مجله پژوهش‌های به زراعی
جلد۱۵ ، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۲

مجله پژوهش‌های به زراعی

اثر محلول‌پاشی سیلسیم بر ویژگی‌های رویشی، عملکرد و اجزای عملکرد رقم‌های گلرنگ در شرایط محدودیت آبیاری

مهدی نجفیان[۱]، محمد رحیم اوجی[۲]*، فرهاد مهاجری[۳]، مهدی مدن دوست[۳]

۱-دانشجوی دکتری اگروتکنولوژی، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، واحد فسا، دانشگاه آزاد اسلامی، فسا، ایران
۲-استادیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، واحد فسا، دانشگاه آزاد اسلامی، فسا، ایران
۳-دانشیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، واحد فسا، دانشگاه آزاد اسلامی، فسا، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۹/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۷

چکیده

با هدف اثر محلول‌پاشی سیلسیم بر ویژگی‌های رویشی، عملکرد و اجزای عملکرد رقم‌های گلرنگ در شرایط محدودیت آبیاری در منطقه گرم و خشک استان فارس، طی سال‌های ۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹، آزمایشی به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب بلوک کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تیمارها شامل چهار سطح آبیاری (شاهد، قطع آبیاری در مراحل ساقه‌روی، گلدهی و تشکیل دانه) در کرت‌های اصلی، سه سطح محلول‌پاشی سیلیسیم (غلظت ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و سه رقم گلرنگ (فرامان، گلدشت و گلمهر) در کرت‌های فرعی بودند. نتایج حاکی از اثر معنی‌دار تیمارهای آزمایش بر ویژگی‌های مورد مطالعه داشت. قطع آبیاری در مرحله گلدهی منجر به کاهش ۲۳ درصدی قطر طبق، ۵۸ درصدی تعداد دانه و ۲۸ درصدی وزن هزار دانه شد. محلول‌پاشی سیلیسیم با غلظت ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، افزایش ویژگی‌های مورد مطالعه را در مقایسه با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به همراه داشت. در مجموع، قطع آبیاری در مرحله ساقه‌روی منجر به کاهش ویژگی‌های رویشی رقم‌ها و اعمال تنش آبی در مراحل رشد زایشی، به ویژه گلدهی، منجر به کاهش عملکرد گیاه شد. همچنین، محلول‌پاشی سیلیسیم در غلظتی بین ۱۵۰ تا ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر جهت افزایش عملکرد رقم‌ها در منطقه و کاهش هزینه‌های اقتصادی و زیست محیطی کفایت می‌کند. در این تحقیق فرامان و گلدشت به عنوان رقم های برتر انتخاب گردیدند.

واژه‌های کلیدی: فرامان، قطر طبق، گلدشت، گلمهر، وزن هزار دانه

* نویسنده مسئول (ahimowji@gmail.com)

مقدمه

بخش گسترده‌ای از روغن خوراکی کشور از طریق واردات فراهم می‌شود. از این رو، توسعه کشت دانه‌های روغنی جهت دستیابی به خودکفایی در تولید روغن بسیار مهم می‌باشد. در میان دانه‌های روغنی سازگار با شرایط آب و هوایی ایران، گلرنگ[1] به عنوان یک گیاه مقاوم به تنش شوری و خشکی و به دلیل برخورداری از تیپ رشد بهاره و پاییزه از آینده نویدبخشی برخوردار است. این گیاه از نظر ویتامین A، آهن، فسفر و کلسیم غنی بوده و به دلیل برخورداری از روغن با کیفیت، استفاده در غذای طیور، چرخه زندگی کوتاه، کاربرد دارویی و صنعتی مورد توجه پژوهشگران قرار دارد. با وجود تمامی مزایای ذکر شده، عملکرد این گیاه در کشور پایین می‌باشد (پاسبان اسلام و همکاران، ۱۴۰۰). طبق اعلام سازمان فائو عملکرد دانه گلرنگ در ایران در سال ۲۰۲۲ معادل ۴/۸۴۹ کیلوگرم در هکتار بوده در حالی که تولید جهانی نزدیک به ۹۹۵/۵۰۷ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است (FAO, 2024).

محدویت آب در مناطق خشک مهم‌ترین عامل کاهش محصولات کشاورزی به شمار می‌آید (Kompas *et al.*, 2024). در کشور ایران به علت قرارگیری بخش زیادی از زمین‌های کشاورزی در منطقه خشک و نیمه خشک، مهم‌ترین عامل محدودکننده رشد گیاهان آب می‌باشد. بنابراین، ضروری است برنامه‌های به‌نژادی و به‌زراعی به صورتی طراحی شود که با بروز مشکل کم آبی در آینده نزدیک، دستیابی به بیشترین تولید محصول امکان‌پذیر باشد. از سوی دیگر، اطلاع از واکنش گیاهان و یا رقم‌های یک گیاه در مواجه با تنش خشکی یکی از روش‌های مطلوب در تشخیص مقاوم‌ترین رقم‌ها به کم آبی گزارش شده است.گیاهان در شرایط تنش، واکنش‌های متفاوتی نشان می‌دهند که تغییرات مورفولوژیکی، نموی، بازداری از رشد ساقه، افزایش رشد ریشه، تنظیم انتقال یون‌ها و تغییرات متابولیکی را شامل می‌شود (خیاط مقدم و همکاران، ۱۴۰۰؛ Flores-Saavedra *et al.*, 2023).

در میان روش‌های مختلف افزایش عملکرد گیاهان زراعی در شرایط تنش‌های محیطی، کاربرد خارجی عناصر نیز جهت کاهش اثر نامطلوب تنش

[1]- *Carthamus tinctorius* L.

خشکی به دلیل جذب سریع عناصر معدنی، کاربرد در طی فصل رشد، عدم محدودیت مربوط به آبشویی، جذب توسط ذرات خاک و از دست رفتن توسط فرسایش مورد توجه فراوانی قرار دارد (یداللهی فارسانی و همکاران، ۱۴۰۰). در همین راستا، نقش برخی از عناصر از قبیل سیلیسیم مورد توجه پژوهشگران می‌باشد. گزارش شده است که سیلیسم از طریق ریشه جذب شده و نقش مهمی در گیاهان زراعی ایفا می‌کند. به طوری که ورس را کاهش داده، مقاومت در برابر آفات و بیماری‌ها و همچنین، جهت‌گیری برگ‌ها در مقابل نور و در نتیجه، فتوسنتز را افزایش می‌دهد (خدابنده‌لو و همکاران، ۱۳۹۳).

در ارزیابی اثر تنش خشکی آخر فصل بر عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های امیدبخش گلرنگ، نتایج نشان داد که در اثر تنش خشکی اجزای عملکرد، عملکرد دانه و شاخص‌های فیزیولوژیک به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. افزون بر این، رقم پدیده و لاین امیدبخش ۶۸، با دستیابی به بیشترین عملکرد دانه و شاخص‌های مورد بررسی به عنوان رقم‌های برتر معرفی شدند (پاسبان اسلام و همکاران، ۱۴۰۰). نقوی و همکاران (۱۳۹۹) با اعمال تنش آبیاری در مراحل گلدهی، غوزه‌دهی، تشکیل دانه و بدون قطع آبیاری بر رقم‌های داخلی گلمهر، پدیده و فرامان و رقم‌های خارجی یوت و نبراسکا ۱۰ نشان دادند که بیشترین عملکرد دانه از تیمار بدون قطع آبیاری و رقم یوت به دست آمد. کمترین عملکرد دانه نیز مربوط به تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی و رقم پدیده بود.

