

اثر تنش خشکی و محلول پاشی روی بر برخی صفات فیزیولوژیک و زراعی ارقام گلرنگ

فاضل رحمنی^۱، سعید سیف‌زاده^۲، حمید جباری^{۳*}، علیرضا ولدآبادی^۴ و اسماعیل حدیدی ماسوله^۵

(۱) دانشجوی دکتری گروه زراعت، واحد تاکستان، دانشگاه آزاد اسلامی، تاکستان، ایران.

(۲ و ۵) استادیار گروه زراعت، واحد تاکستان، دانشگاه آزاد اسلامی، تاکستان، ایران.

(۳) استادیار موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

(۴) دانشیار گروه زراعت، واحد تاکستان، دانشگاه آزاد اسلامی، تاکستان، ایران.

* نویسنده مسئول: jabbari@areeo.ac.ir

این مقاله مستخرج از رساله دکتری می‌باشد.

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۳/۲۶

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۲/۰۳

چکیده

در این تحقیق به منظور بررسی اثر محلول پاشی عنصر روی (Zn) بر برخی صفات فیزیولوژیک و زراعی ارقام گلرنگ تحت تنش خشکی، آزمایشی به صورت اسپیلت پلات فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به مدت دو سال (۹۶-۱۳۹۵ و ۹۷-۱۳۹۶) در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج اجرا شد. در این آزمایش عامل آبیاری در دو سطح شامل آبیاری کامل و تنش خشکی به صورت قطع آبیاری از مرحله پرشدن دانه در کرت‌های اصلی، عامل‌های فرعی شامل محلول-پاشی عنصر روی از منبع کلات روی در سه سطح عدم محلول پاشی (شاهد) و محلول پاشی به میزان ۰/۶ و ۱/۲ کیلوگرم در هکتار و ارقام، شامل ۵ رقم گلرنگ (صفه، گل مهر، گلدشت، پدیده و پرنیان) به صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که برهم‌کنش آبیاری×رقم بر دمای طبق، شاخص کلروفیل (Spad) و اجزای عملکرد دانه، برهم‌کنش رقم×محلول پاشی روی بر اجزای عملکرد دانه و برهم‌کنش آبیاری×رقم×محلول پاشی بر درصد روغن دانه در سطح یک درصد معنی‌دار بود. محلول پاشی روی به دلیل افزایش محسوس تعداد طبق در بوته و تعداد دانه در طبق سبب زیادتر بودن عملکرد دانه به میزان ۱۶/۵ درصد در مقایسه با شرایط بدون کاربرد روی، در گیاه گلرنگ شد. همچنین محلول پاشی روی به میزان ۱/۲ کیلوگرم در هکتار در مرحله پر شدن دانه بیشترین اثر مثبت را در افزایش اجزای عملکرد دانه ارقام گلرنگ به خصوص رقم پرنیان داشت. در این بررسی رقم پرنیان به واسطه دمای طبق کم‌تر (۲۸/۴ درجه سانتی‌گراد) و شاخص کلروفیل (۶۹/۱) زیادتر از نظر تعداد طبق در بوته (۲۸/۴)، تعداد دانه در طبق (۸۹/۸) و وزن هزار دانه (۴۰/۴۶ گرم) برتری محسوسی نسبت به سایر ارقام مورد مطالعه گلرنگ در شرایط تنش خشکی داشت. توجه به نتایج به دست آمده، اگرچه تنش خشکی موجب خسارت به گلرنگ شد، اما محلول پاشی روی توانست بخشی از خسارت ناشی از تنش خشکی را جبران نماید.

واژه‌های کلیدی: دمای طبق، شاخص سطح برگ، عملکرد دانه و قطع آبیاری.

مقدمه

خشکی مهم‌ترین عامل محدود کننده رشد گیاه و تولیدات کشاورزی در سراسر دنیا، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشد (Akhzari and Pessaraki, 2015) و از آنجایی که بخش اعظم اراضی ایران در اقلیم خشک و نیمه خشک قرار دارد، شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل و مطالعه تحمل نسبی به تنش کمبود آب در گیاهان زراعی ضروری به نظر می‌رسد (Pascual-Villalobos and Albuquerque, 1996)؛ به همین جهت نیاز به کاشت گیاهان روغنی مقاوم به خشکی مثل گلرنگ در تأمین نیاز روغن کشور در سال‌های آتی، بیش از پیش احساس می‌شود. گلرنگ یکی از قدیمی‌ترین گیاهان زراعی دنیا است که در مقیاس‌های کوچک کشت می‌شود (Hussain *et al.*, 2016). توجه به زراعت گیاه گلرنگ محدود بوده، اما با توجه به افزایش تقاضا برای تولید روغن و همچنین توانایی بالای رشد این گیاه در مناطق خشک، توسعه کشت این گیاه اخیراً مورد توجه قرار گرفته است (Hussain *et al.*, 2016). بنابراین این گیاه با سازگاری به مناطقی با بارندگی زمستانه و بهاره اندک و هوایی خشک در طول دوره گل‌دهی و پر شدن دانه از یک سو و با داشتن ریشه‌های طویل و با توان جذب آب بالا از بخش‌های عمیق‌تر خاک از سوی دیگر، به‌عنوان یک دانه روغنی متحمل به کمبود آب به حساب می‌آید (Yau, 2006). در جریان کمبود آب اواخر فصل، بخشی از عملکرد دانه (۶۵ تا ۹۵ درصد) در گلرنگ از انتقال مجدد مواد کربوهیدراتی ذخیره شده در قبل از گرده‌افشانی تأمین می‌شود (Koutroubas *et al.*, 2004). در بررسی برخی از پارامترهای رشد فیزیولوژیکی برای گزینش کارآمد در مراحل اولیه رشد گلرنگ نتایج نشان داد که سطح برگ در تجمع ماده خشک نقش مؤثری دارد (Ghosh *et al.*, 2013). در بررسی پاسخ فیزیولوژیک شش لاین گلرنگ به تنش خشکی گزارش شد که آبیاری بر اساس ۵۰ درصد ظرفیت زراعی خاک، سبب واکنش متفاوت لاین‌های مورد بررسی از نظر صفات رنگدانه‌های فتوسنتزی، نشت الکترولیت‌ها از غشای سلول، محتوی نسبی آب برگ، عملکرد دانه، درصد روغن دانه و کارایی مصرف آب شد (Bortolheiro and Silva, 2017). محدوده درجه حرارت برگ در مرحله قبل از گل‌دهی گلرنگ در شرایط مختلف رطوبتی خاک می‌تواند از ۲۹ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد متغیر باشد. تفاوت چشمگیر از لحاظ طول دوره رشد، ارتفاع بوته، تعداد غوزه، تعداد دانه در غوزه، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و عملکرد روغن در بین ژنوتیپ‌های گلرنگ در تیمارهای آبیاری تأیید شده است (Achhale, 2016). عنصر روی، یکی از عناصر ریز مغذی است که کمبود آن در بخش وسیعی از خاک‌های زراعی سبب کاهش تولید محصولات زراعی می‌شود (Cakmak, 2000). با توجه به جذب کند عنصر روی توسط ریشه بهتر است این عنصر از طریق اندام‌های هوایی در اختیار گیاه قرار داده شود (Siavashi *et al.*, 2004). همچنین عملکرد و کیفیت بذر تحت اثر تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه قرار می‌گیرد و استفاده از محلول پاشی برگی روی به عنوان یک رویکرد زراعی برای مقابله با چنین شرایطی معرفی شده است (Soheili-

