گرچه به منظور کاهش هدر رفت آب صورت می‌گیرد، اما به واسطه جلوگیری از ورود دی اکسید کربن می‌تواند فتوسنتز را به کمتر از نقطه جبرانی کاهش دهد (Ashraf and Harris, 2004). مقایسه میانگین اثر تیمار تنش شوری بر این صفت نیز نشان داد که فتوسنتز خالص در تیمار شاهد (آبیاری با آب غیرشور) برابر ۱۶/۹۲ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه بوده و با افزایش میزان شوری، به طور معنی‌داری مقدار آن کاهش یافت به‌طوری‌که کمترین مقدار آن برای تیمار شوری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر (۱۵/۷۱ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه) به‌دست آمد (جدول ۴). جوادی‌پور و همکاران (Javadipour *et al.*, 2013) کاهش میزان فتوسنتز خالص را در گیاه گلرنگ در شرایط تنش شوری گزارش کردند که با نتایج به دست آمده از این تحقیق همخوانی دارد.

**هدایت روزنه‌ای:** در این تحقیق تنها فاکتور تنش شوری اثر معنی‌داری بر هدایت روزنه‌ای داشت (جدول ۲). بر طبق نتایج مقایسه میانگین، بیشترین و کمترین مقدار هدایت روزنه‌ای به ترتیب با میانگین‌های ۲۳۴/۳ و ۲۱۷/۸ میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه متعلق به تیمارهای شاهد و شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر بود (جدول ۴). افزایش مقدار شوری آب آبیاری از سطح ۵ به ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر موجب کاهش معنی‌دار هدایت روزنه‌ای شد در حالی که افزایش سطح شوری آب از سطح ۱۰ به ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر، تغییرات معنی‌داری در هدایت روزنه‌ای ایجاد نکرد (جدول ۴). روزنه‌ها مدخل اصلی گیاه هستند و شکاف روزنه‌ها نقش مهمی را در کنترل تبادلات گازی، تعرق و فتوسنتز ایفا می‌کنند. اندازه روزنه‌ها معمولاً در پاسخ به عوامل محیطی و درونی تغییر کرده و این باعث می‌شود مقدار تعرق و هدایت روزنه‌ای تغییر یابد. در انطباق با نتایج به‌دست آمده از این تحقیق، کاهش میزان هدایت روزنه‌ای در شرایط تنش شوری در گیاه گلرنگ توسط سایر محققین نیز گزارش شده است (Javadipour *et al.*, 2013).

**سرعت تعرق:** شدت تعرق تابع اختلاف فشار بخار، مقاومت در برابر جریان آب و توانایی گیاه و خاک از نظر انتقال آب به جایگاه تعرق می‌باشد. همچنین، شدت تشعشع خورشید، دما، رطوبت نسبی و باد از سایر عوامل محیطی تاثیرگذار بر تعرق می‌باشند (Gardner *et al.*, 1985). سرعت تعرق تنها تحت تاثیر اثر ساده تنش خشکی (در سطح احتمال پنج درصد) قرار

گرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر تیمار تنش خشکی برای این صفت نشان داد که بیشترین و کمترین سرعت تعرق به‌ترتیب از تیمارهای آبیاری بر اساس ۸۰ و ۴۰ درصد ظرفیت مزرعه به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری با یکدیگر داشتند (جدول ۴). کاهش سرعت تعرق در گیاه گلرنگ در شرایط اعمال تنش خشکی توسط ظفری و همکاران (Zafari *et al.*, 2017) نیز گزارش شده است.

**ارتفاع بوته:** طبق نتایج تجزیه واریانس، اثرات ساده خشکی و شوری و اثر متقابل آنها برای این صفت معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد بیشترین ارتفاع بوته (۶۸/۲۵ سانتی‌متر) از تیمار آبیاری با آب غیرشور به میزان ۸۰ درصد ظرفیت مزرعه حاصل شد (جدول ۶). همچنین، کمترین مقدار این صفت (۳۹/۱۳ سانتی‌متر) از تیمار آبیاری با آب شور ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر به میزان ۴۰ درصد ظرفیت مزرعه بدست آمد. کمبود آب موجب کاهش تورژسانس سلولی شده و در نهایت کاهش رشد و توسعه سلولی به‌خصوص در ساقه و برگ‌ها را به دنبال خواهد داشت. با کاهش رشد سلول، اندازه اندام محدود می‌شود و به همین دلیل است که اولین اثر محسوس کم آبی روی گیاه را می‌توان از روی کاهش ارتفاع یا اندازه کوچک‌تر برگ‌ها تشخیص داد (Babai *et al.*, 2010). این نتایج با یافته‌های محسن‌زاده و همکاران (Mohsenzadeh *et al.*, 2006) و آلوارز و همکاران (Alvarz *et al.*, 2009) مطابقت دارد. همچنین، گزارش شده است ارتفاع گیاه در اثر تنش شوری به شدت کاهش یافته و به میزان ۷۰ درصد شاهد رسید (Navaro *et al.*, 2008). تنش شوری باعث کاهش ارتفاع بوته گلرنگ شده است که دلیل آن می‌تواند مربوط به اثرات منفی شوری بر فعالیت فتوسیستم‌ها در سلول برگ و نیز بر فرایند تولید و مصرف مواد فتوسنتزی در نقاط در حال رشد و یا اثر مستقیم نمک تجمع یافته بر مراحل متابولیکی تقسیم و رشد سلول‌ها باشد (Bahadorkhah and Kazemeini, 2014). کاهش ارتفاع گیاه لوبیا در شرایط تنش توام شوری و خشکی گزارش شده است (Wang *et al.*, 2001).