در بررسی اثر سیلیکات پتاسیم و تنش خشکی آخر فصل بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی کلزا، نتایج حاکی از اثر معنی‌دار تیمارهای مورد بررسی بر ویژگی‌های کلزا داشت. این پژوهش نشان داد که سیلیکات پتاسیم اثر مفیدی در بهبود تحمل به تنش خشکی آخر فصل در گیاه کلزا دارد (خیاط مقدم و همکاران، ۱۴۰۰). در پژوهش پزشک و همکاران (۱۴۰۱) محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم عملکرد و اجزای عملکرد گندم را افزایش داد. به طوری که کاهش عملکرد گندم در کاهش آبیاری از ۱۰۰ به ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه، عملکرد را، ۸/۳ درصد، با کاهش مواجه کرد. اما کاربرد سیلیکات پتاسیم منجر به جبران کاهش عملکرد در شرایط تنش آبی شد. در پژوهشی دیگر،

گزارش شد که کاربرد سیلیسیم بر رشد گیاه ذرت تحت تنش ملایم و شدید، منجر به افزایش عملکرد در مقایسه با گیاهان شاهد می‌شود (Li *et al.*, 2007).

با توجه به اینکه رقم‌های گلرنگ در مناطق خشک و نیمه خشک کشور اغلب با تنش خشکی در مراحل رشد مواجه می‌باشند، تعیین عملکرد این رقم‌ها در شرایط خشکی ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین، این پژوهش با هدف ارزیابی اثر محلول‌پاشی سطوح مختلف سیلیسیم بر عملکرد و اجزای عملکرد رقم‌های گلمهر، گلدشت و فرامان در شرایط بدون تنش و قطع آبیاری در مراحل ساقه‌روی، گلدهی و تشکیل دانه در شهرستان گراش، استان فارس، انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در طی سال‌های ۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در شهرستان گراش، استان فارس (۲۷ درجه و ۴۰ دقیقه عرض شمالی و ۵۴ درجه و هشت دقیقه طول شرقی و ارتفاع ۹۱۴ متر از سطح آزاد دریا) اجرا شد. قبل از اجرای آزمایش از خاک منطقه در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری انجام شد که برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن در جدول ۱ مشاهده می‌شود. همچنین، ویژگی‌های آب و هوایی دوره رشد گیاه در جدول ۲ ارائه شده است. شهرستان گراش با کمبود بارندگی و شوری خاک مواجه می‌باشد و گیاه گلرنگ به دلیل تحمل به شوری و خشکی، گیاه مناسبی جهت کاشت در منطقه به نظر می‌رسد.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از کاشت

هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	اسیدیته	نیتروژن (درصد)	فسفر (پی پی ام)	پتاسیم (پی پی ام)	رس (درصد)	سیلت (درصد)	شن (درصد)
۱/۶	۷/۵	۰/۱۱	۵	۲۷۲	۳۶	۴۴	۲۰

رقم‌های انتخاب شده جهت کشت شامل سه رقم ایرانی فرامان، گلدشت و گلمهر بود که در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی به صورت آزمایش اسپلیت پلات فاکتوریل با چهار سطح آبیاری (شاهد، قطع آبیاری در مرحله ساقه‌روی، گلدهی و پر شدن دانه) در کرت‌های اصلی، سه سطح

محلول‌پاشی سیلیسیم (غلظت ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و رقم‌های گلرنگ در کرت‌های فرعی و در سه تکرار انجام شد. بعد از عملیات آماده‌سازی زمین، کودهای سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم به مقدار ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در زمان کاشت و کود اوره ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار (زمان کاشت، شروع رشد بهاره و گلدهی همراه با آبیاری) بر اساس نتایج آزمون خاک به زمین اضافه شد. ابعاد کرت‌ها ۱۲ متر مربع در نظر گرفته شد و در هر کرت پنج خط کاشت به فاصله ۵۰ سانتی‌متر قرار داشت. فاصله بین کرت-ها و تکرارها نیز به ترتیب ۱۰۰ سانتی‌متر و دو متر بود.

گیاهان در ۲۵ اسفند ماه هر دو سال کشت شدند و آبیاری گیاهان تا زمان اعمال تنش خشکی هر هشت روز یک بار انجام شد. بعد از سبز شدن و وجین دستی علف‌های هرز پهن برگ، کود نیتروژنی به صورت سرک اضافه شد. جهت مبارزه با علف‌های هرز باریک برگ نیز سم سوپر گالانت به کار رفت. پس از رسیدگی فیزیولوژیک (اوایل خرداد ماه) زمانی که بوته‌های گلرنگ به طور کامل زرد شده بود و دانه‌های درون طبق به راحتی جدا می‌شد، ویژگی‌های رویشی (ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی در بوته و قطر ساقه) و اجزای عملکرد گیاه (تعداد طبق در بوته، قطر طبق، وزن طبق، تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه و عملکرد زیستی) اندازه‌گیری شد.

در مرحله رسیدگی کامل، اواخر خرداد، گیاهان برداشت و عملکرد دانه تعیین شد. برداشت گلرنگ با در نظر گرفتن ۰/۵ متر از ابتدا و انتهای کرت به عنوان حاشیه، از خطوط میانی هر کرت صورت گرفت و تعداد ۱۰ بوته به طور تصادفی برداشت شد. پس از جمع‌آوری داده‌ها و اطمینان از نرمال بودن آنها و همچنین، همگنی سال‌های آزمایش، تجزیه و تحلیل داده‌ها با نرم‌افزار SAS v.9.1 و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح پنج درصد انجام شد. نمودارها با نرم‌افزار اکسل و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی با نرم‌افزار R(3.5.2) صورت گرفت.

جدول ۲- میانگین برخی ویژگی‌های آب و هوایی دوره رشد گیاه در سال‌های ۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹

ماه‌های سال ۱۴۰۰-۱۳۹۹	کمینه دما (درجه سانتی‌گراد)	بیشینه دما (درجه سانتی‌گراد)	کمینه رطوبت (درصد)	بیشینه رطوبت (درصد)	بارندگی (میلی‌متر)	ساعات آفتابی
بهمن	۱/۸	۲۰/۵	۱۳	۶۲	۲۲	۲۷۷/۱
اسفند	۶/۴	۲۲/۹	۲۱	۷۲	۲۳/۸	۲۴۰/۱
فروردین	۱۰/۲	۲۹/۸	۱۰	۴۹	۱۰۳/۹	۳۰۶
اردیبهشت	۱۴/۸	۳۲/۹	۱۱	۴۶	۲۰/۵	۳۰۳/۶
خرداد	۲۰	۳۹/۸	۶	۲۶	صفر	۴۶۳
ماه‌های سال ۱۴۰۱-۱۴۰۰						
بهمن	۱/۸	۱۶/۷	۲۶	۸۶	۱۲/۳	۲۶۷/۷
اسفند	۶	۲۳	۲۰	۷۶	۱۰/۷	۲۵۶
فروردین	۷/۸	۲۹/۱	۸	۴۶	۱/۶	۲۹۶/۴
اردیبهشت	۱۵	۳۲/۶	۹	۳۷	صفر	۳۰۴/۱
خرداد	۱۹/۶	۳۸/۲	۶	۲۵	صفر	۳۶۰/۵

نتایج و بحث

بر اساس نتایج تجزیه واریانس مرکب، اثر ساده سال‌های آزمایش، تیمارهای آبیاری، سطوح سیلیسیم و رقم‌ها بر تمامی ویژگی‌های مورد بررسی اثر بسیار معنی‌دار آماری داشت. برهمکنش آبیاری×رقم بر ارتفاع بوته، قطر ساقه اصلی، تعداد طبق، عملکرد دانه، عملکرد زیستی و شاخص برداشت در سطح یک درصد و بر تعداد شاخه فرعی در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. برهمکنش سیلیسیم×رقم تنها بر شاخص برداشت تأثیر بسیار معنی‌دار نشان داد. برهمکنش سه گانه تیمارهای آبیاری×سطوح سیلیسیم×رقم نیز تنها بر عملکرد دانه در سطح پنج درصد معنی‌دار شد (جدول‌های ۳ و ۴).

