نشریه پژوهش های کاربردی زراعی
دوره۳۵- شماره۴- پیاپند ۱۳۷ زمستان ۱۴۰۱

« تأثیر مدیریت کم آبیاری بر صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی دو رقم گلرنگ زراعی»

Effects of deficit irrigation management on physiological and biochemical traits of two safflower cultivars

رضوان زندی[۱]، افراسیاب راهنما[۲]، موسی مسکرباشی[۳]

۱. کارشناسی ارشد زراعت، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه شهید چمران اهواز. اهواز. ایران
۲. دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه شهید چمران اهواز. اهواز. ایران. (نگارنده مسئول)
۳. استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه شهید چمران اهواز. اهواز. ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۰۳ - شناسانهٔ برنمود رقمی: 10.22092/aj.2023.359982.1624

چکیده

زندی، ر.، راهنما، ا.، مسکرباشی، م.، . « تأثیر مدیریت کم آبیاری بر صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی دو رقم گلرنگ زراعی»
نشریه پژوهش های کاربردی زراعی دوره ۳۵ - شماره ۴- پیاپند ۱۳۷ زمستان ۱۴۰۱ صفحه: ۲۴-۰۱

به‌منظور بررسی تأثیر مدیریت کم آبیاری بر صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی دو رقم گلرنگ زراعی، این پژوهش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک های کامل تصادفی در سه تکرار طی دو سال زراعی (۹۷- ۱۳۹۶) در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید چمران اهواز اجرا شد. چهار سطح مدیریت کم آبیاری شامل: شاهد، کم آبیاری ملایم، کم آبیاری متوسط و کم آبیاری شدید در کرت‌های اصلی و دو رقم گلرنگ زراعی پدیده و گلدشت در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. مدیریت‌های کم آبیاری باعث کاهش معنی‌دار هدایت روزنه ای، سرعت فتوسنتز، شاخص کلروفیل و عملکرد دانه و روغن شد، ولی فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز، غلظت کربوهیدرات های محلول و غلظت مالون دی آلدئید افزایش یافت. در شرایط مدیریت های مختلف کم آبیاری، رقم گلدشت با بیشترین هدایت روزنه‌ای، سرعت فتوسنتز، شاخص کلروفیل، فعالیت آنزیم پراکسیداز و کاتالاز، غلظت کربوهیدرات های محلول و کمترین غلظت مالون دی آلدئید دارای بالاترین عملکرد اقتصادی دانه و روغن بود و به دلیل عملکرد دانه بالاتر دارای مقادیر عملکرد روغن بالاتری بود و برای شرایط محدودیت آبی توصیه می شود. کم آبیاری ملایم، متوسط و شدید منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد روغن در هر دو رقم به ترتیب به میزان ۳۱، ۴۲ و ۶۳ درصد شد. مرحلهٔ رشدی گیاه و شدت تنش نقش مهمی در واکنش ارقام به تنش رطوبتی داشت. کم آبیاری متوسط سبب کاهش ۴۲ درصدی عملکرد روغن شد، ولی با توجه به کاهش ۲۰ درصدی مصرف آب در مقایسه با آبیاری مطلوب به عنوان راهبرد مناسب کاهش مصرف آب در این منطقه توصیه می‌شود.

واژه های کلیدی:تنش خشکی، فعالیت آنتی اکسیدانی، شاخص کلروفیل، مالون دی آلدئید، هدایت روزنه ای.

آدرس پست الکترونیکی نگارنده مسئول: a.rahnama@scu.ac.ir

مقدمه

گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.)، به عنوان یک گیاه دانه روغنی مهم با داشتن ریشه عمیق و گسترده می تواند تنش های محیطی مانند شوری و خشکی را تحمل کند (Gecgel et al., 2007). با این وجود، عملکرد این گیاه علیرغم تحمل به تنش خشکی آن ممکن است تحت تأثیر تنش خشکی قرار گیرد. به دلیل اهمیت تولید روغن، به تازگی کشت این گیاه روغنی در کشور افزایش یافته؛ و بر اساس آمارنامه کشاورزی در سال ۱۴۰۰، استان خوزستان با سطح زیر کشت ۶۰ هکتار و میزان تولید ۹۸ تن، رتبه ششم تولید دانه گلرنگ در کشور را به خود اختصاص داده است (Annual report, 2022).

رقابت شدید بر سر منابع آبی، اراضی فاریاب را به سیستم‌های دیم تغییر خواهد داد و در نهایت محصولات زراعی از وقوع دوره ای تنش خشکی آسیب خواهند دید. از این رو، گیاهان زراعی و حتی گیاهان نسبتاً متحمل به خشکی به شدت تحت تأثیر تنش خشکی قرار می گیرند و اگرچه گلرنگ گیاهی نسبتاً متحمل به خشکی است، با این وجود، از اوایل گلدهی تا پر شدن دانه به تنش خشکی حساس است (Zarghami et al., 2011; Koutroubas et al., 2010). تنش خشکی، مهم ترین عامل محدود کننده عملکرد گیاهان زراعی محسوب می‌گردد (Wei et al., 2020) که از طریق ایجاد تنش اسمزی، عملکرد گیاه را به طور نامطلوبی تحت تأثیر قرار می دهد (Guler et al., 2012). گیاهان به لحاظ مورفولوژیکی، آناتومی، فیزیولوژیکی و سلولی مولکولی واکنش‌های متفاوتی به تنش نشان می‌دهند. واکنش‌های انطباقی گیاهان به تنش رطوبتی به صورت تغییرات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و و بیوشیمیایی از جمله تغییرات در سرعت رشد، هدایت روزنه‌ای، پتانسیل اسمزی بافت و دفاع آنتی‌اکسیدانی نمایان می شود (Gill & Tuteja, 2010). نوع واکنش‌ها و میزان خسارت به عوامل متعددی از جمله شدت، مدت و زمان وقوع تنش و ارقام گیاهی بستگی دارد (Moatshe et al., 2020). کارایی فتوسنتزی گیاه علاوه بر پتانسیل ژنتیکی گیاه، تحت تأثیر تنش های محیطی نیز قرار می گیرد (Andrianasolo et al., 2016). در شرایط تنش رطوبتی، رشد و عملکرد گیاه، تحت تأثیر کاهش سرعت فتوسنتز ناشی از بسته شدن روزنه ها قرار می گیرد (Flexas *et al.*, *2004*). هدایت روزنه ای، فتوسنتز و سبزینگی برگ با افزایش شدت تنش کاهش می یابد و از نظر هدایت روزنه ای و فتوسنتز در واکنش به تنش خشکی تنوع ژنوتیپی مشاهده شده است (Iqbal et al., 2009; Rahnama et al., 2010; Ghobadi et al., 2013).

تجمع مواد محلول به عنوان یک سازوکار انطباق گیاهان با تنش اسمزی ناشی از تنش خشکی محسوب می گردد و تغییر در محتوای قندهای محلول تحت تنش خشکی و نقش مثبت محتوای کل قندهای محلول در توده‌های گلرنگ قبلاً گزارش شده است (Koutroubas et al., 2004). تنش خشکی از طریق بستن نسبی روزنه ها سبب محدودیت ورود و دسترسی به دی اکسید کربن برای فتوسنتز می شود و با

کاهش راندمان کربوکسیلاسیون رابیسکو باعث تولید گونه‌های اکسیژن واکنشگر می شود که ممکن است سبب آسیب به اجزای سلولی شوند (Cechin et al., 2015). افزایش تولید گونه های اکسیژن واکنشگر و غلظت مالون دی آلدئید برگ گلرنگ همراه با کاهش فعالیت کاتالاز در شرایط تنش خشکی قبلاً نیز گزارش شده است (Gunes et al., 2008). همچنن گزارش های متعددی نشان می دهند که تنش خشکی عملکرد دانه، عملکرد و کیفیت روغن را کاهش می دهد (Lovelli et al., 2007; Salek Mearaji &Tavakoli, 2020).

تنش خشکی در مراحل مختلف رشدی تأثیر نامطلوبی بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی ارقام گلرنگ برجای می گذارد و دسترسی مناسب به آب در مراحل مختلف رشدی گیاه جهت دستیابی به عملکرد قابل قبول دارای اهمیت است. بر همین اساس، شناخت مراحل حساس رشدی گیاه و مدیریت مناسب آبیاری از اهمیت خاصی برخوردار است. عملکرد دانه بسیاری از گیاهان زراعی در مراحل رشد رویشی، و اواخر رشد زایشی واکنش ناچیزی به تنش رطوبتی نشان می دهند، در حالی که در مرحلهٔ رشد زایشی تحت تأثیر تنش رطوبتی قرار می‌گیرند. مواجه با خشکی در برخی از مراحل حساس رشدی مانند جوانه زنی، گرده افشانی و پر شدن دانه، باعث کاهش عملکرد گلرنگ می‌شود (Hussain et al., 2016; Zarghami et al., 2011; Koutroubas et al., 2010). تنش خشکی در مرحلهٔ گلدهی به دلیل ناباروری گرده منجر به پوکی دانه‌ها می گردد (Totsky & Lyakh, 2015).