**تعداد طبق در بوته:** صفت تعداد طبق در بوته بر تعداد دانه در گیاه و عملکرد دانه مؤثر است و از این رو با اهمیت می‌باشد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای تنش خشکی و تنش شوری و اثر متقابل آنها در سطح احتمال یک درصد ($P<0.001$) برای صفت تعداد طبق در بوته معنی‌دار گردید (جدول ۳). افزایش میزان شوری در هر یک از سطوح آبیاری منجر به کاهش معنی‌دار تعداد طبق در بوته گردید، به گونه‌ای که بیشترین تعداد طبق در بوته با میانگین ۱۶/۴۹ طبق از ترکیب تیماری آبیاری با آب غیرشور (شاهد) به میزان ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه بود (جدول ۶). پالیزدار و همکاران (Palizdar *et al.*, 2013) طی آزمایشی دریافتند تعداد طبق در بوته گلرنگ در تیمارهای آبیاری براساس ۱۰۰، ۱۴۰ و ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر به‌ترتیب برابر با ۹۳، ۸۵ و ۷۸ درصد این صفت نسبت به شرایط رطوبت کافی (۶۰ میلی‌متر تبخیر) بوده است. همچنین، نتایج مشابهی در رابطه با اثر تنش شوری بر تعداد طبق در گلرنگ توسط بهادرخواه و کاظمینی (Bahadorkhah and Kazemeini, 2014) ارایه شده است. وجود شرایط نامناسب مانند تنش شوری می‌تواند مانع بروز پتانسیل ژنتیکی رقم شود به گونه‌ای که با تاثیر بر رشد رویشی و

شاخه‌زنی آن قادر خواهد بود که تعداد طبق در بوته را تحت تاثیر قرار دهد.

**تعداد دانه در طبق:** بین سطوح تنش خشکی مورد بررسی از نظر تعداد دانه در طبق تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد ملاحظه شد (جدول ۳). سطوح تنش خشکی ۱۰۰ و ۸۰ درصد ظرفیت مزرعه با میانگین‌های ۱۸/۷۴ و ۱۸/۶۱ دانه به‌طور معنی‌داری در مقایسه با سطوح ۶۰ و ۴۰ درصد (به‌ترتیب ۱۷/۵۶ و ۱۶/۶۸ دانه) از تعداد دانه در طبق بیشتری برخوردار بودند (جدول ۵). یکی از صفات مهم در شکل‌گیری عملکرد دانه، تعداد دانه در طبق می‌باشد. با افزایش تعداد دانه در طبق، تعداد دانه در تک بوته و در نهایت عملکرد دانه افزایش می‌یابد. آزمایش باغخانی و فرحبخش (Baghkhani and Farahbakhsh, 2008) بر روی گیاه گلرنگ براساس تیمارهای آبیاری (قطع آبیاری در مراحل مختلف رشد) نشان داده است تنش شدید (قطع آبیاری بعد از ساقه رفتن) کمترین و تیمار شاهد (آبیاری در کل دوره رشد گیاه) بیشترین تعداد دانه در طبق را به خود اختصاص داده‌اند. بر این موضوع تاکید شده است که در اثر تنش خشکی تعداد سلول‌های اولیه تولید بذر و در نتیجه تعداد دانه در طبق کاهش پیدا می‌کند. همچنین، سطوح تیمار تنش شوری در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نشان دادند (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که با افزایش میزان شوری در آب آبیاری، تعداد دانه در طبق به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۵). کاهش تعداد دانه در طبق در شرایط تنش شوری توسط دیگر محققان نیز گزارش شده است (Basil and Kaffka, 2002; Bahadorkhah and Kazemeini, 2014). کاهش تولید مواد فتوسنتزی و یا تغییر مسیر مواد فتوسنتزی از دانه‌ها به طرف برگ برای تنظیم اسمزی گیاه از جمله آثار تنش شوری می‌باشد که می‌تواند منجر به کاهش تعداد دانه در طبق گردد.

**وزن هزار دانه:** در این تحقیق وزن هزار دانه تنها تحت تاثیر تیمار تنش خشکی قرار گرفت (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد سطوح تنش خشکی ۱۰۰ و ۸۰ درصد ظرفیت مزرعه به‌طور معنی‌داری در مقایسه با سطوح ۶۰ و ۴۰ درصد از وزن هزار دانه بیشتری برخوردار بودند (جدول ۵). نتایج به‌دست آمده با نتایج سایر تحقیقات همخوانی دارد (Aghaiy *et al.*, 2011). بر اساس گزارش سرمدنیا و کوچکی (Sarmadnia and Kochaki, 1999) در طول دوره رشد، تقاضا برای دریافت مواد فتوسنتزی جهت پر شدن دانه‌ها و همچنین تقاضا برای تنفس و نگهداری زیست توده، همزمان افزایش می‌یابد، لذا وقوع تنش در هنگام پرشدن دانه‌ها بیشترین تاثیر را بر کاهش وزن دانه بر جای می‌گذارد.