ویژگی‌های رویشی

مطابق با مقایسه میانگین اثر سال‌های آزمایش، ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی و قطر ساقه رقم-های گلرنگ در سال اول، به ترتیب ۵/۲، نه و ۶/۶ درصد بیشتر از سال دوم بود (جدول ۵). افزایش قابل توجه بارندگی در سال اول نسبت به سال دوم منجر به افزایش معنی‌دار رشد رویشی گیاهان در سال اول شد (جدول ۲). نتایج محلول‌پاشی سیلیسیم نیز حاکی از بیشترین

ارتفاع بوته در کاربرد ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر داشت که با تیمار ۱۵۰ میلی‌گرم اختلاف معنی‌دار نشان نداد. کاربرد ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نیز در مقایسه با دو سطح دیگر تنها شش درصد، ارتفاع بوته کمتری را به دنبال داشت. کاربرد ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سیلیسیم همچنین، تعداد شاخه فرعی در رقم‌های گلرنگ را به ترتیب نزدیک به ۱۹ و ۷/۵ درصد در مقایسه با کاربرد ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم افزایش داد. محلول‌پاشی با غلظت ۲۰۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سیلیسیم به ترتیب کمترین و بیشترین قطر ساقه (هفت و ۵/۳ میلی‌متر به ترتیب)، را به دنبال داشت (جدول ۶).

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب تیمارهای آزمایش بر ویژگی‌های مورفولوژیکی رقم‌های گلرنگ

منبع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع بوته	تعداد شاخه فرعی	قطر ساقه اصلی
سال (Y)	۱	۷۸۹/۶**	۲۵**	۱۴/۳**
سال×تکرار	۲	۲۶۴	۰/۸۵	۰/۵۳
آبیاری (I)	۳	۲۸۴۵**	۸۴/۶**	۶۸/۵**
Y×I	۳	۲۵/۶ns	۰/۰۶ns	۰/۱۵ns
خطای کرت اصلی (Error a)	۶	۲۶/۳	۰/۴	۱/۱
سیلیسیم (Si)	۲	۳۹۷/۶**	۲۹/۵**	۵۲/۸**
Y×Si	۲	۲۸/۴ns	۰/۰۱ns	۰/۰۲ns
I×Si	۶	۱۳/۴ns	۰/۴۲ns	۰/۳۱ns
Y×I×Si	۶	۱۵/۳ns	۰/۰۱ns	۰/۰۴ns
خطای کرت فرعی (Error b)	۴	۱۲	۰/۴۳	۰/۱۷
رقم (V)	۲	۴۹۱۸/۶**	۵۸/۲**	۱۲۸/۵**
Y×V	۲	۱۲/۳ns	۰/۰۳ns	۰/۰۰۹ns
I×V	۶	۶۳/۲**	۰/۹*	۱/۸**
Si×V	۴	۱۲/۸ns	۰/۰۷ns	۰/۴۵ns
Y×I×V	۶	۱۵/۸ns	۰/۰۵ns	۰/۰۲ns
Y×V×Si	۴	۱۶/۵ns	۰/۰۲ns	۰/۰۱ns
I×V×Si	۱۲	۱۸/۶ns	۰/۱۲ns	۰/۲۵ns
Y×I×V×Si	۱۲	۲۱/۳ns	۰/۰۶ns	۰/۰۷ns
خطای آزمایش	۸۰	۱۶/۴	۰/۴۱	۰/۳
ضریب تغییرات (درصد)	-	۵/۴	۹	۹

* ، ** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و غیر معنی‌دار می‌باشد.

در همین راستا، بهبود ارتفاع بوته گیاهان گلرنگ (Jamshidi Jam *et al.*, 2023) و گوجه فرنگی (Haghighi & Pessarakli, 2013) در کاربرد عنصر سیلیسیم در مقایسه با گیاهان

شاهد به ویژه در شرایط تنش‌زای محیطی گزارش شده است. همچنین، محلول‌پاشی سیلیسیم در گیاه کاملینا منجر به افزایش تعداد شاخه فرعی، تعداد خورجین در شاخه اصلی، ارتفاع و وزن خشک ساقه شد (تیموری و همکاران، ۱۴۰۳). در پژوهشی دیگر، افزایش ارتفاع بوته، قطر ساقه و همچنین، عملکرد گیاهان در کاربرد عناصر مفید از قبیل سیلیسیم گزارش شده است (Lob *et al.*, 2023).

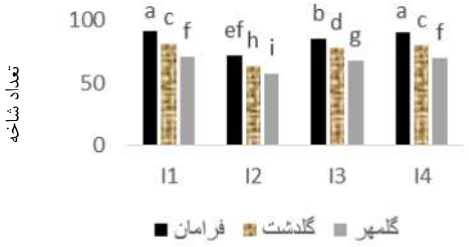
جدول ۴- تجزیه واریانس مرکب تیمارهای آزمایش بر عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ

