

اثر رژیم‌های مختلف آبیاری و محلول‌پاشی سولفات روی و منگنز بر عملکرد و برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و فنولوژیکی گلرنگ (*Carthamus tinctorius L.*) در شرایط آب و هوایی سراوان

سید مسعود ضیائی^{۱*}، محسن زعفرانی^۲

۱- گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی، مجتمع آموزش عالی سراوان، سراوان، ایران

۲- گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولایت ایرانشهر، ایرانشهر، ایران

* مسئول مکاتبه: m.ziaei@saravan.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2023.334748.1214

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۲۸

چکیده

این آزمایش با هدف بررسی سطوح مختلف رژیم‌های آبیاری و محلول‌پاشی با سولفات روی و منگنز در مزرعه تحقیقاتی مجتمع آموزش عالی سراوان بصورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. فاکتور اصلی شامل آبیاری کامل، قطع آبیاری در مرحله ساقه‌دهی و قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی و فاکتور فرعی شامل سه سطح محلول‌پاشی بصورت عدم محلول‌پاشی (شاهد) و محلول‌پاشی با سولفات روی (سه در هزار) و سولفات منگنز (سه در هزار) بودند. نتایج نشان داد که قطع آبیاری در مراحل ساقه‌دهی و گل‌دهی، سبب کاهش تعداد روز تا تکمه‌دهی، تعداد روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی و تعداد روز تا رسیدگی نسبت به آبیاری کامل گردید. هم‌چنین قطع آبیاری در مراحل ساقه‌دهی و گل‌دهی نسبت به شرایط آبیاری کامل، میزان محتوی نسبی آب را بطور معنی‌داری کاهش و نشت الکترولیت‌ها را بطور معنی‌داری افزایش داد. محلول‌پاشی با سولفات روی نسبت به سولفات منگنز و عدم محلول‌پاشی به ترتیب باعث افزایش معنی‌دار و ۰/۵۳ و ۲/۳۱ درصدی در تعداد روز تا تکمه‌دهی، ۲/۵۴ و ۱/۷۱ درصدی در تعداد روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی و ۰/۵۲ و ۱/۶۴ درصدی در رسیدگی گردید. محلول‌پاشی با سولفات روی و سولفات منگنز نسبت به عدم محلول‌پاشی، میزان محتوی نسبی آب را بطور معنی‌داری افزایش و نشت الکترولیت‌ها را بطور معنی‌داری کاهش داد. در هر یک از سطوح رژیم آبیاری، انجام محلول‌پاشی سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه شد که این اثربخشی مثبت در تیمار سولفات روی نسبت به سولفات منگنز بیشتر بود. در مجموع انجام آبیاری کامل و محلول‌پاشی با سولفات روی در شرایط آب و هوایی سراوان در زراعت گلرنگ توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: سولفات روی، قطع آبیاری، گل‌دهی، نشت الکترولیت

مقدمه

کمترین حساسیت را نسبت به تنش داشته باشد (Shahnazari et al., 2007). استفاده از رژیم‌های کم آبیاری بواسطه صرفه‌جویی در مصرف آب می‌تواند به عنوان یک راهکار مدیریت آب در افزایش سطح زیر کشت و هم‌چنین تعیین الگوی کشت بهینه کمک نماید. در همین راستا، در آزمایشی طی بررسی اثرات کم آبیاری بر روی عملکرد و کارایی مصرف آب گندم مشخص گردید که کاهش ۲۰ درصدی حجم آب آبیاری در مراحل رویشی گندم بهاره سبب کاهش معنی‌دار عملکرد دانه گندم نگردید (Kang et al., 2002).

گلرنگ (*Carthamus tinctorius L.*) گیاهی یک‌ساله با ریشه مستقیم و عمیق است که می‌تواند تنش‌های محیطی از جمله شوری و خشکی را تا حد قابل توجهی تحمل کرده (Lovelli et al., 2007) و همواره به عنوان یک دانه روغنی با ارزش مطرح است (Khajeh Poor, 2011). این گیاه به دلیل

شرایط حاکم بر کشاورزی اکثر مناطق ایران به گونه‌ای است که وجود محدودیت منابع آبی از یک طرف و فراوانی نسبی اراضی قابل کشت، از طرف دیگر، شرایط کار را برای کشت و کار اکثر گیاهان زراعی با چالش مواجه کرده است. در چنین شرایطی هدف اصلی بایستی بیشتر متمرکز بر بالا بردن تولید به ازای واحد آب مصرفی و استفاده بهینه از این منابع باشد (Mashaal et al., 2008). کم آبیاری انتخاب یک راهکار بهینه برای استفاده از آب و تولید محصول تحت شرایط کمبود و یا بالا بودن قیمت آب است که بوسیله آن بطور آگاهانه به گیاه اجازه داده می‌شود تا با دریافت آب کمتر از حد نیاز، محصول خود را تا حدی کاهش دهد (Barjasteh, 2017). در واقع، کم آبیاری روشی است که در آن گیاهان به صورت هدفمند، به میزان کمتر از حد نیاز، تحت آبیاری قرار می‌گیرند؛ بطوری که گیاه

از تنش خشکی، سبب محافظت اندامک‌های درون سلولی از حملات گونه‌های فعال اکسیژن (ROS)^۱ می‌شود، آنزیم سوپر اکسید دسموتاز (SOD)^۲ است. مشخص شده است که عنصر روی برای برخی از انواع آنزیم سوپر اکسید دسموتاز به عنوان کوفاکتور عمل کرده و فراهمی آن می‌تواند در بهبود فعالیت این آنزیم و ممانعت از بروز خسارات تنش اکسیداتیو مؤثر باشد (Soleimani *et al.*, 2017; Alscher *et al.*, 2002). یکی دیگر از عناصر مؤثر در بهبود کارکرد فیزیولوژیکی گیاه عنصر منگنز است. این عنصر نیز نقش اساسی در متابولیسم ایزوپرنوئیدها، کلروفیل‌ها، کاروتنوئیدها و فنول‌ها دارد؛ پژوهش‌گران نشان داده‌اند که محلول‌پاشی با منگنز باعث افزایش فتوسنتز، جذب خالص و رشد نسبی و عملکرد محصولات می‌شود (Sebastian and Prasad, 2015). محققین گزارش کردند که کاربرد منگنز در زراعت گیاه جو تحت اعمال تنش خشکی، سبب تخفیف کاهش اثرات نامطلوب تنش روی جو گردید (Zahedi and Alipoor, 2018).

متأسفانه اغلب مناطق ایران دارای خاک‌هایی با pH بالا بوده و این امر می‌تواند سبب تثبیت عناصر منگنز و روی در خاک گردد. از طرف دیگر، کمبود منگنز و روی در گیاهان با رطوبت کم خاک مرتبط است. بنابراین، استفاده از محلول‌پاشی ممکن است برای اصلاح کمبود این عناصر در این شرایط مفید باشد (Fathi, 2015). از این‌رو، با توجه به خشکی و دماهای بالای آخر فصل رشد گیاه گلرنگ در مناطق سیستان و بلوچستان و تأثیر روی و منگنز بر کاهش اثرات خشکی، این مطالعه با هدف بررسی اثرات سولفات روی و منگنز بر عملکرد و برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و فنولوژیکی گیاه گلرنگ در شرایط تنش خشکی آخر فصل رشد در منطقه سراوان انجام شد.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال ۹۹-۱۳۹۸ در مزرعه تحقیقاتی مجتمع آموزش عالی سراوان با عرض جغرافیایی ۲۷ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۶۲

داشتن ریشه عمیق و در عین حال، ارزش بالای دانه می‌تواند به عنوان یک محصول مهم در اکوسیستم‌های کشاورزی مناطق خشک باشد (Kar *et al.*, 2007). سطح زیرکشت گلرنگ آبی در ایران در سال ۱۳۹۷ حدود ۱۴۸۹ هکتار برآورد گردید (Anonymous, 2020). اهمیت محصولات روغنی مانند گلرنگ در سال‌های اخیر در دنیا افزایش یافته است (Khajeh Poor, 2011). به‌طور کلی گلرنگ در زمین‌های حاشیه‌ای نسبتاً خشک و کم‌نهاده تولید می‌شود. تلاش برای بهبود عملکرد و کیفیت بذر این گیاه، از طریق توسعه ژنوتیپ‌های جدید و اقدامات زراعی در سراسر جهان در حال انجام است. اما واقعیت این است که خشکی بر رشد و عملکرد این گیاه نیز تأثیرگذار است (Bannayan *et al.*, 2008). با این وجود، استفاده بهینه از آب و دستیابی به حداکثر عملکرد برای گلرنگ در مناطق خشک و نیمه‌خشک، مورد انتظار می‌باشد (Lovelli *et al.*, 2007).