**عملکرد دانه:** این صفت به‌طور معنی‌داری (در سطح احتمال یک درصد) تحت تاثیر تیمارهای تنش خشکی و تنش شوری و اثرات متقابل آنها قرار گرفت (جدول ۳). بر طبق نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل، در هر یک از سطوح مشخص آبیاری با افزایش شدت تنش شوری عملکرد دانه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت به طوری‌که کمترین مقدار این صفت از تیمار آبیاری با آب شور ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر و به میزان ۴۰ درصد ظرفیت مزرعه به‌دست آمد (جدول ۶). در تحقیق حاضر، تنش خشکی در مرحله رشد رویشی منجر به کوچک شدن سطح برگ، کاهش شاخص سطح برگ، فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای شده و به دنبال آن با کاهش تعداد دانه در طبق

منجر به کاهش عملکرد دانه در این مرحله شد. نتایج حاضر در کاهش میزان عملکرد دانه با افزایش تنش خشکی با نتایج گزارش شده توسط سایر محققین همسو می‌باشد (Rostami *et al.*, 2003; Esendel *et al*., 2008; Ozturk *et al*., 2008). اما کاهش عملکرد در مرحله رشد زایشی به‌واسطه کاهش طول دوره پر شدن دانه‌ها، کوچک شدن دانه‌ها و کاهش وزن دانه‌ها می‌باشد (Ferasat *et al.*, 2012). تنش شوری با اختلال در جذب مواد غذایی و فعالیت متابولیکی موجب پیری زودرس و کاهش فعالیت فتوسنتزی گیاه بخصوص فتوسنتز طبق و برگ‌های مجاور آن که سهم عمده‌ای بر تولید دانه (Farid and Ehsanzadeh, 2006) دارند، فراهم می‌آورد که خود باعث کاهش عملکرد دانه خواهد شد. در این تحقیق، تنش شوری موجب کاهش سرعت فتوسنتز خالص و سرعت تعرق در پی کاهش شاخص سطح برگ شد. به نظر می‌رسد این تغییرات موجب کاهش تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق و در نهایت عملکرد دانه شده است. تحقیقات نشان داده است که اگرچه گلرنگ به عنوان یک گیاه نسبتاً مقاوم به شوری قلمداد می‌شود اما عملکرد این گیاه در سطوح بالای شوری نقصان می‌یابد (Kamali *et al.*, 2011). همچنین، کاهش عملکرد دانه گلرنگ به‌واسطه اعمال تنش شوری توسط جاود و همکاران (Javed *et al*., 2014) گزارش شده است.

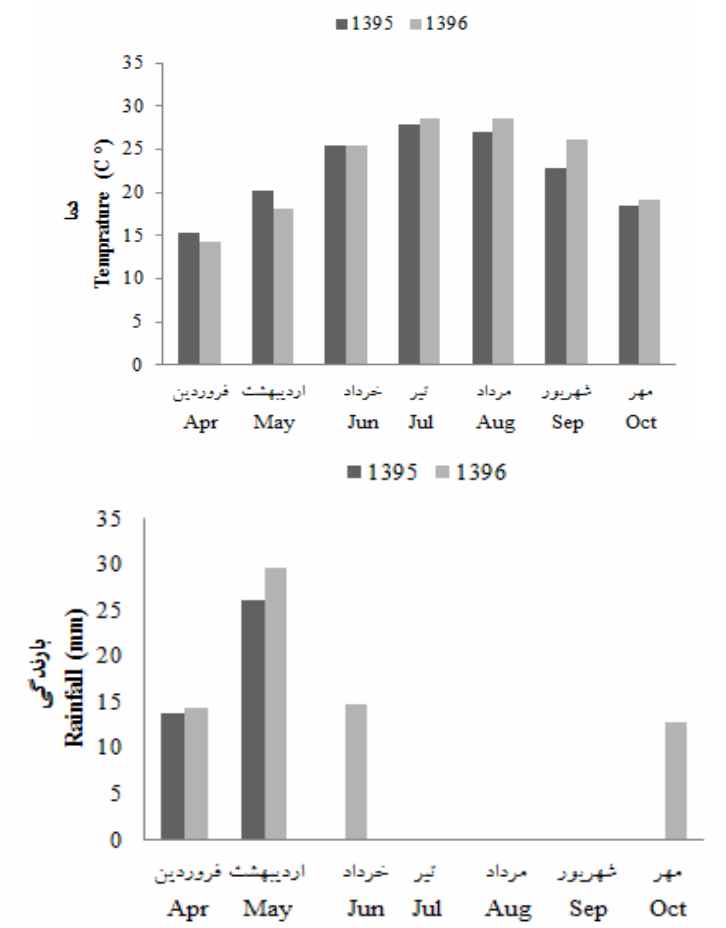
**درصد روغن دانه:** نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده تنش خشکی و تنش شوری در سطح احتمال یک درصد ($P<0.001$) برای درصد روغن دانه معنی‌دار گردیدند (جدول ۳). بیشترین درصد روغن دانه مربوط به سطح آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه (۳۵/۲۴ درصد) بود که اختلاف معنی‌داری با سطح ۸۰ درصد ظرفیت مزرعه نداشت ولی با سطح آبیاری ۶۰ و ۴۰ درصد (به‌ترتیب با میانگین‌های ۳۲/۲۲ و ۳۱/۱۱ درصد) داشت (جدول ۵). در ارتباط با تأثیر تنش رطوبتی بر صفت درصد روغن در گیاهان دانه روغنی گزارش‌های متفاوت و حتی متناقضی موجود است. مطابق با نتایج این تحقیق گزارش شده است که تنش خشکی باعث کاهش درصد روغن دانه می‌گردد (Ashrafi and Razmjoo, 2010; Taheri Asbagh *et al*., 2009). به نظر می‌رسد که اعمال تنش خشکی، طول دوره پرشدن دانه‌ها را کاهش داده و فرصت بیشتری برای تجمع پروتئین در دانه فراهم می‌شود و در نتیجه درصد روغن کاهش می‌یابد (Ferasat *et al.*, 2012). در آزمایش یدالهی و همکاران (Yadollahi *et al.*, 2015) اعمال تنش خشکی در گیاه گلرنگ اثر معنی‌داری روی درصد روغن دانه نداشت. در حالیکه باغخانی و فرحبخش (Baghkhani and Farahbakhsh, 2008) گزارش کردند محتوای روغن دانه گلرنگ به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر تنش خشکی قرار گرفت. نتایج مقایسه میانگین نشان داد با افزایش میزان شوری تا سطح ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر در مقدار درصد روغن دانه گلرنگ تغییرات معنی‌داری حاصل نشد ولی با افزایش میزان شوری آب آبیاری از ۱۰ به ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر موجب کاهش معنی‌دار این صفت شد (جدول ۵). به نظر می‌رسد مصرف انرژی زیاد برای ایجاد مکانیزم‌های مقابله با شوری می‌تواند باعث کاهش درصد روغن دانه شود. کمالی و همکاران (Kamali *et al.*, 2011) و فراست و همکاران (Ferasat *et al.*, 2012) گزارش کردند که با افزایش سطح شوری، درصد روغن دانه گلرنگ به میزان قابل توجهی کاهش یافت.