(Movahhed *et al.*, 2019). با این وجود اطلاعات مربوط به اثر محلول پاشی روی بر رشد و نمو گلرنگ تحت تنش کمبود آب اندک است (Khaghani and Saffari, 2016). در یک بررسی اثر محلول پاشی روی بر کمیت و کیفیت بذر گلرنگ بهاره در شرایط کمبود آب در اواخر دوره رشد نشان داد که کمبود آب در طول گل دهی و پر شدن دانه سبب کاهش معنی دار کلیه صفات نسبت به شاهد شد (Soheili-Movahhed *et al.*, 2019)، اما طی دو سال آزمایش، وزن دانه های گلرنگ در کل تیمارهای آبیاری توسط محلول پاشی روی افزایش یافت و کاربرد محلول پاشی برگی روی با غلظت ۱۰۰۰ پی پی ام به طور معنی داری سبب بهبود عملکرد دانه و کیفیت دانه گلرنگ در شرایط قطع آبیاری اواخر دوره رشد شد (Soheili-Movahhed *et al.*, 2019). در بررسی اثر محلول پاشی روی بر رشد و عملکرد دانه گلرنگ آبی رقم پدیده، در استان ایلام نتایج نشان داد که اثر محلول پاشی روی بر عملکرد دانه و روغن گلرنگ معنی دار بود. تیمار محلول پاشی روی، با ۱۴۷۲ کیلوگرم در هکتار، بیشترین عملکرد دانه را داشت که افزایش عملکرد دانه نسبت به تیمارهای شاهد (بدون محلول پاشی) و محلول پاشی با آب، به ترتیب ۱۱/۳ و ۱۱/۴ درصد بود (Soleimani *et al.*, 2017). در بررسی دیگری، برهم کنش تنش خشکی و محلول پاشی روی برای صفات تعداد طبق بارور، تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه و عملکرد دانه معنی دار بود و تمام سطوح تنش خشکی اعمال شده باعث کاهش عملکرد و اجزای آن در رقم صفه شد (راستی و همکاران، ۱۳۹۳). همچنین محلول پاشی سولفات روی در مرحله غنچه دهی گیاه گلرنگ منجر به افزایش معنی دار عملکرد دانه و ماده خشک شد (Ghofran Maghsud *et al.*, 2014). به طور کلی کاربرد روی، اثرهای مضر ناشی از تنش خشکی به ویژه در مرحله گل دهی را در صفات زراعی و فیزیولوژی تعدیل و شرایط رشد را برای گیاه بهبود بخشیده و افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ را فراهم می سازد (سرخ، ۱۳۹۷). به نظر می رسد افزایش دانش ما از تحمل به تنش خشکی اهمیت زیادی در کشت گیاهان و پیدا کردن روش های مؤثر برای کاهش اثرهای مضر خشکی بر روی گیاهان داشته باشد (-Fleta Soriano and Munne-Bosch, 2016) بنابراین درک ساز و کارهای تحمل گیاه تحت تنش خشکی، یک موضوع تحقیقاتی مهم است. از این رو هدف از این مطالعه مقایسه ارقام ایرانی گلرنگ از نظر واکنش به تیمارهای محلول پاشی روی در شرایط تنش خشکی و شناسایی شاخص های فیزیولوژیک و زراعی مهم به منظور گزینش ارقام متحمل به خشکی بوده است.

مواد و روش ها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج با موقعیت طول جغرافیایی ۷۵° و ۵۰° شرقی و عرض جغرافیایی ۵۹° و ۳۵° شمالی و ارتفاع ۱۳۱۳ متر از سطح دریا طی دو سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ و ۹۷-۹۶

۱۳۹۶ انجام شد. بر اساس سیستم طبقه‌بندی کوپن، منطقه کرج دارای اقلیم سرد نیمه خشک^۱ با متوسط بارندگی سالیانه ۲۴۳ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت ۱۳/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. بافت خاک مزرعه آزمایش، لومی رسی بود و مشخصات خاک محل آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱: نتایج برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

عمق خاک (سانتی‌متر)	بافت خاک	اسیدیته خاک	درصد کربن آلی	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر مربع)	درصد نیتروژن کل	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب	روى	درصد شن	درصد رس	درصد سیلت
۰-۳۰	لومی - رسی	۷/۲۴	۰/۵۸	۲/۲۲	۰/۰۶	۱۲/۶	۲۵۶	۰/۳۲	۲۴	۲۷	۴۹

این مطالعه به صورت آزمایش اسپیلت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی در این بررسی شامل عامل آبیاری در دو سطح آبیاری کامل (بدون تنش خشکی) و تنش خشکی آخر فصل (به صورت قطع آبیاری از مرحله آغاز پر شدن دانه)، عامل ارقام گلرنگ شامل پنج رقم ایرانی صنف (بهاره)، گلدشت (بهاره)، گل‌مهر (پاییزه)، پدیده (پاییزه) و پر نیان (بهاره) و عامل محلول پاشی روی (Zn) در سه سطح شامل کاربرد صفر، ۰/۶ و ۱/۲ کیلوگرم در هکتار کلات روی ۱۴ درصد (EDTA CHELATED مخصوص محلول پاشی با برند Avan Europe، ساخت کشور اسپانیا) بودند. در این آزمایش سطوح آبیاری در کرت‌های اصلی و ارقام گلرنگ و محلول پاشی روی در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. محلول پاشی روی در دو مرحله نموی ابتدای ساقه دهی و شروع پر شدن دانه (قبل اعمال تنش خشکی) انجام شد و در تیمار شاهد (عدم محلول پاشی روی) محلول پاشی با آب خالص انجام شد. هر کرت آزمایشی شامل شش ردیف به طول چهار متر بود و فاصله ردیف‌های کشت ۳۰ سانتی‌متر، فاصله بوته‌ها روی ردیف‌های کاشت ۵ سانتی‌متر و تراکم ۶۷ بوته در متر مربع در نظر گرفته شد. آبیاری بر اساس ۸۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر کلاس A صورت گرفت. میزان آب ورودی به کرت‌ها با کنتور اندازه‌گیری شد. تعداد دفعات آبیاری در تیمارهای بدون تنش و تنش خشکی آخر فصل به ترتیب ۵ و ۴ مرتبه و میزان آب مصرفی در تیمارهای مذکور به ترتیب ۳۲۰۰ و ۲۵۶۰ متر مکعب در هکتار بود. کاشت در طی دو سال مورد مطالعه به ترتیب در تاریخ‌های ۱۱ و ۹ مهر ماه انجام شد و بلافاصله بعد از کاشت، آبیاری انجام شد. برای اعمال تیمار آبیاری، خاک مزرعه که دارای بافت لومی - رسی بود، در افق توزیع ریشه‌های گیاه (تا عمق ۶۰ سانتی‌متر) با حفر پروفیل مورد بررسی قرار گرفت. با نمونه‌برداری مداوم و اندازه‌گیری رطوبت خاک به صورت وزنی، آبیاری تیمار بدون تنش به هنگام تخلیه ۴۰ درصد آب قابل استفاده خاک، صورت گرفت. بر اساس نتایج تجزیه خاک مزرعه (جدول ۱) و توصیه کودی، به کود پاشی کود اوره (۴۶ درصد نیتروژن) به میزان ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار

1- Cold semi-arid climates (BSK)

در سه نوبت ۱۰۰ کیلوگرم به صورت پایه، ۱۰۰ کیلوگرم در مرحله ساقه‌دهی و ۵۰ کیلوگرم در مرحله غنچه‌دهی، کود فسفات آمونیوم (۱۸ درصد نیتروژن و ۴۶ درصد فسفر) و کود سولفات پتاسیم (۵۲ درصد پتاسیم و ۱۸ درصد گوگرد) به ترتیب به میزان ۱۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به صورت پایه) اقدام شد. در طول دوره رشد برای مبارزه با علف‌های هرز نازک برگ از علفکش سوپرگالانت به نسبت یک در هزار استفاده شد و جهت کنترل آفت مگس گلرنگ^۱ با استفاده از سم دیازینون به میزان ۱/۵ لیتر در هکتار کنترل شیمیایی به عمل آمد. به منظور ارزیابی شاخص کلروفیل^۲ در مرحله پر شدن دانه از دستگاه کلروفیل‌متر دستی (مدل MINOLTA-502، ساخت کشور ژاپن) برای متوسط پنج نقطه از پنج برگ جوان و توسعه یافته از ۶ بوته انتخابی استفاده شد. اندازه‌گیری شاخص سطح برگ با دستگاه (Sun Scan Type ss1) (DELTA-T DEVICES Cambridge-England) در مرحله پر شدن دانه انجام شد. دمای طبق در مرحله اواخر پر شدن دانه با استفاده از دماسنج مادون قرمز مدل T825-2 ساخت کارخانه تستو (Testo) ایتالیا اندازه‌گیری شد (Singh *et al.*, 1985). در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک از هر کرت ۶ بوته به صورت تصادفی (همان ۶ بوته‌ای که قبلاً برای ارزیابی شاخص کلروفیل استفاده شدند) انتخاب شد و صفات ارتفاع بوته، تعداد طبق در بوته و تعداد دانه در طبق اندازه‌گیری شد. در پایان فصل با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ای با حذف دو ردیف کناری و ۰/۵ متر از ابتدا و انتهای ردیف‌ها، برداشت انجام و محصول دانه هر کرت توزین شد. با توزین چهار تکرار ۱۰۰۰ تایی از دانه و میانگین گرفتن از اعداد حاصله، وزن هزار دانه به دست آمد. اندازه‌گیری درصد روغن دانه با دستگاه رزونانس مغناطیسی هسته‌ای (NMR) در آزمایشگاه روغن بخش تحقیقات دانه‌های روغنی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج انجام شد. قبل از انجام آنالیز آماری، آزمون نرمال بودن داده‌ها با استفاده از گزاره UNIVARIATE در نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) انجام شد و قبل از انجام تجزیه واریانس، آزمون یکنواختی واریانس اشتباهات آزمایشی با استفاده از آزمون بارتلت بین دو سال آزمایش به عمل آمد و واریانس اشتباه آزمایشی برای هر آزمایش به طور مجزا برای تک تک صفات مشخص گردید. در پایان تجزیه واریانس مرکب داده‌ها و نتایج آزمایشی با استفاده از نرم افزار SAS (نسخه ۹/۱) انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش حداقل اختلاف معنی‌دار محافظت شده (FLSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت. برای مقایسه میانگین برهم‌کنش معنی‌دار از رویه برش‌دهی استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثرهای ساده سال، آبیاری، رقم و محلول‌پاشی روی بر کلیه صفات مورد بررسی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. برهم‌کنش دوگانه رقم و آبیاری نیز بر کلیه صفات مورد مطالعه بجز