رویکردهای پیچیده ای برای حفظ پایداری عملکرد محصولات و رویارویی با چالش امنیت غذایی در شرایط وقوع تغییر اقلیم جهانی پیش روی پژوهشگران است. اگرچه مطالعات متعددی برای ارزیابی اثرات تنش خشکی بر ویژگی های مورفولوژیکی و عملکردی گلرنگ انجام شده است، اما به اهمیت مطالعات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی و نیز روش های مختلف مدیریت کم آبیاری برای کاهش اثرات نامطلوب تنش خشکی کمتر اشاره شده که در این پژوهش به آن پرداخته خواهد شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش مزرعه ای در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. سطوح مختلف مدیریت کم آبیاری شامل: آبیاری مطلوب (آبیاری در ۸۰-۸۰-۸۰-۸۰ درصد ظرفیت زراعی)، کم آبیاری ملایم (آبیاری در ۶۰-۸۰-۸۰-۴۰ درصد ظرفیت زراعی)، کم آبیاری متوسط (آبیاری در ۶۰-۶۰-۶۰-۶۰ درصد ظرفیت زراعی) و کم آبیاری شدید (آبیاری در ۴۰-۶۰-۶۰-۴۰ درصد ظرفیت زراعی) در کرت‌های اصلی و دو رقم گلرنگ زراعی پدیده و گلدشت در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. در مدیریت های مختلف آبیاری به گونه ای عمل شد که آبیاری با توجه به رسیدن میزان رطوبت خاک به مقادیر ظرفیت زراعی مورد نظر به ترتیب در مراحل رشد سریع ساقه، آغاز غوزه دهی، آغاز گلدهی

و آغاز پر شدن دانه اعمال شد. از دو رقم معرفی شده توسط مؤسسهٔ تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج با ویژگی های رشدی متفاوت شامل رقم پدیده با تیپ رشدی پاییزه، خاردار، دیررس، متحمل به سرما و مناسب کاشت در مناطق سرد و معتدل سرد و رقم گلدشت با تیپ رشدی بهاره، بدون خار، زودرس، متحمل به سرما در بین ارقام بهاره و مناسب کاشت در اقلیم های گرم در این پژوهش استفاده شد. کاشت هر دو رقم در پنجم آذرماه انجام شد. بذرهای گلرنگ روی پنج ردیف سه متری با فاصله خطوط ۷۵ سانتی‌متر و فاصله روی خطوط ۲۰ سانتی متر در عمق ۳ تا ۵ سانتی‌متری کشت شد. فاصله بین سطوح کم آبیاری ۳ متر در نظر گرفته شد. با توجه به نتایج آزمون خاک (جدول ۱)، ۸۵ کیلوگرم در هکتار فسفر از منبع سوپرفسفات معمولی، ۱۰۰ کیلوگرم پتاسم از منبع سولفات پتاسیم قبل از کاشت و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص از منبع کود اوره به صورت کود پایه همزمان با کاشت و کود سرک در اواخر دورهٔ روزت و اوایل گلدهی به خاک مزرعه اضافه شد.

برای اعمال سطوح کم آبیاری، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری خاک مزرعه به طور تصادفی نمونه برداری و به آزمایشگاه منتقل شد. با استفاده از صفحات فشاری نمونه‌های اشباع خاک در مکش‌های ۰/۳ و ۱۵ بار قرار داده شد و درصد رطوبت وزنی خاک در هر مکش تعیین گردید. درصد رطوبت حجمی خاک در هر مکش با توجه به وزن مخصوص ظاهری خاک تعیین و آب قابل استفاده خاک بین این دو نقطه محاسبه شد. آبیاری های تیمار آبیاری مطلوب با توجه به رسیدن میزان رطوبت خاک در ناحیه ریشه به ۸۰ درصد آب قابل استفاده خاک انجام شد. درصد رطوبت حجمی خاک قبل از هر آبیاری با استفاده از دستگاه رطوبت سنج (TDR (ProCheck, Decagon Devices, USA) اندازه‌گیری شد و برنامه‌ریزی اعمال سطوح کم آبیاری با توجه به کاهش درصد آب قابل استفاده خاک در تیمار مورد نظر انجام شد. میانگین مقدار آب آبیاری مصرف شده با احتساب مقادیر بارندگی در ابتدای دوره رویش برای تیمارهای آبیاری مطلوب، کم آبیاری ملایم، کم آبیاری متوسط و کم آبیاری شدید به ترتیب ۷/۶، ۷، ۶/۱۰ و ۵/۶ متر مکعب بود. هدایت روزنه‌ای با استفاده از دستگاه پرومتر (Delta-T AP4 Devices, UK)، سرعت فتوسنتز با استفاده از دستگاه تحلیل گر مادون قرمز (IRGA, model LCA4, ADC Biosientific Ltd. Hoddeston,UK) بین ساعت ۹/۳۰ صبح تا ۱۲ ظهر اندازه‌گیری شد. شاخص کلروفیل با استفاده از دستگاه کلروفیل متر (Monilota SPAD-502 Chlorophyll meter, Japan) بر روی پنج نقطه از آخرین برگ توسعه یافته انجام شد و میانگین مقادیر قرائت شده ثبت شد. اندازه گیری ویژگی‌های فتوسنتزی در مرحلهٔ آغاز پرشدن دانه انجام شد. جهت اندازه گیری فعالیت آنزیم های کاتالاز و پراکسیداز، غلظت قندهای محلول و مالون دی آلدئید در مرحلهٔ ی آغاز گلدهی و آغاز پرشدن دانه، از برگ‌های بالا، وسط و پایین ساقه نمونه برداری شد. نمونه های ترکیبی تا زمان سنجش

جدول ۱- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1. The results of physical and chemical analysis of soil

بافت خاک Soil texture	هدایت الکتریکی (دسیزیمنس بر متر) EC (dSm^{-1})	اسیدیته pH	نیتروژن (درصد) N (%)	فسفر (میلیگرم در کیلوگرم) P ($mg\ kg^{-1}$)	پتاسیم (میلیگرم درکیلوگرم) K ($mg\ kg^{-1}$)	موادآلی (درصد) O.M (%)
لومی شنی Sandy loam	2.8	7.4	0. 1	12.74	162	0.39

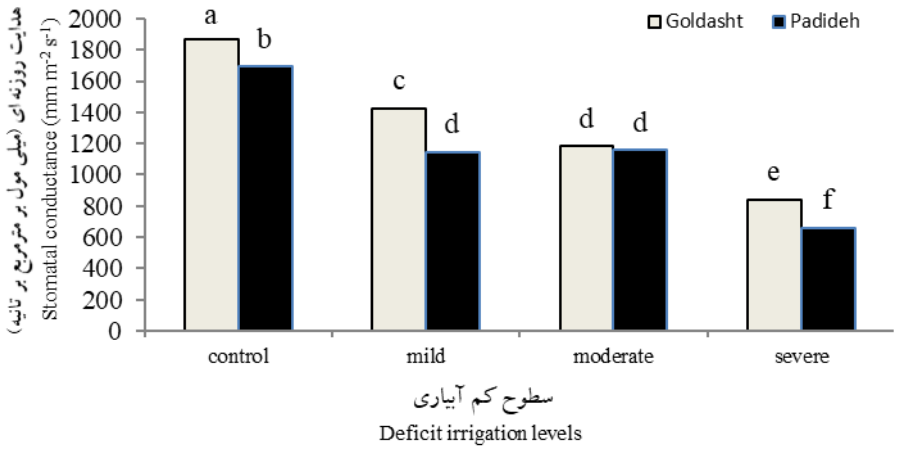
پارامترهای مورد نظر درون فریزر ۷۰- درجه سانتی گراد نگه‌داری شد. اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز با استفاده از روش Beers & Sizer 1952)، فعالیت آنزیم پراکسیداز با استفاده از روش Nakano & Asada (1981)، غلظت مالون دی آلدئید برگ، با استفاده از روش Stewart & Beweley (1980) و غلظت قندهای محلول با استفاده از روش Sheligl (1986) انجام شد. در پایان فصل رشد با در نظر گرفتن اثر حاشیه، ۱۵ بوته از هر واحد آزمایشی برداشت شد. نمونه ها به مدت ۴۸ ساعت درون آون با دمای ۷۲ درجه سانتی گراد قرار داده شد. سپس میزان عملکرد دانه اندازه گیری شد. درصد روغن دانه با کمک حلال اتر و با روش سوکسله تعیین گردید. عملکرد روغن در واحد سطح نیز از حاصل‌ضرب عملکرد دانه و درصد روغن محاسبه شد. تجزیه واریانس داده ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخهٔ ۹/۱ انجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون حداقل اختلاف معنی‌داری (LSD) در سطح ۵ درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد بین مدیریت‌های کم آبیاری از نظر کلیه صفات بجز درصد روغن و بین ارقام از نظر کلیه صفات بجز غلظت مالون دی آلدئید در مرحلهٔ گلدهی و برهم‌کنش مدیریت کم آبیاری × ارقام برای کلیه صفات بجز سرعت فتوسنتز، شاخص کلروفیل، درصد و عملکرد روغن و غلظت مالون دی آلدئید در مرحلهٔ گلدهی در سطح یک درصد تفاوت معنی‌داری وجود داشت (جدول ۲).