مطالعات مختلف نشان داده‌اند که کاربرد مقدار کمی از مواد مغذی، به‌ویژه عناصر روی و منگنز از طریق محلول‌پاشی می‌تواند تا حد قابل توجهی عملکرد محصولات را افزایش دهد (Crabtree, 1999). هم‌چنین، محلول‌پاشی یک راهکار مناسب جهت تأمین مواد مغذی است که در بستر کشت، یا ناچیز هستند و یا چندان قابل دسترس نمی‌باشند (Cakmak, 2008). قابلیت دسترسی به عناصر غذایی مختلف در خاک تحت تأثیر تنش خشکی تغییرات قابل ملاحظه‌ای می‌یابد؛ به‌طوری‌که توازن جذب عناصر غذایی توسط گیاه به هم خورده و عناصر ضروری و مورد نیاز، کمتر در اختیار گیاه قرار می‌گیرند (Jouyban, 2018). در مناطق خشک، به دلیل عوامل محیطی متعدد مانند pH خاک بالا و فقر ماده آلی، کاربرد روی و منگنز بصورت محلول‌پاشی می‌تواند سبب افزایش عملکرد و هم‌چنین کاهش اثرات مخرب تنش‌های محیطی به خصوص خشکی شود (Khan *et al.*, 2002). عنصر روی نقش مهمی در تولید دانه زیست‌توده، تولید کلروفیل، فرایند گرده‌افشانی و حتی جوانه‌زنی گیاهان دارد (Cakmak, 2008; Soleimani *et al.*, 2017). یافته‌های علمی حکایت از آن دارند که یکی از آنتی‌اکسیدانت‌های مهم که در زمان بروز تنش اکسیداتیو ناشی

¹- Reactive Oxygen Species

²- Superoxide Dismutase

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) و مقایسات میانگین در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از آزمون LSD صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

تعداد روز تا تکمه‌دهی

نتایج آزمایش نشان داد که اثر رژیم‌های آبیاری بر تعداد روز تا وقوع مرحله تکمه‌دهی گلرنگ معنی‌دار شد (جدول ۳). بیشترین تعداد روز تا وقوع مرحله تکمه‌دهی در تیمار آبیاری کامل مشاهده شد و در این تیمار، تعداد روز تا وقوع مرحله تکمه‌دهی، بیش از ۱۲۶ روز به طول انجامید (جدول ۴). در دو تیمار قطع آبیاری در مرحله ساقه رفتن و قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی نسبت به تیمار آبیاری کامل، تعداد روز تا وقوع مرحله تکمه‌دهی به ترتیب ۳/۷۸ و ۲/۷۶ درصد کمتر بود (جدول ۴). به نظر می‌رسد که کاهش تعداد روز تا وقوع مرحله تکمه‌دهی و استراتژی گیاه برای تکمیل زودتر مراحل فنولوژیک، یک ساز و کار تطابق برای گیاه گلرنگ در شرایط تنش خشکی باشد. محققین در مطالعات خود طی بررسی مراحل نمو گلرنگ و ارتباط آن‌ها با عملکرد دانه، اظهار داشتند که کوتاه کردن طول دوره رشد در زمان شرایط نامساعد، یکی از راه‌های اجتناب از تنش، در گیاه گلرنگ می‌باشد (Shahsavari *et al.*, 2005). به نظر می‌رسد که انطباق مراحل حساس فنولوژی با میزان فراهمی رطوبت و تکمیل چرخه زندگی قبل از وقوع تنش خشکی شدید و بروز گرمای انتهایی فصل، یکی از اولین راهکارهای مقابله گیاه با تنش محدودیت رطوبت باشد.

هم‌چنین اثر محلول‌پاشی بر تعداد روز تا وقوع مرحله تکمه‌دهی گلرنگ معنی‌دار گردید (جدول ۳). بطوری‌که بیشترین تعداد روز تا وقوع مرحله تکمه‌دهی در تیمار سولفات روی مشاهده شد که نسبت به سولفات منگنز و عدم محلول‌پاشی به ترتیب ۰/۵۳ و ۲/۳۱ درصد بیشتر بود (جدول ۵). هم‌چنین محلول‌پاشی با سولفات منگنز نسبت به شاهد، سبب برتری ۱/۷۹ درصدی در صفت تعداد روز تا وقوع مرحله تکمه‌دهی گردید (جدول ۵). تحقیقات نشان داده‌اند که اعمال عناصر ریزمغذی مانند روی و منگنز از طریق محلول‌پاشی،

در طول فصل رشد، مراحل تکمه‌دهی (رویت طبق)، ۵۰ درصد گل‌دهی و رسیدگی فیزیولوژیک (قهوه‌ای شدن طبق‌ها) بر حسب تعداد روز از زمان کاشت، ثبت شدند. علاوه بر این، در اواسط گل‌دهی محتوی نسبی آب برگ^۱ (RWC) با استفاده از جداسازی یک برگ جوان کاملاً توسعه‌یافته از بالای بوته و اندازه‌گیری وزن تر آن و قرار دادن آن در آب به مدت ۲۴ ساعت (شرایط تاریکی و دمای چهار درجه سانتی‌گراد) و تعیین وزن اشباع و سپس وزن خشک آن (در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد آون به مدت ۲۴ ساعت) و با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید (Ritchie and Neguyen, 1990).

$$RWC = (FW - DW) / (TW - DW) \times 100 \quad (1)$$

در همان زمان، جهت اندازه‌گیری نشست الکترولیت‌ها یک برگ جوان کاملاً توسعه‌یافته از هر کرت بطور تصادفی انتخاب شد و در داخل ظروف شیشه‌ای که با ۲۰ میلی‌لیتر آب دوبار تقطیر شده پر شده بود، قرار گرفت و به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق نگهداری شد. سپس نشست اولیه آن با استفاده از دستگاه EC متر اندازه‌گیری گردید (EC₁). به منظور اندازه‌گیری میزان نشست کل الکترولیت‌ها در اثر مرگ سلول، نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در اتوکلاو (با فشار ۱/۲ بار و دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد) قرار داده شدند. پس از آن، نمونه‌ها مجدداً به محیط آزمایشگاه منتقل شده و بعد از ۲۴ ساعت، نشست نهایی آن‌ها (EC₂) اندازه‌گیری گردید. در نهایت درصد نشست الکترولیت‌ها با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد (Blum *et al.*, 2001).

$$EL\% = EC1/EC2 \times 100 \quad (2)$$

برداشت محصول بصورت دستی، بسته به زمان وقوع رسیدگی کامل، از اواخر اردیبهشت‌ماه تا اوایل خردادماه ۱۳۹۹ صورت گرفت. جهت ارزیابی عملکرد، بوته‌ها پس از حذف حاشیه برداشت شده و پس از کوبیدن و جداسازی دانه‌ها، عملکرد دانه اندازه‌گیری گردید. ماده خشک برگ گیاه نیز از طریق جمع‌آوری برگ سه بوته در هر کرت اندازه‌گیری شد؛ بدین ترتیب که با قرار دادن برگ‌های جمع‌آوری شده در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد آون به مدت ۴۸ ساعت و محاسبه میانگین وزن برگ سه بوته، ماده خشک برگ بدست آمد.

