تأثیر رژیم‌های کم‌آبیاری بر ویژگی‌های فتوسنتزی، مورفولوژیک و عملکردی گلرنگ (*Carthamus tinctorious* L.) در شرایط آب و هوایی اهواز

رضوان زندی[۱]، افراسیاب راهنما[۲]* و 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.
۳) استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه شهید چمران اهواز. اهواز، ایران.

نویسنده مسئول*: a.rahnama@scu.ac.ir

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد است.

تاریخ دریافت:۱۴۰۱/۱۱/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۳

چکیده

کم آبیاری یک راهبرد مدیریت آب است که کاربرد آب را تا مراحل رشد حساس به خشکی کاهش می‌دهد. به منظور بررسی اثر رژیم‌های مختلف آبیاری بر ویژگی‌های فتوسنتزی، مورفولوژیک و عملکردی دو رقم گلرنگ زراعی، آزمایشی مزرعه‌ای به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی ۹۷- ۱۳۹۶ در مزرعهٔ آزمایشی دانشگاه شهید چمران اهواز اجرا شد. چهار سطح رژیم کم آبیاری شامل: شاهد (آبیاری در 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. رژیم‌های آبیاری با توجه به رسیدن میزان رطوبت خاک به مقادیردرصد ظرفیت زراعی مورد اشاره به ترتیب در مراحل رشد سریع ساقه، آغاز تکمه دهی، آغاز گلدهی و آغاز پر شدن دانه اعمال شد. بین ارقام تفاوت معنی‌داری از نظر صفات مورد مطالعه وجود داشت و رژیم‌های کم آبیاری به طور متفاوتی باعث کاهش معنی‌دار هدایت روزنه‌ای، سرعت فتوسنتز، تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق، تعداد دانه در بوته، وزن هزار دانه، قطر طبق، ارتفاع اولین شاخه فرعی، ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی در بوته، عملکرد زیست توده، شاخص برداشت و عملکرد دانه و روغن شد. رژیم‌های کم‌آبیاری ملایم، متوسط و شدید منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد دانه در هر دو رقم به ترتیب به میزان ۲۶، ۳۹ و ۶۳ درصد در مقایسه با رژیم آبیاری مطلوب شد. مقادیر این کاهش برای عملکرد روغن به ترتیب برابر با ۳۱، ۴۲ و ۶۳ درصد بود. رقم گلدشت در مقایسه با رقم پدیده به دلیل عملکرد دانه بالاتر دارای مقادیر عملکرد روغن بالاتری بود. اعمال رژیم کم آبیاری متوسط با توجه به کاهش ۲۰ درصدی مصرف آب در مراحل مختلف رشدی گیاه در مقایسه با آبیاری مطلوب به عنوان راهبرد مناسب کاهش مصرف آب با حفظ عملکرد قابل قبول و کشت رقم گلدشت در این منطقه تعیین شد.

واژه‌های کلیدی: تنش رطوبتی، هدایت روزنه‌ای، عملکرد دانه و عملکرد روغن.

مقدمه

گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.)، به‌دلیل داشتن ریشهٔ عمیق و گسترده با توان جذب بالای آب از اعماق مختلف خاک به عنوان یک گیاه متحمل به تنش‌های خشکی و شوری و نیز منبع مهم جایگزین روغن شناخته می‌شود. وجود این سیستم ریشه‌ای گسترده و تیپ‌های رشدی بهاره و پاییزه، امکان کشت و بقای این گیاه را به عنوان یک گیاه روغنی متحمل به خشکی در بسیاری از مناطق خشک کشور با دوره‌های کمبود رطوبت فراهم می‌نماید. تنش خشکی، مهم‌ترین عامل محدود کننده عملکرد گیاهان زراعی محسوب می‌گردد (Wei *et al.*, 2018). گیاهان واکنش‌های متفاوتی به تنش نشان می‌دهند. نوع واکنش‌ها و میزان خسارت تنش به عوامل متعددی از جمله شدت تنش، مدت زمان تنش، زمان وقوع و ارقام گیاهی بستگی دارد. عملکرد دانهٔ بسیاری از گیاهان زراعی در مراحل رشد رویشی، و اواخر رشد زایشی یا پر شدن دانه واکنش ناچیزی به تنش رطوبتی نشان می‌دهند، در حالی‌که در مرحلهٔ رشد زایشی به تنش رطوبتی حساس بوده و عملکرد دانه آن‌ها تحت اثر تنش رطوبتی در این دوره قرار می‌گیرد (Schaneekloth *et al.*, 2010). در نتایج پژوهش‌های متعددی مشخص شده که تنش خشکی در مراحل مختلف رشدی اثر نامطلوبی بر ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک ارقام مختلف گلرنگ برجای می‌گذارد (امیری و همکاران، ۱۳۹۴؛ نصیری و همکاران، ۱۳۹۵؛ سالک معراجی و توکلی، ۱۳۹۹). این اثرهای نامطلوب شامل کاهش ارتفاع ساقه، عملکرد دانه، مادهٔ خشک اندام هوایی و ریشه، تعداد گل در کاپیتول، وزن هزار دانه، تعداد دانه در طبق، تعداد طبق در بوته، درصد و عملکرد روغن، شاخص برداشت، سرعت رشد نسبی، در ارقام مختلف گلرنگ تحت رژیم‌های مختلف آبیاری و تنش خشکی عنوان شده است.

گیاهان در مراحل مختلف رشدی به طور متفاوتی به رژیم‌های آبیاری واکنش نشان می‌دهند (Hussain *et al.*, 2016). مراحل جوانه‌زنی، رشد رویشی، گلدهی و پر شدن دانهٔ گلرنگ به کمبود آب حساس است و رشد گیاه و عملکرد محصول تحت اثر تنش رطوبتی قرار می‌گیرد. مرحلهٔ رشد رویشی یکی از مراحل رشدی مهم گلرنگ است که به شدت تحت اثر تنش رطوبتی قرار می‌گیرد. نتایج مطالعه‌ها نشان می‌دهد که وقوع تنش رطوبتی در مرحلهٔ بلوغ گلرنگ، سرعت فتوسنتز، جذب نیتروژن و اندازهٔ مخزن دانه گیاه را کاهش داده و تولید گلرنگ را محدود می‌کند (Koutroubas and Papakosta, 2010). برخی پژوهشگران نیز مرحلهٔ گلدهی گلرنگ را به عنوان مرحلهٔ بسیار حساس به تنش خشکی معرفی کرده‌اند (Movahhedy-Dehnavy *et al.*, 2009).

در شرایط تنش رطوبتی، رشد و عملکرد گیاه، تحت اثر کاهش هدایت روزنه‌ای و در نتیجه سرعت فتوسنتز قرار می‌گیرد (Flexas *et al.*, 2004). هدایت روزنه‌ای، سرعت فتوسنتز و میزان کلروفیل برگ با افزایش شدت تنش کاهش می‌یابد و مقادیر کاهش هدایت روزنه‌ای و سرعت فتوسنتز ژنوتیپ‌های مختلف در واکنش به تنش متفاوت است (Iqbal *et*

al., 2009; Rahnama *et al.*, 2010). ضرغامی و همکاران (۱۳۹۰) گزارش دادند که وقوع تنش خشکی در طول دورهٔ گلدهی، باعث کاهش قابل توجه عملکرد دانه می‌شود و گزارش شده که عملکرد و اجزای گلرنگ آن در اثر وقوع خشکی در مراحل گلدهی، ظهور طبق و پر شدن دانه کاهش می‌یابد (Koutroubas *et al.*, 2008). همچنین گزارش شده که وقوع خشکی در مراحل اواخر گلدهی و پر شدن دانه، عملکرد دانه و روغن را عمدتاً از طریق کاهش اجزای عملکرد مانند تعداد دانه در کاپیتول، وزن هزار دانه و شاخص برداشت کاهش می‌دهد (Pasban Eslam, 2011).

گلرنگ به عنوان یک گیاه روغنی متحمل به خشکی می‌تواند در مناطق خشک کشت گردد و به دلیل اهمیت آن در تولید روغن خوراکی و با توجه به شرایط کمبود آب، اخیراً کشت این گیاه در کشور افزایش یافته است. بر اساس آمارنامه کشاورزی در سال ۱۴۰۰، سطح زیر کشت گلرنگ در کشور ۳۸۴۲ هکتار و میزان تولید ۵۲۳۳ تن برآورد گردیده است. همچنین 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 (آمارنامهٔ کشاورزی، ۱۴۰۱). با توجه به رشد روزافزون جمعیت، افزایش نیاز غذایی و محدودیت منابع آبی در ایران، یکی از راه‌های افزایش راندمان مصرف آب، کم‌آبیاری است. گیاهان زراعی در برخی از مراحل رشدی خود حساسیت بیش‌تری نسبت به کم آبی دارند. بنابراین آگاهی از برنامهٔ آبیاری گلرنگ در شرایط کم آبیاری از اهمیت خاصی برخوردار است. در همین راستا، این پژوهش با هدف ارزیابی رژیم‌های مختلف آبیاری بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی و عملکرد کمی و کیفی دو رقم گلرنگ زراعی در شرایط اهواز و انتخاب رقم مناسب و دستیابی به بهترین رژیم آبیاری و عملکرد مطلوب در این منطقه انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعهٔ تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. چهار سطح رژیم کم آبیاری شامل: شاهد (آبیاری در 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 سطوح کم آبیاری، رژیم‌های آبیاری با توجه به رسیدن میزان رطوبت خاک به مقادیر درصد ظرفیت زراعی مورد نظر به ترتیب در مراحل رشد سریع ساقه، آغاز تکمه دهی، آغاز گلدهی و آغاز پر شدن دانه اعمال گردید. در این پژوهش از رقم دیررس پدیده با تیپ رشدی پاییزه، خاردار، متحمل به سرما و مناسب کاشت در مناطق سرد و معتدل سرد و رقم زودرس گلدشت با تیپ رشدی بهاره، بدون خار، متحمل به سرما و مناسب کاشت در مناطق معتدل و گرم استفاده شد.