هدایت روزنه ای

آبیاری مطلوب بیشترین (۱۷۸۰ میلی مول بر متر مربع بر ثانیه) و کم آبیاری شدید کمترین (۷۶۱ میلی مول بر متر مربع بر ثانیه) مقدار هدایت روزنه‌ای را به خود اختصاص داد. کم آبیاری منجر به کاهش معنی‌دار هدایت روزنه ای در هر دو رقم شد و میزان کاهش در کم آبیاری ملایم، متوسط و شدید به ترتیب برابر با ۲۸، ۳۴ و ۵۷ درصد نسبت به شرایط مطلوب بود (جدول ۳) (شکل ۱). در شرایط تنش رطوبتی، میزان پتانسیل آب برگ کاهش یافته و موجب بسته شدن روزنه ها و در نتیجه کاهش هدایت روزنه‌ای می‌گردد. این امر به نوبه خود باعث کاهش ورود دی اکسید کربن و در نتیجه کاهش سرعت فتوسنتز و به دنبال آن کاهش رشد می‌شود (Bota 2004 et al.,) . بسته شدن روزنه از اولین پاسخ های گیاه به تنش اسمزی بوده و عمده‌ترین دلیل کاهش فتوسنتز در شرایط تنش است (Rahnama et al., 2010). تفاوت هدایت روزنه‌ای مشاهده شده در تیمارهای تنش



شکل ۱- مقایسه میانگین هدایت روزنه ای دو رقم گلرنگ تحت سطوح مختلف کم آبیاری

Fig 1. Mean comparison for stomatal conductance in two safflower cultivars under different levels of deficit irrigation

رطوبتی، ناشی از واکنش سریع گیاه به تنش و بسته شدن روزنه های برگ به منظور جلوگیری از هدر روی آب است. رقم گلدشت بیشترین و رقم پدیده کمترین مقدار هدایت روزنه ای را به خود اختصاص داد (جدول ۳).

هدایت روزنه‌ای دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه ($r=۰/۹۱^{**}$) و عملکرد روغن ($r=۰/۷۷^{**}$) بود. این همبستگی مثبت بیانگر نقش هدایت روزنه ای در حفظ فتوسنتز در شرایط عادی و تنش و در نتیجه دستیابی به عملکرد ماده خشک بالاتر می باشد. همچنین با فعالیت کاتالاز ($r=-۰/۷۳^{**}$) و محتوی مالون دی آلدئید ($r=-۰/۸۳^{**}$) همبستگی منفی و معنی‌داری داشت (جدول ۴). این همبستگی منفی بر وقوع تنش اکسیداتیو ناشی از بسته شدن روزنه ها و در نتیجه تجمع محتوی مالون دی آلدئید تأکید دارد. به هر روی، با افزایش هدایت روزنه‌ای، انتشار دی اکسید کربن به درون سلول افزایش یافته و سرعت فتوسنتز بیشتر می‌شود، در نتیجه عملکرد دانه نیز افزایش می‌یابد.

سرعت فتوسنتز

آبیاری مطلوب بیشترین (۲۴ میکرومول بر متر مربع بر ثانیه) و کم آبیاری شدید کمترین (۱۷/۶ میکرومول بر متر مربع بر ثانیه) سرعت فتوسنتز را به خود اختصاص داد. مدیریت های کم آبیاری از طریق افزایش تنش رطوبتی و بسته شدن روزنه‌ها، منجر به کاهش معنی‌دار سرعت فتوسنتز در هر دو رقم شد به گونه ای که میزان کاهش در کم آبیاری ملایم، متوسط و شدید به ترتیب برابر با ۵، ۱۷ و ۳۶/۵ درصد نسبت به شرایط آبیاری مطلوب بود. رقم گلدشت از نظر سرعت فتوسنتز نسبت به رقم پدیده برتری داشت (جدول ۳). فتوسنتز، عامل اصلی تعیین کننده رشد و عملکرد گیاهان است و توانایی حفظ آن در شرایط تنش‌های محیطی برای حفظ ثبات عملکرد مهم است. کاهش رشد گیاهان زراعی به واسطه محدود شدن فتوسنتز صورت می‌گیرد. کاهش فتوسنتز را می توان به کاهش هدایت روزنه‌ای نسبت داد که تحت

جدول ۲- میانگین مربعات صفات زراعی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی دو رقم گلرنگ در شرایط کم آبیاری

Table 2. Mean squares of agronomic, physiological and biochemical traits of two safflower cultivars under deficit irrigation

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی Df	میانگین مربعات Means of squares (MS)					
		هدایت روزنه ای Stomatal conductance	سرعت فتوسنتز Photosynthetic rate	شاخص کلروفیل Chlorophylle index	عملکرد دانه Grain yield	درصد روغن Oil percentage	عملکرد روغن Oil yield
بلوک Block	2	0.11 ns	497 ns	82.2 ns	3840 ns	4.04 ns	40146ns
کم آبیاری Deficit irrigation	3	1.05**	5915**	1090**	709888**	9.15 ns	**895204
خطای a Ea	6	0.001	71	54	4192	9.48	63293
رقم Cultivar	1	0.15**	4056**	852**	4545751**	117 **	295260**
کم آبیاری × رقم Deficit irrigation × Cultivar	3	0.016**	246 ns	127 ns	449921**	14.5 ns	40317 ns
خطای b Eb	8	0.0018	82	64	17781	8.1	34506
ضریب تغییرات C.V (%)	-	3.4	4.2	11.3	4.7	8.5	19.5

ns: not significant; *and ** significant at 5% and 1% probability levels, respectively

ns: فاقد اختلاف آماری معنی دار، * و ** به ترتیب معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد

تنش کاهش می‌یابد (Rahnama et al., 2010). کاهش میزان فتوسنتز در شرایط تنش رطوبتی می‌تواند ناشی از اثرات روزنه‌ای و غیر روزنه‌ای باشد. به عبارتی فتوسنتز از دو طریق تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد، اول آن که بسته شدن روزنه‌ها دسترسی کلروپلاست را به دی اکسید کربن محدود می‌کند، و دوم آن که پایین بودن پتانسیل آب اثرات مستقیمی بر ساختمان اجزای دخیل در فتوسنتز دارد (Ramachanndra et al., 2004). به هر روی، مشخص

Table 2. Continued.

جدول ۲- ادامه

		میانگین مربعات Means of squares (MS)							
		مرحلهٔ گلدهی Flowering stage				مرحلهٔ دانه بندی Grain filling stage			
منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی Df	فعالیت کاتالاز Catalase activity	فعالیت پراکسیداز Peroxidase activity	غلظت مالون دی آلدئید Malondialdehyde concentration	غلظت کربوهیدرات Carbohydrate concentration	فعالیت کاتالاز Catalase activity	فعالیت پروکسیداز Peroxidase activity	غلظت مالون دی آلدئید Malondialdehyde concentration	غلظت کربوهیدرات Carbohydrate concentration
بلوک Block	2	0.0000093*	0.0000112*	0.000393ns	1972**	0.0000047**	0.0000279**	0.00037 ns	62.7 ns
کم آبیاری Deficit irrigation	3	0.000036**	0.0001671**	0.219966**	87327**	0.000033**	0.0001043**	0.05112**	47328**
خطای a Ea	6	0.0000017	0.00000061	0.000144	40	0.0000012	0.0000005	0.00038	267
رقم Cultivar	1	0.000036**	0.0006731**	0.000204ns	21672**	0.000017**	0.0003768**	0.00248**	13357**
کم آبیاری × رقم Deficit irrigation ×Cultivar	3	0.0000076 *	0.0001627**	0.000191ns	1791**	0.0000062**	0.0001794**	0.000593*	2404**
خطای b Eb	8	0.0000013	0.0000024	0.000125	27	0.0000005	0.0000025	0.000101	17.70
ضریب تغییرات C.V (%)	-	16.2	8.4	3.7	3.1	7.1	10.5	5.7	2.3

ns: not significant; *and ** significant at 5% and 1% probability levels, respectively

: فاقد اختلاف آماری معنی دار، * و ** به ترتیب معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد ns

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات زراعی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی دو رقم گلرنگ در شرایط کم آبیاری

Table 3. Mean comparison for agronomic, physiological and biochemical traits of two safflower cultivars under deficit irrigation

تیمار Treatments	هدایت روزنه ای Stomatal conductance	سرعت فتوسنتز Photosynthetic rate	شاخص کلروفیل Chlorophylle index	عملکرد دانه Grain yield	درصد روغن Oil percentage	عملکرد روغن Oil yield
	mmol m^{-2}. s^{-1}	µmol m^{-2}. s^{-1}	-	kg ha^{-1}	%	kg ha^{-1}
مدیریت کم آبیاری Deficit irrigation management						
شاهد Control	1780 a	24.0 a	82.7 a	4139 a	32.2 a	1456 a
کم آبیاری ملایم Mild deficit irrigation	1280 b	23.4 a	78.5 b	3032 b	33.8 a	998 b
کم آبیاری متوسط Moderate deficit irrigation	1170 c	19.3 b	68.7 c	2507 c	32.8 a	823 bc
کم آبیاری شدید Severe deficit irrigation	761 d	17.6 b	52.3 d	1531 d	35.0 a	534 c
LSD	120.1	2.44	4.1	91.5	4.35	355.4
ارقام Cultivars						
گلدشت Goldasht	1320 a	22.4 a	76 a	3238 a	31.2 b	1063 a
پدیده Padideh	1160 b	19.8 b	64 b	2367 b	35.7 a	842 b
LSD	80.2	0.73	3.8	125.9	2.68	174.9

Means followed by the same letters for each trait in each column and each experimental factor did not differ significantly using LSD test at 5% probability level.

میانگین های دارای حروف مشابه برای هر صفت در هرستون و هر عامل آزمایشی با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد فاقد اختلاف آماری معنی دار می باشند.

Table 3. Continued.