^۱- Relative Water Content

به‌واسطه جذب سریع آن‌ها توسط گیاه و اثربخشی آن‌ها در افزایش توان فتوسنتزی برگ‌ها می‌تواند سبب افزایش توان گیاه در تولید ماده خشک گردد (AL-Jobori and AL-Hadithy, 2014) و به نظر می‌رسد که این موضوع، گیاه را به سمت طولانی‌تر کردن دوره رویشی جهت تولید ماده خشک بیشتر، سوق داده است.

به‌واسطه جذب سریع آن‌ها توسط گیاه و اثربخشی آن‌ها در افزایش توان فتوسنتزی برگ‌ها می‌تواند سبب افزایش توان گیاه در تولید ماده خشک گردد (AL-Jobori and AL-Hadithy, 2014) و به نظر می‌رسد که این موضوع، گیاه را به سمت طولانی‌تر کردن دوره رویشی جهت تولید ماده خشک بیشتر، سوق داده است.

جدول ۳- تجزیه واریانس عملکرد دانه و ویژگی‌های زراعی گلرنگ

Table 3- ANOVA for seed yield and agronomic traits of safflower

منابع تغییر	درجه آزادی	تعداد روز تا تکمه‌دهی	تعداد روز تا ۵۰ درصد گلدهی	تعداد روز تا رسیدگی	محتوی محلولی الکترولیت‌ها نسبی آب گیاه	نشست الکترولیت‌ها نسبی آب گیاه	وزن خشک برگ	وزن هزار دانه	عملکرد دانه
S.o.V	df	No. of days up to heading	No. of days up to 50% flowering	No. of days up to maturity	RWC	Electrolyte leakage	Dry weight of leaf	1000 Seed weight	Seed yield
تکرار	2	18.9	16.6	25.1	3.37	5.44	2.30	0.04	690
Repetition									
رژیم آبیاری	2	54.7 **	52.7 **	71.3 **	485 **	315 **	2.19 ns	0.02 ns	82892 **
Irrigation regime (I)									
خطای کرت اصلی	4	2.09	0.704	0.370	0.981	1.72	0.552	0.01	2379
Error of main-plot									
محلول‌پاشی	2	20.6 **	14.4 **	21.4 **	83.3 **	139 **	88.88 **	0.53 **	328517 **
Spraying (S)									
رژیم آبیاری × محلول‌پاشی	4	0.259 ns	0.481 ns	0.426 ns	1.15 ns	2.05 ns	0.889 ns	0.21 **	10394 **
I × S									
خطای کرت فرعی	12	0.259	0.167	0.463	0.444	0.685	1.25	0.05	1198
Error of sub-plot									
ضریب تغییرات	-	0.411	0.300	0.364	0.794	1.28	22.6	0.752	10.4
CV (%)									

ns و **: به ترتیب، غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح یک درصد

ns and **: non-significant, significant in 1% level, respectively

جدول ۴- مقایسات میانگین اثر رژیم آبیاری بر ویژگی‌های زراعی گلرنگ

Table 4- Mean comparisons of irrigation regime on agronomic traits of safflower

رژیم آبیاری	تعداد روز تا تکمه‌دهی	تعداد روز تا ۵۰ درصد گلدهی	تعداد روز تا رسیدگی	محتوی نسبی آب گیاه	نشست الکترولیت‌ها
Irrigation regime	No. of days up to heading	No. of days up to 50% flowering	No. of days up to maturity	RWC (%)	Electrolyte leakage (%)
آبیاری کامل	126.8 ^a	141.8 ^a	190.5 ^a	91.5 ^a	58.2 ^c
Full irrigation					
قطع آبیاری در مرحله گلدهی	123.3 ^b	138.4 ^b	186.3 ^b	76.9 ^c	70.0 ^a
Cut-off irrigation at flowering stage					
قطع آبیاری در مرحله ساقه‌دهی	122.0 ^b	137.2 ^b	185.2 ^b	83.4 ^b	65.1 ^b
Cut-off irrigation at stem stage					

میانگین‌های دارای حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون LSD با یکدیگر ندارند.

Means that have a same letter, have not significantly different together at 5% based on LSD test.

وقوع ۵۰ درصد گل‌دهی در تیمار آبیاری کامل مشاهده شد و تنها در این تیمار بود که تعداد روز تا وقوع ۵۰ درصد گل‌دهی، به بیش از ۱۴۰ روز رسید (جدول ۴). دو تیمار قطع آبیاری در

تعداد روز تا وقوع ۵۰ درصد گل‌دهی

اثر رژیم‌های آبیاری بر تعداد روز تا وقوع ۵۰ درصد گل‌دهی معنی‌دار شد (جدول ۳). بدین ترتیب که بیشترین تعداد روز تا

یافته‌های محققین دیگر (McMaster and Wilhelm, 2003) که به بررسی پاسخ‌های فنولوژیکی گندم و جو تحت شرایط رطوبتی و دمایی مختلف پرداختند مطابقت دارد. محققین بیان نمودند که تنش رطوبتی می‌تولند سرعت رشد و زمان وقوع مراحل فنولوژی و در نهایت اجزای عملکرد و عملکرد دانه گیاه را تحت تأثیر قرار دهد که البته این تأثیرات بسته به مراحل نموی گیاه و البته شدت و مدت تنش، متفاوت خواهد بود (Nasr Esfahani *et al.*, 2013).

مرحله ساقه رفتن و قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی نسبت به تیمار آبیاری کامل، به ترتیب ۳/۲۴ و ۲/۴۰ درصد تعداد روز کمتری برای وقوع ۵۰ درصد گل‌دهی از خود نشان دادند (جدول ۴). به نظر می‌رسد که گیاه با استفاده از مکانیسم زودرسی، مراحل فنولوژیکی خود را زودتر طی کرده تا از این طریق، کمتر در معرض تنش قرار گرفته و با شکل‌گیری واحدهای زایشی و تکمیل چرخه زندگی قبل از وقوع گرمای انتهایی فصل، بقای خود را حفظ کند. نتایج این پژوهش با

جدول ۵- مقایسات میانگین اثر محلول‌پاشی بر ویژگی‌های زراعی گلرنگ

Table 5- Mean comparisons of spraying on agronomic traits of safflower

محتوی نسبی آب گیاه RWC (%)	تعداد روز تا رسیدگی No. of days up to maturity	تعداد روز تا ۵۰ درصد گلدهی No. of days up to 50% flowering	تعداد روز تا تکمه‌دهی No. of days up to heading	وزن خشک برگ Dry leaf weight (g plant ⁻¹)	نشست الکترولیت‌ها Electrolyte leakage (%)
عدم محلول‌پاشی Non-Spraying	182.6 ^c	134.8 ^c	122.3 ^c	1.71 ^c	68.0 ^a
سولفات منگنز MnSO ₄	187.7 ^b	136.5 ^b	124.5 ^b	5.11 ^b	65.1 ^b
سولفات روی ZnSO ₄	190.7 ^a	141.2 ^a	125.2 ^a	7.98 ^a	60.2 ^c

میانگین‌های دارای حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون LSD با یکدیگر ندارند.

Means that have a same letter, have not significantly different together at 5% based on LSD test.