منبع تغییرات	درجه آزادی	تعداد طبق در بوته	قطر طبق	تعداد دانه در طبق	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	عملکرد زیستی	شاخص برداشت
سال (Y)	۱	۱۶۷/۶**	۳۷۵/۷**	۳۵۹/۳**	۴۴۸/۶*	۱۳۵۲۹۲۶/۷**	۳۹۰۵۵۸۴/۳**	۱۱۲/۶**
سال×تکرار	۲	۴/۸	۱۱	۴۳	۱۸/۸	۶۴۶۶۹/۳	۱۲۱۵۵/۸	۱۶/۸
آبیاری (I)	۳	۷۲۹/۳**	۲۳۳**	۳۴۳۲**	۱۰۹۹/۴**	۸۳۰۶۲۳۴/۴**	۳۹۶۲۳۳۲۷/۵**	۷۱۴/۷**
Y×I	۳	۶/۲ns	۴/۲ns	۱۵/۶ns	۲/۶ns	۱۸۲۴۰/۶ns	۲۷۲۷۰ns	۴/۲ns
خطای کرت اصلی (Error a)	۶	۲۶/۳	۱۰/۵	۳۸	۸۰/۲	۱۳۴۹۹/۶	۱۰۱۰۲۷۰	۲۱/۵
سیلیسیم (Si)	۲	۱۰۱/۲**	۷۹۳/۶**	۲۹۵/۷**	۴۳۷*	۲۳۵۳۶۷۲**	۶۰۰۶۸۸۱**	۲۳۳**
Y×Si	۲	۰/۵ns	۱ns	۳ns	۰/۳۸ns	۲۴۸۰۹ns	۴۰۲۹۶/۵ns	۸/۲ns
I×Si	۶	۵ns	۲ns	۴/۳ns	۰/۸ns	۳۲۹۹۵/۸ns	۳۷۹۲۶/۳ns	۶/۶ns
Y×I×Si	۶	۰/۱۴ns	۱/۴ns	۰/۴۴ns	۰/۰۶ns	۴۳۲۹/۸ns	۳۱۴۵۷/۷ns	۴/۶ns
خطای کرت فرعی (Error b)	۴	۸	۱۹/۶	۱۷/۴	۴/۳	۵۱۵۹/۶	۳۸۰۰۷/۸	۲/۴
رقم (V)	۲	۴۶۷**	۳۴۲/۶**	۱۵۷۷**	۲۳۲۰/۴**	۵۷۳۶۳۴۳/۶**	۱۴۴۵۴۱۰۱۷/۷**	۵۵/۸**
Y×V	۲	۰/۴ns	۰/۲۳ns	۵/۵ns	۱/۶ns	۱۷۹۹۴/۵ns	۱۹۰۶۲ns	۰/۰۳ns
I×V	۶	۴۴/۸**	۲ns	۳۴/۳ns	۱۱/۶ns	۲۵۵۰۹۳**	۱۰۸۱۴۲۷/۲**	۹۱**
Si×V	۴	۲/۳ns	۵/۲ns	۵/۴ns	۳/۸ns	۹۷۴۷۰/۶**	۲۸۷۸۱/۷ns	۳۲/۳**
Y×I×V	۶	۰/۲۷ns	۱/۷ns	۰/۶۲ns	۰/۸ns	۳۴۵۱/۷ns	۴۲۱۹۸/۴ns	۰/۹ns
Y×V×Si	۴	۰/۳۳ns	۱/۴ns	۰/۸۶ns	۰/۲۶ns	۱۷۳۸ns	۹۲۳۵/۷ns	۲/۶ns
I×V×Si	۱۲	۱/۳ns	۱/۶ns	۲ns	۲ns	۳۷۸۱۷*	۴۱۷۷۴/۵ns	۱۰/۸ns
Y×I×V×Si	۱۲	۰/۷۵ns	۱ns	۰/۵۷ns	۰/۶ns	۲۵۳۳/۴ns	۴۵۱۵۶/۸ns	۲ns
خطای آزمایش	۸۰	۵/۵	۱۳	۲۸	۹۳/۵	۱۸۲۷۸/۳	۲۰۳۰۵۲/۲	۶۶۰/۶
ضریب تغییرات (درصد)	-	۱۸	۱۸/۵	۲۳/۶	۲۹/۷	۱۳/۴	۸/۲	۱۵/۵

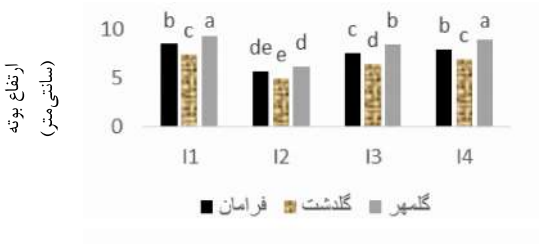
*، ** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و غیر معنی‌دار می‌باشد.

بر اساس مقایسه میانگین برهمکنش سطوح آبیاری × رقم‌های گلرنگ، ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی و قطر ساقه هر سه رقم در تیمار شاهد بیشترین مقدار بود و با قطع آبیاری در مراحل ساقه‌روی و گلدهی ویژگی‌های رویشی گیاهان با بیشترین کاهش مواجه شد. در تمامی سطوح آبیاری بیشترین ارتفاع به ترتیب برای فرامان، گلدشت و گلمهر به دست آمد. از این رو، فرامان

در آبیاری شاهد دارای بیشترین ارتفاع بوته، ۹۱/۳ سانتی‌متر، بود که در مقایسه با گلمهر و قطع آبیاری در مرحله ساقه‌روی، ۵۸ درصد، افزایش نشان داد. درحالی که بیشترین تعداد شاخه فرعی در گلمهر و آبیاری شاهد و کمترین تعداد، نزدیک به ۴۷ درصد کاهش، در گلدشت و قطع آبیاری در مرحله ساقه‌روی مشاهده شد. فرامان در آبیاری شاهد تنها هشت درصد تعداد شاخه کمتری در مقایسه با گلمهر تولید کرد. قطر ساقه در آبیاری شاهد و گلمهر بیشترین مقدار بود که نسبت به قطع آبیاری در مرحله ساقه‌روی، گلدهی و تشکیل دانه به ترتیب ۵۵، ۲۹ و سه درصد افزایش داشت. کمترین قطر ساقه نیز بدون تفاوت معنی‌دار برای فرامان و گلدشت در قطع آبیاری در مرحله ساقه‌روی ثبت شد (شکل‌های ۱، ۲ و ۳). کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته و قطر ساقه گلرنگ در شرایط خشکی به دلیل کاهش فرایندهای مربوط به تقسیم سلولی گزارش شده است (حق‌شناس و همکاران، ۱۳۹۹). در بررسی اثر تنش رطوبتی بر شش رقم ایرانی گلرنگ گزارش شد که در بین رقم‌ها از نظر ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد اختلاف وجود دارد. این پژوهشگران، بیشترین و کمترین ارتفاع بوته را برای رقم‌های گلمهر و گلدشت گزارش کردند (حسنوند و همکاران، ۱۴۰۲). در حالی که در پژوهشی دیگر، بیشترین ارتفاع برای رقم‌های صفه، اصفهان، فرامان و گلدشت ثبت شد (کوچک‌زاده و همکاران، ۱۳۹۷). مطابق با نتایج این پژوهش، قبادی و همکاران (۱۴۰۱) گزارش کردند که بیشترین شاخه فرعی به ترتیب مربوط به گلمهر، پرنیان، گلدشت و پدیده می‌باشد. با توجه به نتایج این پژوهش، گزارش شده است که با وجود کاهش رشد رویشی گلرنگ در اعمال تنش خشکی، قطع آبیاری پس از مراحل رویشی، بر ویژگی‌های رویشی گلرنگ اثر معنی‌داری ندارد که با بررسی قبادی و همکاران (۱۴۰۱) همخوانی داشت.



شکل ۲- برهمکنش آبیاری×رقم بر تعداد شاخه فرعی



شکل ۱- برهمکنش آبیاری×رقم بر ارتفاع بوته

حروف مشترک در هر گروه نشان دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.
(I1، I2، I3 و I4: به ترتیب آبیاری شاهد، قطع آبیاری در مرحله ساقه‌روی، گلدهی و تشکیل دانه)

جدول ۵- مقایسه میانگین سال‌های آزمایش بر ویژگی‌های مورد مطالعه در رقم‌های گلرنگ

سال‌های آزمایش	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	تعداد شاخه فرعی	تعداد طبق در بوته	قطر طبق (میلی‌متر)	تعداد دانه در طبق	وزن هزار دانه (گرم)	عملکرد زیستی (کیلوگرم بر هکتار)	عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار)	شاخص برداشت (درصد)
۹۹-۱۳۹۸	۷۵/۸^{a}	۷/۳^{a}	۱۴^{a}	۲۰/۷^{a}	۲۳/۶^{a}	۳۴^{a}	۵۶۲۳^{a}	۱۰۸۲/۵^{a}	۱۹/۲^{a}
۱۳۹۹-۱۴۰۰	۷۲^{b}	۶/۷^{b}	۱۲^{b}	۱۸^{b}	۲۱^{b}	۳۱^{a}	۵۳۵۴/۲^{b}	۹۲۴/۲^{b}	۱۷/۷^{b}

جدول ۶- مقایسه میانگین سطوح سیلیسیم بر برخی ویژگی‌های مورد مطالعه در رقم‌های گلرنگ