جدول ۳- ادامه

Treatments تیمار	مرحلهٔ گلدهی Flowering stage				مرحلهٔ دانه بندی Grain filling stage			
	فعالیت کاتالاز Catalase activity	فعالیت پراکسیداز Peroxidase activity	غلظت مالون دی آلدئید Malondialdehyde concentration	ما غلظت کربوهیدرات Carbohydrate concentrations	فعالیت کاتالاز Catalase activity	فعالیت پراکسیداز Peroxidase activity	غلظت مالون دی آلدئید Malondialdehyde concentration	غلظت کربوهیدرات ها Carbohydrate concentrations
	(mg protein min^{-1})	(mg protein min^{-1})	(mmol g^{-1}Fw)	(mg g^{-1})	(mg protein min^{-1})	(mg protein min^{-1})	(mmol g^{-1}Fw)	(mg g^{-1})
مدیریت کم آبیاری Deficit irrigation management								
شاهد Control	0.0044 b	0.0223 b	0.115 c	154 d	0.0075 c	0.0097 d	0.077 c	110 c
کم آبیاری ملایم Mild deficit irrigation	0.0061 b	0.0143 c	0.152 b	197 c	0.0101 b	0.0177 b	0.119 b	148 b
کم آبیاری متوسط Moderate deficit irrigation	0.0084 a	0.0135 c	0.469 a	209 b	0.0111 b	0.0142 c	0.246 a	160 b
کم آبیاری شدید Severe deficit irrigation	0.0100 a	0.0236 a	0.458 a	423 a	0.0131 a	0.0191 a	0.262 a	312 a
LSD	0.0019	0.0011	0.017	9.1	0.0016	0.003	0.028	23.1
ارقام Cultivars								
گلدشت Goldasht	0.0084 a	0.0237 a	0.295 a	276 a	0.0113 a	0.0191 a	0.166 b	206 a
پدیده Padideh	0.0060 b	0.0131 b	0.301 a	216 b	0.0096 b	0.0112 b	0.186 a	159 b
LSD	0.0011	0.0015	0.0105	4.9	0.0007	0.0015	0.0095	3.9

Means followed by the same letters for each trait in each column and each experimental factor did not differ significantly using LSD test at 5% probability level.

میانگین های دارای حروف مشابه برای هر صفت در هرستون و هر عامل آزمایشی با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد فاقد اختلاف آماری معنی دار می باشند.

جدول ۴- ضریب همبستگی بین صفات زراعی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی دو رقم گلرنگ در شرایط کم آبیاری

Table 4. Correlations coefficient between agronomic, physiological and biochemical traits of two safflower cultivars under deficit irrigation

صفات Traits	GY	OP	OY	SC	PR	Chl index	CAT	POD	MAD	Car C
عملکرد دانه Grain yield	1									
درصد روغن Oil percentage	-0.54**	1								
عملکرد روغن Oil yield	0.90**	-0.03 n.s	1							
هدایت روزنه ای Stomatal conductance	0.91**	-0.43 *	0.77 **	1						
سرعت فتوسنتز Photosynthetic rate	0.80**	-0.38 n.s	0.62 **	0.86**	1					
شاخص کلروفیل Chlorophylle index	0.75 **	-0.42 *	0.58 **	0.80**	0.83 **	1				
فعالیت کاتالاز Catalase activity	-0.62**	-0.03 ns	-0.64 **	-0.73 **	-0.58 **	-0.39 n.s	1			
فعالیت پروکسیداز Peroxidase activity	-0.27 n.s	-0.10 n.s	-0.3 n.s	-0.25 n.s	0.11 n.s	-0.12 n.s	0.60 **	1		
غلظت مالون دیآلدئید Malondialdehyde concentration	-0.82**	0.22 n.s	-0.75 **	-0.83 **	0.86 **	-0.72 **	-0.66**	0.17 n.s	1	
غلظت کربوهیدرات ها Carbohydrate concentrations	-0.62 **	0.11 ns	0.61 **	0.75 **	0.56 **	-0.59 **	0.73 **	0.43 **	0.67**	1

GY;Grain yield, OP; Oil percentage, OY; Oil yield, SC; Stomatal conductance, PR; Photosynthetic rate, Chl index; Chlorophylle indrx, CAT; Catalase activity, POD; Peroxidase activity, MAD; Malondialdehyde content, Car C; Carbohydrate content.

*and ** significant at 5% and 1% probability levels, respectively

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد

شده که محدودیت روزنه‌ای عامل اصلی تعیین کننده کاهش فتوسنتز در شرایط تنش رطوبتی (Cornic, 2000) و شوری (Rahnama et al., 2010) است.

شاخص کلروفیل

بیشترین مقدار شاخص کلروفیل در آبیاری مطلوب (۸۲/۶) و کمترین مقدار (۵۲/۳) در کم آبیاری شدید مشاهده شد که نشان دهندهٔ اثر تنش رطوبتی بر کاهش شاخص کلروفیل بود. واکنش دو رقم به تنش خشکی متفاوت بود به گونه ای که شاخص کلروفیل رقم گلدشت (۷۶) به طور معنی‌داری بیشتر از رقم پدیده (۶۴) بود (جدول ۳). شاخص کلروفیل به عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص‌های نشان دهنده‌ی تنش های محیطی وارد بر گیاه به طور معنی داری کاهش یافت و دلیل آن را از بین رفتن یا کاهش سنتز این رنگدانه و همچنین اختلال در فعالیت آنزیم‌های دخیل در سنتز رنگدانه های فتوسنتزی دانسته اند (Manvelian et al., 2021). به نظر می‌رسد رقم گلدشت در برابر خسارت ناشی از تنش رطوبتی دارای تحمل بالاتری نسبت به رقم پدیده است و قادر است با حفظ کلروفیل، تحمل بیشتری در شرایط تنش از خود نشان دهد. گزارش شده است که ارقام دارای قابلیت نگهداری آب بالاتر، دارای سطح برگ و محتوای کلروفیل بیشتری هستند و برای مناطق خشک مناسب‌تر هستند (Blum, 2011). همبستگی مثبت و معنی‌دار شاخص کلروفیل با عملکرد دانه ($r=0/75^{**}$)، و عملکرد روغن ($r=0/98^{**}$)، حاکی از نقش کلروفیل در فرایند فتوسنتز و تولید مواد فتوسنتزی بیشتر برای تولید مادهٔ خشک و عملکرد دانه است. همچنین همبستگی منفی و معنی‌دار شاخص کلروفیل با میزان تجمع مالون دی آلدئید ($r=-0/72^{**}$) (جدول ۴) حاکی از تأثیر نامطلوب گونه های اکسیژن واکنش گر ناشی از تنش اکسیداتیو بر تجزیه کلروفیل و در نتیجه تولید مالون دی آلدئید ناشی از پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی در شرایط تنش است. به هر روی، عدم محدودیت در سبزینگی گیاه سبب فتوسنتز کافی در جهت رشد گیاه و رسیدن به عملکرد مناسب گیاه می‌شود.

فعالیت آنزیم کاتالاز

اعمال مدیریت‌های کم آبیاری منجر به افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم کاتالاز در هر دو رقم شد و میزان افزایش در کم آبیاری ملایم، متوسط و شدید در مرحلهٔ گلدهی به ترتیب برابر با ۳۹، ۹۱ و ۱۲۷ درصد و در مرحلهٔ دانه بندی به ترتیب برابر با ۳۴، ۴۸ و ۷۵ درصد نسبت به شرایط آبیاری مطلوب بود. در هر دو مرحلهٔ گلدهی و دانه بندی رقم گلدشت دارای بیشترین و رقم پدیده دارای کمترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز بود (جدول ۳). رقم‌های مورد مطالعه از نظر فعالیت آنزیم کاتالاز واکنش متفاوتی نشان دادند به گونه ای که در هر دو مرحلهٔ گلدهی و دانه بندی، کمترین میزان فعالیت کاتالاز در شرایط آبیاری مطلوب در رقم گلدشت و بیشترین میزان مربوط به همین رقم در شرایط کم آبیاری شدید بود که اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها داشتند. در مرحلهٔ دانه بندی، شیب افزایش میزان فعالیت کاتالاز هر دو رقم نسبت به مرحلهٔ گلدهی بیشتر بود (جدول ۵).

جدول ۵- مقایسه میانگین ویژگی های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی دو رقم گلرنگ تحت سطوح مختلف کم آبیاری

Table 5. Mean comparison for physiological and biochemical characteristics in two safflower cultivars under different levels of deficit irrigation

Treatments تیمار			مرحلهٔ گلدهی Flowering stage			مرحلهٔ دانه بندی Grain filling stage		
مدیریت کم آبیاری Deficit irrigation management	ارقام Cultivars		فعالیت کاتالاز Catalase activity (mg protein min^{-1})	فعالیت پراکسیداز Peroxidase activity (mg protein min^{-1})	غلظت کربوهیدرات Carbohydrate concentration (mg g^{-1})	فعالیت کاتالاز Catalase activity (mg protein min^{-1})	فعالیت پراکسیداز Peroxidase activity (mg protein min^{-1})	غلظت کربوهیدرات Carbohydrate concentration (mg g^{-1})
شاهد Control	گلدشت	Goldasht	0.004 ^{e}	0.022 ^{b}	180 ^{e}	0.007 ^{f}	0.012 ^{d}	134 ^{e}
	پدیده	Padideh	0.005 ^{ed}	0.022 ^{b}	128 ^{g}	0.008 ^{ef}	0.007 ^{e}	85 ^{g}
ملایم Mild	گلدشت	Goldasht	0.008 ^{cb}	0.017 ^{c}	206 ^{d}	0.011 ^{bc}	0.018 ^{b}	158 ^{d}
	پدیده	Padideh	0.005 ^{e}	0.012 ^{d}	187 ^{e}	0.009 ^{de}	0.018 ^{b}	138 ^{e}
متوسط Moderate	گلدشت	Goldasht	0.010 ^{b}	0.020 ^{b}	260 ^{c}	0.012 ^{b}	0.016 ^{bc}	211 ^{c}
	پدیده	Padideh	0.007 ^{cd}	0.007 ^{e}	157 ^{f}	0.010 ^{cd}	0.013 ^{cd}	108 ^{f}
شدید Severe	گلدشت	Goldasht	0.012 ^{a}	0.036 ^{a}	456 ^{a}	0.015 ^{a}	0.031 ^{a}	320 ^{a}
	پدیده	Padideh	0.008 ^{cb}	0.012 ^{d}	390 ^{b}	0.011 ^{bc}	0.007 ^{e}	303 ^{b}
LSD			0.0019	0.001	9.02	0.0016	0.001	20.11

Means followed by the same letters for each trait in each column and each experimental factor level did not differ significantly using LSD test at 5% probability.