نتایج بدست آمده نشان داد که اثر محلول‌پاشی بر تعداد روز تا وقوع ۵۰ درصد گل‌دهی گلرنگ معنی‌دار گردید (جدول ۳). بطوری‌که بیشترین تعداد روز تا وقوع ۵۰ درصد گل‌دهی در تیمار سولفات روی مشاهده شد که نسبت به سولفات منگنز و عدم محلول‌پاشی به ترتیب ۳/۳۲ و ۴/۵۴ درصد بیشتر بود (جدول ۵). هم‌چنین محلول‌پاشی با سولفات منگنز نسبت به شاهد، سبب برتری ۱/۲۴ درصدی در صفت تعداد روز تا وقوع ۵۰ درصد گل‌دهی گردید (جدول ۵). به نظر می‌رسد که محلول‌پاشی عناصر ریز مغذی روی و منگنز، سبب افزایش بازه زمانی بین کاشت تا وقوع ۵۰ درصد گل‌دهی و طولانی‌تر شدن دوره رویشی شده است.

تعداد روز تا رسیدگی، بیش از ۱۹۰ روز به طول انجامید (جدول ۴). دو تیمار قطع آبیاری در مرحله ساقه رفتن و قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی نسبت به تیمار آبیاری کامل، به ترتیب ۲/۷۸ و ۲/۲۰ درصد تعداد روز کمتری برای رسیدن به مرحله رسیدگی داشتند (جدول ۴). چنین به نظر می‌رسد که در شرایط اعمال تنش خشکی، گیاه مراحل فنولوژی خود را زودتر طی کرده تا کمتر در معرض تنش قرار بگیرد؛ به عبارت دیگر، عدم فراهمی آب کافی در دو تیمار قطع آبیاری در مرحله ساقه رفتن و قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی از یک طرف و وجود دماهای بالای ۳۰ درجه سانتی‌گراد در اردیبهشت‌ماه از طرف دیگر، باعث زودرسی گیاه شده است. با توجه به کاهش هر سه صفت تعداد روز تا مرحله تکمه‌دهی، تعداد روز تا وقوع ۵۰ درصد گل‌دهی و تعداد روز تا رسیدگی، به نظر می‌رسد که مراحل مختلف فنولوژیکی گیاه با یکدیگر ارتباط مثبتی داشته و با کوتاه‌تر شدن یک صفت فنولوژیکی، بقیه صفات فنولوژیکی نیز از آن متأثر خواهند شد (McMaster and Wilhelm, 2003) و این

نتایج بدست آمده نشان داد که اثر محلول‌پاشی بر تعداد روز تا وقوع ۵۰ درصد گل‌دهی گلرنگ معنی‌دار گردید (جدول ۳). بطوری‌که بیشترین تعداد روز تا وقوع ۵۰ درصد گل‌دهی در تیمار سولفات روی مشاهده شد که نسبت به سولفات منگنز و عدم محلول‌پاشی به ترتیب ۳/۳۲ و ۴/۵۴ درصد بیشتر بود (جدول ۵). هم‌چنین محلول‌پاشی با سولفات منگنز نسبت به شاهد، سبب برتری ۱/۲۴ درصدی در صفت تعداد روز تا وقوع ۵۰ درصد گل‌دهی گردید (جدول ۵). به نظر می‌رسد که محلول‌پاشی عناصر ریز مغذی روی و منگنز، سبب افزایش بازه زمانی بین کاشت تا وقوع ۵۰ درصد گل‌دهی و طولانی‌تر شدن دوره رویشی شده است.

تعداد روز تا رسیدگی

اثر رژیم‌های آبیاری بر تعداد روز تا رسیدگی گلرنگ معنی‌دار شد (جدول ۳). بدین‌صورت که بیشترین تعداد روز تا رسیدگی در تیمار آبیاری کامل مشاهده شد و در این تیمار،

متابولیسم سلولی در جهت مقابله با تنش خشکی، تلاش می‌کنند تا خسارات ناشی از تنش را کاهش دهند (Bayoumi *et al.*, 2008). نتایج تحقیق حاضر در این خصوص، با گزارشات محققین دیگر هم‌خوانی دارد. به عنوان مثال در یک پژوهش، محققین اثرات رژیم‌های آبیاری را بر صفات مورفوفیزیولوژیک گیاهچه‌های لوبیا قرمز، بررسی کردند (Rasti *et al.*, 2014). در تحقیق آن‌ها، با افزایش شدت خشکی محتوی نسبی آب برگ گیاهچه‌های لوبیا کاهش معنی‌داری یافت.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر محلول‌پاشی بر میزان محتوی نسبی آب گلرنگ معنی‌دار شد (جدول ۳). به گونه‌ای که بیشترین محتوی نسبی آب در تیمار سولفات روی مشاهده شد که نسبت به سولفات منگنز و عدم محلول‌پاشی به ترتیب ۰/۵۲ و ۷/۰۳ درصد بیشتر بود (جدول ۵). ضمن آن‌که محلول‌پاشی با سولفات منگنز نسبت به شاهد، سبب برتری ۴/۶۱ درصدی در محتوی نسبی آب گردید (جدول ۵). تحقیقات انجام شده در این زمینه نشان دادند که تجمع برخی از املاح و عناصر در سیتوسول سلول‌های برگ می‌تواند باعث منفی‌تر شدن پتانسیل اسمزی سلول‌ها شده و از خروج آب از سلول‌ها جلوگیری کند (Chimenti *et al.*, 2006). لذا چنان‌چه بتوان با کاربرد عناصری مانند روی و منگنز، در منفی‌تر شدن پتانسیل اسمزی سیتوسول و انجام تنظیم اسمزی در سلول‌های برگ تأثیرگذار بود، می‌توان تا حدی از کاهش محتوی نسبی آب جلوگیری کرد (Chimenti *et al.*, 2006).

نشست الکترولیت‌ها

اثر رژیم‌های آبیاری بر میزان نشست الکترولیت‌ها معنی‌دار شد (جدول ۳). بدین‌صورت که با اعمال تیمارهای کم آبیاری، میزان نشست الکترولیت‌ها بطور معنی‌داری افزایش پیدا کرد. کمترین میزان نشست الکترولیت‌ها در تیمار آبیاری کامل مشاهده شد. در این تیمار میزان نشست الکترولیت‌ها، کمتر از ۶۰ درصد بود (جدول ۴). درحالی‌که در دو تیمار قطع آبیاری در مرحله ساقه رفتن و قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی میزان نشست الکترولیت‌ها بیش از ۶۵ درصد بود (جدول ۴). بطور کلی غشاء سلول، از اولین بخش‌های گیاهی است که در شرایط تنش آسیب می‌بیند و با افزایش شدت تنش، از خاصیت نفوذپذیری انتخابی آن کاسته می‌شود (Garg and Singla, 2009). سایر

موضوع می‌تواند در کوتاه شدن دوره رشد، زودرسی و احتمالاً کاهش عملکرد گیاه مؤثر باشد. با وقوع زودتر مرحله رسیدگی، مدت زمان لازم برای پر شدن دانه‌ها نیز کاهش یافته و این موضوع می‌تواند عملکرد دلنه کمتر را در پی داشته باشد (McMaster and Wilhelm, 2003).

علاوه بر این، اثر محلول‌پاشی بر تعداد روز تا رسیدگی گلرنگ معنی‌دار شد (جدول ۳). به گونه‌ای که بیشترین تعداد روز تا رسیدگی در تیمار سولفات روی مشاهده شد که نسبت به سولفات منگنز و عدم محلول‌پاشی به ترتیب ۴/۲۵ و ۱/۵۷ درصد بیشتر بود (جدول ۵). ضمن آن‌که محلول‌پاشی با سولفات منگنز نسبت به شاهد، سبب برتری ۲/۷۱ درصدی در صفت تعداد روز تا رسیدگی گردید (جدول ۵). این نتایج نشان می‌دهند که کاربرد عناصر ریز مغذی روی و منگنز می‌تواند سبب افزایش بازه زمانی هر یک از مراحل فنولوژی گیاه گلرنگ شده و این امر در نهایت طولانی‌تر شدن زمان رسیدگی گیاه را به همراه داشته باشد. عموماً طولانی‌تر شدن فصل رشد، خود افزایش تولید ماده خشک در طول فصل رشد را به همراه داشته (Koocheki and Sarmad Nia, 2013) و می‌تواند سبب افزایش عملکرد گردد.