سطوح سیلیسیم	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	تعداد شاخه فرعی	قطر ساقه (میلی‌متر)	تعداد طبق در بوته	قطر طبق (میلی‌متر)	تعداد دانه در طبق	وزن هزار دانه (گرم)	عملکرد زیستی (کیلوگرم بر هکتار)
۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر	۷۱/۳^{b}	۶/۴^{c}	۵/۳^{c}	۱۲^{b}	۱۵/۶^{b}	۲۰/۲^{b}	۳۰^{b}	۵۱۸۹/۲^{c}
۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر	۷۴/۴^{a}	۷/۰۸^{b}	۶^{b}	۱۲/۸^{b}	۲۰/۵^{a}	۲۲/۴^{ab}	۳۲/۴^{ab}	۵۵۱۱^{b}
۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر	۷۶^{a}	۷/۶^{a}	۷^{a}	۱۴/۳^{a}	۲۲^{a}	۲۴/۲^{a}	۳۵^{a}	۵۷۶۵/۶^{a}

حروف مشترک در هر گروه نشان دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

اجزای عملکرد

با توجه به نتایج مقایسه میانگین سال‌های آزمایش، به دلیل افزایش قابل توجه بارندگی در سال اول نسبت به سال دوم، تعداد طبق در بوته، قطر طبق و تعداد دانه در طبق به ترتیب ۱۶/۶، ۱۵، ۱۲ و درصد، در سال اول نسبت به سال دوم افزایش داشت (جدول ۵). نتایج همچنین نشان داد که اجزای عملکرد رقم‌های گلرنگ در آبیاری

شاهد بیشترین مقدار بود. کمترین قطر طبق، تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه با به ترتیب ۲۳، ۵۸ و ۲۸/۵ درصد کاهش نسبت به شاهد برای قطع آبیاری در مرحله گلدهی ثبت شد (جدول ۷).

نتایج محلول‌پاشی سطوح سیلیسیم نشان‌دهنده افزایش معنی‌دار تعداد طبق در بوته، قطر طبق، تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه در کاربرد ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سیلیسیم در مقایسه با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم، داشت. به طوری که در غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم به ترتیب ۱۹، ۱۴، ۱۹/۸ و ۱۶ درصد تعداد طبق، قطر طبق، تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه در مقایسه با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم افزایش نشان داد. به طور کلی، نتایج نشان دهنده عدم لزوم مصرف سیلیسیم بیشتر از ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر بر اجزای عملکرد گلرنگ در منطقه داشت (جدول ۶). به نظر می‌رسد جهت دستیابی به بیشترین رشد و عملکرد و همچنین، کاهش هزینه‌های اقتصادی و زیست محیطی محلول‌پاشی با غلظت کمتر از ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، بیشترین بهره‌وری را به همراه داشته باشد.

بر اساس نتایج مقایسه میانگین، فرامان و گلدشت بدون تفاوت معنی‌دار، دارای بیشترین قطر طبق بودند و گلمهر با نزدیک به ۲۰ درصد کاهش، کمترین قطر طبق را به خود اختصاص داد. همچنین، گلمهر با برخورداری از بیشترین تعداد طبق در بوته، بیشترین تعداد دانه در طبق را تولید کرد که به ترتیب ۳۱ و ۴۹/۴ درصد بیشتر از گلدشت و فرامان بود. در بین رقم‌های مورد مطالعه، بیشترین وزن هزار دانه به فرامان اختصاص داشت که ۱۹/۶ و ۴۲ درصد به ترتیب بیشتر از گلدشت و گلمهر مشاهده شد (جدول ۷).

نتایج ارائه شده در شکل ۴، حاکی از کاهش تعداد طبق در رقم‌های گلرنگ با اعمال تنش خشکی به ویژه در طی مراحل زایشی داشت. به طوری که گلمهر بیشترین تعداد طبق را در آبیاری شاهد به خود اختصاص داد و گلدشت و فرامان، به ترتیب ۲۱/۴ و ۳۹/۷ درصد، تعداد طبق کمتری را در تیمار آبیاری شاهد نسبت به گلمهر تولید کردند. کمترین تعداد طبق نیز به فرامان در اعمال تنش در مرحله گلدهی تعلق یافت که ۳۷/۷ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش نشان داد.

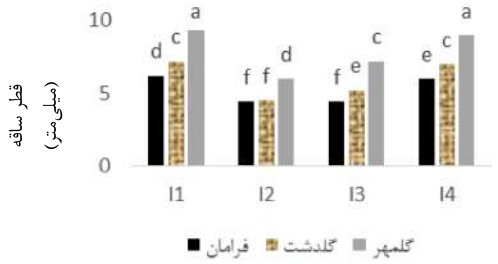
اجزای عملکرد در گیاهان متأثر از عوامل فیزیولوژیکی از قبیل ژنوتیپ، شرایط محیطی و عوامل مدیریتی در دوره گلدهی و پر شدن دانه است که می‌تواند از شرایط محیطی دوران رشد سریع طبق و مغز دانه تأثیر پذیرد. از آنجایی که ماده خشک موجود در بذر در اثر فتوسنتز می-باشد، در اثر تنش خشکی سلول‌های بنیادین، سطح ویژه برگ و دوام سطح برگ کاهش یافته که به تبع، کاهش سطح فتوسنتزکننده و تولید مواد پرورده را به دنبال داشته و اجزای مهم عملکرد را باکاهش مواجه می‌کند (قبادی و همکاران، ۱۴۰۱).

سیلیسیم با بهبود تخصیص مواد فتوسنتزی در بین اندام‌ها منجر به افزایش اجزای عملکرد و عملکرد در گیاهان زراعی می‌شود (خیاط مقدم و همکاران، ۱۴۰۰). پژوهشگران نشان داده‌اند که محلول‌پاشی سیلیسیم در شرایط تنش خشکی بر تعداد طبق در بوته به طور قابل توجهی مؤثر می-باشد (خیاط مقدم و همکاران، ۱۴۰۱؛ Fani *et al.*, 2019). استفاده از سیلیسیم در ارزن منجر به افزایش وزن هزار دانه شد که این افزایش به دلیل جایگزینی این عنصر در پالئا و لما رخ داد. همچنین، مشخص شد که سیلیسیم توسط انتقال مواد فتوسنتزی به اندام‌های زایشی رفته و افزایش وزن هزار دانه را منجر می‌شود (خدابنده‌لو و همکاران، ۱۳۹۳).

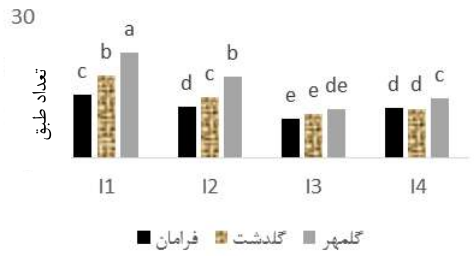
مطابق با نتایج به دست آمده، گزارش شده است که در بین رقم‌های گلرنگ از نظر تعداد طبق در بوته و وزن هزار دانه تفاوت‌های ژنتیکی بسیاری وجود دارد. افزون بر این، عوامل محیطی از قبیل آبیاری منجر به افزایش انشعاب‌های جانبی و ایجاد ظرفیت‌های فراوان جهت تولید تعداد طبق در طی دوره رشد گیاه می‌شود (حسنوند و همکاران، ۱۴۰۲). از این رو، در این پژوهش گلمهر با برخوداری از تعداد شاخه فرعی بیشتر نسبت به دو رقم دیگر، تعداد طبق در بوته خود را افزایش داد که مطابق با پژوهش حسنوند و همکاران (۱۴۰۲) بود. همچنین، فرامان به دلیل تولید طبق کمتر، به علت کاهش رقابت بین طبق‌ها، مواد مغذی بیشتری به طبق‌ها انتقال داد و در نتیجه، قطر طبق‌های تولید شده افزایش یافت.