شانون (Shannon, 1998) بیان کرد هزینه‌های اضافی گیاه در زمان مواجه شدن با تنش شوری، مانند هزینه تعدیل اسمزی و افزایش تخصیص مواد به ریشه از یک سو و تاثیرپذیری منفی فتوسنتز از سوی دیگر، موجب کاهش ساخت مواد، به‌ویژه موادی مانند روغن که تولید آنها انرژی بیشتری می‌طلبد، می‌شود. اثر متقابل تنش خشکی در شوری برای این صفت معنی‌دار نگردید (جدول ۳).

**عملکرد روغن:** در این تحقیق عملکرد روغن تنها تحت تاثیر فاکتور تنش خشکی و فاکتور تنش شوری (در سطح احتمال یک درصد) قرار گرفت (جدول ۲). بر این اساس بیشترین عملکرد روغن (۹۰۰/۷۵ کیلوگرم در هکتار) از تیمار آبیاری بر اساس ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه (شاهد) به‌دست آمد که با میانگین به‌دست آمده از تیمار آبیاری ۶۰ درصد (۴۴۹/۹۱ کیلوگرم در هکتار) و تیمار آبیاری ۴۰ درصد (۲۰۸/۹۹ کیلوگرم در هکتار) اختلاف معنی‌داری داشت (جدول ۵). کاهش عملکرد روغن در اثر تنش رطوبتی توسط سایر محققین نیز گزارش شده است (Shir-esmaeili *et al*., 2018; Ashrafi and Razmjoo, 2010;). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که با افزایش میزان شوری در آب آبیاری از سطح ۵ دسی‌زیمنس بر متر به ۱۰ و ۱۵ دسی زیمنس بر متر، عملکرد روغن به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۵). از آنجا که در این تحقیق درصد روغن و عملکرد دانه هر دو به شدت تحت تاثیر تنش شوری کاهش پیدا کردند بنابراین کاهش عملکرد روغن تا حدود زیادی قابل پیش‌بینی بود. جامی الاحمدی و همکاران (Jami Alahmadi *et al*., 2009) در بررسی اثر تنش شوری بر گلرنگ بهاره نیز کاهش عملکرد روغن دانه را گزارش کردند.

## نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان داد اگرچه با کاهش سطح آب آبیاری، عملکرد روغن و درصد روغن دانه کاهش یافت ولی کاهش معنی‌دار صفات مذکور (به‌ترتیب ۵۰/۰۵ و ۸/۵ درصد) در سطح آبیاری ۶۰ درصد ظرفیت مزرعه اتفاق افتاد. با افزایش شوری درصد روغن دانه کاهش یافت لیکن این کاهش فقط در بالاترین سطح شوری آب (۱۵ دسی‌زیمنس بر متر) معنی‌دار بود (۷/۴ درصد). در عین حال کاهش معنی‌دار عملکرد روغن (۳۵/۷ درصد) از سطح شوری ۱۰ دسی زیمنس بر متر شروع شد. لذا، به‌طورکلی با در نظر گرفتن حداقل افت عملکرد دانه، آبیاری معادل ۸۰ درصد ظرفیت مزرعه با شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر در مرحله رشد رویشی امکان پذیر می‌باشد. همچنین، در این تحقیق بالاترین سطح تنش همزمان خشکی و شوری موجب کاهش هر چه بیشتر عملکرد دانه (۸۷/۱۳ درصد کاهش) در مقایسه با بالاترین سطح هر یک از تنش‌های خشکی (۷۱/۴۰ درصد کاهش) و شوری (۵۵/۵۶ درصد کاهش) نسبت به تیمار شاهد (بدون تنش خشکی و شوری) شد و سهم تنش خشکی در مقایسه با تنش شوری در کاهش عملکرد (به ترتیب ۷۱/۴۰ و ۵۵/۵۶ درصد) به‌مراتب بیشتر بود.




**شکل ۱**- تغییرات دما و بارندگی طی دوره آزمایش در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶

**Figure 1-** A synopsis of temperature and precipitation in 2016 and 2017

**جدول ۱**- ویژگی‌های فیزیکو شیمیایی خاک محل آزمایش

**Table 1-** Soil physicochemical properties at the experimental location

| مشخصات خاک | Soil properties | سال ۱۳۹۵ 2016 year | سال ۱۳۹۶ 2017 year |
|---|---|---|---|
| **بافت خاک** | Soil texture | Sandy-Loam | Loam |
| **نیتروژن** (درصد) | Nitrogen (ppm) | 0.091 | 0.093 |
| **فسفر** (قسمت در میلیون) | (ppm) Phosphorus | 8 | 10 |
| **پتاسیم** (قسمت در میلیون) | Potassium (ppm) | 185 | 188 |
| **هدایت الکتریکی** (دسی زیمنس بر متر) | (dS/m) EC | 2.15 | 2.11 |
| **پی اچ** | pH | 7.3 | 7.3 |
| **ماده آلی** (درصد) | Organic matter (%) | 0.05 | 0.05 |