محتوی نسبی آب (RWC)

اثر رژیم‌های آبیاری بر میزان محتوی نسبی آب برگ معنی‌دار شد (جدول ۳). بدین ترتیب که بیشترین میزان محتوی نسبی آب در تیمار آبیاری کامل وجود داشت و تنها در این تیمار بود که میزان محتوی نسبی آب، به بیش از ۹۱ درصد رسید (جدول ۴). دو تیمار قطع آبیاری در مرحله ساقه رفتن و قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی نسبت به تیمار آبیاری کامل، به ترتیب ۸/۸۵ و ۱۵/۹ درصد محتوی نسبی آب کمتری از خود نشان دادند (جدول ۴). بطور کلی با اعمال تیمارهای کم آبیاری، میزان محتوی نسبی آب بطور معنی‌دار و قابل توجهی کاهش یافت. عموماً تنش خشکی بر محتوی نسبی آب برگ‌ها اثر گذاشته و افزایش شدت تنش سبب کاهش میزان آب نسبی برگ‌ها می‌شود؛ لذا محققین از محتوی نسبی آب برگ به عنوان شاخص مناسبی جهت ارزیابی وضعیت آب برگ‌ها یاد می‌کنند (Garg and Singla, 2009). تحقیقات انجام شده در مقیاس سلولی نشان دادند که گیاهان از طریق ایجاد تغییر در

افزایش میزان فتوسنتز و دوام سطح برگ گیاهان می‌شود و از این طریق سبب افزایش عملکرد زیستی می‌گردد. اعمال عناصر ریزمغذی مانند روی و منگنز از طریق محلول‌پاشی، بواسطه جذب سریع آن‌ها توسط گیاه و افزایش توان فتوسنتزی برگ‌ها می‌تواند سبب افزایش عملکرد زیستی گردد (AL-Jobori and AL-Hadithy, 2014). با توجه به اینکه وزن خشک برگ، معیاری از وزن خشک اندام فتوسنتزکننده است، به نظر می‌رسد که افزایش وزن آن، می‌تواند در افزایش ظرفیت فتوسنتزی گیاه تأثیر بسزایی داشته باشد. گزارشات علمی حاکی از آن است که عنصر روی بواسطه تأثیر بر سنتز هورمون اسید ایندول استیک، باعث تحریک رشد رویشی گیاه می‌شود (Brown et al., 1993). عنصر منگنز نیز بواسطه تأثیر بر شکستن مولکول آب و تأمین الکترون جایگزین در فرایند فتوسنتز، روی فتوسنتز گیاهان تأثیر مثبت گذاشته و فراهمی آن می‌تواند ظرفیت فتوسنتزی گیاه را افزایش دهد (Romheld and Marschner, 1991). از این رو، افزایش وزن خشک برگ به دلیل نقش‌های این دو عنصر در افزایش توان فتوسنتز گیاه نسبت به تیمار شاهد منطقی به نظر می‌رسد.

وزن هزار دانه

اثر متقابل رژیم آبیاری و محلول‌پاشی بر وزن هزار دانه گلرنگ معنی‌دار شد (جدول ۳). بدین صورت که به غیر از دو تیمار عدم محلول‌پاشی در شرایط قطع آبیاری در مراحل ساقه رفتن و گل‌دهی، که وزن هزار دانه پایینی داشتند، سایر تیمارها وزن هزار دانه بیش از ۲۹ گرم را نشان دادند و در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۱)؛ اما در دو تیمار عدم محلول‌پاشی در شرایط قطع آبیاری در مراحل ساقه رفتن و گل‌دهی، وزن هزار دانه کمتر از ۲۶ گرم بود (شکل ۱). در شرایط آبیاری کامل، انجام محلول‌پاشی تأثیری بر وزن هزار دانه نداشت؛ اما در شرایط قطع آبیاری در مراحل ساقه رفتن و گل‌دهی، انجام محلول‌پاشی با سولفات روی و منگنز سبب افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه شد (شکل ۱). به‌طور کلی وزن هزار دانه تابعی از سرعت و طول دوره پر شدن دانه است که از دو منبع فتوسنتز جاری و انتقال مجدد مواد ذخیره‌ای در گیاه تأمین می‌شود. به نظر می‌رسد در تیمارهای قطع آبیاری، این مؤلفه‌ها از سرعت و مدت کمتری نسبت به شرایط عدم تنش برخوردار بودند. در

محققین نیز در گزارشات خود عنوان کردند که وقوع تنش رطوبتی (عدم آبیاری از مرحله گل‌دهی) در ارقام کلزا باعث افزایش معنی‌دار نشست الکترولیت‌ها در مقایسه با تیمار شاهد (آبیاری کامل) گردید (Rashtbari et al., 2012).

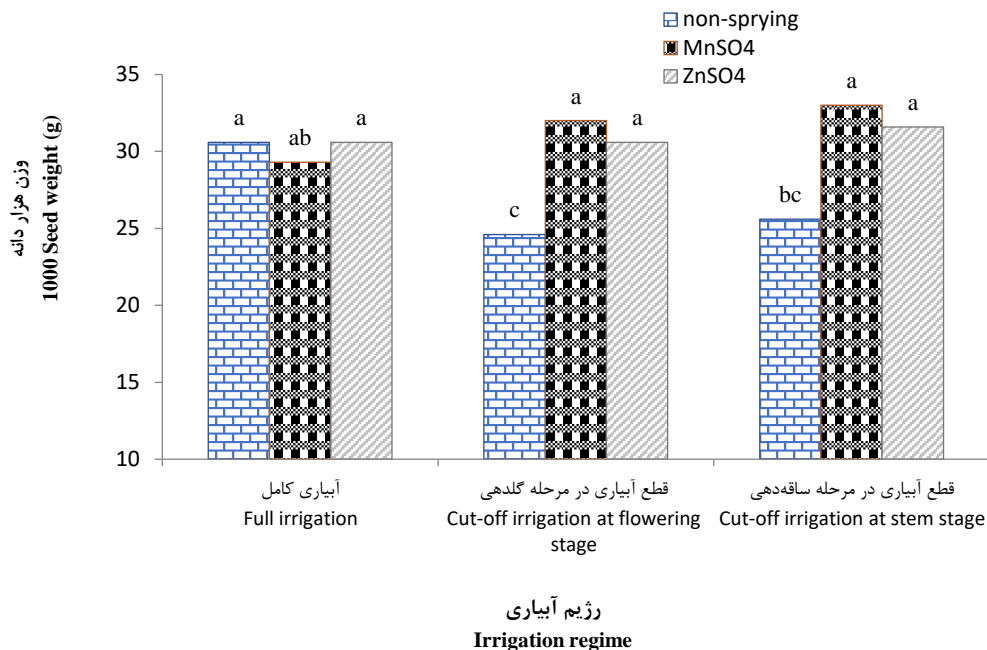
اثر محلول‌پاشی بر میزان نشست الکترولیت‌های گلرنگ معنی‌دار شد (جدول ۳). به طوری که کمترین میزان نشست الکترولیت‌ها به میزان ۶۰/۲ درصد در تیمار سولفات روی مشاهده شد و پس از این تیمار، محلول‌پاشی با سولفات منگنز در رتبه بعدی قرار گرفت (جدول ۵). بیشترین میزان نشست الکترولیت‌ها نیز به میزان ۶۸ درصد در تیمار عدم محلول‌پاشی مشاهده شد (جدول ۵). بر اساس نتایج پژوهش حاضر، محلول‌پاشی با عناصر روی و منگنز بطور معنی‌داری در کاهش میزان نشست الکترولیت‌ها مؤثر بود. به نظر می‌رسد که کاربرد عناصر روی و منگنز به دلیل تأثیر بر افزایش فعالیت ترکیبات آنتی‌اکسیدانی، کاهش میزان نشست الکترولیت‌ها را به دنبال داشته است؛ زیرا که شکل‌گیری این ترکیبات آنتی‌اکسیدانی مستلزم فراهمی عناصر لازم جهت بیوسنتز آن‌ها بوده (Arshadi, 2016) و به نظر می‌رسد که کاربرد عناصر روی و منگنز می‌تواند در تولید این ترکیبات مؤثر باشد. با توجه به وجود دمای بالای هوا در اواخر فصل رشد گیاه (جدول ۱) و به دنبال آن، تبخیر و تعرق زیاد در منطقه مورد مطالعه، مواجهه گیاه با شرایط تنش، اجتناب‌ناپذیر به نظر می‌رسد. لذا احتمالاً کاربرد عناصر روی و منگنز بتواند بواسطه بهبود فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه، در تعدیل میزان نشست الکترولیت‌ها مؤثر باشد.