عملیات کاشت هر دو رقم در پنجم آذرماه انجام شد. بذرهای سالم و هم اندازه گلرنگ روی پنج پشته سه متری با فاصله ۷۵ سانتی‌متر به صورت دو خط کاشت روی هر پشته به صورت زیگزاگ و فاصله ۲۰ سانتی‌متر روی هر خط کاشت در عمق سه تا پنج سانتی‌متری کشت شد. جهت جلوگیری از نشت رطوبت بین کرت‌های اصلی، فاصله بین سطوح کم آبیاری و تکرارهای آزمایش سه متر در نظر گرفته شد. با توجه به نتایج آزمون خاک (جدول ۱)، به میزان ۸۵ کیلوگرم در هکتار فسفر از منبع سوپرفسفات معمولی قبل از کاشت و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص از منبع کود اوره در سه نوبت به صورت کود پایه همزمان با کاشت و کود سرک در اواخر دوره روزت و اوایل گلدهی به خاک مزرعه اضافه شد.

جدول ۱: ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در زمان شروع آزمایش

عمق خاک	بافت‌خاک	هدایت‌الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	اسیدیته	نیتروژن (درصد)	فسفر قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم)	پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم درکیلوگرم)	مواد آلی (درصد)
۳۰-۰	لومی شنی	۲/۰۸	۷/۴۱	۰/۵	۱۲/۷	۱۶۲	۰/۳۹
۶۰-۳۰	-	۳/۴۱	۷/۵۸	۰/۴۴	۱۶/۶	۱۵۲	۰/۳۰

به منظور تعیین مقدار آب قابل استفاده خاک به عنوان معیاری برای اعمال سطوح رژیم‌های کم آبیاری، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک مزرعه به طور تصادفی نمونه برداری انجام شد و نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل شد. پس از اشباع سازی خاک، با استفاده از صفحات فشاری 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 و درصد رطوبت وزنی خاک تعیین و با کسر مقادیر آن، مقدار درصد آب قابل استفاده خاک بین این دو نقطه محاسبه شد. قبل از هر آبیاری بر مبنای درصد ظرفیت زراعی، درصد رطوبت حجمی خاک با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج (TDR) (ProCheck, Decagon Devices, USA) اندازه‌گیری شد. آبیاری مطلوب با توجه به رسیدن میزان رطوبت خاک در ناحیهٔ ریشه به ۸۰ درصد آب قابل استفاده خاک انجام شد. اعمال سایر سطوح کم آبیاری نیز با اندازه‌گیری روزانه درصد رطوبت حجمی خاک با استفاده از دستگاه رطوبت سنج و با توجه به کاهش درصد آب قابل استفاده خاک در تیمار مورد نظر انجام شد (شیخ ممو و همکاران، ۱۴۰۲).

در مرحلهٔ شروع پرشدن دانه، اندازه‌گیری هدایت روزنه‌ای با استفاده از دستگاه پرومتر (Delta-T AP4 Devices, UK) و سرعت فتوسنتز با استفاده از دستگاه تحلیل‌گر مادون قرمز (IRGA, model LCA4, ADC Biosientific Ltd. Hoddeston,UK) بین ساعت ۹/۳۰ صبح تا ۱۲ ظهر انجام شد. در پایان فصل رشد و پس از رسیدگی دانه‌ها، با در نظر گرفتن اثر حاشیه، از مساحت یک متر هر واحد آزمایشی نمونه‌برداری انجام شد. ابتدا ارتفاع هر بوته از محل قطع تا رأس طبق اصلی، تعداد شاخه فرعی، ارتفاع اولین شاخه فرعی هر بوته تا سطح زمین اندازه گیری شد. پس از خشک شدن

نمونه‌ها، میزان عملکرد زیست توده، عملکرد دانه و اجزای عملکرد شامل تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق، تعداد دانه در بوته، وزن هزار دانه و قطر طبق و در نهایت شاخص برداشت اندازه‌گیری شد. درصد روغن دانه با کمک حلال اتر و با روش سوکسله (FOSS, Model SOCCET 2050) تعیین گردید. عملکرد روغن در واحد سطح نیز از حاصل‌ضرب عملکرد دانه و درصد روغن محاسبه شد.

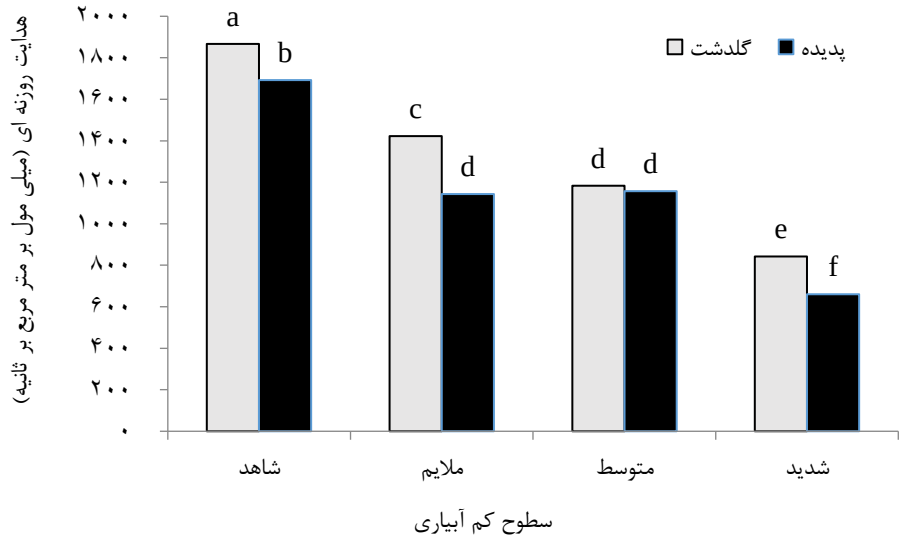
تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخهٔ ۹/۱) انجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون حداقل اختلاف معنی‌داری (LSD) در سطح ۵ درصد استفاده شد. رسم نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

هدایت روزنه‌ای

هدایت روزنه‌ای تحت اثر رژیم‌های کم‌آبیاری، رقم و برهم‌کنش رژیم کم‌آبیاری× رقم قرار گرفت (جدول ۲). کم‌آبیاری منجر به کاهش معنی‌دار هدایت روزنه‌ای در هر دو رقم شد و میزان کاهش در کم‌آبیاری ملایم، متوسط و شدید به ترتیب برابر با ۲۸، ۳۴ و ۵۷ درصد نسبت به شرایط آبیاری مطلوب بود. آبیاری مطلوب بیش‌ترین و کم‌آبیاری شدید کم‌ترین مقدار هدایت روزنه‌ای را به خود اختصاص داد. در بین دو رقم نیز بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار هدایت روزنه‌ای به ترتیب مربوط به رقم گلدشت و پدیده بود (جدول ۳). روند تغییرات هدایت روزنه‌ای در هر دو رقم متفاوت بود، به گونه‌ای که مقادیر کاهش در سطوح مختلف کم آبیاری در رقم پدیده به مراتب بیش‌تر از رقم گلدشت بود (شکل ۱). در شرایط تنش رطوبتی، میزان پتانسیل آب برگ به دلیل کاهش دسترسی به رطوبت خاک کاهش یافته و موجب بسته شدن روزنه‌ها و در نتیجه کاهش هدایت روزنه‌ای می‌گردد. این امر به نوبه خود باعث کاهش ورود دی اکسید کربن به برگ و در نتیجه کاهش سرعت فتوسنتز و به دنبال آن کاهش رشد می‌شود. بسته شدن روزنه از اولین واکنش‌های گیاه به تنش اسمزی بوده و عمده‌ترین دلیل کاهش فتوسنتز در شرایط تنش است (Rahnama *et al.*, 2010). به عبارتی، تفاوت هدایت روزنه‌ای مشاهده شده در شرایط تنش، ناشی از واکنش سریع گیاه به تنش و بسته شدن روزنه‌های برگ به منظور جلوگیری از هدر روی آب است (Rahnama *et al.*, 2010).

همبستگی مثبت و معنی‌دار هدایت روزنه‌ای با، سرعت فتوسنتز (r=۰/۸۶**) ، عملکرد دانه (r=۰/۹۱**) و عملکرد روغن (r=۰/۷۷**) بیانگر نقش هدایت روزنه‌ای در حفظ فتوسنتز در شرایط عادی و تنش و در نتیجه دستیابی به عملکرد دانه و روغن بالاتر می‌باشد (جدول ۴). به عبارتی، با افزایش هدایت روزنه‌ای، انتشار دی اکسید کربن به درون سلول افزایش یافته و سرعت فتوسنتز بیش‌تر می‌شود، در نتیجه عملکرد دانه افزایش می‌یابد.



شکل ۱: مقایسه میانگین هدایت روزنه‌ای دو رقم گلرنگ تحت رژیم‌های مختلف کم آبیاری

سرعت فتوسنتز

سرعت فتوسنتز تحت اثر رژیم‌های کم‌آبیاری و ارقام قرار گرفت، اما برهم‌کنش رژیم کم‌آبیاری×ارقام معنی‌دار نبود (جدول ۲). رژیم آبیاری مطلوب بیش‌ترین و کم آبیاری شدید کم‌ترین سرعت فتوسنتز را به خود اختصاص داد. مدیریت-های کم‌آبیاری از طریق افزایش تنش رطوبتی و بسته شدن روزنه‌ها، منجر به کاهش معنی‌دار سرعت فتوسنتز در هر دو رقم شد به گونه‌ای که میزان کاهش فتوسنتز در کم‌آبیاری ملایم، متوسط و شدید به ترتیب برابر با ۵، ۱۷ و ۳۶ درصد نسبت به شرایط آبیاری مطلوب بود. رقم گلدشت از نظر سرعت فتوسنتز نسبت به رقم پدیده برتری داشت (جدول ۳). کاهش رشد گیاهان زراعی به واسطهٔ محدود شدن فتوسنتز صورت می‌گیرد. تنش ناشی از محدودیت آب و بسته‌شدن روزنه‌ها بر دستگاه فتوسنتزی اثر منفی می‌گذارد و باعث کاهش فعالیت آنزیم‌های چرخهٔ کالوین و غشاهای تیلاکوئیدی می‌شود و در نهایت باعث کاهش رشد و نمو گیاه می‌شود (Ashraf and Harris, 2013). کاهش فتوسنتز در شرایط تنش رطوبتی می‌تواند ناشی از اثرهای روزنه‌ای و غیر روزنه‌ای باشد. دلیل اصلی کاهش فتوسنتز را می‌توان به کاهش هدایت روزنه‌ای نسبت داد که تحت شرایط تنش کاهش می‌یابد (Rahnama *et al.*, 2010). به عبارتی فتوسنتز از دو طریق تحت اثر تنش خشکی قرار می‌گیرد، اول آن‌که بسته شدن روزنه‌ها دسترسی کلروپلاست را به دی اکسید کربن محدود می‌کند، و دوم آن که پایین بودن پتانسیل آب اثرهای مستقیمی بر ساختمان اجزای دخیل در فتوسنتز دارد. به هر حال، در مطالعه-های پیشین مشخص شده که محدودیت روزنه‌ای عامل اصلی تعیین‌کنندهٔ کاهش فتوسنتز در شرایط تنش رطوبتی (Cornic, 2000) و شوری (Rahnama *et al.*, 2010) است.