1- *Acanthiophilus helianthi* Rossi

2- Spad

شاخص سطح برگ در سطح ۱ درصد و برهم کنش دوگانه آبیاری و محلول پاشی بر تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق و شاخص کلروفیل (Spad) در سطح ۱ درصد و بر درصد روغن در سطح ۵ درصد معنی دار بود. همچنین برهم کنش دوگانه رقم و محلول پاشی بر تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه و درصد روغن در سطح ۱ درصد معنی دار بود. برهم کنش سه گانه آبیاری و رقم و محلول پاشی تنها بر صفت درصد روغن دانه در سطح ۱ درصد معنی دار بود (جدول ۲).

ارتفاع بوته

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد در شرایط آبیاری نرمال به جز دو رقم صفه و گل مهر که با هم از نظر ارتفاع بوته اختلاف معنی داری نداشتند، بین بقیه ارقام اختلاف معنی داری وجود داشت، به طوری که بیشترین ارتفاع بوته به میزان ۱۴۲/۴ سانتی متر به رقم گل مهر و کمترین آن به میزان ۱۱۱/۵ سانتی متر به رقم گلدشت اختصاص داشت. در مقابل در شرایط تنش خشکی ارقام از نظر ارتفاع بوته اختلاف معنی داری داشتند و رقم گل مهر با ارتفاع بوته ۱۳۴/۳ سانتی متر به همراه رقم صفه بیشترین و رقم گلدشت با ارتفاع ۱۱۳/۲ سانتی متر، کمترین ارتفاع بوته را به خود اختصاص دادند. در یک تحقیق، اثر تنش خشکی بر ارتفاع بوته یک رقم خاردار و دیررس گلرنگ معنی دار بود و کمبود آب موجب کاهش ارتفاع ساقه شد (میرزاخانی و همکاران، ۱۳۹۴). به نظر می رسد رقم پاییزه گل مهر به دلیل دیررسی و رقم بهاره گلدشت به دلیل زودرسی به ترتیب از بیشترین و کمترین ارتفاع بوته در تیمارهای آبیاری برخوردار بوده اند (جدول ۳).

تعداد طبق در بوته

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد در شرایط بدون تنش، ارقام گلرنگ از نظر تعداد طبق در بوته متفاوت بودند و بیشترین تعداد طبق در بوته به میزان ۳۲/۴ عدد به رقم پرنیان اختصاص داشت و کمترین آن به میزان ۲۶/۶ عدد مربوط به رقم گل مهر بود که با رقم پدیده در یک گروه قرار گرفت. اما در شرایط تنش خشکی، بیشترین تعداد طبق در بوته به تعداد ۲۸/۴ عدد مربوط به رقم پرنیان و کمترین آن به تعداد ۲۳ عدد مربوط به رقم گل مهر بود که با ارقام پدیده و گلدشت تفاوت معنی داری نداشت (جدول ۳). در رابطه با برهم کنش رقم و محلول پاشی روی، تعداد طبق در بوته با افزایش مصرف روی در کلیه ارقام افزایش یافت و تمامی ارقام اختلاف معنی داری داشتند. به طوری که بیشترین تعداد طبق در کلیه ارقام از محلول پاشی روی به میزان ۱/۲ کیلوگرم در هکتار به دست آمد (جدول ۴). همچنین در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی با افزایش مصرف روی، تعداد طبق در بوته افزایش یافت (جدول ۵). نتایج نشان داد که تیمار محلول پاشی روی، نسبت به تیمار عدم محلول پاشی (شاهد) در افزایش تعداد طبق در بوته مؤثر بود و توانست تا حدودی خسارت ناشی از تنش خشکی در گلرنگ را جبران نماید. در این زمینه گزارش شده است که برهم کنش تنش خشکی و محلول پاشی روی، بر صفات تعداد طبق، تعداد طبق بارور، تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه و عملکرد دانه گلرنگ معنی دار بود (علیزاده

و همکاران، ۱۳۹۳). در یک بررسی اعمال قطع آبیاری از مرحله رشد زایشی باعث کاهش معنی دار تعداد طبق در بوته در سه رقم گلرنگ سینا، فرامان و محلی اصفهان شد اما با محلول پاشی روی، این میزان کاهش بهبود یافت که با نتیجه این تحقیق هم خوانی دارد (فرجام و همکاران، ۱۳۹۳).

جدول ۲: تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در شرایط آبیاری، رقم و محلول پاشی روی

میانگین مربعات				درجه آزادی	منابع تغییر
وزن هزار دانه	تعداد دانه در طبق	تعداد طبق در بوته	ارتفاع بوته		
۴۳/۶ ^{**}	۴۰۹۹/۳۴ ^{**}	۴۲۸/۶۷ ^{**}	۶۶/۶ ^{**}	۱	سال
۱/۱۳	۱۱/۱۲	۳/۴۹	۰/۴۱	۴	سال×تکرار
۱۴۱/۸۴ ^{**}	۱۳۱۹۲/۶۷ ^{**}	۸۵۸/۰۵ ^{**}	۱۸۷۵/۹۸ ^{**}	۱	آبیاری
۵/۷۵ ^{**}	۲۳۵۴/۴۵ ^{**}	۵/۳۴ ^{NS}	۱۴۴/۹ ^{**}	۱	سال×آبیاری
۰/۶۹۲	۹/۷۱	۰/۴۹	۰/۰۳	۴	خطای کرت اصلی
۲۰۷۵/۱۳ ^{**}	۳۹۳۳/۵۵ ^{**}	۱۴۴/۶۸ ^{**}	۱۰۹۵/۷۶ ^{**}	۴	رقم
۹۲/۰۸۳ ^{**}	۲۲۱۲/۶۲ ^{**}	۱۹۶/۵۵ ^{**}	۱۳/۴۳ ^{**}	۲	محلول پاشی روی
۲۰/۳ ^{**}	۱۶۸۱/۱ ^{**}	۱۹۸/۳ ^{**}	۱۳۸/۱۷ ^{**}	۴	سال×رقم
۴/۶۱ ^{**}	۴/۲۹ ^{NS}	۰/۲۱ ^{NS}	۴/۶۵ [*]	۲	سال×محلول پاشی
۶۲/۴ ^{**}	۲۰۴/۳۳ ^{**}	۳۰/۴ ^{**}	۶۹/۰۸ ^{**}	۴	رقم×آبیاری
۵۱/۸۴ ^{**}	۸۴/۴۲ ^{**}	۱۱/۳۸ ^{**}	۶۱/۵۱ ^{**}	۴	سال×رقم×آبیاری
۰/۰۱ ^{NS}	۵۴/۴۲ ^{**}	۱۷/۵۲ ^{**}	۰/۵۱ ^{NS}	۲	آبیاری×محلول پاشی
۰/۱۱ ^{NS}	۳۷/۸ [*]	۸/۸۴ [*]	۱/۰۳ ^{NS}	۲	سال×آبیاری×محلول پاشی
۲/۷۴ ^{**}	۴۹/۵۴ ^{**}	۶/۲۳ ^{**}	۳/۱۰ ^{NS}	۸	رقم×محلول پاشی
۲/۵۰ ^{**}	۱۲/۳ ^{NS}	۲/۷۵ ^{NS}	۱/۵۳ ^{NS}	۸	سال×محلول پاشی×رقم
۰/۷۴ ^{NS}	۱۰/۳ ^{NS}	۱/۰۷ ^{NS}	۰/۲۴ ^{NS}	۸	آبیاری×رقم×محلول پاشی
۰/۸۴ ^{NS}	۸/۶ ^{NS}	۰/۷۶ ^{NS}	۰/۲۶ ^{NS}	۸	سال×آبیاری×رقم×محلول پاشی
۰/۶۱	۱۱/۳	۲/۰۴	۳/۵۲	۱۱۲	خطای کرت فرعی
۲/۳۵	۳/۸	۵/۱	۱/۴۶		ضریب تغییرات (درصد)