بر اساس نتایج این پژوهش، حسنوند و همکاران (۱۴۰۲) بیشترین وزن هزار دانه را با میانگین

۳۷/۲ و ۳۶/۵ گرم به ترتیب برای رقم‌های فرامان و گلدشت گزارش کردند و اظهار داشتند که وزن هزار دانه در زمان پر شدن دانه حکایت از سلامتی گیاه در این دوره جهت تولید دانه دارد و وزن هزار دانه بالاتر رقم فرامان را به ویژگی‌های فیزیولوژیکی و ژنتیکی آن و یا به علت سرعت بالای پر شدن دانه در طی دوره رشد مرتبط دانستند.



شکل ۳- برهمکنش آبیاری×رقم بر قطر ساقه



شکل ۴- برهمکنش آبیاری×رقم بر تعداد طبق در بوته

حروف مشترک در هر گروه نشان دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.
(I1، I2، I3 و I4: به ترتیب آبیاری شاهد، قطع آبیاری در مرحله ساقه‌روی، گلدهی و تشکیل دانه)

عملکرد زیستی، عملکرد دانه و شاخص برداشت

بر اساس نتایج این بررسی، رقم‌های گلرنگ با برخورداری از شرایط مطلوب آب و هوایی در سال اول عملکرد زیستی، عملکرد دانه و شاخص برداشت بیشتری نسبت به سال دوم، به ترتیب پنج، ۱۷ و ۸/۴ درصد افزایش، تولید کردند (جدول ۵). مقایسه میانگین سطوح مختلف محلول‌پاشی سیلیسیم نیز نشان داد که بیشترین عملکرد زیستی با ۴/۶ و ۱۱ درصد افزایش نسبت به سطوح ۱۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به ترتیب، مربوط به سطح ۲۰۰ میلی‌گرم می‌باشد (جدول ۶).

جدول ۷- مقایسه میانگین سطوح آبیاری و رقم‌های بر ویژگی‌های گلرنگ

سطوح آبیاری	قطر طبق (میلی‌متر)	تعداد دانه در طبق	وزن هزار دانه (گرم)
شاهد	۲۱/۷^{a}	۳۲^{a}	۳۷/۸^{a}
قطع آبیاری در مرحله ساقه‌روی	۲۰^{ab}	۲۵^{b}	۳۳/۸^{ab}
قطع آبیاری در مرحله گلدهی	۱۶/۷^{c}	۱۳/۵^{d}	۲۷^{c}
قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه	۱۹^{b}	۱۸/۶^{c}	۳۱/۲^{bc}
رقم‌های گلرنگ			
فرامان	۲۱/۲^{a}	۱۸/۴^{c}	۳۸/۳^{a}
گلدشت	۲۰^{a}	۲۱^{b}	۳۲^{b}
گلمهر	۱۷^{b}	۲۷/۵^{a}	۲۷^{c}

حروف مشترک در هر گروه نشان دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.
(I1، I2، I3 و I4: به ترتیب آبیاری شاهد، قطع آبیاری در مرحله ساقه‌روی، گلدهی و تشکیل دانه)

نتایج برهمکنش تیمارهای آبیاری×رقم‌های گلرنگ حاکی از کاهش عملکرد زیستی و شاخص برداشت در تیمارهای تنش خشکی نسبت به آبیاری شاهد داشت و همچنین، فرامان در مقایسه با دو رقم دیگر، عملکرد زیستی بیشتری تولید کرد. به طوری که این رقم در آبیاری شاهد به ترتیب ۱۰، ۲۲ و ۱۶ درصد عملکرد بیشتری نسبت به قطع آبیاری در مرحله ساقه‌روی، گلدهی و پر شدن دانه داشت. کمترین عملکرد زیستی نیز برای گلمهر در قطع آبیاری در مرحله گلدهی ثبت شد (شکل ۵). شاخص برداشت رقم‌های مورد مطالعه در آبیاری شاهد تفاوتی با یکدیگر نشان ندادند، در حالی که در تیمارهای تنش، فرامان و گلدشت با میانگین ۲۰/۸ و ۲۰ درصد به ترتیب، بیشترین شاخص برداشت را در مرحله ساقه‌روی به خود اختصاص دادند که ۱۲/۶ و ۱۷/۳ درصد به ترتیب کمتر از آبیاری شاهد بود. کمترین شاخص برداشت نیز برای اعمال تنش خشکی در مرحله تشکیل دانه در رقم گلمهر، ۳۳ درصد کاهش نسبت به شاهد، ثبت شد (شکل ۶). همان گونه که در شکل ۷، مشاهده می‌شود افزایش غلظت سیلیسیم، شاخص برداشت را در رقم‌های گلرنگ افزایش داد. به طوری که بیشترین مقدار بدون تفاوت، میانگین ۲۰ و ۲۲/۴ درصد، برای محلول‌پاشی در غلظت ۲۰۰ میلی-گرم بر لیتر و رقم‌های گلدشت و فرامان به ترتیب،

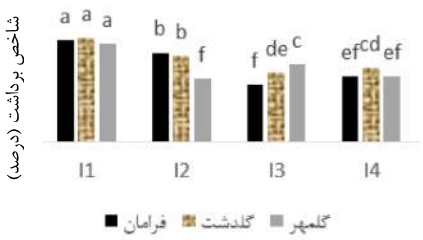
به دست آمد. کمترین مقادیر شاخص برداشت هر سه رقم نیز مربوط به غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بود. مطابق با برهمکنش تیمارهای آبیاری×سطوح سیلیسیم×رقم‌های گلرنگ، هر سه رقم بیشترین عملکرد دانه را در آبیاری شاهد و کمترین مقدار را در قطع آبیاری در مرحله گلدهی تولید کردند. در بین رقم‌ها، فرامان بیشترین عملکرد را به خود اختصاص داد و سپس، گلدشت و در نهایت، گلمهر مشاهده شد. عملکرد فرامان در آبیاری شاهد و مصرف ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سیلیسیم، ۲۰۳۱/۶ کیلوگرم بر هکتار، بود که نسبت به قطع آبیاری در مرحله گلدهی و کاربرد ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، ۷۰ درصد کاهش یافت. همچنین، کاهش عملکرد گلدشت و گلمهر در قطع آبیاری در مرحله گلدهی و مصرف ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سیلیسیم نسبت به آبیاری شاهد و کاربرد ۲۰۰ میلی‌گرم به ترتیب ۷۳ و ۶۷ درصد بود (شکل ۸).