**جدول ۲**- تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیکی گیاه گلرنگ در پاسخ به تنش توام شوری و خشکی

**Table 2-** Variance analysis of physiological traits of safflower in response to combined salinity and drought stress

| منابع تغییرات S.O.V. | درجه آزادی df | شاخص سطح برگ LAI | سرعت فتوسنتز خالص net photosynthesis rate | سرعت تعرق transpiration rate | هدایت روزنه ای stomatal conductance |
|---|---|---|---|---|---|
| سال (a) Year (a) | 1 | 0.0003ns | 0.013ns | 0.064ns | 177.99ns |
| خطای a Error a | 4 | 0.0018 | 1.049 | 0.115 | 192.03 |
| تنش خشکی Drought stress(b) | 3 | 8.403** | 8.06** | 1.780* | 455.83ns |
| a×b | 3 | 0.0071ns | 0.614ns | 1.341ns | 133.74ns |
| خطای b Error b | 12 | 0.0044 | 0.489 | 0.956 | 125.67 |
| تنش شوری Salinity stress (c) | 3 | 2.373** | 6.519** | 1.092ns | 1482.1** |
| b×c | 9 | 0.098** | 0.904ns | 0.776ns | 288.65ns |
| a×c | 3 | 0.0043ns | 1.499ns | 0.838ns | 175.31ns |
| a×b×c | 9 | 0.0252ns | 0.880ns | 0.435ns | 263.90ns |
| خطا Error | 48 | 0.0246 | 1.862 | 0.569 | 175.36 |
| ضریب تغییرات C.V. (%) | - | 7.23 | 8.39 | 8.24 | 5.87 |

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

ns, ** and *: non significant and significant at the 1% and 5% probability levels, respectively.

**جدول ۳**- تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد گیاه گلرنگ در پاسخ به تنش توام شوری و خشکی

**Table 3-** Variance analysis of yield and yield component of safflower in response to combined salinity and drought stress

| منابع تغییرات S.O.V. | درجه آزادی df | ارتفاع بوته Plant height | تعداد طبق در بوته Capitula in plant | تعداد دانه در طبق Seeds in capitulum | وزن هزار دانه 1000s seed weight | عملکرد دانه Seed yield | درصد روغن Oil percentage | عملکرد روغن Oil yield |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| سال (a) Year (a) | 1 | 0.249ns | 0.316ns | 1.183ns | 0.176ns | 210.93ns | 2.435ns | 0.598ns |
| خطای a Error a | 4 | 3.159 | 0.569 | 1.155 | 0.189 | 8404.2 | 3.043 | 16.755 |
| تنش خشکی Drought stress(b) | 3 | 1447.1** | 367.09** | 22.63** | 390.34** | 20587886** | 102.62** | 2831175** |
| a×b | 3 | 18.321ns | 0.059ns | 1.114ns | 6.528ns | 34463ns | 3.528ns | 2531.75ns |
| خطای Error b b | 12 | 16.072 | 0.317 | 2.561 | 4.273 | 33041 | 1.796 | 3788.15 |
| تنش شوری Salinity stress (c) | 3 | 1242.4** | 171.29** | 40.864** | 29.56ns | 9496783** | 27.592** | 1251339** |
| b×c | 9 | 185.29** | 7.715** | 4.507ns | 11.691ns | 765823** | 4.358ns | 390.87ns |
| a×c | 3 | 12.16ns | 0.082ns | 3.538ns | 19.789ns | 18046ns | 4.170ns | 107717** |
| a×b×c | 9 | 20.42ns | 0.198ns | 4.527ns | 12.396ns | 26101ns | 3.175ns | 5893.55ns |
| خطا Error | 48 | 13.696 | 0.139 | 2.930 | 16.188 | 21324 | 4.026 | 4209.97 |
| ضریب تغییرات C.V.(%) | | 7.27 | 3.69 | 9.56 | 11.14 | 8.18 | 6 | 10.55 |

ns و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد.

ns and **: non significant and significant at the 1% probability levels, respectively

**جدول ۴**- مقایسه میانگین اثر تنش‌های خشکی و شوری بر صفات فیزیولوژیکی گیاه گلرنگ

**Table 4-** Mean comparison the effect of drought and salinity stress on physiological traits of safflower

| تیمارهای آزمایش Experiment treatments | سطوح تیمارها Treatments levels | سرعت فتوسنتز خالص net photosynthesis rate ($\mu mol.m^{-2}.s$) | سرعت تعرق transpiration rate ($\mu mol.m^{-2}.s$) | هدایت روزنه ای stomatal conductance ($\mu mol.m^{-2}.s$) |
|---|---|---|---|---|
| تنش خشکی Drought stress (F.C.%) | 100 | 16.87a | 9.23ab | 227.6a |
| | 80 | 16.52ab | 9.46a | 227.9a |
| | 60 | 15.53c | 9.07ab | 226.6a |
| | 40 | 16.07bc | 8.81b | 218.7a |
| تنش شوری Salinity stress (dS/m) | 2.5 | 16.92a | 9.22a | 234.3a |
| | 5 | 16.34ab | 9.41a | 229.2a |
| | 10 | 16b | 8.98a | 217.8b |
| | 15 | 15.71b | 8.97a | 219.5b |

میانگین‌های دارای مشترک، از نظر آماری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد با یکدیگر تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means which follow the same letter are not statistically different at 5% probability level based on Duncan test.