وزن خشک برگ

اثر رژیم‌های آبیاری بر وزن خشک برگ گلرنگ معنی‌دار نشد (جدول ۳)؛ اما اثر محلول‌پاشی بر میزان وزن خشک برگ گلرنگ معنی‌دار گردید (جدول ۳). بطوری که بیشترین وزن خشک برگ در تیمار سولفات روی مشاهده شد که نسبت به سولفات منگنز و عدم محلول‌پاشی به ترتیب ۳۵/۹ و ۷۸/۶ درصد بیشتر بود (جدول ۵). ضمن آن‌که محلول‌پاشی با سولفات منگنز نسبت به شاهد، سبب برتری ۶۶/۵ درصدی در وزن خشک برگ گردید (جدول ۵). تحقیقات نشان دادند که محلول‌پاشی با عناصر ریزمغذی مانند روی و منگنز سبب

با این وجود، محلول‌پاشی با عناصر ریزمغذی ضمن جلوگیری از کاهش میزان فتوسنتز به دلیل بهبود محتوای کلروفیل، موجب می‌شود که انتقال مواد به سمت دانه‌ها نیز به خوبی صورت گیرد که در نهایت منجر به افزایش وزن هزار دانه می‌گردد (Gercek *et al.*, 2009).

مطالعه‌ای، مشخص گردید که در تمام سطوح تنش خشکی، بالاترین میزان وزن هزار دانه بدست آمده، مربوط به تیمار محلول‌پاشی با سولفات روی بود (Sinaki *et al.*, 2007). تحقیقات نشان داده‌اند که زمانی که گیاه در معرض محدودیت آبی قرار می‌گیرد، میزان کلروفیل برگ‌های آن کاهش می‌یابد.



شکل ۱- مقایسات میانگین اثر متقابل رژیم‌های آبیاری و محلول‌پاشی سولفات روی و منگنز بر وزن هزار دانه گلرنگ

Figure 1- Mean comparisons of interaction of irrigation regime and spraying of ZnSO₄ and MnSO₄ on 1000 seed weight of safflower. میانگین‌های دارای حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون LSD با یکدیگر ندارند.

Means that have a same letter, have not significantly different together at 5% based on LSD test.

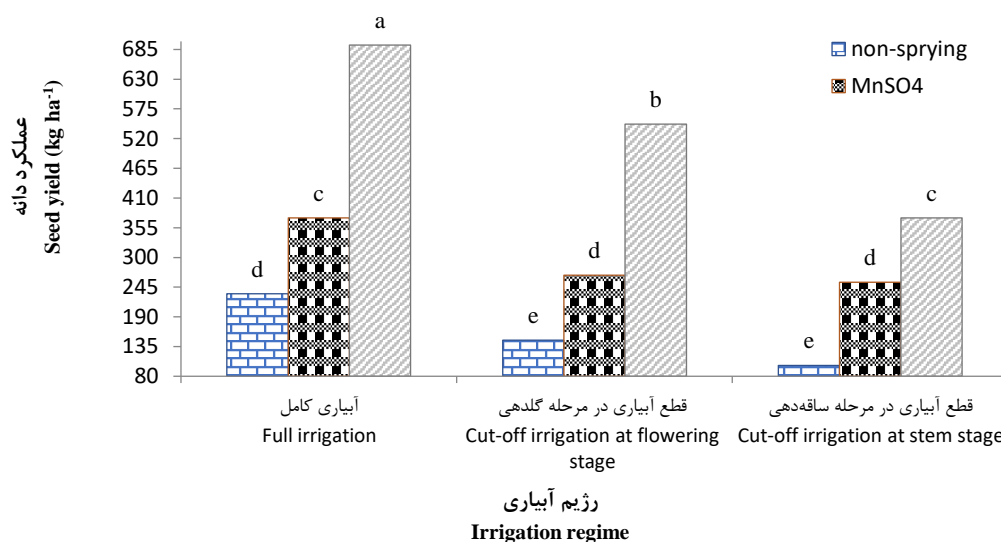
البته این اثربخشی مثبت در تیمار سولفات روی نسبت به سولفات منگنز به مراتب بیشتر بود (شکل ۲). با توجه به اینکه رشد سلول‌ها وابستگی زیادی به فراهمی آب و حفظ آماس سلولی داشته و کاهش فشار تورژسانس سبب کاهش سرعت رشد و نمو سلول‌ها می‌شود (Khalid *et al.*, 2019)، برتری عملکرد دانه در تیمار آبیاری کامل نسبت به تیمارهای قطع آبیاری در مراحل ساقه‌دهی و گل‌دهی قابل توجیه می‌باشد. همچنین به نظر می‌رسد که بیشتر بودن عملکرد دانه در تیمار محلول‌پاشی با سولفات روی به افزایش توان فتوسنتزی گیاه مرتبط است (Pasandi *et al.*, 2018). ضمن آن که مطالعات علمی نشان داده‌اند که فعالیت آنزیم‌ها تا حد زیادی به وجود ریزمغذی‌ها بستگی دارد. ریزمغذی‌ها می‌توانند بر فعالیت آنزیم‌ها اثر بگذارند و با تحریک فرایند انتقال مجدد از منبع به

عملکرد دانه

اثر متقابل رژیم آبیاری و محلول‌پاشی بر عملکرد دانه گلرنگ معنی‌دار شد (جدول ۳). بدین‌صورت که قطع آبیاری در مراحل ساقه رفتن و گل‌دهی در شرایط عدم محلول‌پاشی نسبت به سایر مراحل فنولوژیک و انجام محلول‌پاشی سبب کاهش معنی‌دار عملکرد دانه گردید. همچنین انجام آبیاری کامل و محلول‌پاشی با سولفات روی نسبت به تیمار قطع آبیاری در مرحله ساقه‌دهی و عدم محلول‌پاشی، سبب افزایش ۸۵/۶ درصدی عملکرد دانه شد (شکل ۲). علاوه بر این، عملکرد دانه در شرایط انجام آبیاری و عدم محلول‌پاشی نسبت به قطع آبیاری در مرحله ساقه‌دهی و عدم محلول‌پاشی ۵۷ درصد بیشتر بود (شکل ۲). بطور کلی در هر یک از سطوح رژیم‌های آبیاری، انجام محلول‌پاشی سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه شد که

تحقیق حاضر، عملکرد گلرنگ تحت تیمارهای مختلف، پایین‌تر از متوسط عملکرد آن در کشور بود. این موضوع می‌تواند ناشی از گرمای هوا و شرایط نامساعد آب و هوایی، عدم تأمین رطوبت کافی در طول فصل رشد و فقر خاک از نظر ماده آلی و عناصر غذایی باشد؛ لذا به نظر می‌رسد که تأمین آب و عناصر مورد نیاز گیاه برای گلرنگ در این منطقه جهت حصول عملکردهای قابل قبول، امری ضروری به نظر می‌رسد.