میانگین های دارای حروف مشابه برای هر صفت در هرستون و هر عامل آزمایشی با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد فاقد اختلاف آماری

به نظر می‌رسد میزان خسارت ناشی از تنش اکسیداتیو در مرحلهٔ دانه بندی زیاد بوده و یکی از سازوکارهای گیاه برای کاهش این خسارت افزایش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان از جمله کاتالاز است. در شرایط تنش رطوبتی، مقدار جذب و تثبیت دی اکسیدکربن به علت بسته شدن روزنه‌ها کاهش می‌یابد، در نتیجه انرژی حاصل از واکنش های نوری فتوسنتر تجمع می باید و به دنبال آن افزایش گونه‌های اکسیژن واکنش گر رخ می‌دهد، این امر نیز سبب پراکسیداسیون لیپیدها و تغییر ساختار پروتئین‌ها می‌گردد و سنتز آنزیم‌هایی مانند کاتالاز در واکنش به تنش اکسیداتیو می‌باشد (Mittler et al., 2004). به نظر می‌رسد یکی از سازوکارهای تحمل به خشکی رقم گلدشت در هر دو مرحلهٔ رشدی (گلدهی و دانه‌بندی)، فعالیت بیشتر آنزیم کاتالاز باشد. تنش اکسیداتیو ناشی از تنش رطوبتی باعث افزایش گونه های اکسیژن واکنشگر گردید و در چنین شرایطی، فعالیت کاتالاز افزایش یافت (Weisany et al., 2012). این آنزیم قادر است به طور مستقیم پراکسید هیدروژن را به آب و اکسیژن تجزیه کند و رادیکال‌های آزاد اکسیژن را سم زدایی کند و اثرات جانبی خشکی را کاهش دهد (Gill

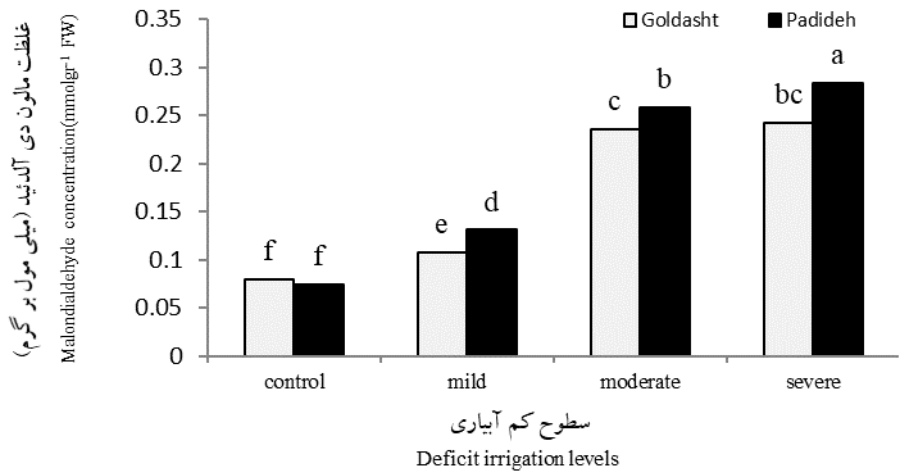
& Tuteja, 2010).

فعالیت آنزیم پراکسیداز

در هر دو مرحلهٔ گلدهی و دانه بندی رقم گلدشت دارای بیشترین (به ترتیب ۰/۰۲۳۷ و ۰/۰۱۹۱ میلی گرم پروتئین در دقیقه) و رقم پدیده دارای کمترین (به ترتیب ۰/۰۱۳۱ و ۰/۰۱۱۲ میلی گرم پروتئین در دقیقه) میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز بود (جدول ۳). فعالیت آنزیم پراکسیداز در مدیریت های مختلف کم آبیاری در هر دو رقم و در هر دو مرحلهٔ رشدی روند متفاوتی را نشان داد به گونه ای که در مرحلهٔ گلدهی فعالیت آنزیم در رقم پدیده کاهشی بود ولی در رقم گلدشت تنها در کم آبیاری شدید فعالیت این آنزیم افزایش یافت (جدول ۵)، در حالی که در مرحلهٔ دانه بندی فعالیت آنزیم در رقم پدیده و گلدشت در کم آبیاری ملایم و متوسط افزایش یافت، و در کم آبیاری شدید کاهش فعالیت آنزیم در مقایسه با شاهد مشاهده شد (جدول ۵). در هر دو مرحله بیشترین میزان فعالیت پراکسیداز مربوط به رقم گلدشت در کم آبیاری شدید (به ترتیب ۰/۰۳۶ و ۰/۰۳۱ میلی گرم پروتئین در دقیقه) بود (جدول ۵). به نظر می رسد سلول های گیاهی برای محافظت خود در برابر تنش رطوبتی، مجهز به سیستم های حذف کنندهٔ رادیکال آزاد هستند و آنزیم های آنتی اکسیدانی مانند کاتالاز و پراکسیداز بخشی از این سیستم هستند (Gill & Tuteja, 2010). افزایش فعالیت این آنزیم ها در مواجه با تنش بیانگر آن است که هر دو رقم از مزایای سازوکار دفاعی آنتی اکسیدانی برای مقابله در برابر تنش رطوبتی بهره برده اند. بسیاری از محققین فعالیت این آنزیم را به عنوان یک عامل کلیدی در سم‌زدایی پراکسید هیدروژن، حذف مالون دی‌آلدئید و حفظ ثبات و پایداری دیواره سلولی جهت حفاظت گیاهان در مقابل تنش های محیطی عنوان نموده اند (Gill & Tuteja, 2010). افزایش فعالیت کاتالاز و پراکسیداز تحت شرایط تنش خشکی در گلرنگ قبلاً نیز گزارش شده است (Wei et al., 2020; Manvelian et al., 2021).

غلظت مالون دی آلدئید

غلظت مالون دی آلدئید با افزایش سطوح کم آبیاری در هر دو رقم و هر دو مرحلهٔ گلدهی و دانه بندی افزایش یافت، به گونه ای که آبیاری مطلوب کمترین (۰/۰۸۰ و ۰/۰۷۴ میلی مول بر گرم به ترتیب برای رقم گلدشت و پدیده) و کم آبیاری شدید (۰/۲۴۲ و ۰/۲۸۴ میلی مول بر گرم به ترتیب برای رقم گلدشت و پدیده) بیشترین میزان مالون دی آلدئید را به خود اختصاص داد (شکل ۲). رقم گلدشت در هر دو مرحلهٔ گلدهی و دانه بندی دارای کمترین (به ترتیب ۰/۲۹۵ و ۰/۱۶۶ میلی مول بر گرم) و رقم پدیده دارای بیشترین (به ترتیب ۰/۳۱۰ و ۰/۱۸۶ میلی مول بر گرم) میزان مالون دی آلدئید بود (جدول ۳). مالون دی آلدهید به عنوان یک محصول جانبی پراکسیداسیون فسفولیپیدهای غشایی محسوب می گردد، به گونه ای که از سطح پراکسیداسیون لیپیدها به عنوان یک نشانگر آسیب رادیکال آزاد برای غشای سلولی تحت شرایط تنش استفاده می شود؛ بنابراین مالون دی آلدئید به عنوان یک نشانگر برای بررسی میزان صدمات به غشای



شکل ۲- نمودار مقایسه میانگین غلظت مالون دی آلدهید دو رقم گلرنگ تحت سطوح مختلف کم آبیاری در مرحلهٔ دانه بندی

Fig 2. Mean comparison for malodialdehyde concentration in two safflower cultivars under different levels of deficit irrigation at grain filling stage

سلولی در شرایط تنش مورد استفاده قرار می‌گیرد (Katsuhara et al, 2005). بالابودن میزان تجمع مالون دی آلدئید در رقم پدیده نشان می‌دهد که خسارت اکسیداتیو ناشی از تنش خشکی بر این رقم بیشتر از رقم گلدشت بوده که به دنبال آن موجب خسارت به لیپیدهای غشا شده است.

به نظر می‌رسد مجموعه ای از سازوکارهای دفاعی در رقم گلدشت برای کاهش خسارت تنش رطوبتی بهتر از رقم پدیده عمل کرده است. غلظت مالون دی آلدئید همبستگی مثبت و معنی‌داری با فعالیت کاتالاز ($r=۰/۶۶^{**}$) داشت. همچنین همبستگی منفی و معنی‌داری با عملکرد دانه ($r=-۰/۸۲^{**}$) و عملکرد روغن ($r=-۰/۷۵^{**}$) مشاهده شد (جدول ۴). این همبستگی منفی بیانگر اثرات مخرب تنش اکسیداتیو بر غشاهای سلولی و در نتیجه تأثیر بر میزان تولید ماده خشک و اقتصادی گیاه است. به عبارتی، تجمع مالون دی آلدئید نشان دهنده تخریب غشای سلولی است، زیرا این ترکیب تحت تأثیر تخریب و پراکسیده شدن غشا سلولی آزاد می‌شود و با تخریب غشای سلولی سبب خسارت به گیاه و کاهش عملکرد آن می‌شود. افزایش غلظت مالون دی آلدئید برگ گلرنگ در شرایط تنش خشکی قبلاً نیز گزارش شده است (Gunes et al., 2008).