جدول ۲: میانگین مربعات صفات فتوسنتزی، مورفولوژیک و عملکردی دو رقم گلرنگ در شرایط رژیم‌های مختلف کم آبیاری

منابع تغییرات	درجه آزادی	هدایت روزنه ای	سرعت فتوسنتز	ارتفاع بوته	ارتفاع اولین شاخهٔ فرعی	تعداد شاخهٔ فرعی در بوته	عملکرد دانه	تعداد طبق در بوته	تعداد دانه در طبق	تعداد دانه در بوته	وزن هزار دانه	قطر طبق	عملکرد زیست توده	شاخص برداشت	درصد روغن	عملکرد روغن
		میانگین مربعات														
بلوک	۲	۰/۱۱ ns	۴۹۷ **	۷۰/۵ ns	۲۴/۲ ns	۱/۱۲ ns	۳۸۴۰ ns	۳/۱ ns	۲۳/۸ *	۹۵۴۶ ns	۳۸/۴ ns	۱/۱۷ ns	۰/۱۱ **	۱/۲ ns	۴۰/۰۴ ns	۴۰۱۴۶ ns
رژیم آبیاری	۳	۱/۰۵**	۵۹۱۵**	۱۵۹۹ **	۴/۲ ns	۲/۸۸ *	۷۰۹۸۸۸ **	۷۱/۲ **	۶۷ **	۸۲۹۲۶ **	۶۷/۱ *	۱۷/۹ **	۱/۰۵ **	۷۶/۸ **	۹/۱۵ ns	۸۹۵۲۰۴ **
خطایa	۶	۰/۰۰۱	۷۱	۹۷/۵	۷۲/۴	۰/۳۵	۴۱۹۲	۲/۶	۴/۲۳	۵۱۷۵	۳۱/۴	۳/۸	۰/۰۰۱	۰/۴۴	۹/۴۸	۶۳۲۹۳
رقم	۱	۰/۱۵**	۴۰۵۶**	۳۰۲۶ **	۳۴۳۹ **	۰/۱۷ ns	۴۵۴۵۷۵۱ **	۹/۱۲ ns	۱۵ ns	۴۴۲ ns	۷۷۱ **	۱/۸۱ ns	۰/۱۵ **	۷۷۱ **	۱۱۷ **	۲۹۵۲۶۰ **
رژیم آبیاری×رقم	۳	۰/۰۱**	۲۴۶ ns	۳۱/۴ ns	۱۲۸ ns	۱/۰۵ ns	۴۴۹۹۲۱ **	۵/۵ ns	۱/۹۳ ns	۲۷۴۲۱ *	۶/۷۷ ns	۰/۴۹ ns	۰/۰۱۶ **	۳۴/۱ **	۱۴/۵ ns	۴۰۳۱۷ ns
خطایb	۸	۰/۰۰۱	۸۲	۸۳/۵	۷۹/۴	۰/۷۱	۱۷۷۸۱	۲/۶	۶/۲۰	۶۲۵۷	۱۷/۷۷	۱/۴	۰/۰۰۱۸	۲/۶۲	۸/۱	۳۴۵۰۶
ضریب تغییرات (درصد)		۳/۴	۴/۲	۷/۷	۱۶/۶	۱۴/۰۲	۴/۷	۹/۳	۹/۵	۱۹/۵	۱۰/۳	۴/۷	۳/۴	۵/۹	۸/۵	۱۹/۵

ns: فاقد اختلاف آماری معنی‌دار؛ * و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد

جدول ۳: اثر رژیم‌های مختلف کم آبیاری بر صفات فتوسنتزی، مورفولوژیک و عملکردی دو رقم گلرنگ

تیمارها	هدایت روزنه‌ای	سرعت فتوسنتز	ارتفاع بوته	ارتفاع اولین شاخهٔ فرعی	تعداد شاخهٔ فرعی در بوته	عملکرد دانه	تعداد طبق در بوته	تعداد دانه در طبق	تعداد دانه در بوته	وزن هزار دانه	قطر طبق	عملکرد زیست توده	شاخص برداشت	درصد روغن	عملکرد روغن
	میلی‌مول بر متر مربع بر ثانیه	میلی‌مول بر متر مربع بر ثانیه	سانتی‌متر	سانتی‌متر	-	کیلوگرم در هکتار	-	-	-	گرم	میلی‌متر	کیلوگرم در هکتار	درصد	درصد	کیلوگرم در هکتار
رژیم آبیاری															
شاهد	۱۷۸۰ a	۲۴ a	۱۳۸ a	۷۲/۵ a	۶/۸ a	۴۱۳۹a	۲۱/۵ a	۳۰ a	۵۲۷ a	۴۴/۳ a	۲۵/۶ ab	۱۳۴۵۱ a	۳/۵ a	۳۲/۲ a	۱۴۵۶ a
کم آبیاری ملایم	۱۲۸۰ b	۲۳/۴ a	۱۲۴ b	۷۲/۹ a	۶/۲ ab	۳۰۳۲b	۱۸/۶ b	۲۷ a	۳۸۲ b	۳۶/۵ b	۲۷ a	۱۱۰۲۸ b	۲۹/۷ a	۳۳/۸ a	۹۹۸ b
کم‌آبیاری‌متوسط	۱۱۷۰ c	۱۹/۳ b	۴۰۳ c	۷۳/۳ a	۵/۸ ab	۲۵۰۷c	۱۵ c	۲۴ b	۳۶۶ b	۴۲/۲ ab	۲۲/۸ b	۹۰۹۷ c	۲۵/۷ b	۳۲/۸ a	۸۲۲ bc
کم آبیاری شدید	۷۶۱ d	۱۷/۶ b	۱۰۷ c	۷۴/۴ a	۵/۲ b	۱۵۳۱d	۱۴ c	۲۳ b	۲۹۸ b	۴۰ ab	۲۵/۱ ab	۶۶۴۶ d	۲۲/۸ c	۳۵ a	۵۳۴ c
ارقام گلرنگ															
پدیده	۱۱۶۰ b	۱۹/۸ b	۱۲۹ a	۸۵/۲ a	۵/۹ a	۲۳۶۷b	۱۷/۹ a	۲۵/۳ a	۴۰۰ a	۳۵/۱ b	۲۴/۹ a	۱۰۶۶۵ a	۲۱/۵ b	۳۵/۷ a	۸۴۲ b
گلدشت	۱۳۲۰ a	۲۲/۴ a	۱۰۷ b	۶۱/۱ b	۶/۱ a	۳۲۸۳a	۱۶/۷ a	۲۶/۸ a	۴۰۸ a	۴۶/۴ a	۲۵/۴ a	۹۴۴۶ b	۳۲/۸ a	۳۱/۲ b	۱۰۶۳ a

میانگین‌های دارای حروف مشترک برای هر صفت در هر ستون و هر فاکتور آزمایشی با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار نیستند.

جدول ۴: ضرایب همبستگی بین رژیم‌های مختلف آبیاری بر صفات فتوسنتزی، مورفولوژیک و عملکردی دو رقم گلرنگ

ردیف	صفات	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
۱	هدایت روزنه‌ای	۱														
۲	سرعت فتوسنتز	۰/۸۶**	۱													
۳	ارتفاع بوته	۰/۴۵*	۰/۴۰*	۱												
۴	ارتفاع اولین شاخهٔ فرعی	-۰/۲۱^{ns}	-۰/۲۰^{ns}	۰/۵۷**	۱											
۵	تعداد شاخهٔ فرعی در بوته	۰/۵۲**	۰/۳۲^{ns}	۰/۲۵^{ns}	-۰/۳۲^{ns}	۱										
۶	عملکرد دانه	۰/۹۱**	۰/۸۰**	۰/۳۱^{ns}	-۰/۴۵*	۰/۶۹**	۱									
۷	تعداد طبق در بوته	۰/۶۹**	۰/۶۱**	۰/۶۵**	۰/۰۶^{ns}	۰/۶۸**	۰/۷۰**	۱								
۸	تعداد دانه در طبق	۰/۷۶**	۰/۷۷**	۰/۴۴*	-۰/۲۴^{ns}	۰/۳۶^{ns}	۰/۷۴**	۰/۶۲**	۱							
۹	تعداد دانه در بوته	۰/۷۸**	۰/۵۳**	۰/۵۹**	-۰/۱۵^{ns}	۰/۴۳**	۰/۷۲**	۰/۶۱**	۰/۶۵**	۱						
۱۰	وزن هزار دانه	۰/۳۸^{ns}	۰/۲۹^{ns}	-۰/۵۱*	-۰/۷۶**	۰/۱۴^{ns}	۰/۴۲*	-۰/۰۷^{ns}	۰/۲۴^{ns}	۰/۲۱^{ns}	۱					
۱۱	قطر طبق	۰/۱۸^{ns}	۰/۴۴*	۰/۳۹^{ns}	-۰/۰۴	۰/۰۱^{ns}	۰/۲۵^{ns}	۰/۳۲^{ns}	۰/۵۲*	۰/۱۵^{ns}	-۰/۱۸^{ns}	۱				
۱۲	عملکرد زیست توده	۰/۸۰**	۰/۶۹**	۰/۷۴**	۰/۱۴^{ns}	۰/۵۸**	۰/۷۱**	۰/۸۲**	۰/۶۳**	۰/۶۴**	-۰/۰۶^{ns}	۰/۲۱^{ns}	۱			
۱۳	شاخص برداشت	۰/۵۴**	۰/۶۱**	-۰/۲۱^{ns}	-۰/۷۶**	۰/۴۶*	۰/۷۷**	۰/۲۹^{ns}	۰/۵*	۰/۳۱^{ns}	۰/۵۸**	۰/۳۰^{ns}	۰/۱۹^{ns}	۱		
۱۴	درصد روغن	-۰/۴۳*	۰/۳۸^{ns}	۰/۲۷^{ns}	۰/۶۷**	-۰/۲۶^{ns}	-۰/۵۴**	-۰/۰۱^{ns}	-۰/۲۶^{ns}	-۰/۲۶^{ns}	-۰/۵۰*	۰/۰۳^{ns}	-۰/۰۸^{ns}	-۰/۶۵**	۱	
۱۵	عملکرد روغن	۰/۷۷**	۰/۶۲**	۰/۳۹^{ns}	-۰/۳۳^{ns}	۰/۷۲**	۰/۹۰**	۰/۶۹**	۰/۶۵**	۰/۶۵**	۰/۳۱^{ns}	۰/۱۹^{ns}	۰/۷۳**	۰/۶۲**	-۰/۰۳^{ns}	۱