میانگین مربعات				درجه آزادی	منابع تغییر
شاخص کلروفیل	شاخص سطح برگ	دمای طبق	درصد روغن		
۱۹۸۱/۹۷ ^{**}	۱۵/۲ ^{**}	۲۴۸/۷۵ ^{**}	۰/۹۸ ^{**}	۱	سال
۳/۰۳	۰/۲۲	۰/۶۳	۰/۱۶	۴	سال×تکرار
۱۲۴۵/۶۲ ^{**}	۱۹/۹۳ ^{**}	۱۳۷/۶۴ ^{**}	۱۵/۷۸ ^{**}	۱	آبیاری
۱۲۰/۲۳ ^{**}	۰/۲۸ ^{NS}	۴۰/۹ ^{**}	۰/۱۹ ^{**}	۱	سال×آبیاری
۰/۹۸	۰/۱۲	۰/۳۶	۰/۰۱۴	۴	خطای کرت اصلی
۲۵۵/۵۱ ^{**}	۹/۰۷ ^{**}	۳۸/۶۷ ^{**}	۱۵۵/۲۷ ^{**}	۴	رقم
۷۸/۳۶ ^{**}	۱/۴۴ ^{**}	۸/۵۲ ^{**}	۱/۲۹ ^{**}	۲	محلول پاشی روی
۵۴۴/۶۷ ^{**}	۶/۲۴ ^{**}	۱۳/۳۷ ^{**}	۱/۸۸ ^{**}	۴	سال×رقم
۰/۲۶ ^{NS}	۰/۰۳ ^{NS}	۰/۴۶ ^{NS}	۰/۲۲۵ [*]	۲	سال×محلول پاشی
۱۳۰/۲۳ ^{**}	۰/۱۵ ^{NS}	۴/۸۶ ^{**}	۱/۲۸ ^{**}	۴	رقم×آبیاری
۱۳۰/۳۵ ^{**}	۰/۰۷ ^{NS}	۱/۴۷ ^{**}	۱/۴۵ ^{**}	۴	سال×رقم×آبیاری
۱۰/۱۱ ^{**}	۰/۰۳ ^{NS}	۰/۵ ^{NS}	۰/۳۰ [*]	۲	آبیاری×محلول پاشی
۲/۸۵ ^{NS}	۰/۰۱ ^{NS}	۰/۱۱ ^{NS}	۰/۲۸ [*]	۲	سال×آبیاری×محلول پاشی
۱/۰۱ ^{NS}	۰/۰۶ ^{NS}	۰/۲۲ ^{NS}	۰/۷۶ ^{**}	۸	رقم×محلول پاشی
۱/۹۶ ^{NS}	۰/۰۲ ^{NS}	۰/۴۱ ^{NS}	۰/۲۱۸ ^{**}	۸	سال×محلول پاشی×رقم
۰/۲۹ ^{NS}	۰/۰۷ ^{NS}	۰/۰۳۲ ^{NS}	۰/۲۳۴ ^{**}	۸	آبیاری×رقم×محلول پاشی
۰/۴۶ ^{NS}	۰/۰۵ ^{NS}	۰/۰۳۶ ^{NS}	۰/۲۲۲ ^{**}	۸	سال×آبیاری×رقم×محلول پاشی
۱/۰۴	۰/۱۲	۰/۳۷	۰/۰۷	۱۱۲	خطای کرت فرعی
۱/۵۳	۱۹/۸	۲/۳	۰/۱	۱۴/۹	ضریب تغییرات (درصد)

*، ** و NS به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵٪، ۱٪ و بدون اختلاف معنی دار

تعداد دانه در طبق

در شرایط بدون تنش تمامی ارقام از نظر تعداد دانه در طبق اختلاف معنی داری داشتند به طوری که در شرایط بدون تنش بیشترین تعداد دانه در طبق به میزان ۱۱۱/۴ عدد در رقم پرنیان و کمترین آن به میزان ۷۹/۴ عدد در رقم پدیده مشاهده شد. در شرایط تنش خشکی ارقام صغه، گلدشت و گل مهر از نظر تعداد دانه کمترین و رقم پرنیان بیشترین تعداد دانه را داشتند (جدول ۳). نتایج نشان داد با انجام محلول پاشی روی، تعداد دانه در طبق در تمامی ارقام به طور معنی داری افزایش یافت به طوری که بیشترین افزایش تعداد دانه در طبق از محلول پاشی روی به میزان ۱/۲ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. در بین ارقام مورد بررسی، ارقام پرنیان و پدیده به ترتیب از بیشترین و کمترین تعداد دانه در طبق در کلیه سطوح محلول پاشی عنصر روی برخوردار بودند. به عنوان مثال میزان افزایش تعداد دانه در طبق به واسطه محلول پاشی روی به میزان ۱/۲ کیلوگرم در هکتار در ارقام پرنیان و پدیده به ترتیب ۱۸/۷ و ۱۷/۰ درصد بود (جدول ۴). همچنین در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی با افزایش محلول پاشی روی، تعداد دانه در طبق به طور معنی داری افزایش یافت. با این وجود در شرایط بدون تنش در مقایسه با شرایط تنش خشکی، میزان افزایش تعداد دانه در طبق با کاربرد سطوح ۰/۶ و ۱/۲ کیلوگرم روی در هکتار بیشتر بود (جدول ۵). افزایش معنی دار تعداد طبق در متر مربع و تعداد دانه در طبق در تیمار محلول پاشی روی قبل از گل دهی در گیاه گلرنگ گزارش شده است (Soleimani *et al.*, 2017). تعداد دانه در طبق تحت اثر تنش خشکی و غلظت محلول پاشی روی و بر هم کنش محلول پاشی و تنش قرار می گیرد (استیری، ۱۳۹۳). تنش خشکی باعث خشک شدن دانه گرده و کلاله شده و از تعداد گلچه های بارور در سطح طبق می کاهد و این امر کاهش تعداد دانه در طبق را تشدید می کند. در این شرایط محلول پاشی سولفات روی باعث افزایش ذخیره هیدروکربن دانه گرده شده و باعث افزایش طول عمر دانه گرده می شود، در نتیجه منجر به افزایش تلقیح و تشکیل تعداد بیشتری دانه در طبق می شود. علاوه بر این، عنصر روی در سنتز پروتئین لوله گرده شرکت کرده و سبب ذخیره پروتئین می گردد که این امر منجر به افزایش تلقیح و تشکیل میوه و دانه بیشتری می شود (Wang and Jin, 2007). همچنین احتمالاً بیشتر بودن تعداد دانه در طبق در رقم پرنیان به واسطه طبق بزرگ تر و پهن تر در مقایسه با طبق کوچک تر در رقم پدیده بوده است.

وزن هزار دانه

نتایج مقایسه میانگین ها نشان داد ارقام از نظر وزن هزار دانه در شرایط بدون تنش و تنش خشکی واکنش های متفاوتی نشان دادند به طوری که بیشترین وزن هزار دانه به میزان ۴۳/۳ گرم به رقم گلدشت اختصاص داشت که با رقم پرنیان در یک گروه قرار داشت و کمترین آن به میزان ۲۷/۲ گرم به رقم گل مهر اختصاص داشت که از نظر آماری با رقم صغه اختلاف معنی داری نداشت. در شرایط تنش خشکی نیز بیشترین وزن هزار دانه در رقم پرنیان به میزان ۴۶/۴ گرم و

کمترین آن در رقم صغه به میزان ۲۴/۷۳ گرم مشاهده شد (جدول ۳). همچنین با افزایش مصرف روی، وزن هزار دانه تمامی ارقام افزایش معنی‌داری داشت، به طوری که بیشترین وزن هزار دانه در تمامی ارقام از محلول پاشی روی به میزان ۱/۲ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. با این وجود در بین ارقام مورد بررسی بیشترین میزان افزایش وزن هزار دانه به میزان ۷/۹ درصد با کاربرد سطوح محلول پاشی روی در رقم پرنیان مشاهده شد (جدول ۴).