**جدول ۵**- مقایسه میانگین اثر تنش‌های خشکی و شوری بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه گلرنگ

**Table 5-** Mean comparison the effect of drought and salinity stress on yield and yield component of safflower

| تیمارهای آزمایش Experiment treatments | سطوح تیمارها Treatments levels | تعداد طبق در بوته Capitula per plant | تعداد دانه در طبق Seeds in capitulum | وزن هزار دانه 1000s seed weight (g) | عملکرد دانه seed yield ($kg.ha^{-1}$) | درصد روغن Oil percentage (%) | عملکرد روغن Oil yield ($kg.ha^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| تنش خشکی Drought stress (F.C.%) | 100 | 13.23a | 18.74a | 40.10a | 2531.4a | 35.24a | 900.75a |
| | 80 | 13.09a | 18.61a | 38.80a | 2560.1a | 35.08a | 898.09a |
| | 60 | 9.16b | 17.56b | 33.84b | 1378.9b | 32.22b | 449.91b |
| | 40 | 4.98c | 16.68b | 31.59b | 666.6c | 31.11b | 208.99c |
| تنش شوری Salinity stress (dS/m) | 2.5 | 12.44a | 18.69a | 36.49ab | 2296.8a | 34.58a | 807.93a |
| | 5 | 12.13b | 19.24a | 37.39a | 2306.1a | 33.63a | 794.55a |
| | 10 | 9.08c | 17.31b | 34.80b | 1508.8b | 33.45a | 519.13b |
| | 15 | 6.81d | 16.36b | 35.65ab | 1025.2c | 31.99b | 336.13c |

میانگین‌های دارای مشترک، از نظر آماری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد با یکدیگر تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means which follow the same letter are not statistically different at 5% probability level based on Duncan test.

**جدول ۶**- مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایش بر صفات اندازه‌گیری شده در گیاه گلرنگ

**Table 6-** Mean comparison the effect of experiment treatments on measured traits in Safflower

| تیمارهای آزمایش Experiment treatments | | ارتفاع بوته Plant height (cm) | تعداد طبق در بوته Capitula per plant | عملکرد دانه Seed yield ($kg.ha^{-1}$) | شاخص سطح برگ LAI |
|---|---|---|---|---|---|
| 100 % F.C. | 2.5 dS/m | 66.30a | 16.49a | 3336.2a | 2.87b |
| | 5 dS/m | 64.32a | 15.61b | 3358.6a | 2.99ab |
| | 10 dS/m | 52.77bc | 12.22c | 2205.3c | 2.51c |
| | 15 dS/m | 44.32d | 8.61e | 1403.4e | 2.17d |
| 80 % F.C. | 2.5 dS/m | 68.25a | 16.03b | 3328.4a | 3.10a |
| | 5 dS/m | 67.10a | 15.92b | 3343.9a | 2.93ab |
| | 10 dS/m | 54.89b | 11.84c | 2163c | 2.60c |
| | 15 dS/m | 40.82def | 8.58e | 1404.7e | 2.10d |
| 60 % F.C. | 2.5 dS/m | 49.15c | 11.07d | 1797.7d | 2.14d |
| | 5 dS/m | 49.75c | 10.91d | 1693.8d | 2.02d |
| | 10 dS/m | 49.63c | 8.08f | 1137.8f | 1.66e |
| | 15 dS/m | 39.57ef | 6.56g | 886.1g | 1.61e |
| 40 % F.C. | 2.5 dS/m | 43.40def | 6.16gh | 902.9g | 1.70e |
| | 5 dS/m | 43.68de | 6.07h | 828g | 1.59ef |
| | 10 dS/m | 39.13f | 4.17i | 529.1h | 1.41fg |
| | 15 dS/m | 41.08def | 3.51j | 406.4h | 1.23g |

میانگین‌های دارای مشترک، از نظر آماری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد با یکدیگر تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means which follow the same letter are not statistically different at 5% probability level based on Duncan test.

## References منابع مورد استفاده


- Aghaiy, P., O. Sadeghipour, and B. Delkhosh, 2011. The response of autumn safflower cultivars to drought stress in Shahre-rey region. *Plant and Ecosystem*. 26(7): 3-14. (In Persian).
- Alizadeh, A. 2001. Practical hydrology principles. Astan Ghods Razavi Press. (In Persian)
- Alvarz, S., A. Navarro, S. Banon, and S.B. MJ. 2009. Regulated deficit irrigation in potted Dianthus plants: Effects of severe and moderate water stress on growth and physiological responses. *Scientia Horticulture*. 122: 579-585.
- Ashkani, J., H. Pakniyat, Y. Emam, M.T. Assad, and M.J. Bahrani. 2007. The evaluation and relationships of some physiological traits in spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under stress and non-stress water regimes. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 9: 267-277. (In Persian).
- Ashraf, M., and P.J.C. Harris. 2004. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Science.* 166: 3-16.
- Ashrafi, E., and Kh. Razmjoo. 2010. Effect of irrigation regimes on oil content and composition of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 87(5): 499-506.
- Babai, K., M. AminiDehagi, S.A.M. Modares-Sanavi, and R. Jabbari. 2010. Effect of water stress on morphological characteristics, content of proline and thymol in thyme. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants.* 26 (2): 251-239. (In Persian).
- Baghkhani, F., and H. Farahbakhsh. 2008. Effects of drought stress on yield and some physiological characters of three spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.) varieties. *Agricultural Research.* 9(3): 45-58. (In Persian).
- Bahadorkhah, F., and S.A. Kazemeini. 2014. Effect of salinity and sowing method on yield, yield component and oil content of two cultivars of spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*. 12(2): 264-272. (In Persian).
- Bassil, E.S., and S.R. Kaffka. 2002. Response of safflower (*Carthamus tinectorius* L.) to saline soils and irrigation. I. Consumptive water use. *Agricultural Water Management*. 54: 67-80.
- Bijanzadeh, E., K. Nosrati, and T. Egan. 2010. Influence of seed priming techniques on germination and emergence of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Seed Science and Technology.* 38: 242-247. (In Persian).
- Dudley, L.M., and U. Shani. 2003. Modeling plant response to drought and salt stress: Reformulation of the root sink term. *Vadose Zone Journal.* 2: 751-758.
- Esendel, E., A.I. Stanbulluoglo, B. Arslan, and C. Pasa. 2008. Effect of water stress in growth components of winter safflower (*Carthamus tinctorius* L.). In Knights, S.E. and T.D. Potter (ed.) Proceedings of the 7th International Safflower Conference. Wagga, Australia. November 3-6. P. 211-217.