^{ns}: فاقد اختلاف آماری معنی‌دار؛ * و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد

ارتفاع بوته

ارتفاع بوته تحت اثر رژیم کم‌آبیاری و رقم قرار گرفت، ولی برهم‌کنش‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۲). ارتفاع بوته از صفات مهم و تأثیرگذار بر عملکرد گیاه در برداشت مکانیزه است. ارتفاع بوته با اعمال رژیم‌های کم‌آبیاری به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. بیش‌ترین ارتفاع بوته در تیمار آبیاری مطلوب و کم‌ترین مقدار در تیمار کم آبیاری متوسط و شدید (به ترتیب ۲۵ و ۲۳ درصد کاهش) مشاهده شد. ارتفاع بوته رقم پدیده به طوری معنی‌داری بیش‌تر از ارتفاع بوته رقم گلدشت بود (جدول ۳).

ارتفاع بوته گلرنگ در مرحلهٔ ساقه‌بندی تعیین می‌گردد، بنابراین در این پژوهش، وقوع تنش به ویژه در رژیم کم-آبیاری شدید از طریق کاهش فتوسنتز و تولید مادهٔ خشک سبب کاهش ارتفاع بوته گردید. به عبارتی، در شرایط تنش رطوبتی، سرعت رشد رویشی گیاه کاهش یافته و در نتیجه ارتفاع گیاه نیز کاهش می‌یابد. تنش کم آبیاری در مرحلهٔ رشد رویشی از طریق کاهش فشار آماس، باعث کاهش رشد و توسعهٔ سلول می‌شود و کاهش رشد و نمو، سبب محدودیت اندازهٔ اندام‌ها می‌گردد. در تیمار آبیاری مطلوب، گیاه در شرایط مطلوب رطوبتی قرار داشته و شرایط لازم برای افزایش تعداد، اندازهٔ سلول و رشد فراهم می‌گردد، در مقابل با اعمال سطوح تنش از تیمار ملایم تا شدید، توسعهٔ سلولی کاهش یافته و منجر به کاهش رشد و در نتیجه کاهش طویل شدن ساقه می‌گردد. کاهش ارتفاع رقم گلدشت را می‌توان به زودرسی و کوتاه بودن دورهٔ رشد آن نسبت داد. کاهش ارتفاع گیاه به موازات افزایش شدت تنش رطوبتی به ویژه در مرحلهٔ ساقه‌دهی را می‌توان به اختلال در فتوسنتز به واسطهٔ محدودیت دسترسی گیاه به آب و دی اکسید کربن و کاهش تولید و تخصیص مواد فتوسنتزی به بخش‌های در حال رشد گیاه و در نهایت عدم دستیابی به توان رشد گیاه نسبت داد (Manvelian *et al.*, 2021).

ارتفاع اولین شاخه فرعی

بین ارقام از نظر ارتفاع اولین شاخهٔ فرعی تا سطح زمین تفاوت معنی‌داری وجود داشت، ولی اثر رژیم‌های کم‌آبیاری و برهم‌کنش رژیم کم‌آبیاری×ارقام بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۲). در رقم پدیده اولین انشعاب در ارتفاع بالاتری از سطح زمین در مقایسه با رقم گلدشت تشکیل شد. این رقم همچنین دارای بالاترین ارتفاع در مقایسه با رقم گلدشت نیز بود (جدول ۳). ارتفاع اولین شاخه فرعی تا سطح زمین همبستگی مثبت و معنی‌داری با ارتفاع بوته (r=۰/۵۷**) داشت (جدول ۴) و مشاهده شد با افزایش ارتفاع بوته، فاصلهٔ اولین شاخهٔ فرعی از سطح زمین افزایش می‌یابد. همبستگی مثبت و معنی‌دار بین ارتفاع انشعابات تا سطح زمین با ارتفاع بوته در مطالعه‌های پیشین نیز گزارش شده است (موسوی فر و همکاران، ۱۳۸۹).

تعداد شاخه‌های فرعی در بوته

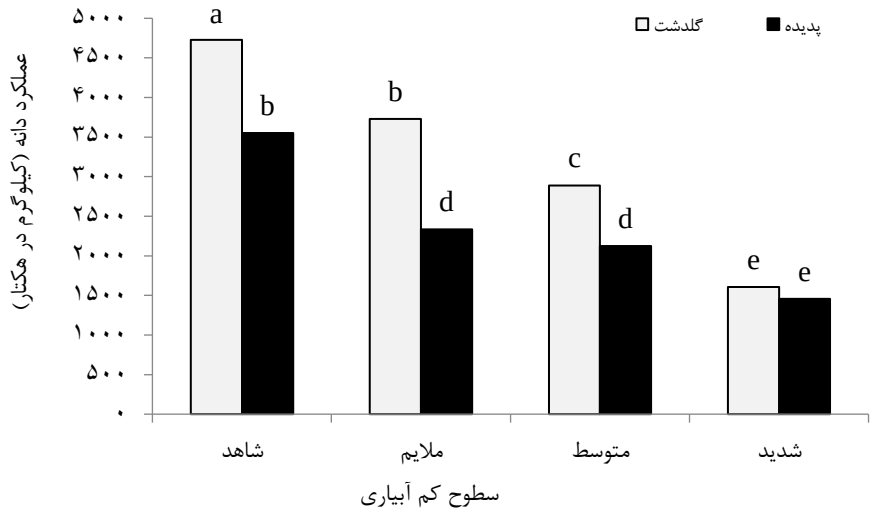
تعداد شاخه‌های فرعی تحت اثر رژیم کم‌آبیاری قرار گرفت، ولی اثر رقم و برهم‌کنش رژیم کم‌آبیاری×رقم معنی‌دار نبود (جدول ۲). تعداد شاخه‌های فرعی در بوته در تعیین تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق و در نتیجه عملکرد دانه نقش مهمی دارد. تعداد شاخه‌های فرعی با اعمال رژیم‌های کم‌آبیاری به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. بیش‌ترین تعداد شاخه‌های فرعی در تیمار آبیاری مطلوب و کم‌ترین مقدار در رژیم کم آبیاری شدید (۲۳ درصد کاهش) مشاهده شد. بین رژیم‌های مختلف کم آبیاری از نظر این صفت تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳). در رژیم‌های کم‌آبیاری متوسط و شدید، اعمال تنش در مرحلهٔ ساقه دهی و قبل از تکمه‌دهی منجر به کاهش تعداد شاخه‌های فرعی و کاهش تعداد طبق در بوته شد. به عبارتی، کاهش تعداد شاخه‌های فرعی در بوته ناشی از کاهش قدرت رویشی گیاه در شرایط کم آبیاری متوسط و شدید مشاهده شد. همبستگی مثبت و معنی‌دار بین تعداد شاخه فرعی با تعداد طبق در بوته (r = ۰/۶۸**) نیز مؤید این نکته بود. در مطالعه‌های گذشته گزارش شده است که در شرایط کم‌آبیاری و با افزایش فواصل آبیاری، تعداد سلول‌های آغازین تشکیل شده جهت تولید انشعابات اولیهٔ ساقه کاهش می‌یابد و منجر به کاهش تعداد شاخه اصلی در گیاه می‌شود (Cox and Jollif *et al.*,1986).

عملکرد دانه

عملکرد دانه تحت اثر رژیم‌های کم‌آبیاری، ارقام و برهم‌کنش رژیم کم‌آبیاری× ارقام قرار گرفت (جدول ۲). رژیم آبیاری مطلوب بیش‌ترین و کم آبیاری شدید کم‌ترین عملکرد دانه را به خود اختصاص داد. رقم گلدشت دارای بیش‌ترین و رقم پدیده دارای کم‌ترین میزان عملکرد دانه بود (جدول ۳). رژیم‌های کم‌آبیاری منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد دانه در هر دو رقم شد و میزان کاهش در کم‌آبیاری ملایم، متوسط و شدید به ترتیب برابر با ۲۶، ۳۹ و ۶۳ درصد نسبت به شرایط آبیاری مطلوب بود (جدول ۲). روند تغییرات عملکرد دانه در هر دو رقم متفاوت بود به گونه‌ای که مقادیر کاهش در سطوح مختلف کم آبیاری در رقم پدیده به مراتب بیش‌تر از رقم گلدشت بود. بیش‌ترین عملکرد دانه در رقم گلدشت در تیمار آبیاری مطلوب و کم‌ترین مقدار به یک میزان در هر دو رقم در کم‌آبیاری شدید مشاهده شد (شکل ۲).