جدول ۳: مقایسه میانگین ارتفاع بوته، اجزای عملکرد دانه، دمای طبق و شاخص کلروفیل در شرایط آبیاری و رقم

آبیاری	رقم	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	تعداد طبق در بوته	تعداد دانه در طبق	وزن هزار دانه (گرم)	دمای طبق (سانتی‌گراد)	شاخص کلروفیل (Spad)
بدون تنش (خشکی شاهد)	صغه	۱۴۱/۳۷ ^a	۳۱/۲۸ ^{ab}	۱۰۳/۷۸ ^b	۲۷/۷۹ ^c	۲۹/۰۸ ^b	۶۹/۸۲ ^b
	گلدشت	۱۱۱/۵۷ ^d	۳۰/۴۴ ^b	۸۸/۸۹ ^d	۴۳/۳۶ ^a	۲۹/۴۷ ^{ab}	۷۱/۲۴ ^{ab}
	گل مهر	۱۴۲/۴۱ ^a	۲۸/۰۶ ^c	۹۶/۴۴ ^c	۲۷/۲۳ ^c	۲۹/۴۸ ^{ab}	۶۹/۴۲ ^b
	پدیده	۱۲۹/۹۱ ^c	۲۶/۶۱ ^c	۷۹/۴۴ ^e	۲۹/۲۴ ^b	۲۹/۸۱ ^a	۶۳/۴۷ ^c
قطع آبیاری از مرحله پر شدن دانه	پرنیان	۱۳۵/۰۲ ^b	۳۲/۴۴ ^a	۱۱۱/۴۴ ^a	۴۲/۱ ^a	۲۷/۸۷ ^c	۷۱/۹۱ ^a
	صغه	۱۳۲/۴۷ ^a	۲۴/۶۱ ^{bc}	۸۲/۰۰ ^b	۲۴/۷۳ ^e	۳۱/۵۶ ^a	۶۴/۴ ^b
	گلدشت	۱۱۳/۲ ^c	۲۵/۹۴ ^b	۷۷/۶۷ ^b	۳۸/۶۶ ^b	۳۱/۶۴ ^a	۶۰/۱۶ ^b
	گل مهر	۱۳۴/۳۱ ^a	۲۳/۰۰ ^c	۷۸/۸۳ ^b	۲۶/۴۳ ^d	۳۱/۵ ^a	۶۲/۶۹ ^b
پدیده	۱۲۵/۰۳ ^b	۲۵/۰۰ ^{bc}	۶۶/۰۶ ^c	۳۱/۴۶ ^c	۳۱/۲۸ ^a	۶۲/۷۶ ^b	
	پرنیان	۱۲۲/۹۶ ^b	۲۸/۴۴ ^a	۸۹/۸۳ ^a	۴۰/۴۶ ^a	۲۸/۴۷ ^b	۶۹/۱۱ ^a

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار براساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار محافظت شده در سطح احتمال پنج درصد است.

جدول ۴: مقایسه میانگین اجزای عملکرد دانه در شرایط محلول پاشی روی و رقم

رقم	محلول پاشی روی (کیلوگرم در هکتار)	تعداد طبق در بوته	تعداد دانه در طبق	وزن هزار دانه (گرم)
صغه	عدم کاربرد روی (محلول پاشی با آب)	۲۶/۵۸ ^b	۸۵/۳۳ ^c	۲۵/۴۷ ^c
صغه	۰/۶	۲۸/۲۵ ^a	۹۳/۵۰ ^b	۲۶/۲۷ ^b
صغه	۱/۲	۲۹/۰ ^a	۹۹/۸۳ ^a	۲۷/۰۴ ^a
گلدشت	عدم کاربرد روی (محلول پاشی با آب)	۲۵/۰۸ ^c	۷۹/۴۲ ^b	۴۰/۰۹ ^b
گلدشت	۰/۶	۲۸/۹۲ ^b	۸۳/۶۷ ^a	۴۱/۱۴ ^{ab}
گلدشت	۱/۲	۳۰/۵۸ ^a	۸۶/۷۵ ^a	۴۱/۷۹ ^a
گل مهر	عدم کاربرد روی (محلول پاشی با آب)	۲۴/۱۷ ^c	۸۳/۱۷ ^b	۲۵/۰۹ ^c
گل مهر	۰/۶	۲۵/۶۷ ^b	۸۶/۸۳ ^b	۲۷/۰۷ ^b
گل مهر	۱/۲	۲۶/۷۵ ^a	۹۲/۹۲ ^a	۲۸/۳۲ ^a
پدیده	عدم کاربرد روی (محلول پاشی با آب)	۲۳/۷۵ ^b	۶۶/۳۳ ^c	۲۹/۲۱ ^b
پدیده	۰/۶	۲۶/۹۲ ^a	۷۳/۷۵ ^b	۲۹/۸۰ ^b
پدیده	۱/۲	۲۶/۷۵ ^a	۷۸/۱۷ ^a	۳۲/۰۴ ^a
پرنیان	عدم کاربرد روی (محلول پاشی با آب)	۲۸/۲۵ ^c	۹۱/۸۳ ^c	۴۰/۱۱ ^c
پرنیان	۰/۶	۳۰/۸۳ ^b	۱۰۱/۰۰ ^b	۴۱/۹۱ ^b
پرنیان	۱/۲	۳۲/۲۵ ^a	۱۰۹/۰۸ ^a	۴۳/۱۷ ^a

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار براساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار محافظت شده در سطح احتمال پنج درصد است.

به طور کلی وزن هزار دانه تابعی از سرعت و طول دوره پر شدن آن است که از دو منبع فتوسنتز جاری و انتقال مجدد مواد ذخیره‌ای در گیاه تأمین می‌شود که به نظر می‌رسد در تیمارهای قطع آبیاری، این مؤلفه‌ها از سرعت و مدت کمتری نسبت به شرایط عدم تنش برخوردار بودند (Sinaki et al., 2007). در این تحقیق نیز دلیل کاهش وزن هزار دانه در

شرایط تنش خشکی احتمالاً می‌تواند به این دلیل باشد که وقوع تنش موجب کاهش جذب آب و املاح و در نتیجه کاهش فتوسنتز برگ و تولید شیره پرورده شده است. در مطالعه دیگری، در تمام سطوح تنش خشکی، بالاترین میزان وزن هزار دانه به دست آمده مربوط به تیمار محلول پاشی با سولفات روی بوده است که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد (علیزاده و همکاران، ۱۳۹۳). در یک بررسی، کاربرد روی اثر معنی‌داری بر وزن هزار دانه در پنج ژنوتیپ گلرنگ در هر دو سال آزمایش داشت (Aytac *et al.*, 2014).

عملکرد دانه

نتایج مقایسه میانگین اثر آبیاری بر عملکرد دانه نشان داد بیشترین عملکرد دانه به میزان ۲۳۶۴/۸ کیلوگرم در هکتار از شرایط بدون تنش به دست آمد و قطع آبیاری از مرحله پر شدن دانه سبب کاهش ۱۶/۶ درصدی عملکرد دانه در مقایسه با تیمار بدون تنش شد. در یک مطالعه، تنش خشکی در مرحله گل‌دهی گلرنگ باعث کاهش اجزای عملکرد و عملکرد دانه گلرنگ شد، به طوری که تنش در مرحله گل‌دهی سبب افت ۴۹ درصدی عملکرد دانه گلرنگ شد (یوسفی راد و شریفی، ۱۳۹۸). نتایج مقایسه میانگین اثر رقم بر عملکرد دانه نشان داد بالاترین عملکرد دانه به میزان ۲۶۷۱/۵ کیلوگرم در هکتار مربوط به رقم پرنیان و کمترین عملکرد دانه به میزان ۱۹۱۹/۷ کیلوگرم در هکتار مربوط به رقم پدیده بود. در رقم پرنیان زیادتر بودن تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه سبب عملکرد دانه بیشتر در مقایسه با سایر ارقام مورد بررسی شد. بیشترین عملکرد دانه به میزان ۲۳۲۷/۸ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار محلول پاشی روی به میزان ۱/۲ کیلوگرم در هکتار و کمترین عملکرد دانه به میزان ۱۹۹۷/۹ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار عدم مصرف روی (شاهد) بود (جدول ۶). بیشتر بودن عملکرد دانه در تیمار محلول پاشی روی به افزایش اجزای عملکرد دانه (تعداد طبق، تعداد دانه در طبق) به خصوص تعداد دانه در طبق مرتبط بوده است. بیشتر بودن عملکرد دانه گلرنگ در تیمار محلول پاشی روی به واسطه برخورداری از بیشترین تعداد طبق در بوته و تعداد دانه در بوته تأیید شده است (Pasandi *et al.*, 2018). بیشتر عناصر کم‌مصرف با افزایش فتوسنتز و بهبود دوام سطح برگ باعث افزایش عملکرد دانه و عملکرد زیستی می‌شود (قطاوی و همکاران، ۱۳۹۱). با توجه به مشاهدات کوه نورد و همکاران (۱۳۹۰) بیشترین عملکرد دانه با محلول پاشی روی بر گیاه گلرنگ به دست آمد. مرادی تلاوت و همکاران (۱۳۹۴) نیز گزارش کردند عملکرد دانه و درصد روغن در رقم صفه، تحت اثر محلول پاشی روی به طور معنی‌داری افزایش یافته است که با نتایج این بررسی مطابقت دارد. همچنین دلیل بالاتر بودن عملکرد دانه در رقم پرنیان برخورداری از بیشترین تعداد طبق، تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه در مقایسه با سایر ارقام مورد بررسی بود (جدول‌های ۳، ۴، ۵ و ۶). بسیاری از ریز مغذی‌ها مانند عنصر روی می‌توانند به عنوان یک کوفاکتور در ساختار آنزیم‌ها عمل کنند، از این رو فعالیت آنزیم‌ها تا حد زیادی به وجود ریز مغذی‌ها بستگی دارد (Lemoine *et al.*,

2013). ریز مغذی‌ها می‌توانند بر فعالیت آنزیم‌ها اثر بگذارند و با تحریک انتقال مجدد از منبع (برگ) به مخزن (دانه) سبب افزایش عملکرد دانه گیاه شوند (Marschner, 2012).