عملکرد در گیاهان زراعی متأثر از فرایندهای بسیاری می‌باشد و همچنین، عوامل اثرگذار بر عملکرد بر یکدیگر تأثیر دارند، به طوری که تعیین اثر هریک از این عوامل بر عملکرد به تنهایی مشکل است. گیاه جهت حصول بیشترین عملکرد بایستی قادر باشد در طول رشد و نمو خود از تمامی عوامل تولید شامل آب، عناصر غذایی، نور و دی‌اکسیدکربن به نحو مطلوبی استفاده کند. تنش کم آبی در گیاهان منجر به تنش اکسیداتیو شده که در کارایی کلروپلاست اختلال ایجاد کرده و کاهش محتوی کلروفیل و در نهایت، فعالیت-های فتوسنتزی و عملکرد دانه را در پی دارد (Ponakala *et al.*, 2023). گزارش شده است که کاربرد سیلیسم در گلرنگ منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد دانه می‌شود. به طوری که با افزایش سیلسیم از صفر به دو میلی‌مولار، عملکرد دانه افزایش یافت (Alabdulwahed & Huthily, 2023). افزایش عملکرد گیاهان در اثر کاربرد عنصر سیلیسیم به اثر مثبت آن در افزایش افراشتگی برگ، بهبود مصرف آب، کاهش تعرق کوتیکولی، افزایش کارایی مصرف نور و افزایش رشد و بهبود جذب عناصر غذایی نسبت داده شده است (شیخزاده و همکاران، ۱۴۰۰). فرامان در این تحقیق بیشترین عملکرد دانه را به خود اختصاص داد که می‌تواند به علت قطر طبق و وزن هزار دانه بیشتر نسبت به دو رقم دیگر و یا

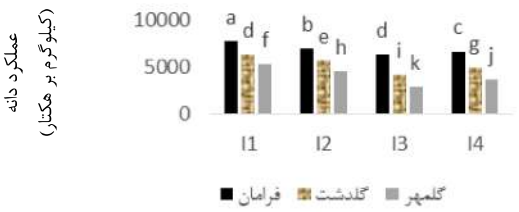
مقاومت بیشتر در مواجهه با تنش خشکی باشد. در پژوهش حسنوند و همکاران (۱۴۰۲) بیشترین عملکرد دانه در ۱۰۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی به رقم فرامان تعلق داشت و بعد از آن رقم گلدشت مشاهده شد. این نویسندگان بیان کردند که در رقم‌های ایرانی گلرنگ قطع آبیاری بعد از گلدهی عملکرد دانه را به طور معنی‌داری کاهش می‌دهد که با نتایج این مطالعه مطابقت داشت.

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

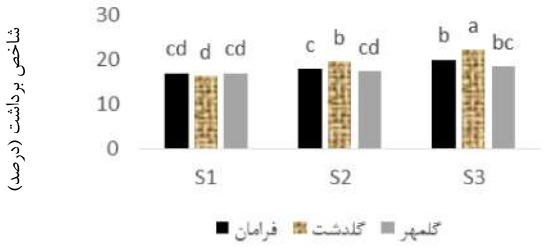
همان گونه که در شکل ۹ مشاهده می‌شود، ۵۰/۲ و ۳۰/۱ درصد ویژگی‌های مورد مطالعه را به ترتیب مؤلفه اول و دوم شامل شدند. به طور کلی، گروه‌بندی ویژگی‌ها متأثر از سطوح آبیاری، کود سیلیسیم و رقم مورد استفاده بود که تأیید کننده نتایج این پژوهش می‌باشد. مطابق با شکل ۹، مقادیر قطر ساقه و تعداد شاخه فرعی همبستگی مثبتی با یکدیگر داشتند و در یک گروه، تحت تأثیر آبیاری شاهد و مقادیر سیلیسیم بیشترین مقدار را به دنبال داشتند. در حالی که تعداد طبق در بوته و تعداد دانه در طبق در گروه دیگر، همبستگی مثبت و بالایی با مؤلفه دیگر نشان دادند و متأثر از آبیاری شاهد و کاربرد ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر سیلیسیم بود. بیشتر ویژگی‌های مورد بررسی نیز همبستگی مثبتی با یکدیگر نشان دادند و تحت تأثیر مؤلفه اول قرار داشتند. بر اساس نتایجی که پیش از این ذکر شد، مقادیر ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سیلیسیم تفاوتی با یکدیگر بر ویژگی‌های مورد مطالعه نداشت.



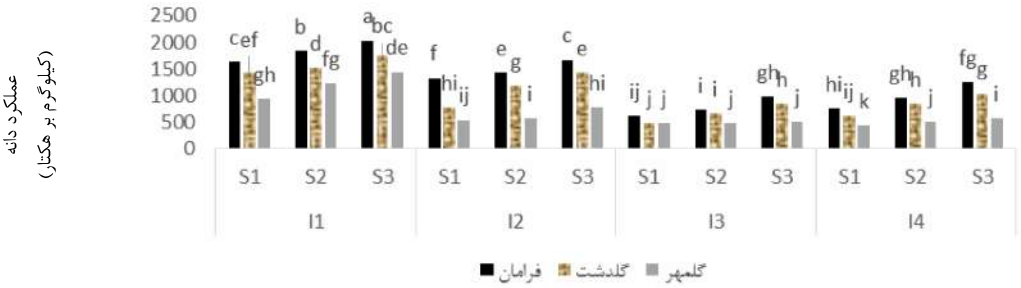
شکل ۶- برهمکنش آبیاری× رقم بر شاخص برداشت



شکل ۵- برهمکنش آبیاری× رقم بر عملکرد زیستی



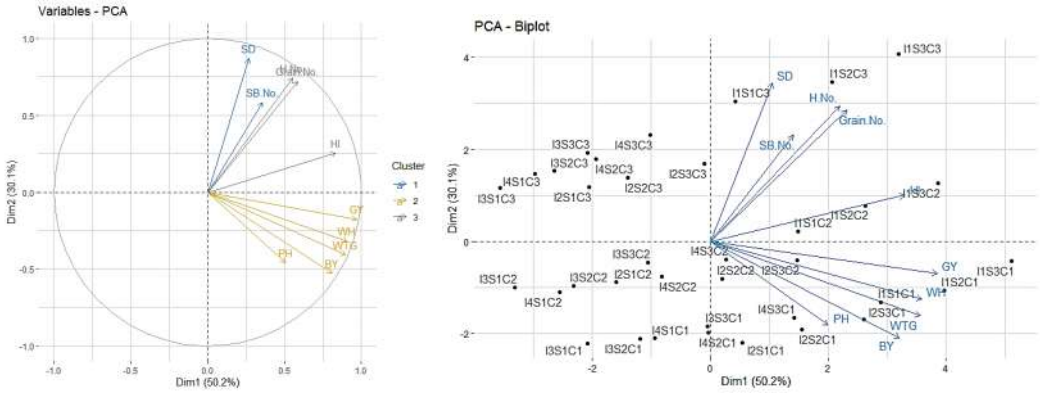
شکل ۷- برهمکنش سطوح سیلیسیم × رقم بر شاخص برداشت



شکل ۸- برهمکنش آبیاری× سطوح سیلیسیم × رقم بر عملکرد دانه

حروف مشترک در هر گروه نشان دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

(I1، I2، I3 و I4: به ترتیب آبیاری شاهد، قطع آبیاری در مرحله ساقه‌روی، گلدهی و تشکیل دانه و S1، S2 و S3: محلول‌پاشی سیلیسیم با غلظت ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر)



شکل ۹- نمودار تجزیه به مؤلفه‌های اصلی رقم‌های گلرنگ در سطوح آبیاری و عنصر سیلیسیم

(I1: آبیاری شاهد، I2: قطع آبیاری در مرحله ساقه روی، I3: قطع آبیاری در مرحله گلدهی، I4: قطع آبیاری در مرحله تشکیل دانه، S1: ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر، S2: ۱۵۰ میلی گرم بر لیتر، S3: ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر و C1: فرامان، C2: گلدشت و C3: گلمهر)

(ارتفاع بوته: plant height (PH)، عملکرد دانه: Grain Yield (GY)، عملکرد زیستی: Biological Yield (BY)، شاخص برداشت: Harvest Index (HI)، وزن هزار دانه: weight of thousand grains (WTG) ، تعداد شاخه فرعی: Number of sub-branches (SB No)، قطر ساقه: stem diameter (SD)، تعداد طبق در بوته: Number of head per plant (H No) ، تعداد دانه در طبق: Number of grain per head (Grain No) ، وزن طبق: Weight of head (WH)).