تنش خشکی از طریق کاهش آسیمیلاسیون کربوهیدرات‌ها و فعالیت‌های سنتزی، کاهش تعداد شاخ و برگ و سطح برگ و کاهش فتوسنتز گلرنگ سبب کاهش وزن و تعداد دانه و در نهایت عملکرد دانه می‌گردد (Farooq *et al.*, 2009; Yari *et al.*, 2015). نتایج این پژوهش نشان داد که در سطوح کم‌آبیاری ملایم و متوسط، پایداری عملکرد دانه رقم گلدشت بیش‌تر از رقم پدیده بود و این امر ممکن است با سازگاری بهتر این رقم با شرایط تنش خشکی ناشی از کم‌آبیاری در مراحل رشد سریع ساقه و پر شدن دانه مرتبط باشد، در حالی‌که در شرایط کم‌آبیاری شدید بین دو رقم برتری خاصی

مشاهده نشد. به نظر می‌رسد در رژیم کم آبیاری شدید، اعمال تنش شدید در مرحلهٔ آغاز پر شدن دانه از طریق کاهش وزن هزار دانه بیش‌ترین اثر را بر کاهش عملکرد دانه هر دو رقم داشته است. در پژوهش‌های پیشین نیز کاهش متفاوت عملکرد دانه ارقام گلرنگ در شرایط تنش رطوبتی (Tahmasbpour *et al.*, 2017) و گرما (صالحی و همکاران، ۱۳۹۸) گزارش شده است. اگرچه گزارش شده که سازگاری گلرنگ با تنش آبی نیاز به بهبود تحمل کم‌آبی در مرحلهٔ گلدهی دارد (Zareie *et al.*, 2013) ولی گزارشاتی مبنی بر کاهش عملکرد دانه گلرنگ پس از اعمال تنش کم آبیاری در مرحله رشد رویشی نیز وجود دارد (Istanbulluoglu *et al.*, 2009). در اقلیم‌های خشک و نیمه خشک، حفظ عملکرد بالا یک ویژگی مهم در انتخاب ژنوتیپ‌های گلرنگ است (Hussain *et al.*, 2016). کاهش عملکرد دانه در شرایط خشکی در مطالعه‌های پیشین نیز گزارش شده است (Pasban Eslam, 2011; Hussain *et al.*, 2016; Ozturk *et al.*, 2008).



شکل ۲: مقایسه میانگین عملکرد دانه دو رقم گلرنگ تحت رژیم‌های مختلف کم آبیاری

به طور کلی، اعمال رژیم کم‌آبیاری متوسط با توجه به حفظ ظرفیت زراعی ۶۰ درصدی در مراحل مختلف رشدی گلرنگ باعث صرفه جویی ۲۰ درصدی آب قابل دسترس در مقایسه با رژیم آبیاری مطلوب شد و اگرچه کاهش عملکرد دانه گلرنگ گلدشت و پدیده در این محدوده به ترتیب برابر با ۲۱ و ۳۴ درصد در مقایسه با شرایط آبیاری مطلوب بود. لذا این رژیم کم‌آبیاری را می‌توان در شرایط کمبود آب در مناطق نیمه خشک، که در آن نقصان عملکرد دانه برای کم آبیاری به حداقل می‌رسد، توصیه کرد.

تعداد طبق در بوته

بین رژیم‌های کم‌آبیاری از نظر تعداد طبق در بوته تفاوت معنی‌داری وجود داشت، ولی اثر رقم و برهم‌کنش رژیم کم-آبیاری×رقم بر تعداد طبق در بوته معنی‌دار نبود (جدول ۲). تعداد طبق در بوته به‌عنوان یکی از اجزای مهم عملکرد گلرنگ

با اعمال رژیم‌های کم آبیاری در هر دو رقم به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، به‌طوری که بیش‌ترین تعداد طبق در بوته در شرایط آبیاری مطلوب مشاهده شد، درحالی‌که تعداد طبق در بوته با تفاوت معنی‌داری در رژیم‌های کم آبیاری ملایم، متوسط و شدید به ترتیب با کاهش ۱۴، ۲۹ و ۳۴ درصدی روبرو شد (جدول ۳).

در رژیم کم آبیاری ملایم، اعمال تنش رطوبتی در مرحلهٔ ساقه‌دهی منجر به کاهش تعداد شاخه‌های فرعی و تعداد طبق در بوته شد، در حالی‌که در رژیم کم آبیاری متوسط و شدید، اعمال تنش رطوبتی در مرحلهٔ ساقه‌دهی و قبل از تکمه‌دهی و گلدهی منجر به کاهش تعداد شاخه‌های فرعی و تعداد طبق در بوته شد. به عبارتی، کاهش تعداد طبق در بوته ناشی از کاهش قدرت رشد رویشی گیاه در شرایط تنش کم آبیاری متوسط و به ویژه کم آبیاری شدید مشاهده شد. وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین تعداد طبق در بوته با تعداد شاخه فرعی در بوته (**۰/۶۸ = r)، بر اهمیت تعداد شاخه‌های فرعی در تعیین تعداد طبق در بوته تأکید دارد. به عبارتی، افزایش انشعابات جانبی و شاخه‌های فرعی بیش‌تر سبب ایجاد مکان‌های بالقوه جهت تشکیل طبق بیش‌تر می‌شود و در نهایت ممکن است منتهی به افزایش عملکرد دانه شود. هرچه زمان اعمال تنش به مرحلهٔ تشکیل طبق‌ها نزدیک‌تر باشد، اثر آن بر تعداد طبق و در نهایت بر عملکرد دانه بیش‌تر خواهد بود. کاهش تعداد طبق در بوته در شرایط اعمال تنش رطوبتی در مراحل قبل از تکمه‌دهی و گلدهی در مطالعه‌های پیشین نیز گزارش شده است (Omidi *et al.*, 2012; Jabbari *et al.*, 2010). در تیمار کم آبیاری شدید، تعداد طبق در بوته نسبت به تیمار شاهد ۳۴ درصد کاهش یافت. اگرچه میزان کاهش تعداد دانه در هر طبق و وزن هزار دانه در مقایسه با این پارامتر کم‌تر بود (جدول ۳). به هر روی، کاهش قابل توجه تعداد طبق در بوته در شرایط کم آبیاری به ویژه در مراحل اولیهٔ رشد گیاه در مقایسه با تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه مؤید این نکته است که تعداد طبق در بوته به شدت بستگی به دسترسی آب به ویژه در مراحل قبل از گلدهی دارد. نتایج مشابهی نیز در مطالعه‌های پیشین گزارش شده است (Movahhedy-Dehnavy *et al.*, 2009). نتایج این پژوهش مبنی بر اثر شدید کم آبیاری بر تعداد طبق در بوته و در نهایت عملکرد دانه نشان می‌دهد که کمبود آب در مراحل اولیه رشد گیاه قادر است آغاز و توسعه بعدی اندام‌های زایشی را به شدت تحت تأثیر قرار دهد.

تعداد دانه در طبق

اثر رژیم کم‌آبیاری بر تعداد دانه در طبق معنی‌دار بود، ولی این ویژگی تحت اثر ارقام و برهم‌کنش رژیم کم-آبیاری×ارقام قرار نگرفت (جدول ۲). تعداد دانه در طبق به‌عنوان یکی از اجزای مهم عملکرد گلرنگ نیز با اعمال رژیم‌های کم آبیاری در هر دو رقم به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، به‌طوری که بیش‌ترین تعداد دانه در طبق در شرایط آبیاری

مطلوب و کم آبیاری ملایم به دست آمد که با دو تیمار کم‌آبیاری متوسط و شدید، اختلاف معنی‌داری داشتند. در تیمار کم آبیاری متوسط و شدید، تعداد دانه در طبق تفاوت چندانی باهم نداشتند (جدول ۳).

منطبق با نتایج عملکرد دانه، رژیم‌های کم آبیاری متوسط و شدید به دلیل همزمانی دوران تکمه‌دهی و گلدهی با تنش رطوبتی و ایجاد اختلال در عمل گرده‌افشانی، سبب کاهش تعداد دانه در طبق و در نتیجه عملکرد دانه گردیدند. اگرچه میانگین تعداد دانه در طبق در تیمارهای کم آبیاری متوسط و شدید به ترتیب به میزان ۲۳ و ۲۰ درصد کاهش یافت، ولی در مقایسه با کاهش تعداد طبق در بوته میزان سهم کاهش عملکرد دانه در این دو تیمار به مقدار کم‌تری بستگی به کاهش تعداد دانه در طبق داشت (جدول ۳). کاهش تعداد گل و تعداد دانه در طبق در شرایط کمبود آب در مراحل اولیه گلدهی و رشد زایشی قبلاً نیز گزارش شده است (Saini and Westgate *et al.*, 2000). به هر روی، گزارش متناقضی مبنی بر عدم تغییر این صفت در شرایط رژیم‌های کم آبیاری در مراحل مختلف رشدی تکمه‌دهی، آغاز گلدهی، پایان گلدهی و پرشدن دانه ارائه شده است (Omidi *et al.*, 2012).

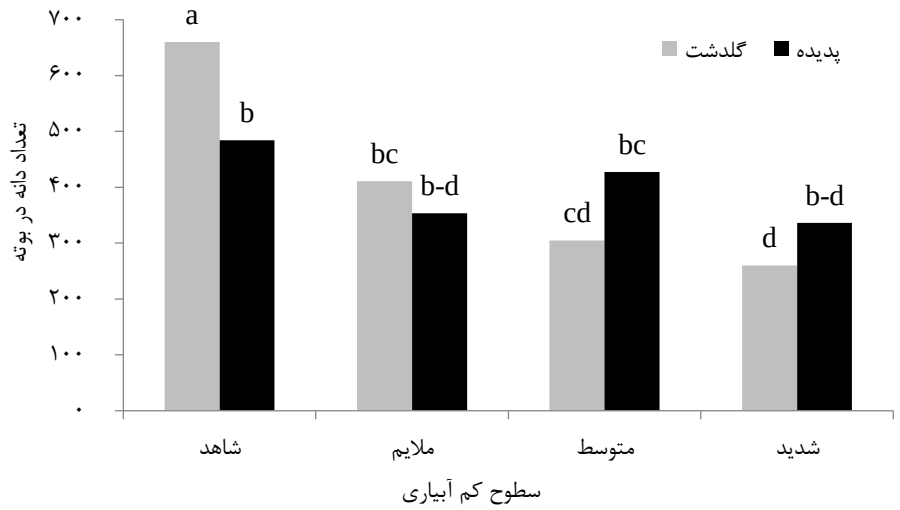
نتایج ضرایب همبستگی پژوهش حاضر نشان داد، تعداد دانه در طبق دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه (**۰/۷۴ = r) بود (جدول ۴). ارتباط معنی‌دار بین عملکرد دانه با تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه قبلاً نیز گزارش شده است (Camas *et al.*, 2007). به نظر می‌رسد یکی از اجزای مهم و کلیدی تعیین‌کننده اجزای عملکرد، تعداد دانه در طبق باشد و تغییرات این صفت بایستی در شرایط تنش کم آبیاری مد نظر قرار گیرد.