درصد روغن دانه

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد کلیه ارقام در شرایط بدون تنش به افزایش مصرف روی واکنش مثبت نشان دادند و اختلاف درصد روغن به جز رقم پرنیان در بقیه ارقام معنی‌دار بود. در بررسی اثر محلول‌پاشی روی بر گیاه گلرنگ در شرایط آبیاری مطلوب و آبیاری محدود گزارش شده است که بیشترین مقدار درصد روغن با کاربرد روی در شرایط آبیاری کامل حاصل شد (Pasandi *et al.*, 2018). در شرایط تنش خشکی هم با وجود اینکه افزایش روی موجب افزایش درصد روغن در کلیه ارقام شد اما این اختلاف به جز رقم گلدشت در بقیه ارقام معنی‌دار نبود. این موضوع نشان می‌دهد که چهار رقم صفه، گل مهر، پدیده و پرنیان با افزایش مصرف روی در شرایط تنش خشکی جهت افزایش درصد روغن حساسیت زیادی نشان نداده‌اند (جدول ۷). نتایج مطالعه‌های کوه نورد و همکاران (۱۳۹۰) حاکی از اثرهای مثبت محلول‌پاشی روی بر افزایش میزان روغن دانه گلرنگ می‌باشد. مرادی تلاوت و همکاران (۱۳۹۴) گزارش کردند عملکرد دانه و درصد روغن در رقم صفه، تحت اثر محلول‌پاشی روی به‌طور معنی‌داری افزایش یافته است. در بین عناصر ریزمغذی، عنصر روی بیشترین اثر مثبت را بر درصد روغن دانه گیاه گلرنگ دارد (Pasandi *et al.*, 2018). تجمع روغن در دانه‌ها با سنتز اسیدهای چرب در پلاستیک همراه است و بسیاری از آنزیم‌های کلیدی در این فرآیند دخیل هستند. از جمله این آنزیم‌ها می‌توان به استیل کوآ کربوکسیلاز استیل اشاره کرد که عنصر روی برای عملکرد این آنزیم ضروری است (Li *et al.*, 2017). تأمین عناصر ریزمغذی مورد نیاز گیاه به همراه آبیاری بهینه و به موقع می‌تواند به میزان قابل توجهی کارایی سیستم‌های تولید گلرنگ را افزایش داده و تولید روغن را بهبود بخشد (Pasandi *et al.*, 2018). در این مطالعه، کاهش درصد روغن در اثر تنش خشکی می‌تواند به علت اختلال در فرایندهای متابولیسمی بذر و اختلال در انتقال آسیمیلات‌ها به دانه باشد (Bouchereau *et al.*, 1996). نتایج نشان داد تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه‌ها درصد روغن را کاهش داد که به‌نظر می‌رسد علت آن تسریع در رسیدگی گیاه می‌باشد که در این حالت فرصت کافی برای سنتز روغن از پروتئین‌های ذخیره شده در دانه وجود نداشته و بنابراین درصد روغن کاهش یافته است. گزارش شده است که تنش خشکی باعث تغییر در توسعه جنین و پریکارپ شده که در نتیجه آن کاهش محتوای روغن دانه رخ می‌دهد (Rondanini *et al.*, 2003).

دمای طبق

نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش آبیاری×رقم نشان داد کمترین دمای طبق هم در شرایط بدون تنش و تنش خشکی در رقم پرنیان مشاهده شد و بقیه ارقام در شرایط تنش خشکی اختلاف معنی‌داری از نظر دمای طبق نشان ندادند. به‌طور

مثال افزایش دمای طبق به واسطه تنش خشکی در رقم پرنیان در حدود ۲ درصد بود در حالی که در سایر ارقام این افزایش در حدود ۷ درصد بود. به نظر می‌رسد سفید بودن رنگ گلچه‌های گل در رقم پرنیان به دلیل انعکاس بیشتر نور خورشید بخصوص در مرحله گل‌دهی و پر شدن دانه می‌تواند یکی از دلایل پایین تر بودن دمای طبق در مقایسه با سایر ارقام با رنگ گلچه‌های نارنجی و قرمز مثل گل‌مه‌ر، صفه و گلدشت باشد. همچنین مقادیر کم افزایش دمای طبق به واسطه تنش خشکی در رقم پرنیان می‌تواند با عملکرد دانه بیشتر این رقم در ارتباط باشد (جدول ۳).

شاخص کلروفیل

در شرایط بدون تنش بیشترین میزان شاخص کلروفیل به میزان ۷۱/۹ در رقم پرنیان مشاهده شد و کمترین آن به میزان ۶۳/۴ مربوط به رقم پدیده بود. در شرایط تنش خشکی هم رقم پرنیان بالاترین میزان شاخص کلروفیل را داشت (جدول ۳). همچنین میزان این شاخص با افزایش مصرف روی افزایش یافت و این افزایش در شرایط بدون تنش نسبت به تیمار عدم مصرف روی (شاهد) معنی‌دار بود، اما در شرایط تنش خشکی تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۵). تنش خشکی از طریق فعالیت آنزیم‌های کلروفیل‌از و پراکسیداز در گیاه باعث تخریب کلروپلاست و کاهش میزان کلروفیل می‌شود (Misra and Sricastatva, 2000). گزارش شده است که کاربرد ریزمغذی روی، میزان کلروفیل در گیاه را تحت تنش خشکی بهبود بخشیده و فتوسنتز گیاه را افزایش داده است (Ebrahimi *et al.*, 2014).

شاخص سطح برگ

نتایج نشان داد بیشترین شاخص سطح برگ به میزان ۲/۶۱ در رقم پرنیان و کمترین آن به میزان ۱/۳۹ در رقم پدیده مشاهده شد. همچنین بیشترین شاخص سطح برگ به میزان ۲/۰۸ در شرایط بدون تنش به دست آمد و اعمال تنش خشکی سبب کاهش ۳۲/۲ درصدی این صفت در مقایسه با شرایط بدون تنش شد. محلول پاشی روی به میزان ۱/۲ کیلوگرم در هکتار سبب افزایش ۲۵/۳ درصدی شاخص سطح برگ در مقایسه با شرایط عدم مصرف روی شد (جدول ۶). در مطالعه فتحیان و همکاران (۱۳۹۱) تنش خشکی باعث کاهش ۲۷ درصدی در شاخص سطح برگ گلرنگ شد. تنش خشکی از طریق کاهش تولید و رشد برگ، پیری زودرس برگ‌ها و افزایش پیری برگ‌ها مقدار شاخص سطح برگ را کاهش می‌دهد (Sing *et al.*, 1990). کاهش شاخص سطح برگ در اثر تنش خشکی در مطالعه حاضر با یافته‌های محققین دیگری در مورد اثر منفی تنش خشکی بر شاخص سطح برگ مطابقت دارد. سایه انداز گیاهان در مواجهه با تنش خشکی با سرعت کمتری گسترش یافته، اندازه برگ‌ها کوچک‌تر شده و به واسطه ریزش زود هنگام برگ‌های پایین سایه انداز گیاهی، گیاه سطح برگ خود را با سرعت بیشتری از دست می‌دهد و نهایتاً شاخص سطح برگ تحت شرایط خشکی کاهش می‌یابد.

محلول پاشی روی با افزایش هورمون اکسین باعث افزایش رشد سلولی و افزایش شاخص سطح برگ و در نهایت افزایش رشد می‌گردد (بیرانوند و همکاران، ۱۳۸۹).