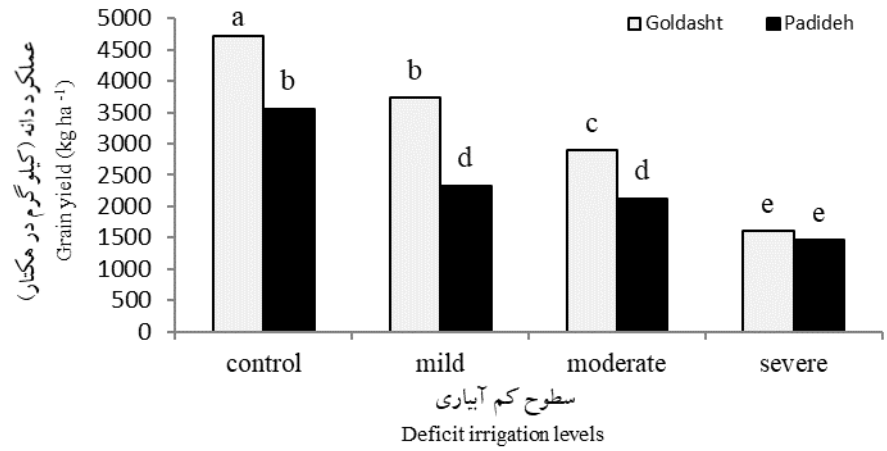
غلظت کربوهیدات های محلول

غلظت کربوهیدرات‌های محلول با افزایش سطوح کم آبیاری در هر دو رقم و هر دو مرحلهٔ گلدهی و دانه بندی افزایش یافت، به گونه ای که آبیاری مطلوب کمترین (۱۵۴ و ۱۱۰ میلی گرم بر گرم به ترتیب در مرحلهٔ گلدهی و دانه بندی) و کم آبیاری شدید بیشترین (۴۲۳ و ۳۱۲ میلی گرم بر گرم به ترتیب در مرحلهٔ گلدهی و دانه بندی) مقدار را به خود اختصاص داد. رقم گلدشت در هر دو مرحلهٔ گلدهی و دانه بندی دارای بیشترین (به ترتیب ۲۷۶ و ۲۰۶ میلی گرم بر گرم) و رقم پدیده دارای کمترین (به ترتیب ۲۱۶ و ۱۵۹ میلی گرم بر گرم) مقدار بود (جدول ۳). بیشترین میزان تجمع کربوهیدرات

های محلول در مرحلهٔ گلدهی و دانه بندی، مربوط به رقم گلدشت در شرایط کم آبیاری شدید مشاهده شد (جدول ۵). کربوهیدرات‌های محلول، به عنوان تنظیم کننده اسمزی، ثبات دهنده غشاهای سلولی و حفظ کننده تورژسانس سلول‌ها عمل می کنند و در گیاهانی که قندهای محلول در پاسخ به تنش خشکی تجمع می‌یابد، تنظیم اسمزی بهتر صورت می‌گیرد (Slama et al., 2007). غلظت کربوهیدرات های محلول همبستگی منفی و معنی‌داری با عملکرد روغن ($r=-0/61^{**}$) داشت. این همبستگی به افزایش ساخت قندهای محلول در واکنش به تنش خشکی در راستای ثبات غشاهای سلولی و حفظ تورژسانس سلول‌ها اشاره دارد. به نظر می رسد افزایش غلظت قندهای محلول از طریق تنظیم اسمزی و تأثیر بر رشد و عملکرد سبب بهبود عملکرد دانه و در نهایت عملکرد روغن گردیده است. همچنین همبستگی مثبت و معنی‌دار غلظت کربوهیدرات های محلول با فعالیت آنزیم کاتالاز ($r=0/73^{**}$) و پراکسیداز ($r=0/43^{**}$) بر مجموعه ای از سازوکارهای انطباقی گیاه برای مقابله با اثرات تنش خشکی ناشی با کم آبیاری تأکید دارد (جدول ۴). به طور کلی، محتوای کربوهیدرات محلول به طور مثبت تحت تأثیر تنش کمبود آب قرار گرفت و این یافته با گزارشات سایر پژوهشگران مبنی بر افزایش محتوای کربوهیدرات ها به دلیل تنش رطوبتی مطابقت داشت (Serraj & Sinclair, 2002; Amini et al., 2014; Manvelian et al., 2021).

عملکرد دانه

آبیاری مطلوب بیشترین (۴۱۳۹ کیلوگرم در هکتار) و کم آبیاری شدید کمترین (۱۵۳۱ کیلوگرم در هکتار) عملکرد دانه را به خود اختصاص داد. رقم گلدشت دارای بیشترین (۳۲۳۸ کیلوگرم در هکتار) و رقم پدیده دارای کمترین (۲۳۶۷ کیلوگرم در هکتار) میزان عملکرد دانه بود (جدول ۳). مدیریت های کم آبیاری منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد دانه در هر دو رقم شد و میزان کاهش در کم آبیاری ملایم، متوسط و شدید به ترتیب برابر با ۲۶، ۳۹ و ۶۳ درصد نسبت به شرایط آبیاری مطلوب بود (جدول ۳). برهم کنش سطوح کم آبیاری و ارقام نشان داد که در تیمارهای آبیاری مطلوب، کم آبیاری ملایم و متوسط رقم گلدشت در مقایسه با رقم پدیده دارای بیشترین مقدار عملکرد دانه بود و بین دو رقم تفاوت معنی داری وجود داشت، در حالی که در شرایط کم آبیاری شدید، بین دو رقم تفاوت معنی داری وجود نداشت و کمترین مقدار عملکرد دانه هر دو رقم نیز مربوط به تیمار کم آبیاری شدید بود (شکل ۳). تنش خشکی از طریق تأثیربر آنزیم های دخیل در فتوسنتز، بستن روزنه ها و کاهش فتوسنتز، شاخص سطح برگ را کاهش داده و پیری برگ را تسریع می کند ودر نهایت منجر به کاهش عملکرد اقتصادی گیاه می شود. همچنین تنش خشکی از طریق ریزش طبق و کاهش سنتز مواد فتوسنتزی و انتقال آن به دانه‌های گیاه باعث کاهش اجزای عملکرد و در نهایت عملکرد دانه گلرنگ می شود (Manvelian et al., 2021). نتایج این پژوهش نشان داد که در سطوح کم



شکل ۳- نمودار مقایسه میانگین عملکرد دانه دو رقم گلرنگ تحت سطوح کم آبیاری

Fig 3. Mean comparison for grain yield in two safflower cultivars under different levels of deficit irrigation

آبیاری ملایم و متوسط، پایداری عملکرد دانه رقم گلدشت بیشتر از رقم پدیده بود و به طور مشابه با سایر صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی مورد مطالعه، این امر ممکن است با سازگاری بهتر این رقم با شرایط تنش کم آبیاری در مراحل رشد سریع ساقه و پر شدن دانه نسبت به رقم پدیده مرتبط باشد. کاهش متفاوت عملکرد دانه ارقام مختلف گلرنگ در شرایط تنش رطوبتی در پژوهش های پیشین نیز گزارش شده است (Tahmasbpour et al., 2017; Salek Mearaji &Tavakoli, 2020). در اقلیم‌های خشک و نیمه خشک، حفظ عملکرد بالا یک ویژگی مهم در انتخاب ژنوتیپ های گلرنگ است (Hussain et al., 2016) و عملکرد دانه گلرنگ در شرایط تنش رطوبتی کاهش می‌یابد (Singh et al., 2016; Manvelian et al., 2021). به طور کلی، اعمال کم آبیاری متوسط با حفظ ظرفیت زراعی ۶۰ درصدی در مراحل مختلف رشدی گلرنگ و علیرغم کاهش ۲۱ و ۳۴ درصدی عملکرد دانه ارقام گلدشت و پدیده در مقایسه با شرایط آبیاری مطلوب، باعث کاهش ۲۰ درصدی مصرف آب در مقایسه با آبیاری مطلوب شد. لذا این سطح کم آبیاری را می توان در شرایط کمبود آب در مناطق نیمه خشک، که در آن نقصان عملکرد دانه برای کم آبیاری به حداقل می رسد، توصیه کرد.

درصد روغن

درصد روغن در رقم پدیده و گلدشت به ترتیب ۳۵/۶ و ۳۱/۲ درصد بود که با یکدیگر تفاوت معنی‌داری داشتند. بین مدیریت های آبیاری تفاوت معنی داری از نظر درصد روغن مشاهده نشد (جدول ۳). گزارشات متناقضی در رابطه با تأثیر تنش خشکی بر درصد روغن وجود دارد. در همین راستا گزارش‌های مبنی بر افزایش (Singh et al., 2016)، کاهش (Manvelian et al., 2021) یا عدم تغییر (Salek Mearaji &Tavakoli, 2020) درصد روغن در شرایط تنش خشکی وجود دارد. در زمان وقوع تنش، فرآیندهای آنزیمی و تشکیل پروتئین،

مواد فتوسنتزی را مصرف می‌کنند و گیاه از طریق تولید ترکیبات فعال زیستی در برابر عوارض جانبی تنش غیر زیستی دفاع می کند و از این طریق بر عملکرد محصول و در نتیجه بر محتوای روغن تأثیر می گذارد (Sanchez-Martín et al., 2018). گفته می شود که کاهش درصد روغن دانه در گیاهان دانه روغنی به دلیل تأثیر تنش خشکی بر وزن و عملکرد دانه بوده که در نهایت بر درصد روغن تأثیر می گذارد (Salek Mearaji &Tavakoli, 2020).