تعداد دانه در بوته

بین رژیم‌های کم‌آبیاری و برهم‌کنش رژیم کم‌آبیاری×رقم از نظر تعداد دانه در بوته تفاوت معنی‌داری وجود داشت، ولی اثر رقم معنی‌دار نبود (جدول ۲). تعداد دانه در بوته با اعمال کم‌آبیاری به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، به‌طوری که بیش‌ترین تعداد دانه در بوته در شرایط آبیاری مطلوب مشاهده شد و در سطوح رژیم‌های کم آبیاری ملایم، متوسط و شدید در مقایسه با آبیاری مطلوب به ترتیب ۳۳، ۳۶ و ۴۸ درصد کاهش یافت (جدول ۲).

با افزایش شدت کم‌آبیاری، شیب کاهش تعداد دانه در بوته در رقم پدیده کم‌تر از رقم گلدشت بود و بین تیمارهای رژیم آبیاری تفاوت معنی‌داری وجود نداشت، در حالی‌که این تفاوت‌ها در رقم گلدشت معنی‌دار بود (شکل ۳). کاهش تعداد دانه در بوته در این آزمایش را می‌توان به کاهش قدرت رشد رویشی گیاه تحت شرایط کم آبیاری مانند کاهش تعداد شاخه‌های فرعی و در نتیجه کاهش تعداد طبق در بوته و همچنین تعداد دانه در طبق نسبت داد و این کاهش‌ها در رقم گلدشت تا حدودی بیش‌تر بود. هرچند پایداری عملکرد رقم گلدشت در شرایط تنش رطوبتی را می‌توان به پایداری وزن

هزار دانه نسبت به سایر اجزای عملکرد آن نسبت داد (جدول ۳). به نظر می‌رسد در شرایط کم آبیاری متوسط و شدید، سهم کاهش تعداد طبق در بوته در کاهش تعداد دانه در بوته به مراتب بیش‌تر از تعداد دانه در طبق باشد.



شکل ۳: مقایسه میانگین تعداد دانه در بوتهٔ دو رقم گلرنگ تحت رژیم‌های مختلف کم آبیاری

وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین تعداد دانه در بوته با تعداد طبق در بوته (r = ۰/۶۱**)، تعداد دانه در طبق (r = ۰/۶۵**) و تعداد شاخه فرعی (r = ۰/۴۳*) نیز بر ارتباط بین این پارامتر با سایر اجزای عملکرد تأکید دارد.

وزن هزار دانه

رژیم کم‌آبیاری و رقم بر وزن هزار دانه معنی‌دار بود، ولی این صفت تحت اثر برهم‌کنش رژیم کم‌آبیاری×رقم قرار نگرفت (جدول ۲). وزن هزار دانه با اعمال رژیم‌های کم آبیاری به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. بیش‌ترین وزن هزار دانه در رژیم آبیاری مطلوب و کم‌ترین مقدار در رژیم کم آبیاری ملایم مشاهده شد، اگرچه بین رژیم‌های کم آبیاری ملایم، متوسط و شدید از نظر وزن هزار دانه تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. رقم گلدشت نسبت به رقم پدیده برتری داشت (جدول ۳). به عبارتی تفاوت وزن هزار دانه دو رقم ناشی از تفاوت‌های ژنتیکی و پتانسیل متفاوت دو رقم می‌باشد. بالا بودن وزن هزار دانه و پایداری آن از ویژگی‌های مطلوب یک ژنوتیپ و یکی از عوامل ثبات و افزایش عملکرد است.

اثر تنش کم‌آبیاری بر وزن هزار دانه بسته به زمان وقوع تنش متفاوت است، به عبارتی اگرچه وزن دانه صفتی ژنتیکی است، ولی بسته به زمان وقوع تنش در مراحل مختلف رشدی تحت اثر عوامل محیطی نیز قرار می‌گیرد. در این پژوهش، کاهش مقادیر وزن هزاردانه در شرایط تنش ملایم و تنش شدید را می‌توان به کاهش درصد ظرفیت زراعی (۴۰ درصد) در مرحله پر شدن دانه نسبت داد، به گونه‌ای که وزن هزار دانه نیز به طور معنی‌داری تحت اثر شرایط تنش رطوبتی قرار گرفت. به هر روی با توجه به تمایل گیاه برای بقا، در بین اجزای عملکرد وزن هزار دانه معمولاً کمترین اثر را در صورت

برخورد گیاه با شرایط نامساعد محیطی دارد و سایر اجزای عملکرد، بیش‌ترین اثر را خواهند داشت. تأثیرپذیری وزن هزار دانه در شرایط تنش رطوبتی در مطالعه‌های پیشین ثابت شده است (نصیری و همکاران، ۱۳۹۵؛ سالک معراجی و توکلی، ۱۳۹۹).

قطر طبق

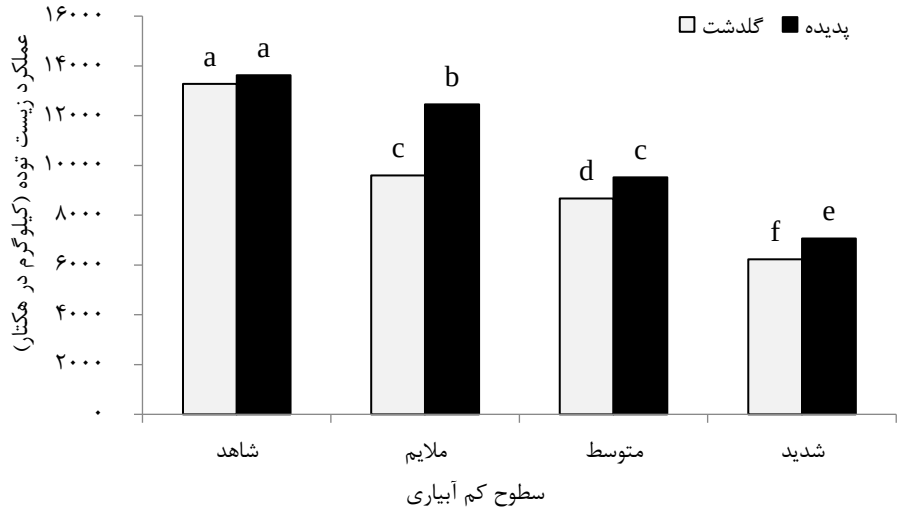
قطر طبق تحت اثر رژیم‌های کم‌آبیاری قرار گرفت، ولی اثر رقم و برهم‌کنش رژیم کم‌آبیاری×رقم معنی‌دار نبود (جدول ۲). بیش‌ترین قطر طبق مربوط به رژیم کم‌آبیاری ملایم بود که اختلاف معنی‌داری با رژیم کم‌آبیاری مطلوب نداشت و کم‌ترین میزان قطر طبق نیز مربوط به رژیم کم آبیاری متوسط بود (جدول ۳).

نتایج این پژوهش نشان داد که قطر طبق از جمله صفاتی است که تحت اثر تنش رطوبتی کاهش می‌یابد و بر تعداد دانه در طبق اثر منفی می‌گذارد و کاهش قطر طبق در رژیم کم آبیاری متوسط و شدید را می‌توان به کاهش دسترسی به رطوبت در مرحله تکمه‌دهی (۶۰ درصد ظرفیت زراعی) نسبت داد. گزارش شده که تنش خشکی باعث کاهش تولید و ارسال مواد فتوسنتزی در مرحلهٔ ظهور و پر شدن طبق گلرنگ شده و منجر به کاهش تعداد دانه در طبق می‌شود (نصیری و همکاران، ۱۳۹۵)، در نتیجه قطر طبق کاهش می‌یابد. وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین قطر طبق با تعداد دانه در طبق (r =۰/۵۲*)، نیز مؤید این نکته بود (جدول ۴). اگرچه گزارشاتی مبنی بر عدم تغییر قطر طبق گلرنگ در شرایط تنش خشکی در پژوهش‌های پیشین وجود دارد که به تولید طبق‌های کمتر ولی با قطر بیش‌تر در شرایط تنش نسبت داده شده است (سالک معراجی و توکلی، ۱۳۹۹)، با این حال، کاهش قطر طبق گلرنگ در شرایط تنش خشکی نیز گزارش شده است (نصیری و همکاران، ۱۳۹۵).

عملکرد زیست توده

عملکرد زیست توده تحت اثر رژیم‌های کم‌آبیاری، رقم و برهم‌کنش رژیم کم‌آبیاری×رقم قرار گرفت (جدول ۲). رژیم آبیاری مطلوب دارای بیش‌ترین عملکرد زیست توده برای هر دو رقم پدیده و گلدشت بود. با اعمال رژیم‌های کم آبیاری و کاهش آب قابل دسترس در مراحل مختلف رشدی این صفت به طور معنی‌داری کاهش یافت، به گونه‌ای که میزان کاهش عملکرد زیست توده در شرایط کم آبیاری ملایم، متوسط و شدید در رقم گلدشت به ترتیب برابر با ۲۷، ۳۴ و ۵۳ درصد و در رقم پدیده به ترتیب برابر با ۸، ۳۰ و ۴۸ درصد نسبت به شرایط آبیاری مطلوب بود. به عبارتی تحت سطوح مختلف کم آبیاری، عملکرد زیست توده دو رقم با نسبت متفاوتی کاهش یافت (شکل ۴). رقم پدیده بیش‌ترین و رقم گلدشت کم‌ترین عملکرد زیست توده را به خود اختصاص داد (جدول ۳).