مخزن سبب افزایش عملکرد دانه گیاه شوند (Marschner, 2012) علاوه بر این، علت افزایش عملکرد دانه در سطوح محلول‌پاشی با عناصر ریزمغذی را می‌توان به نقش مهم این عناصر در افزایش میزان کلروفیل، ارتقای فعالیت‌های کاتالیزوری و فرآیندهای متابولیکی، حفظ آماس سلولی در گیاه و افزایش قندهای محلول کل برگ نسبت داد؛ این اثرات مثبت موجب می‌شوند تا گیاه به فعالیت‌های حیاتی خود حتی تحت شرایط تنش ادامه دهد (Thalooth *et al.*, 2006). بطور کلی در



شکل ۲- مقایسات میانگین اثر متقابل رژیم‌های آبیاری و محلول‌پاشی سولفات روی و منگنز بر عملکرد دانه گلرنگ

Figure 2- Mean comparisons of interaction of irrigation regime and spraying of ZnSO₄ and MnSO₄ on seed yield of safflower

میانگین‌های دارای حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون LSD با یکدیگر ندارند.

Means that have a same letter, have not significantly different together at 5% based on LSD test.

به نظر می‌رسد که ریسک انجام کم آبیاری در زراعت گلرنگ در این منطقه بسیار بالا بوده و لذا انجام آبیاری کامل در زراعت گلرنگ در این منطقه قابل توصیه است. هم‌چنین با توجه به قلیایی بودن خاک مناطق خشک و غیر قابل جذب بودن عناصر روی و منگنز توسط گیاه و اثرات مثبت این عناصر در رابطه با سیستم دفاعی و فتوسنتزی گیاه (بویژه سولفات روی) محلول‌پاشی با سولفات روی برای گلرنگ در شرایط آب و هوایی سرراوان توصیه می‌گردد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان داد که تحت شرایط مختلف رژیم‌های آبیاری، محلول‌پاشی با سولفات روی و منگنز می‌تواند نقش مهمی در کاهش اثرات ناشی از تنش خشکی در گیاه گلرنگ نسبت به عدم محلول‌پاشی داشته باشد. بطور کلی قطع آبیاری در مراحل ساقه رفتن و گل‌دهی سبب کاهش شدید عملکرد دانه در گیاه گلرنگ نسبت به شرایط آبیاری کامل گردید. با توجه به بالا بودن دمای محیط در منطقه مورد مطالعه،

References

AL-Jobori, K.M.M. and AL-Hadithy, S.A. 2014. Response of potato (*Solanum Tuberosum*) to foliar application

- of iron, manganese, copper and zinc. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 7: 358-363.
- Alscher, R.G., Erturk, N. and Heath, L.S.** 2002. Role of superoxide dismutases (SODs) in controlling oxidative stress in plant. *Journal of Experimental Botany*, 53: 1331-1341.
- Anonymous.** 2020. Information bank of database and statistic of agricultural Jihad organization. Ministry of Agriculture. (In Persian).
- Arshadi, M.J.** 2016. Investigation of the effect of seeds inoculation of chickpea (*Cicer arietinum* L.) with arbuscular mycorrhiza and pseudo-endomycorrhiza in response to drought stress. Ph.D. Thesis. Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. (In Persian).
- Bannayan, M., Nadjafi, F., Azizi, M., Tabrizi, L. and Rastgoo, M.** 2008. Yield and seed quality of *Plantago ovata* and *Nigella sativa* under different irrigation treatments. *Industrial Crops and Products*, 27: 11-16. (In Persian).
- Barjasteh, A.R.** 2017. Evaluation of drought stress on wheat (*Triticum aestivum* L.) and wild oat (*Avena ludoviciana*) competition. Ph.D. Thesis, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. (In Persian).
- Bayoumi, T.Y., Eid, M. and Metwali, E.M.** 2008. Application of physiological and Biochemical indices as a screening technique for drought tolerance in wheat genotypes. *African Journal of Biotechnology*, 7: 2341-2352.
- Blum, A., Klueva, N. and Nguyen, H.T.** 2001. Wheat cellular thermos tolerance is related to yield under stress. *Euphytica*, 117: 117-123.
- Brown, P.H., Cakmak, I. and Zhang, Q.** 1993. Form and function of zinc in plants. Page: 93-106. In: Robson, A. D. (Ed). Zinc in soil and plants. Kluwar Academic Publishers. Dordecht, the Netherlands.
- Cakmak, I.** 2008. Role of zinc in protecting plant cells from reactive oxygen species. *New Phytologist Trust*, 146: 185-205.
- Chimenti, C.A., Marcantonio, M. and Hall, A.J.** 2006. Divergent selection for osmotic adjustment results in improved drought tolerance in maize (*Zea mays* L.) in both early growth and flowering phases. *Field Crops Research*, 95: 305-315
- Crabtree, W.L.** 1999. Deep placement of Mn fertilizer on a sandy soil increased grain yield and reduced split seed in *Lupinus angustifolius*. *Plant Soil*, 214: 9-14.
- 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.
- Fathi, M.** 2015. Effects of climate and topography on micronutrients geographical distribution in Esfahan province soils. PhD Thesis, Shahid Chamran University of Ahvaz. (In Persian).
- Garg, N. and Singla, R.** 2009. Variability in the response of chickpea cultivars to short-term salinity, in terms of water retention capacity, membrane permeability and osmo-protection. *Turkish Journal of Agriculture*, 33: 1-7.
- Gercek, S., Boydak, E., Okant, M. and Dikilitas, M.** 2009. Water pillow irrigation compared to furrow irrigation for soybean production in a semi-arid area. *Agricultural Water Management*, 96: 87-92.