عملکرد روغن

آبیاری مطلوب دارای بیشترین (۱۴۵۶ کیلوگرم در هکتار) و کم آبیاری شدید دارای کمترین (۵۳۴ کیلوگرم در هکتار) عملکرد روغن بود. عملکرد روغن در رقم پدیده (۱۰۶۳ کیلوگرم در هکتار) و گلدشت (۸۴۲ کیلوگرم در هکتار) با یکدیگر تفاوت معنی‌داری داشتند (جدول ۳). عملکرد روغن ترکیبی از عملکرد دانه و محتوای روغن است، بنابراین، تحت تأثیر واکنش عملکرد دانه و محتوای روغن به مدیریت های آبیاری قرار می گیرد. کاهش عملکرد روغن در شرایط تنش کم آبی در پژوهش های متعددی گزارش گردیده است (Salek Mearaji & Tavakoli, 2020; Manvelian et al., 2021). کاهش عملکرد روغن در کم آبیاری شدید به کاهش عملکرد دانه ناشی از تنش رطوبتی در مراحل رشد سریع ساقه و گلدهی علیرغم عدم تغییر معنی دار در درصد روغن نسبت داده می شود. در همین راستا، در پژوهش های پیشین کمترین و بیشترین مقدار کاهش عملکرد روغن به ترتیب در زمان وقوع تنش خشکی در مرحلهٔ رشد رویشی و زایشی گلرنگ گزارش شده است (Singh et al., 2016). در این پژوهش، عملکرد بالای روغن رقم گلدشت علیرغم درصد روغن پایین این رقم را می توان عملکرد بالای دانه این رقم نسبت به رقم پدیده نسبت داد (جدول ۳). گزارش شده که رتبه بندی ژنوتیپ‌های گلرنگ از نظر عملکرد روغن مشابه عملکرد دانه است، زیرا عملکرد روغن عمدتاً به وسیله عملکرد دانه تعیین می شود (Koutroubas et al., 2010). با توجه به نتایج این پژوهش نیز به نظر می‌رسد درصد روغن سهم کمی در عملکرد روغن دارد و بر این اساس کمتر تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش اعمال مدیریت کم آبیاری در مراحل مختلف رشدی به طور متفاوتی ویژگی های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه را تحت تأثیر قرار داد و بر اساس میزان حساسیت مراحل مختلف رشدی گیاه به تنش رطوبتی به ویژه در مراحل رشد سریع ساقه و گلدهی و تأثیر آن بر عملکرد دانه روغن لازم است که آبیاری در این مراحل انجام گردد. از میان صفات مورد مطالعه افزایش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان کاتالاز و پراکسیداز و نیز غلظت کربوهیدرات های محلول نقش مهمی در ایجاد انطباق گیاه با شرایط کم آبیاری و در نتیجه کاهش آسیب به غشاهای سلولی و انباشت مالون دی آلدئید داشتند. همچنین اعمال کم آبیاری متوسط اگرچه باعث کاهش ۴۲ درصدی عملکرد روغن شد، ولی با توجه به حفظ ظرفیت زراعی ۶۰ درصدی در طی دورهٔ رشد گلرنگ و کاهش

۲۰ درصدی مصرف آب در مقایسه با آبیاری مطلوب به عنوان راهبرد مناسب کاهش مصرف آب و حداقل کاهش عملکرد دانه و روغن در شرایط کمبود آب در این منطقه توصیه می‌شود.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله نویسندگان از حمایت‌های مالی معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز در راستای اجرای این پژوهش به شماره پژوهانه SCU.AA98.96 سپاسگزاری می‌نمایند

References:

Amini, Hajar., Arzani, A., and Karami, M. 2014. Effect of water deficiency on seed quality and physiological traits of different safflower genotypes. *Turkish Journal of Biology,* 38: 2. https://doi.org/10.3906/biy-1308-22.

Andrianasolo, F.N., Debaeke, P., Champolivier, L., and Maury, P. 2016. Analysis and modelling of the factors controlling seed oil concentration in sunflower: a review. *OCL Oilseeds and fats crops and lipids,* 23(2), 1-12. doi: http://dx.doi.org/10.1051/ocl/2016004

Annual report. 2022. Annual harvested area, production, and yield in 2021-2022. Ministry of Agriculture Jihad. Iran

Beers, R.F., and Sizer, I.W. 1952. A spectrophotometric method for measuring the breakdown of hydrogen peroxide by catalase. *Journal of Biological Chemistry,* 195:133-140.

Blum, A. 2011. Plant breeding for water limited environments. *Springer,* p. 53-152.

Bota, J., Flexas, J., and Medrano, H. 2004. Is photosynthesis limited by decreased Rubisco activity and RuBP content under progressive water stress?. *New Phytolgist,* 162(3), 671-681.doi: http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8137.2004.01056.x

Cechin, I., Cardoso, G.S., Fumis, T.D.F., and Corniani, N. 2015. Nitric oxide reduces oxidative damage induced by water stress in sunflower plants. *Bragantia,* 74(2),200-206. doi:http://doi.org/10.1590/1678-4499.353

Cornic, G. 2000. Drought stress inhibits photosynthesis by decreased stomatal aperture– not by affecting ATP synthesis. *Trends in plant Sciences*, 5(5), 187-188. doi: http://dx.doi.org/1016/s1360-1385(00)01625-3

Flexas, J., Bota, J., Loreto, F., Comic, G., and Sharkey, T.D. 2004. Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C_3 plants. *Plant Biology,* 6(3), 269-279. doi: https://doi.org/10.1055/s-2004-820867

Gecgel, U., Demirci, M., and Esendal, E. 2007. Fatty acid composition of the oil from developing seeds of different varieties of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of the American Oil Chemists' Society,* 84(1), 47-54. doi: https://doi.org/10.1007/s11746-006-1007-3

Ghobadi, M., Taherabadi, S., Ghobadi, M.E., Mohammadi, G.R., and Jalali-Honarmand, S. 2013. Antioxidant capacity: photosynthetic characteristics and water relations of sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars in response to drought stress. *Industrial Crops and Products,* 50:29-38. doi: http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.07.009

Gill, S.S., and Tuteja, N. 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry,* 48(12), 909-30. doi: http://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08016

Guler, N.S., Sağlam, A., Demiralay, M., Kadıoğlu, A. 2012. Apoplastic and symplastic solute concentrations contribute to osmotic adjustment in bean genotypes during drought stress. *Turkish Journal of Biology,* 36: 151-160.

Gunes, A., Pilbeam, D.J., Inal, A., and Coban, S. 2008. Influence of silicon on sunflower cultivars under drought stress, I: Growth, antioxidant mechanisms, and lipid peroxidation. *Communications in Soil Science and Plant Analysis,* 39(13-14), 5-1903. doi: http://doi.org/10.1080/0013620802134651

Hussain, M.I., Lyra, D.A., Farooq, M., Nikoloudakis, N., and Khalid, N. 2016. Salt and drought stresses in safflower: a review. *Agronomy for Sustainable Development,* 36(1), 4. doi: https://doi.org/10.1007/s13593-015-0344-8

Iqbal, N., Ashraf, M., and Ashraf, M.Y. 2009. Influence of exogenous glycine betaine on gas exchange and biomass production in sunflower (*Helianthus annuus* L.) under water limited conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science,* 195(6), 420-426. doi: http://doi.org/10.1111/j.1439-037x.2009.00381.x

Katsuhara, M., Otsuka, T., and Ezaki, B. 2005. Salt stress-induced lipid peroxidation is reduced by glutathione S-transferase, but this reduction of lipidperoxides is not enough for a recovery of root growth in Arabidopsis. *Plant Sciences,* 169(2), 369-373. doi: http://doi.org/10.1016/j.plantsci.2005.03.030

Koutroubas, S.D., Papakosta, D.K., and Doitsinis, A. 2004. Cultivar and seasonal effects on the contribution of pre-anthesis assimilates to safflower yield. *Field Crop Research*, 90 (2-3), 263-274. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2004.03.009

Koutroubas, S.D., and Papakosta, D.K. 2010. Seed filling patterns of safflower:

genotypic and seasonal variations and association with other agronomic traits. *Industrial Crops and Products*, 31(1), 71-76. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2009.09.014

Lovelli, S., Perniola, M., Ferrara, A., and Tommaso, T.D. 2007. Yield response factor to water and water use efficiency of Carthamus tinctorius L. and Solanum melongena L. *Agricultural Water Management,* 92(1-2), 73-80. doi: http:// doi.org/10.1016/j.agwat.2007.05.005

Manvelian, J., Weisany, W., Tahir, N.A.R., Jabbari, H., and Diyanat, M. 2021. Physiological and biochemical response of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars to zinc application under drought stress. *Industrial Crops and Products,* 172:15. doi: http:// doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.05.011406905

Mittler, R., Vanderauwera, S., Gollery, M., and Breusegem, F.V. 2004. Reactive oxygen gene network of plants. *Trend in Plant Science,* 9:490-498. doi: http:// doi.org/10.1016/j.tplants.2004.08.009

Moatshe, O.G., Emongor, V.E., Balole, T.V., and Tshwenyane, S.O. 2020. Safflower genotypeby plant density on yield and phenological characteristics. *African Crop Science Journal,* 28(1),145-163. doi: http://doi.org/10.4314/acsj.v28i1.11S

Nakano, Y., and Asada, K. 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and Cell Physiology,* 22:867-880. doi:http://doi.org/10.1093/oxfordjornals.pcp.a076232

Rahnama, A., Poustini, K., Munns, R., and James, R.A. 2010. Stomatal conductance as a screen for osmotic stress tolerance in durum wheat growing in saline soil. *Functional Plant Biology,* 37:255-263. doi: http://doi.org/10.1071/fp09148.