بیش‌تر بودن عملکرد زیست توده در رقم پدیده را می‌توان به بیش‌تر بودن ارتفاع بوته و قطر و به دنبال آن بیش‌تر بودن ماده خشک نسبت داد (جدول ۳). به نظر می‌رسد که تنش کم آبیاری در مراحل تکمه دهی و گلدهی از طریق ممانعت از تولید طبق و اختلال در گلدهی و کاهش احتمال تبدیل گل به بذر باعث کاهش عملکرد زیست توده گردید. عملکرد زیستی در برگیرنده کل ماده خشک اندام هوایی گیاه است و کاهش عملکرد زیست توده گلرنگ در شرایط تنش خشکی در پژوهش‌های متعددی (Pasban Eslam, 2011; Saini and Westgate *et al.*, 2000) مشاهده شده است. با کاهش سطح برگ و دوام برگ در شرایط تنش، استفاده از نور خورشید جهت فتوسنتز کاهش می‌یابد به همین جهت از تولید ماده خشک کاسته می‌گردد (سالک معراجی و توکلی، ۱۳۹۹).

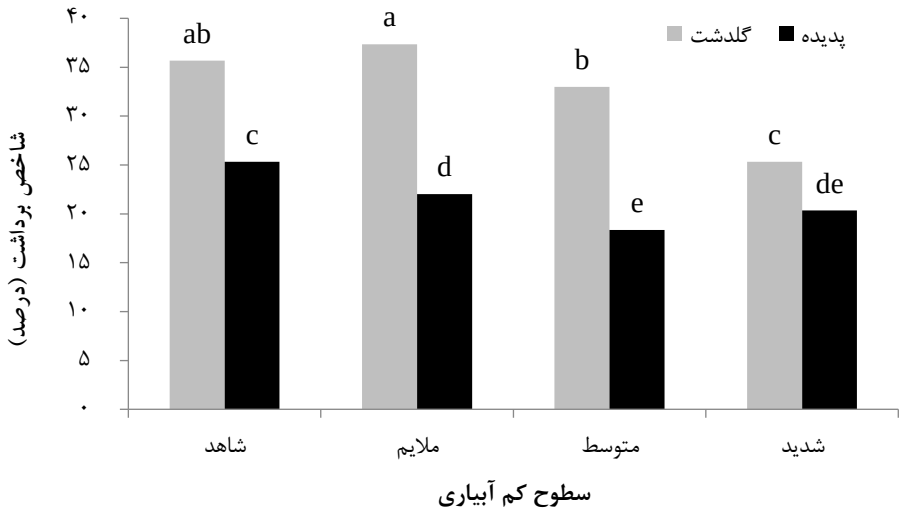


شکل ۴: مقایسه میانگین عملکرد زیست تودهٔ دو رقم گلرنگ تحت رژیم‌های مختلف کم آبیاری

عملکرد زیست توده دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با ارتفاع بوته (**r=۰/۷۴)، تعداد شاخهٔ فرعی (**r=۰/۵۸)، تعداد دانه در طبق (**r=۰/۶۳) و تعداد دانه در بوته (**r =۰/۶۴) بود. در بین اجزای عملکرد، تعداد طبق در بوته بالاترین همبستگی (**r =۰/۸۲) را با عملکرد زیست توده داشت، لذا این امر به اهمیت تعداد طبق در تولید عملکرد زیست توده و عملکرد دانه تأکید دارد. از آنجایی‌که زراعت گلرنگ در بسیاری از مناطق خوزستان با شرایط تنش خشکی روبرو می‌شود، و با توجه به همبستگی بالای بین عملکرد زیست توده با عملکرد دانه (**r =۰/۷۲)، انتخاب ارقام مناسب کاشت در منطقه بر اساس عملکرد زیست توده از اهمیت خاصی برخوردار است و بایستی ارقامی را گزینش کرد که عملکرد زیست توده و شاخص برداشت بالاتری داشته باشند. در این پژوهش برتری عملکرد زیست توده با نتایج عملکرد دانه نیز انطباق داشت (جدول ۳). گلرنگ گیاهی با قدرت شاخه‌دهی گسترده است و تجمع مادهٔ خشک نه تنها بستگی به ارتفاع بوته بلکه به رشد شاخهٔ فرعی و ویژگی‌های مورفولوژیکی حساس به تنش خشکی دارد (Koutroubas *et al.*, 2008).

شاخص برداشت

شاخص برداشت یکی از شاخص‌های مهم فیزیولوژیکی گیاه است که بیانگر توانایی گیاه برای انتقال و تخصیص مواد فتوسنتزی از اندام‌های رویشی به دانه است. شاخص برداشت تحت اثر رژیم‌های کم‌آبیاری، رقم و برهم‌کنش رژیم کم-آبیاری×رقم قرار گرفت (جدول ۲). بیش‌ترین شاخص برداشت در آبیاری مطلوب و کم‌ترین آن در کم‌آبیاری شدید مشاهده شد. رقم گلدشت دارای بیش‌ترین و رقم پدیده دارای کم‌ترین شاخص برداشت بود (جدول ۳). با اعمال رژیم‌های کم‌آبیاری شاخص برداشت به طور معنی داری کاهش یافت، به گونه‌ای که میزان کاهش در شرایط کم آبیاری ملایم، متوسط و شدید در رقم پدیده به ترتیب برابر با ۱۳، ۲۷ و ۲۰ درصد بود، ولی در رقم گلدشت کاهش شاخص برداشت در کم‌آبیاری شدید به میزان ۲۹ درصد نسبت به شرایط آبیاری مطلوب معنی‌دار بود (شکل ۵). تغییرات شاخص برداشت وابستگی زیادی به تغییرات عملکرد دانه دارد. اگر اثر تنش خشکی بر اندام‌های رویشی بیش‌تر از عملکرد دانه باشد، در این صورت شاخص برداشت افزایش می‌یابد، ولی اگر اثر تنش خشکی بر عملکرد دانه بیش‌تر باشد، در این حالت شاخص برداشت کاهش می-یابد. دلیل تغییرات جزئی این صفت در رقم گلدشت را می‌توان به بالا بودن عملکرد زیست توده این رقم در مواجهه با تنش رطوبتی و کارایی بهتر در انتقال مواد فتوسنتزی از مبدأ به مخزن و حفظ عملکرد دانه نسبت داد (شکل ۴).



شکل ۵: مقایسه میانگین شاخص برداشت دو رقم گلرنگ تحت رژیم‌های مختلف کم آبیاری

اگرچه گزارشاتی مبنی بر عدم تغییر شاخص برداشت گلرنگ در شرایط تنش خشکی با توجیه کاهش همزمان عملکرد دانه و عملکرد زیست توده وجود دارد (Yari *et al.*, 2015)، با این حال سایر گزارشات حاکی از کاهش شاخص برداشت در شرایط تنش خشکی است (امیری و همکاران، ۱۳۹۴؛ نصیری و همکاران، ۱۳۹۵؛ سالک معراجی و توکلی، ۱۳۹۹).

شاخص برداشت همبستگی معنی‌داری با عملکرد دانه (r=۰/۷۷**)، تعداد شاخه فرعی (r=۰/۴۶**) وزن هزار دانه (r=۰/۵۸**)، تعداد دانه در طبق (r=۰/۵۰**) داشت (جدول ۳). این یافته‌ها نشان می‌دهد که با افزایش عملکرد دانه، افزایش شاخص برداشت نیز با حفظ عملکرد بیولوژیک و یا کاهش نسبت عملکرد بیولوژیک به عملکرد دانه، امری بدیهی است.

درصد روغن

درصد روغن تحت اثر رقم قرار گرفت، ولی اثر رژیم‌های کم‌آبیاری و برهم‌کنش رژیم کم‌آبیاری×رقم بر درصد روغن معنی‌دار نبود (جدول ۲). درصد روغن در رقم پدیده بیش‌تر از رقم گلدشت بود (جدول ۳).

گزارشات متناقضی در رابطه با اثر تنش خشکی بر درصد روغن وجود دارد. در همین راستا گزارش‌هایی مبنی بر افزایش (Saini and Westgate *et al.*, 2000)، کاهش (امیری و همکاران، ۱۳۹۴؛ نصیری و همکاران،) یا عدم تغییر درصد روغن (سالک معراجی و توکلی، ۱۳۹۹) در شرایط تنش خشکی وجود دارد. برخی پژوهشگران گزارش دادند که این صفت عمدتاً به ژنتیک گیاه بستگی دارد و تحت اثر محیط قرار نمی‌گیرد (Omidi *et al.*, 2012; Koutroubas *et al.*, 2008)، از سوی دیگر، برخی معتقدند تفاوت درصد روغن در بین ژنوتیپ‌ها نتیجه برهم‌کنش ژنوتیپ و محیط است و بیان ژن‌های کنترل کننده تولید روغن تابعی از شرایط محیط است (Hussain *et al.*, 2016; Camas *et al.*, 2007). در زمان وقوع تنش، پویایی گیاه تغییر می‌کند و اولویت انتقال مواد فتوسنتزی برای رشد دانه‌ها ممکن است تغییر یابد، و کاهش دسترسی به آب ممکن است باعث افزایش جزئی درصد و محتوای روغن دانه‌ها شود. گزارش شده که کاهش درصد روغن دانه در دانه‌های روغنی به دلیل اثر تنش خشکی بر وزن و عملکرد دانه بوده که در نهایت بر درصد روغن اثر می‌گذارد (سالک معراجی و توکلی، ۱۳۹۹).

عملکرد روغن

بین رقم و رژیم‌های کم‌آبیاری از نظر عملکرد روغن تفاوت معنی‌داری وجود داشت، ولی برهم‌کنش‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۲). رژیم آبیاری مطلوب دارای بیش‌ترین و رژیم کم‌آبیاری شدید دارای کم‌ترین عملکرد روغن بود. درصد روغن در رقم گلدشت بیش‌تر از رقم پدیده بود (جدول ۳).