جدول ۵: مقایسه میانگین برهم‌کنش آبیاری × محلول پاشی روی بر برخی از صفات مورد بررسی

آبیاری	محلول پاشی روی (کیلوگرم در هکتار)	تعداد طبق در بوته	تعداد دانه در طبق	شاخص کلروفیل (Spad)
شاهد	عدم کاربرد روی (محلول پاشی با آب)	۲۸/۳۳ ^b	۸۸/۸۷ ^c	۶۸/۴۴ ^b
	۰/۶	۳۰/۲ ^a	۹۶/۲۳ ^b	۶۹/۱۰ ^{ab}
	۱/۲	۳۰/۷۷ ^a	۱۰۲/۹ ^a	۶۹/۹۷ ^a
تنش خشکی	عدم کاربرد روی (محلول پاشی با آب)	۲۲/۸ ^b	۷۳/۵۷ ^c	۶۲/۲۳ ^a
	۰/۶	۲۶/۰۳ ^a	۷۹/۲۷ ^b	۶۴/۲۵ ^a
	۱/۲	۲۷/۳۷ ^a	۸۳/۸۰ ^a	۶۵/۲۵ ^a

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار براساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار محافظت شده در سطح احتمال پنج درصد است.

جدول ۶: مقایسه میانگین عملکرد دانه و شاخص سطح برگ در پاسخ به تیمارهای آزمایش

تیمارها	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	شاخص سطح برگ
آبیاری	بدون تنش خشکی (شاهد)	۲/۰۸ ^a
	قطع آبیاری از مرحله پر شدن دانه	۱/۴۱ ^b
رقم	صفه	۱/۵۹ ^b
	گلدشت	۱/۷۱ ^b
	گل مهر	۱/۴۱ ^c
	پدیده	۱/۳۹ ^c
	پرنیان	۲/۶۱ ^a
محلول پاشی روی (کیلوگرم در هکتار)	عدم کاربرد روی (محلول پاشی با آب)	۱/۵۸ ^c
	۰/۶ کیلوگرم	۱/۷۶ ^b
	۱/۲ کیلوگرم	۱/۹۸ ^a

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار براساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار محافظت شده در سطح احتمال پنج درصد است.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به‌دست آمده، محلول پاشی روی به دلیل افزایش محسوس تعداد طبق در بوته و تعداد دانه در طبق سبب زیاده‌تر بودن عملکرد دانه در مقایسه با شرایط بدون کاربرد روی، بخصوص در شرایط تنش خشکی در گیاه گلرنگ شد. همچنین محلول پاشی روی با غلظت ۱/۲ کیلوگرم در هکتار در مرحله پر شدن دانه بیشترین اثر مثبت را در افزایش اجزای عملکرد دانه ارقام گلرنگ به خصوص رقم پرنیان داشت. رقم پرنیان به واسطه دمای طبق پایین‌تر و شاخص سطح برگ و شاخص کلروفیل (Spad) زیاده‌تر، از نظر تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه برتری محسوسی نسبت به سایر ارقام مورد مطالعه گلرنگ داشت.

جدول ۷: مقایسه میانگین برهم کنش آبیاری × رقم × محلول پاشی روی بر درصد روغن دانه

آبیاری	رقم	محلول پاشی	درصد روغن
شاهد	صفه	عدم کاربرد روی (محلول پاشی با آب)	۲۸/۴۰ ^b
	صفه	۰/۶	۲۸/۴۲ ^{ab}
	صفه	۱/۲	۲۸/۵۳ ^a
	گلدشت	عدم کاربرد روی (محلول پاشی با آب)	۲۴/۱۲ ^b
	گلدشت	۰/۶	۲۵/۷۲ ^a
	گلدشت	۱/۲	۲۵/۸۲ ^a
	گل مهر	عدم کاربرد روی (محلول پاشی با آب)	۲۸/۴۳ ^b
	گل مهر	۰/۶	۲۸/۶۳ ^{ab}
	گل مهر	۱/۲	۲۸/۸۰ ^a
	پدیده	عدم کاربرد روی (محلول پاشی با آب)	۲۷/۵۰ ^b
	پدیده	۰/۶	۲۷/۶۲ ^{ab}
	پدیده	۱/۲	۲۷/۹۳ ^a
تنش خشکی	پرنیان	عدم کاربرد روی (محلول پاشی با آب)	۲۴/۳۲ ^a
	پرنیان	۰/۶	۲۴/۶۰ ^a
	پرنیان	۱/۲	۲۴/۶۸ ^a
	صفه	عدم کاربرد روی (محلول پاشی با آب)	۲۸/۱۷ ^a
	صفه	۰/۶	۲۸/۲۳ ^a
	صفه	۱/۲	۲۸/۲۵ ^a
	گلدشت	عدم کاربرد روی (محلول پاشی با آب)	۲۴/۱۳ ^b
	گلدشت	۰/۶	۲۴/۵۳ ^a
	گلدشت	۱/۲	۲۴/۵۸ ^a
	گل مهر	عدم کاربرد روی (محلول پاشی با آب)	۲۸/۰۵ ^a
	گل مهر	۰/۶	۲۷/۹۰ ^a
	گل مهر	۱/۲	۲۷/۹۷ ^a
پدیده	عدم کاربرد روی (محلول پاشی با آب)	۲۷/۲۵ ^a	
پدیده	۰/۶	۲۷/۲۳ ^a	
پدیده	۱/۲	۲۷/۵۸ ^a	
پرنیان	عدم کاربرد روی (محلول پاشی با آب)	۲۳/۲۷ ^a	
پرنیان	۰/۶	۲۳/۳۳ ^a	
پرنیان	۱/۲	۲۳/۲۷ ^a	

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار براساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار محافظت شده در سطح احتمال پنج درصد است.

منابع

- استیری، ه.، آرمین، م. و فیله کش، ا. ۱۳۹۳. تأثیر محلول پاشی مقادیر مختلف سولفات روی بر عملکرد و اجزای عملکرد آفتابگردان (*Helianthus annuus L.*) در شرایط تنش خشکی. مجله تولید گیاهان روغنی. ۱ (۱): ۶۵-۷۷.
- بیرانوند، ف.، رفیعی، م. خورگامی، ع. دارائی مفرد، ع. و زبیدی طولابی، ن. ۱۳۸۹. بررسی تأثیر تراکم و کاربرد مقادیر مختلف کود سولفات روی بر عملکرد کمی تریتیکاله در شرایط دیم. مجله فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۲ (۸): ۸۳-۹۵.

- راستی، ا.، صفاری، م. و مقصودی مود، ع. ا. ۱۳۹۳. تأثیر کودهای ارگانیک و شیمیایی بر شاخص های عملکرد و اجرای عملکرد گلرنگ تحت تنش خشکی. مجله مهندسی آبیاری و آب ایران. ۵ (۱۸): ۸۰-۶۹.
- سرخی، ف. ۱۳۹۷. اثر کاربرد سولفات روی بر عملکرد کمی و کیفی گلرنگ تحت تنش کم آبی. مجله فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۱۰ (۳۷): ۳۴-۲۱.
- علیزاده، م.، بلوچی، ح.ر. و موحدی دهنوی، م. ۱۳۹۳. اثر محلول پاشی سولفات روی و سالیسیلیک اسید بر ویژگی های ریخت شناسی و عملکرد گلرنگ تحت تنش خشکی. مجله تولید گیاهان روغنی. ۱ (۲): ۵۲-۴۱.
- فتحیان، ش. و احسان زاده، پ. ۱۳۹۱. ارتباط برخی خصوصیات فیزیولوژیک با عملکرد در گلرنگ بهاره در دو رژیم آبیاری. مجله علوم گیاهان زراعی ایران. ۴۳ (۴): ۶۵۹-۶۴۹.
- فرجام، س.، رخزادی، ا. محمدی، ه. و قلعه شاخانی، س. ۱۳۹۳. اثر تنش قطع آبیاری و محلول پاشی اسید سالیسیلیک بر رشد، عملکرد و اجزای عملکرد سه رقم گلرنگ بهاره. مجله فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۶ (۲۳): ۱۱۲-۹۹.
- قطاوی، ح.، معافیپوریان، غ. و بحرانی، ع. ۱۳۹۱. تأثیر محلول پاشی سولفات روی و دور آبیاری بر عملکرد، اجزای عملکرد و میزان پروتئین ذرت دانه ای. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. ۴ (۱۰): ۴۸-۳۷.
- کوه نورد، پ.، جلیلیان، ج.، و پیرزاد، ع. ۱۳۹۰. اثر محلول پاشی عناصر کم مصرف بر برخی صفات زراعی گلرنگ در نظام های زراعی رایج و اکولوژیک. مجله دانش زراعت. ۳ (۶): ۲۵-۱۵.
- مرادی تلاوت، م.ر.، روشن، ف. و سیادت، س.ع. ۱۳۹۴. اثر محلول پاشی سولفات روی بر محتوای عناصر معدنی، عملکرد دانه و روغن دو رقم گلرنگ. مجله علوم زراعی ایران. ۱۷ (۲): ۱۶۴-۱۵۳.
- میرزاخانی، م.، همتی، ز. و ملکی، غ.ر. ۱۳۹۴. بررسی اثر مقادیر ژئولیت در شرایط تنش آبی بر صفات فیزیولوژیک گلرنگ. مجله فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۷ (۲۷): ۶۷-۵۵.
- یوسفی راد، م. و شریفی، م. ۱۳۹۸. اثر محلول پاشی اسید سالیسیلیک و سلنیوم بر ویژگی های فیزیولوژیک و زراعی گلرنگ در شرایط تنش خشکی. مجله فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۱۱ (۴۱): ۴۶-۲۹.