- Farid, N., and P. Ehsanzadeh. 2006. Yield and yield components of spring-sown safflower genotypes and their response to shading on inflorescence and the adjacent green tissue in Isfahan. *Journal of Water and Soil Science.* 10(1): 189-199. (In Persian).
- Feizi, M., M.A. Hajabbasi, and B. Mostafazadeh-Fard. 2010. Saline irrigation water management strategies for better yield of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) in an arid region. *Australian Journal of Crop Science.* 4: 408-414.
- Ferasat, M., N.A. Sajedi, and M. Mirzakhani. 2012. Effects of drought stress on yield and yield components in safflower genotypes (*Carthamus tinctorius* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research.* 10(2): 346-353. (In Persian).
- Franco, J.A., S. Banon, J.A. Fernandez, and D.I. Leskovar. 2000. Effect of nursery regimes and establishment on root development of *Lotus certicus* seedlings following transplanting. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 76: 174-179.
- Gardner, F.P., R.B. Pearce, and R.L. Mitchell. 1985. Physiology of crop plants. Iowa State University Press, Ames, Iowa, USA.
- Hans-Henning, M., R.E. Blackshaw, J.R. Byers, H.C. Huang, D.L. Johnson, R. Keon, J. Kubik, R. McKenzie, B. Otto, B. Roth, and K. Stanford. 2004. Safflower production on the Canadian prairies. Agriculture and Agri-Food Canada. Lethbridge, Alberta. 43p.
- Jami Alahmadi, M., M.A. Behdani, and A. Rahimi. 2009. Responses of yield and yield components of three safflower (*Carthamus tinectorious* L.) spring cultivars to salinity induced at different growth stages. *Journal of Crop Production*. 2(4): 113-134. (In Persian).
- Javadipour, Z., M. Movahhedi Dehnavi, and H.R. Balouchi. 2013. Evaluation of photosynthesis parameters, chlorophyll content and fluorescence of safflower cultivars under saline condition. *Journal of Crop Production*. 6(2): 35-56. (In Persian).
- Javed, S., S. Anwer Bukhari, M.Y. Ashraf, S. Mahmood, and T. Iftikhar. 2014. Effect of salinity on growth, biochemical parameters and fatty acid composition in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Pakistan Journal of Botany*. 46(4):1153-1158.
- Kamali, E., Z. Shahmohammadi Heydari, M. Heydari, and M. Feyzi. 2011. Effects of irrigation water salinity and leaching fraction on soil chemical characteristic, grain yield, yield components and cation accumulation in safflower in Esfahan. *Iranian Journal of Field Crop Science.* 42(1): 63-70. (In Persian).
- Ksouri, R., W. Megdiche, A. Debez, H. Falleh, C. Grignon, and C. Abdelly. 2007. Salinity effects on polyphenol content and antioxidant activities in leaves of the halophyte *Cakile maritime*. *Plant Physiology and Biochemistry*. 45: 244-249.
- Lak, Sh., A. Naderi, S. A. Siyadat, A. Aeinehband, Gh. Nourmohamadi, and S.H. Mosavai. 2007. The effects of different levels of irrigation, nitrogen and plant population on yield, yield components and dry matter remobilization of corn at climatical conditions of Khuzestan. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*. 11(42): 1-15. (In Persian).

- Mohammad, M., A.M. Liaghat, and H. Molavi. 2011. Simultaneous effect of deficit irrigation and salinity on yield and yield components of tomato under field conditions. *Journal of Irrigation Sciences and Engineering*. 34: 15-23. (In Persian).
- Mohsenzadeh, S., M.A. Malboobi, K. Razavi, and S. Farrahi-Aschtiani. 2006. Physiological and molecular responses of *Aeluropus lagopoides* (Poaceae) to water deficit. *Environmental and Experimental Botany*. 56: 314–322.
- Mosavifar, B.A., M.A. Behdani, M. Jami Alahmadi, and M.S. Hoseini Bojd. 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(1): 41-51. (In Persian).
- Mosavifar, B.A., M.A. Behdani, M. Jami Alahmadi, and M.S. Hoseini Bojd. 2011. Changes of chlorophyll index (SPAD), relative water content, electrolyte leakage and seed yield in spring safflower genotypes under irrigation termination. *Iranian Journal of Field Crops Research.* 9(3): 525-534. (In Persian).
- Navarro, A.S., W. Banon, M.J. Conejero, and Sanchez-Blanco. 2008. Ornamental characters, ion accumulation and water status in Arbutus unedo seedlings irrigated with saline water and subsequent relief and transplanting. *Environmental and Experimental Botany*. 62: 364-370.
- Öztürk, E., H. Özer, and T. Polat. 2008. Growth and yield of safflower genotypes grown under irrigated and non-irrigated conditions in a highland environment. *Plant Soil Environs*. 54(10): 453-460.
- Palizdar, M., B. Delkhosh, A.H. Shiranirad, and Gh. Noormohammadi. 2013. Investigation on effects of irrigation regimes and potassium content on yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*. 24(4): 628-645. (In Persian).
- Rezaeizad, A. 2007. Responses of some sunflower genotypes to drought stress using different stress tolerance indices. *Seed and Plant Improvement Journal*. 23: 43-58. (In Persian).
- Rostami, M., R. Mirzaei, and M. Kafi. 2003. Assessment of drought resistance in four safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars at the germination stage. 7th International Conference on the Development of Drylands, 14-17 September, Tehran, Iran. (In Persian).
- Ruiz-Sanchez, M.C., R. Domingo, A. Torrecillas, and A. Perez-Pastor. 2000. Water stress preconditioning to improve drought resistance in young apricot plants. *Plant Science*. 156: 245-251.
- Sarmadnia, Gh., and A. Kochaki. 1999. Physiological aspects of dry farming. Jahad Daneshgahi, Ferdowsi University of Mashhad. Pp. 440. (In Persian).
- Shahidi, A., M.J. Nahvinia, M. Parsinejad, and A. Liaghat. 2010. Determination of optimum model of water uptake under conjunctive salinity and water stress conditions in wheat cultivar. *Journal of Water and Soil*. 24: 534-544. (In Persian).
- Shannon, M.C. 1998. Adaptation of plants to salinity. *Advance in Agronomy*. 60: 75-119.