تغییرات عملکرد روغن تابعی از درصد روغن و عملکرد دانه تعیین می‌شود، بنابراین، تحت اثر واکنش عملکرد دانه و محتوای روغن به رژیم‌های آبیاری قرار می‌گیرد. کاهش عملکرد روغن در شرایط تنش کم‌آبی در پژوهش‌های متعددی گزارش گردیده است (امیری و همکاران، ۱۳۹۴؛ نصیری و همکاران، ۱۳۹۵؛ سالک معراجی و توکلی، ۱۳۹۹). در این پژوهش کم‌ترین عملکرد روغن در رژیم کم‌آبیاری شدید مشاهده شد که این امر به کاهش عملکرد دانه ناشی از رژیم کم

آبیاری در مراحل رشد سریع ساقه و گلدهی از طریق اثر بر تعداد شاخه فرعی، تعداد طبق در بوته و تعداد دانه در بوته علیرغم تغییر معنی‌دار در درصد روغن نسبت داده می‌شود. وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد روغن با تعداد شاخه فرعی (r =۰/۷۲**)، تعداد دانه در بوته (r =۰/۶۵**)، تعداد طبق در بوته (r =۰/۶۹**) نیز مؤید این نکته بود. در همین راستا، در پژوهش‌های پیشین کم‌ترین مقدار کاهش عملکرد روغن در زمان وقوع تنش خشکی در مرحلهٔ رویشی و بیش‌ترین مقدار کاهش در مرحلهٔ رشد زایشی گلرنگ گزارش شده است (Singh *et al.*, 2016). در این پژوهش، عملکرد بالای روغن رقم گلدشت علیرغم درصد روغن پایین این رقم را می‌توان به عملکرد بالای دانه این رقم نسبت به رقم پدیده نسبت داد (جدول ۴). گزارش شده که عملکرد روغن ترکیبی از عملکرد دانه و محتوای روغن است و رتبه‌بندی ژنوتیپ‌های گلرنگ از نظر عملکرد روغن مشابه عملکرد دانه است، زیرا عملکرد روغن عمدتاً توسط عملکرد دانه تعیین می‌شود (Koutroubas *et al.*, 2008).

نتیجه‌گیری کلی

کم‌آبیاری یک راهبرد مدیریت آب است که در آن آبیاری صرفاً در مراحل حساس رشدی گیاه به خشکی انجام می‌گیرد و دستیابی به این مهم نیازمند دانش لازم در مورد توسعه و تحمل به خشکی محصولات مختلف زراعی است. در این پژوهش اعمال تنش در مراحل مختلف رشدی رشد سریع ساقه، آغاز تکمه‌دهی، آغاز گلدهی و آغاز پر شدن دانه بسته به شدت تنش به طور متفاوتی از طریق اثر بر اجزای عملکرد بر عملکرد دانه اثر گذاشت. اعمال رژیم کم‌آبیاری متوسط با توجه به حفظ ظرفیت زراعی ۶۰ درصدی در مراحل مختلف رشدی گلرنگ باعث صرفه‌جویی ۲۰ درصدی آب قابل دسترس در مقایسه با آبیاری مطلوب شد و اگرچه برای رقم گلدشت و پدیده در این محدوده میزان کاهش عملکرد دانه به ترتیب برابر با ۲۱ و ۳۴ درصد و میزان کاهش عملکرد روغن به ترتیب برابر با ۳۲ و ۳۰ درصد در مقایسه با شرایط آبیاری مطلوب بود. با این حال، این رژیم کم آبیاری در شرایط کمبود آب در مناطق نیمه خشک به ویژه در کشت زمستانه منطقهٔ خوزستان که در آن نقصان عملکرد دانه و روغن برای این رژیم آبیاری به حداقل می‌رسد در این منطقه توصیه می‌شود.

سپاسگزاری

بدین وسیله نویسندگان از حمایت‌های مالی از معاونت پژوهش و فنآوری دانشگاه شهید چمران اهواز به شماره پژوهانه SCU.AA.96.96کمال قدردانی را دارند.

منابع

امیری، ،. سیروس مهر، ع. و اسماعیل زاده بهابادی، ص. ۱۳۹۴. اثر محلول پاشی اسید سالسیلیک و کیتوزان بر

عملکرد گیاه گلرنگ در شرایط تنش خشکی. مجلهٔ پژوهش‌های گیاهی (مجلهٔ زیست‌شناسی ایران). دورهٔ ۲۸ شمارهٔ ۴، ص ۷۱۲-۷۲۵.

آمارنامهٔ کشاورزی. ۱۴۰۱. گزارش سطح، تولید و عملکرد محصولات زراعی در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹. معاونت فناوری اطلاعات و ارتباطات، وزارت جهاد کشاورزی.

سالک معراجی، ه. و توکلی، ا. ۱۳۹۹. بررسی عملکرد و برخی صفات زراعی دو رقم گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) تحت رژیم‌های مختلف آبیاری. تنش‌های محیطی در علوم زراعی. دورهٔ ۱۳ شمارهٔ ۳، ص ۷۶۳-۷۷۵.

شیخ ممو، ب.، راهنما، ا. و حسیبی، پ. ۱۴۰۲. تأثیر تنش گرمای انتهای فصل بر برخی صفات فیزیولوژیک و عملکردی ارقام امیدبخش آفتابگردان در شرایط آب و هوایی اهواز. تنش‌های محیطی در علوم زراعی. دورهٔ ۱۶ شمارهٔ ۳، ص ۸۳۵-۸۵۱.

صالحی، ف.، راهنما قهفرخی، ا.، مسکرباشی، م. و مهدیخانلو، خ. ۱۳۹۸. اثر تنش گرمای آخر فصل بر برخی صفات زراعی، فیزیولوژیک و عملکرد روغن ارقام گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) در شرایط آب و هوایی اهواز. پژوهش‌های زراعی ایران. دورهٔ ۱۷ شمارهٔ ۳، ص ۴۹۱-۵۰۲.

ضرغامی، ر.، زهراوی، م.، اصلانزاده، ع. و عباسعلی، م. ۱۳۹۰. ارزیابی ژنوتیپ‌های گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) پائیزه برای تحمل به خشکی. نهال و بذر. دورهٔ ۲۷ شمارهٔ ۳، ص ۳۳۹-۳۵۵. ۲۷

موسوی فر، ب.، بهدانی، م.ع.، جامی الاحمدی،م. و حسینی بجد، م.س. ۱۳۸۹. اثر آبیاری محدود بر برخی صفات مورفولوژیک و عملکرد بیولوژیکی ارقام گلرنگ بهاره. تنش‌های محیطی در علوم زراعی. دورهٔ ۳ شمارهٔ ۲، ص ۱۰۵-۱۱۴.

نصیری، س.م.، روزبهانی، آ. و ضیایی نسب، م. ۱۳۹۵. تأثیر تنش کم آبی و مصرف کود بیولوژیک حل کننده فسفات بر عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.). مجله علمی- پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی. دورهٔ ۸ شمارهٔ ۲۷، ص ۳۲-۴۳.

Ashraf, M. and Harris, PJC. 2013. Photosynthesis under stressful environments: an overview. Photosynthetica, 51(2):163–190.

Camas, N., Cirak, C. and Esendal, E. 2007. Seed yield, oil content and fatty acids composition of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) grown in Northern Turkey conditions. Journal of the Faculty of Agriculture, 22: 98-104.

Cornic, G. 2000. Drought stress inhibits photosynthesis by decreased stomatal aperture– not by affecting ATP synthesis. Trends in plant Sciences, 5(5), 187-188.

Cox, W. J. and Jollif, G. D. 1986. Growth and yield of sunflower and soybean under soil water deficits. Agronomy Journal, 78: 266-230.

Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D. and Basra. S. M. A. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. Agronomy for Sustainable Development, 29: 185-212.

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.

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: 4.

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.

Istanbulluoglu, A., Gocmen, E., Gezer, E., Pasa, C. and Konukcu, F. 2009. Effects of water stress at different development stages on yield and water productivity of winter and summer safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Agricultural Water Management, 96 (10): 1429-1434.

Jabbari, M., Ebadi, A., Tobeh, A. and Mostafaii, H. 2010. Effects of supplemental irrigation on yield and yield components of spring safflower genotypes. Recent Research in Science and Technology, 2: 23-28.

Koutroubas, S. D., Papakosta, D. K. and Doitsinis. A. 2008. Nitrogen utilization efficiency of safflower hybrids and open-pollinated varieties under Mediterranean conditions. Field Crops Research, 107 (1): 56-61.

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.

Manvelian, J., Weisany, W., Tahir, N. A. R., Jabbari, H. and Diyanat, M. 2021. Hide details Physiological and biochemical response of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars to zinc application under drought stress. Industrial Crops and Products, 172, 15.

Movahhedy-Dehnavy, M., Modares-Sanavy, S. A. M. and Mokhtassi-Bidgoli, A. M. 2009. Foliar application of zinc and manganese improves seed yield and quality of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) grown under water deficit stress. Industrial Crops and Products, 30: 82-9.

Omidi, A.H., Khazaei, H., Monneveux, P. and Stoddard, F. 2012. Effect of cultivar and water regime on yield and yield components in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Turkish Journal of Field Crops, 17 (1): 10-15.

Ozturk, E., Ozer, H. and Polat, T. 2008. Growth and yield of safflower genotypes grown under irrigated and non-irrigated conditions in a highland environment. Plant, Soil and Environments, 54 (10): 453-460.

Pasban Eslam, B. 2011. Evaluation of physiological indices for improving water deficit tolerance in spring safflower. Journal of Agricultural Science and Technology, 13: 327-338.

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.

Saini, H. S. and Westgate. M. E. 2000. Reproductive development in graincrops during drought. Advances in Agronomy, 68: 59-96.

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 Management, 163: 354-362.

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.

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.

Zareie, S., Mohammadi-Nejad, G. and Sardouie-Nasab, S. 2013. Screening of Iranian safflower genotypes under water deficit and normal conditions using tolerance indices. Australian Journal of Crop Science, 7: 1032-1037.