- Juyban, A.** 2018. Study of the effect of levels of irrigation, nitrogen and potassium on growth characteristics, physiological and yield of halophyte species, blue panic grass (*Panicum antidotale* Retz.). Ph.D. Thesis, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. (In Persian).
- Kang, S., Zhang, L., Ling, Y., Hu, X., Cai, H. and Gu, B.** 2002. Effects of limited irrigation on yield and water use efficiency of winter wheat in the Loess Plateau of China. *Agricultural Water Management*, 55(3): 203-216.
- Kar, G., Kumar, A. and Martha, M.** 2007. Water use efficiency and crop coefficients of dry season oilseed crops. *Agricultural Water Management*, 87: 73-82.
- Khajeh Poor, M.R.** 2011. Industrial Crops. Jihad Daneshgahi Publications of Esfahan. (In Persian).
- Khalid, M.F., Hussain, S., Ahmad, S., Ejaz, S., Zakir, I., Ali, M.A., Ahmed, N. and Anjum, M.A.** 2019. Impacts of Abiotic Stresses on Growth and Development of Plants. In Plant Tolerance to Environmental Stress. CRC Press: Boca Raton, FL, USA. P 1-8.
- Khan, M., Qasim, M. and Jamil, M.** 2002. Effect of different levels of Zinc on the extractable Zinc content of soil and chemical composition of rice. *Asian Journal of Plant Science*, 1: 20-21.
- Koocheki, A.R. and Sarmad Nia, Gh.** 2013. Crop physiology. Ferdowsi University of Mashhad Publications. (In Persian).
- Lewis, D.C. and McFarlane, J.D.** 1986. Effect of foliar applied manganese on the growth of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) and the diagnosis of manganese deficiency by plant tissue and seed analysis. *Australian Journal of Agricultural Research*, 37: 567-572.
- Lovelli, S., Perniola, M., Ferrara, A. and Di Tommaso, T.** 2007. Yield response factor to water (Ky) and water use efficiency of *Carthamus tinctorius* L. and *Solanum melongena* L. *Agricultural Water Management*, 92: 73-80.
- Mashaal, M., Varavi Poor, M., Noori, A. and Zare Zirak, A.** 2008. Optimizing the water depth of corn with low irrigation (Case study: Varamin plain). *Agricultural Research*, 8(4): 123-134. (In Persian).
- Marschner, H.** 2012. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants, 3rd Edn London:
- McMaster, G.S. and Wilhelm, W.** 2003. Phenological responses of wheat and barley to water and temperature: improving simulation models. *Journal of Agricultural Science*, 141: 129-147.
- Nasr Esfahani, M., Rafizadeh, Sh., Rostampour, M., Karimkhah, M.A. and Atash Bahar, S.** 2013. Investigation of yield components of promising wheat lines in Isfahan. *Journal of Crop Physiology*, 5(17): 31-48. (In Persian).
- 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.
- Rashtbari, M., Alikhani, H.A. and Ghorchiani, M.** 2012. Effect of vermi-compost and municipal solid waste compost on growth and yield of canola under drought stress conditions. *International Journal of Agriculture*, 2 (4): 395-402
- Rasti, M., Lahuti, M. and Ganjali, A.** 2014. Investigation of the effect of drought stress on morpho-physiological and chlorophyll fluorescence traits of red bean seedlings. *Iranian Journal of Pulses Research*, 5(1): 105-116.

(In Persian).

- Ritchie, S.W. and Nguyen, H.T.** 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science*, 30: 105-111.
- Romheld, V. and Marschner, H.** 1991. Function of micronutrients in plants. In: Mortvedt, J.J. Cox, F.R. Shuman, L.M. Welch, R.M. (Eds.), *Micronutrients in Agriculture*. Soil Science Society of America, Book Series No. 4: Madison, USA, pp. 297-328.
- Sebastian, A. and Prasad, M.N.V.** 2015. Iron-and manganese-assisted cadmium tolerance in *Oryza sativa* L.: Lowering of rhizo-toxicity next to functional photosynthesis. *Planta*, 241(6): 1519-1528.
- Shahnazari, A., Ahmadi, S.H., Laerke, P.E., Liu, F., Plauborg, F., Jacobsen, S.E., Jensen, C.R. and Andersen, M.N.** 2008. Nitrogen dynamics in the soil-plant system under deficit and partial root-zone drying irrigation strategies in potato. *European Journal of Agronomy*, 28: 65-73.
- Shahsavari, M., Yasari, T., Barzegar, A. and Omid, A.** 2005. Study of developmental stages and their relationship with seed yield in ten advanced safflower genotypes. *Journal of Research and Construction*, 68: 75-83. (In Persian).
- 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-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science*, 2(4): 417-424.
- Soleimani, R., Nour Gholipour, F. and Moshiri, F.** 2017. The effect of foliar application of zinc, iron and manganese on the yield and nutrient content of safflower seed (*Carthamus tinctorius* L.). *Iranian Journal of Crop Sciences*, 19(1): 1-12. (In Persian).
- Thalooth, A.T., Tawfik, M.M. and Magda Mohamed, H.** 2006. A comparative study on the effect of foliar application of zinc, potassium and magnesium on growth, yield and some chemical constituents of mung bean plants grown under water stress conditions. *World Journal of Agricultural Sciences*, 2: 37-46.
- Zahedi, H. and Ali Poor, A.** 2018. The effect of foliar application of iron and manganese nano clates on yield and yield components of barley (*Hordeum vulgare* L.) under water stress conditions at different stages of growth. *Journal of Environmental Stress in Crop Science*, 11(4): 847-861. (In Persian).

Investigation of the effect of irrigation regime and foliar application of ZnSO₄ and MnSO₄ on yield, some physiological and phenological characteristics of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) in Saravan climatic conditions

Seyed Masoud Ziaei^{1*}, Mohsen Zafarani²

¹Department of Plant Production, Faculty of Agriculture, Higher Education Complex of Saravan, Saravan, Iran

²Department of Plant Production, Faculty of Agriculture, Velayat University, Iranshahr, Iran

*Corresponding Author: m.ziaei@saravan.ac.ir

Received: 18 March 2022

Accepted: 30 April 2022

DOI: 10.22034/CSRAR.2023.334748.1214

Abstract

Introduction: The use of low irrigation regimes to save water consumption can help as a water management solution to increase the cultivated area and also determine the optimal cultivation pattern. The importance of oil products such as safflower has increased in recent years around the world. In general, safflower is produced on relatively dry marginal lands with low input. Efforts are being made to improve the yield and seed quality of this plant through the development of new genotypes and agricultural practices around the world. But the fact is that drought also affects the growth and performance of this plant. Zinc plays an important role in seed and biomass production, chlorophyll production, the pollination process, and even plant germination.

Materials and Methods: The purpose of this experiment was to investigate different levels of irrigation regime and foliar application of zinc and manganese sulfate in the research farm of Saravan Education Complex as a split plot in a randomized complete block design with three replications. The main plot included full irrigation, cut-off irrigation at the stem stage, and cut-off irrigation at the flowering stage, and the sub-plot included three levels of foliar application with zinc sulfate (three per thousand), manganese sulfate (three per thousand), and without foliar application (control). The harvest was done manually, depending on the time of full processing, from the end of May to the beginning of June 2019. In order to evaluate the yield, the plants were harvested after removing the margins, and after beating and separating the seeds, the yield was measured. The dry matter of plant leaves was also measured by collecting the leaves of three plants in each plot. Thus, by placing the collected leaves in an oven at 75°C for 48 hours and calculating the average leaf weight of three plants, the leaf dry matter was obtained. Analysis of data variance was done using SAS software (9/1 version), and mean comparisons were done at the five percent probability level using the LSD test.

Results and Discussion: The results showed that the cut-off of irrigation in the stem and flowering stages reduced the number of days up to heading, the number of days up to 50% flowering, and the number of days up to maturity irrigation compared to full irrigation. Also, interruption of irrigation in the stem and flowering stages compared to full irrigation conditions significantly reduced RWC and significantly increased electrolyte leakage. Foliar application with zinc sulfate compared to manganese sulfate and no foliar application caused a significant increase of 0.53 and 2.31 percent in the number of days to heading, 1.71 and 2.54 percent in the number of days up to 50% flowering, and 0.52 and 1.64 percent in the number of days up to maturity, respectively. Foliar application of zinc sulfate and manganese sulfate significantly increased RWC and decreased electrolyte leakage compared to no foliar application. At each level of the irrigation regime, foliar application significantly increased seed yield, which was more effective in zinc sulfate treatment than manganese sulfate.

Conclusion: In general, full irrigation and foliar application of zinc sulfate are recommended for safflower cultivation in the Saravan climate. In general, the cut-off of irrigation in the stages of stem growth and flowering caused a sharp decrease in grain yield in safflower plants compared to full irrigation conditions. Considering the high ambient temperature in the study area, it seems that the

risk of under-irrigation in safflower cultivation in this area is very high, and therefore it is recommended to carry out full irrigation in safflower cultivation in this area. Also, due to the alkalinity of the soil in dry areas and the non-absorbability of zinc and manganese elements by the plant and the positive effects of these elements in relation to the defense and photosynthesis systems of the plant (especially zinc sulfate), foliar spraying with zinc sulfate for safflower in Saravan weather conditions is recommended.

Keywords: Cut-off of irrigation, Electrolyte leakage, Flowering, Zinc sulfate