- Shir-esmaili, G.H., A.A. Maghsudi mood, G.R. Khajueinejad, and R. Abdoshahi, 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(2): 237-252. (In Persian).
- Taheri Asbagh, F., A. Fayaz Moghaddam, and A. Hassanzadeh Gorttapeh. 2009. Influence of water stress and sowing date on sunflower yield and oil percentage. *Research Journal of Biological Sciences*. 4(4): 487-489.
- Torrecillas, A., P. Rodriguez, and M.J. Sanchez-Blanco. 2003. Comparision of growth, leaf water relations and gas exchange of *Cistus albidus* and *Cistus monspeliensis* plants irrigated with water of different NaCl salinity levels. *Scientia Horticulture*. 97: 353-368.
- Wang, D., M.C. Shannon, and C.M. Grieve. 2001. Salinity reduces radiation absorption and use efficiency in soybean. *Field Crops Research*. 69(3): 267-277.
- Yadollahi Dehcheshmeh, P., A.A. Bagheri, A. Amiri, and S. Esmailzadeh. 2014. Effects of drought and foliar application on yield and photosynthetic pigments sunflower. *Journal of Crop Physiology*. 6 (21): 73-83. (In Persian).
- Yadollahi Dehcheshmeh, P., M.R. Asgharipour, N. Kheiri, and A. Ghaderi. 2015. Effects of drought stress and different types of organic fertilizers on the yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). 1(2): 27-40. (In Persian).
- Yari, P., A.H. Keshtkar, and A. Sepehri. 2014. Evaluation of water stress effect on growth and yield of spring safflower. *Plant Products Technology*. 14(2): 101-117. (In Persian).
- Zafari, M., A. Ebadi, S. Jahanbakhsh Godehahriz, and M. Sedghi. 2017. Evaluating some physiological characteristics of safflower cultivars (*Carthamus tinctorius* L.) under water deficit stress and brassionosteroide application. *Journal of Crop Ecophysiology*. 11(4): 743-758. (In Persian).

**Research Article** DOI: 10.30495/jcep.2021.681008

# Evaluation of Yield, Yield Components and Photosynthesis of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) in Response to Combined Salinity and Drought Stresses at Vegetative Growth Stage

**Marziyeh Esmaeilzadeh[1], Hosein Babazadeh[2]*, Hormozd Naghavi[3], Ali Saremi[2], and Gholamhosein Shiresmaeili[4]**

*Received: October 2019 , Revised: 1 May 2020, Accepted: 18 August 2020*

## Abstract

The research was carried out to evaluate the response of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) to salinity, drought and combined salinity- drought stresses at its vegetative stage and share of their effects on reduction of yield, yield components and photosynthesis of plant. For this purpose, a split plot experiment based on randomized complete block design was carried out at Agricultural Education Center of Kabotarabad- Isfahan in 2016-2017. In this study, response of spring safflower (Sofeh variety) to four salinity stress levels (2.5, 5, 10 and 15 dS/m) and four drought stress levels (100%, 80%, 60% and 40% F.C.) at vegetative growth stage were evaluated. The results showed that mean values of most traits were significantly reduced with increasing salinity and drought stress levels, in such a way that severe drought (Irrigation based on 40% field capacity) and salinity (15 dS/m) treatments produced lowest values for all traits. Seed oil content decreased with increasing salinity but this decrease (7.4%) was significant only at highest salinity level (15 dS/m). The highest level of combined salinity-drought stress decreased seed yield (87.13% decrease) more than the highest level of each of drought (71.40% decrease) and salinity (55.56% decrease) stresses as compared to control treatment (without drought and salinity stress), and the share of drought stress in reduction of seed yield was higher than the salinity stress (71.40% and 55.56%, respectively). Thus, growing safflower with minimum loss of seed yield, by irrigation with 80% F.C. and water salinity with 5 dS/m at the vegetative growth stage is possible.

**Key words**: Leaf area index, Net photosynthesis, Oil percentage, Safflower, Seed yield.

1-Ph.D. Student. Department of Agricultural Systems Engineering, Tehran Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2-Department of Agricultural Systems Engineering, Tehran Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
3-Associate Prof., Kerman Agricultural and Natural Resources Resaerch and Education Center, Kerman, Iran.
4-Assistant Prof., Department of Crop Sciences and Horticultural Research, Isfahan Agricultural and Natural Resources Resaerch and Education Center, Isfahan, Iran.
**Corresponding Author: h_babazadeh@srbiau.ac.ir*