Achhale, D. 2016. Screening of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) Genotypes for drought tolerance. Thesis master of science in agriculture (plant breeding and genetics). Rajmata vijayaraje scindia krishi vishwa vidyalaya, gwaliar college of agriculture, indore (mp). 75p.

Akhzari, D. and Pessaraki, M. 2015. Effect of drought stress on total protein, essential oil content, and physiological traits of *Levisticum Officinale*. Journal of Plant Nutrition. 39(1): 901-916.

Aytac, Z., Gulmezoglu, N. Sirel, Z. Tolay, I. and Alkan Torun, A. 2014. The effect of zinc on yield, yield components and micronutrient concentrations in the seeds of safflower genotypes (*Carthamus tinctorius* L.). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 42(1): 202-208.

Bortolheiro, F.P.A.P. and Silva, M.A. 2017. Physiological response and productivity of safflower lines under water deficit and rehydration. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 89(4): 3051-3066.

Bouchereau, A., Clossais-Besnard, N. Bensaoud, A. Leport, L. and Renard, M. 1996. Water stress effects on rapeseed quality. *European Journal of Agronomy*. 5(1-2): 19-30.

Cakmak, I. 2000. Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species. *New Phytologist*. 146: 185-205.

Ebrahimi, M., khajehpour, M.R. Naderi, A. and Majde Nassiri, B. 2014. Physiological responses of sunflower to water stress under different levels of zinc fertilizer. *International Journal of Plant Production*. 8(4): 483-503.

Fleta-Soriano, E. and Munné-Bosch, S. 2016. Stress memory and the inevitable effects of drought: a physiological perspective. *Frontiers in Plant Science*. 7: 1-6.

Ghofran Maghsud, S., Mobasser, H.R. and Fanaei, H.R. 2014. Effect of foliar application and time foliar application microelements (Zn, Fe, Mn) on safflower. *Journal of Novel Applied Sciences*. 3 (4): 396-399.

Ghosh, P.K., Majumder, M.K. and Banerjee, S.P. 2013. Growth analysis studies and their possible use in selection work in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *International Journal of Farming and Allied Sciences*. 2: 38-41.

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.

Khaghani, S., and Saffari, J. 2016. Microwave-assisted chemical preparation of zno nanoparticles and its application on the improving grain yield, quantity and quality of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Nanostruct*. 6(1): 46-51.

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 Crops Research*. 90: 263-274.

Lemoine, R., La Camera, S. Atanassova, R. Dédaldéchamp, F. Allario, T. Pourtau, N. and Faucher, M. 2013. Source-to-sink transport of sugar and regulation by environmental factors. *Frontiers in Plant Science*. 4: 272.

Li, Q.T., Lu, X. Song, Q.X. Chen, H.W. Wei, W. Tao, J.J. and Bi, Y.D. 2017. Selection for a zinc-finger protein contributes to seed oil increase during soybean domestication. *Plant Physiology*. 173: 2208-2224.

Marschner H. 2012. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants, 3rd Edn London: Academic Press.

Misra, A. and Sricastatva, N.K. 2000. Influence of water stress on Japanese mint. Journal of Herbs, Spoces and Medician Plants. 7: 51-58.

Pasandi, M., Janmohammadi, M. Abasi, A. and Sabaghnia, N. 2018. Oil characteristics of safflower seeds under different nutrient and moisture management, Nova Biotechnologica et Chimica. 17(1): 86-94.

Pascual-Villalobos, A.J. and Alburquerque, N. 1996. Genetic variation of a safflower germplasm collection grown as a winter crop in southern Spain. Euphytica. 92(3): 327-332.

Rondanini, D., Savin, R. and Hall, A.J. 2003. Dynamics of fruit growth and oil quality of sunflower (*Helianthus annuus* L.) exposed to brief intervals of high temperature during grain filling. Field Crops Research. 83: 79-90.

Siavashi, K., Soleimani, R. and Malakouti, M.J. 2004. Effect of zinc sulfat application times and methods on grain yield and protein context of chickpra in rainfed condition, Iran. Journal of Soil and Water Conservation. 18(1): 42-49.

Singh, D.P., Singh, P. Kumar, A. and Sharma, H.C. 1990. Transpiration cooling as a screening technique for drought tolerance in oilseed Brassica. Annals of Botany. 56(6): 815-820.

Sinaki, M.J., Majidi Heravan, E. Shirani-rad, A.H. Noormohamadi, G. and Zarei, G.H. 2007. The effects of water deficit during growth stage of canola (*Brassica napus* L.). American-Eurasin Journal of Agricultural and Environmental Science. 2(4): 417-424.

Soheili-Movahhed, S., Khomari, S. Sheikhzadeh, P. and Alizadeh, B. 2019. Improvement in seed quantity and quality of spring safflower through foliar application of boron and zinc under end-season drought stress. Journal of Plant Nutrition. 42(8): 942-953.

Soleimani, R., Nourgholipour, F. and Moshiri, F. 2017. Effect of foliar application of Zn, Fe and Mn on seed yield and micronutrient contents of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Iranian Journal of Crop Sciences. 19 (1): 1-12.

Wang, H. and Jin, J. 2007. Effects of zinc deficiency and drought on plant growth and metabolism of reactive oxygen species in maize (*Zea mays* L.). Agricultural Sciences in China. 6(8): 988-995.

Yau, S.K. 2006. Winter versus spring sowing of rain-fed safflower in a semi-arid, high-elevation Mediterranean environment. European Journal of Agronomy. 26(3): 249-256.

Effects of drought stress and zinc foliar application on physiological and agronomic traits in safflower cultivars

F. Rahmani¹, S. Seyfzade², H. Jabbari^{3*}, A. Valadabadi⁴ and E. Hadidi Masouleh⁵

1) Ph.D student Agronomy, Islamic Azad University, Takestan Branch, Takestan, Iran.

2 & 5) Assistant Professor, Department of Agronomy, Islamic Azad University, Takestan Branch, Takestan, Iran.

3) Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Institute (SPII), Agricultural Research, Education, and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

4) Associate Professor, Department of Agronomy, Islamic Azad University, Takestan Branch, Takestan, Iran.

*Corresponding Author: h.jabbari@areeo.ac.ir

Received date: 2020.02.22

Accepted date: 2020.06.15

Abstract

In this study, to investigate the effects of zinc (Zn) foliar application on some physiological and agronomic traits of safflower cultivars under drought stress, an experiment was conducted as a split plot factorial based on randomized complete block design with three replications for two years (2016-2018) at the experimental field of Seed and Plant Improvement Research Institute in Karaj. In this experiment, irrigation factor in two levels including complete irrigation and drought stress (withholding irrigation from seed filling stage) in main plots, Zn foliar application factor in three levels including no spraying (control) and application of 0.6 and 1.2 kg ha⁻¹ as well as five safflower cultivars (Sofeh, Golmehr, Goldasht, Padideh and Parnian) were subjected to factorial arrangement in sub plots. The results showed that the interaction of irrigation × cultivar on head temperature, spad value and seed yield components, interaction of cultivar Zn foliar application on grain yield components and interaction of irrigation × cultivar × Zn foliar application on seed oil content was significant. Zinc foliar application caused higher seed yield in safflower compared to non-zinc application treatment, especially in drought stress conditions, due to the significant increase in number of heads per plant and number of seed per head. Using 1.2 kg.ha⁻¹ Zn foliar application showed the most positive effect on increasing yield components of safflower cultivars especially Parnian. In this study, Parnian due to lower head temperature, maximum leaf area index and higher spad value index, had the higher number of heads per plant, number of seeds per head and 1000-seed weight than other studied cultivars. According to the results, although the drought is causing damage to safflower, but Zinc foliar application partially compensated the damage caused by drought.

Keywords: Head temperature, Leaf area index, Seed yield and Withholding irrigation.