Ramachanndra Reddy, A., Choityana, K.V., and Ivekanadan, R. 2004. Drought induced response of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plant. *Journal of Plant Physiology,* 161:1189-1202. doi: http://doi.org/10.1016/j.jplph.2004.01.013.

Salek Mearaji, H., and Tavakoli, A. 2020. Evaluation of yield and some traits of two safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars under different irrigation regimes. *Environmental Stresses in Crop Sciences,* 13(3), 763-775. (In Persian with English Summary).

Sanchez-Martín, J., Canales, F., Tweed, J., Lee, M., Rubiales, D., G´omez-Caden Singh, S., Angadi, S.V., Grover, K., Begna, S., and Auld, D. 2016. Drought response and yield formation of spring safflower under different water regimes in the semiarid Southern High Plains. *Agricultural Water Managemen, 163:*354-362. doi: http://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.10.010

Sanchez-Martín, J., Canales, F., Tweed, J., Lee, M., Rubiales, D., Gomez-Cadenas, ´A., and Prats, E. 2018. Fatty acid profile changes during gradual soil water depletion in oats suggests a role for jasmonates in coping with drought. *Frontiers in Plant Science,* 9:77–100. doi: http://doi.org/10.3389/fpls.01077

Saruhan Güler, N., Sağlam, A., Demiralay, M., and Kadıoğlu, A .2012. Apoplastic and symplastic solute concentrations contribute to osmotic adjustment in bean genotypes during drought stress. *Turkish Journal of Biology,* 36: 151-160. doi: http://doi.org/10.3906/biy-1101-177

Serraj, R., and Sinclair, T.R. 2002. Osmolyte accumulation: Can it really help increase crop yield under drought conditions? *Plant, Cell & Environment,* 25: 333-341

Sheligl, H. Q. 1986. Die verwertung orgngischer souren durch chlorella lincht. *Planta*, 47-51.

Slama, I., Ghnaya, T., Hessini, K., Messedi, D., Savouré, A., and Abdelly, C. 2007. Comparative study of the effects of mannitol and PEG osmotic stress on growth and solute accumulation in *Sesuvium portulacastrum*. *Environmental and Experimental Botany,* 61(1), 10-17. doi: http://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.02.004

Stewart, R.C., and Bewley, J.D. 1980. Lipid peroxidation associated with accelerated aging of soybean axes. *Plant Physiology,* 65(2), 245-248. doi: http://doi.org/10.1104/pp.65.2.245

Tahmasbpour, B., Younessi-Hamzekhanlu, M., Mahdavisafa, D., and Sabzi Nojadeh, M. 2017. Grain yield performance of *Carthamus tinctorius* L. cultivars under water deficient condition. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences,* 11(6), 235-243. (In Persian with English Summary).

Totsky, I.V., and Lyakh, V.A. 2015. Pollen selection for drought tolerance in

sunflower. *Helia,* 38(63), 211-220. doi: http://doi.org/10.1515/helia-2015-0012

Wei, B., Hou, K., Zhang, H., Wang, X., and Wu, W. 2020. Integrating transcriptomics and metabolomics to studies key metabolism, pathways and candidate genes associated with drought-tolerance in *Carthamus tinctorius* L. Under drought stress. *Industrial Crops and Products,* 151:112465. doi: http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112465

Weisany, W., Sohrabi, Y., Heidari, G., and Siosemardeh, A. 2012. Changes in antioxidant enzymes activity and plant performance by salinity stress and zinc application in soybean (*Glycine max* L.). *Plant Omics,* 5(2), 60-67.

Zarghami, R., Zahravi, M., Aslanzadeh, A., and Abbasali, M. 2011. Evaluation of autumn sown genotypes of safflower (*Carthamus tinctorius*) for tolerance to drought stress. *Seed and Plant Improvement Journal,* 27 (3), 339-355. (In Persian with English Summary).

Effects of deficit irrigation management on physiological and biochemical traits of two safflower cultivars

Rezvan Zandi[1], Afrasyab Rahnama[2*], Moosa Meskarbashee[3]

1. MSc in Agronomy, Department of Plant Production and Genetics, Shahid Chamran University of Ahvaz. Ahvaz. Iran.
2. Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Shahid Chamran University of Ahvaz. Ahvaz. Iran. . (Corresponding author)
3. Professor, Department of Plant Production and Genetics, Shahid Chamran University of Ahvaz. Ahvaz. Iran.

Received: September 2022 Accepted: May 2023- DOI: 10.22092/aj.2023.359982.1624

Extended Abstract

Zandi, R., Rahnama, A., Meskarbashee, **M.,** Effects of deficit irrigation management on physiological and biochemical traits of two safflower cultivars.
Applied Research in Field Crops Vol 35, No. 4, 2023 1-3: 1-24(in Persian)

Introduction

Drought is one of the major environmental stress induced by global climate change that adversely affects the growth and development of plants and causes significant yield losses in the oil seed crop, safflower. Safflower is mainly cultivated for the production of vegetable oil, and used in medical, cosmetic and paint industries (Gecgel et al., 2007). Drought stress adversely impacts growth and productivity through influencing various physiological and biochemical processes such as stomatal conductance, photosynthesis, chlorophyll content, carbohydrate metabolism, lipid peroxidation, and antioxidant defense system. Moreover, it was shown that inorganic ions and ABA concentrations contribute to osmotic adjustment under drought stress (Guler et al., 2012). The responses to drought stress are different at vegetative and reproductive stages of crops. Drought stress at anthesis results in the formation of empty achene production due to pollen infertility (Totsky & Lyakh, 2015). Since water resources used for

Email address of the corresponding author: a.rahnama@scu.ac.ir

irrigated agriculture are fast depleting in many agricultural regions of the world, therefore, irrigation management is of paramount importance under water scarcity conditions. Various deficit irrigation management strategies have been developed in different agroclimatic regions to improve crop performance under water deficit conditions. However, it is very important to develop crop management strategies that make plants suited for stressful environmental conditions.

Materials & Methods

In order to study the effects of deficit irrigation management on physiological and biochemical traits of two safflower cultivars, a field experiment was carried out in a split-plot arrangement in a randomized complete block design with three replications. The experimental site (32° 22' N, 48° 07' E), was located at Shahid Chamran University of Ahvaz, with a subtropical hot desert climate. The main plots consisted of four irrigation management practices including; control (irrigation treatments: 80%, 80%, 80%, and 80% of field capacity), mild water deficit (irrigation treatments: 60%, 80%, 80%, and 40% of field capacity), moderate water deficit (irrigation treatments: 60%, 60%, 60%, and 60% of field capacity) and severe water deficit (irrigation treatments: 40%, 60%, 60%, and 60% of field capacity), and the sub-plots consisted of two sunflower cultivars including; Padideh and Goldasht. The irrigation treatments were applied at stem elongation, branching, flowering, and grain-filling stages.

Results & Discussion

Deficit irrigation caused a significant reduction in stomatal conductance, photosynthetic rate, chlorophyll index, grain, and oil yield, but increased catalase and peroxidase enzyme activities, carbohydrate and malondialdehyde concentrations. Goldasht cv. with the highest stomatal conductance, photosynthetic rate, chlorophyll index, catalase, and peroxidase enzyme activities, carbohydrates concentrations, and with the lowest malondialdehyde concentrations and oil percentage produced the highest economic oil and grain yield. As a result, it can be recommended for cultivation in a water-limited condition. The highest levels of antioxidant enzyme activity and lowest malondialdehyde content under water deficit conditions may confer better drought tolerance in this cultivar. The oil yield of the both cultivars

significantly decreased under moderate and severe water-deficit stresses by 31, 43, and 63%, respectively, when compared to the control. Goldasht cv. with a higher grain yield showed a higher oil yield.

Conclusion

Different irrigation managements applied at different growth stages differently influenced the physiological and biochemical characteristics of safflower cultivars. The developmental stage and severity of water deficiency played an important role in the cultivar responses to the deficit irrigation management. All in all, a moderate deficit regime led to a 43% decrease in oil yield, but by saving about 40% of available water, this treatment can be recommended as a suitable strategy for water management to reduce water use in this area.

Acknowledgements: We are grateful to the Shahid Chamran University of Ahvaz for the financial support of this project.

Keywords: Antioxidant activity, chlorophyll index, drought stress, malondialdehyde, stomatal conductance

References

Gecgel, U., Demirci, M., and Esendal, E. 2007. Fatty acid composition of the oil from developing seeds of different varieties of safflower (Carthamus tinctorius L.). Journal of the American Oil Chemists' Society, 84(1), 47-54.

Guler, N.S., Sağlam, A., Demiralay, M., Kadıoğlu, A. 2012. Apoplastic and symplastic solute concentrations contribute to osmotic adjustment in bean genotypes during drought stress. Turkish Journal of Biology, 36: 151–160.

Totsky, I.V., and Lyakh, V.A. 2015. Pollen selection for drought tolerance in sunflower. Helia, 38(63), 211–220..