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که با وجود مقاومت گیاه گلرنگ به تنش خشکی، ویژگی‌های ژنتیکی، فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی رقم‌های مختلف این گیاه بر مقاومت به تنش خشکی بسیار مؤثر می‌باشد. افزون براین، رقم‌های گلرنگ از نظر ویژگی‌های رشدی و عملکردی نیز بسیار با یکدیگر متفاوت می‌باشند. بر اساس نتایج، اعمال تنش آبی در مراحل رشد رویشی گیاه، کاهش ویژگی‌های رشدی از قبیل ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی و قطر ساقه را به دنبال داشت، اما وجود کم آبی پس طی رشد رویشی تأثیری معنی‌داری بر رشد و نمو گیاه نشان نداد. مرحله گلدهی نیز حساس‌ترین مرحله رشدی گیاه به تنش خشکی تعیین شد. از این رو، جهت دستیابی به بیشترین عملکرد دانه گلرنگ در منطقه و همچنین، صرفه جویی در مصرف آب بایستی از شیوه‌های کم آبیاری در مراحل رشد رویشی استفاده شود و از اعمال تنش در طول رشد زایشی، به ویژه گلدهی، بازداری شود.

بر اساس نتایج، محلول‌پاشی سطوح مختلف عنصر سیلیسیم منجر به افزایش رشد و عملکرد گلرنگ شد. به طوری که محلول‌پاشی با غلظت ۲۰۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به ترتیب بیشترین و کمترین مقادیر را به خود اختصاص دادند. با این وجود، برای بیشتر ویژگی‌های بررسی شده سطح ۱۵۰ با ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، تفاوتی از نظر آماری نداشت و یا اختلاف قابل چشم‌پوشی بود. در نتیجه، غلظت‌های بیشتر از ۱۰۰ و کمتر از ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر عنصر سیلیسیم جهت دستیابی به عملکرد بیشتر در منطقه گراش توصیه می‌شود. عملکرد دانه رقم‌های مورد مطالعه در این پژوهش به صورت فرامان>گلدشت>گلمهر بود و رقم فرامان با برخورداری از تعداد طبق در بوته کمتر توانست مواد فتوسنتزی بیشتری را به طبق‌ها و دانه‌های تولید شده در آنها رسانده و با برخورداری از قطر طبق و وزن هزار دانه بالاتر، بیشترین عملکرد را به خود اختصاص دهد.

منابع

تیموری، ن.، م. قبادی، و د. کهریزی. ۱۴۰۳. تأثیر محلول‌پاشی برگی بر برخی صفات زراعی گیاه کاملینا در شرایط تنش خشکی. به زراعی کشاورزی، ۲۶ (۱): ۱۴۴-۱۲۶. DOI: 10.22059/jci.2023.359066.2811

پاسبان اسلام، ب.، ا. صادقی بختوری، ح. جباری، و ا. بایبوردی. ۱۴۰۰. پاسخ فیزیولوژیک و زراعی ژنوتیپ‌های امیدبخش گلرنگ به تنش کمبود آب آخر فصل. علوم گیاهان زراعی ایران، ۵۲ (۱): ۱۳۰-۱۲۳.

DOI:10.22059/ijfcs.2020.293812.6549667

پزشک، س.، م. ج.، م.ج. ملکوتی، م.م. طهرانی، و ل. رضاخانی. ۱۴۰۱. بررسی تأثیر سیلیسیم بر عملکرد گندم و کارایی مصرف آب در شرایط تنش خشکی. پژوهش‌های خاک، ۳۶ (۴): ۳۴۸-۳۳۵.

خدابنده‌لو، ش.، ع. سپهری، گ. احمدوند، و ا.ح. کشتکار. ۱۳۹۳. اثر مصرف سیلیکون بر عملکرد دانه ارزن معمولی و بازده مصرف آب تحت شرایط تنش خشکی. به زراعی کشاورزی، ۱۶ (۲): ۴۱۶-۳۹۹. DOI: 20.1001.1.83372008.1393.16.2.13.0

خیاط مقدم، م.س.، ا. غلامی، ا. شیرانی‌راد، م. برادران فیروزآبادی، و ح. عباس دخت. ۱۴۰۰. اثر سیلیکات پتاسیم و تنش خشکی آخر فصل بر خصوصیات فیزیولوژیکی کلزا. به زراعی کشاورزی، ۲۳ (۴): ۷۷۶-۷۶۱. DOI: 10.22059/jci.2021.306872.2424

حسنوند، پ.، غ.ر. زمانی، و ع.ا. و مقصودی-مود. ۱۴۰۲. پاسخ ارقام گلرنگ از نظر برخی صفات مورفولوژیکی و عملکرد به تنش رطوبتی. تنش‌های محیطی در علوم زراعی، ۱۳-۱، DOI:10.22077/ESCS.2024.6480.2220

حق‌شناس، ر.، س. شرفی، و ا. قلی‌نژاد. ۱۳۹۹. تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی و میکوریزا بر عملکرد ارقام گلرنگ. نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار، ۳۰ (۲): ۱۰۹-۹۱. DOI: 20.1001.1.2476310.1399.30.2.6.9

شیخ‌زاده، م.، ح.ر. مبصر، ا. رحیمی پطرودی و م. رضوانی. ۱۴۰۰. اثرات محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم و نانوذرات (سیلیسیم+روی) در مراحل مختلف رشد و نمو بر عملکرد کمی و غنی‌سازی دانه برنج (*Oyza sativa* L.). پژوهش‌های زراعی ایران، ۱۹ (۱): ۸۹-۷۳.

قبادی، ف.، ن. مجنون حسینی، م. اویسی، و غ.ع. اکبری. ۱۴۰۱. اثر سطوح مختلف آبیاری و کود نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد برخی ارقام گلرنگ در استان البرز. به زراعی کشاورزی، ۲۴ (۳): ۷۷۵-۷۶۱. DOI: 10.22059/jci.2021.322613.2542

کوچک‌زاده، ا. ع.ر. ابدالی مشهدی، و و. بدوی. ۱۳۹۷. واکنش عملکرد و اجزای عملکرد ارقام گلرنگ به تراکم‌های مختلف بوته. فیزیولوژی گیاهان زراعی، ۱۰ (۳۸): ۲۱-۵.

نقوی، م. ر.، ع. پیری، م. خلیلی، و ا. توسلی. ۱۳۹۹. مقایسه تحمل به خشکی ارقام ایرانی و خارجی گلنگ با استفاده از شاخص‌های تحمل. خشک بوم، ۱۰ (۲): ۱۹۱-۱۷۵. DOI:10.29252/ARIDBIOM.2021.16254.1

یداللهی فارسانی، ن.، م.ر. تدین، و م. کریمی. ۱۴۰۰. اثر محلول‌پاشی بور و پتاسیم بر واکنش‌های مورفوفیزیولوژیک و عملکرد ریشه چغندرقند تحت تیمارهای تنش خشکی. فرآیند و کارکرد گیاهی، ۱۰ (۴۲): ۱۱۴-۹۱. DOI:20.1001.23222727.1400.10.42.5.7.

Alabdulwahed, Q. and K. Huthily. 2023. Effects of spraying with silicon, humic acid and proline on the safflower (*Carthamus tinctorius* L.) tolerance to salt stress. Latin American Journal of Biotechnolog and Life Science, 8 (4): 1-9. DOI: 10.2193/RB/2023.08.04.72.

Fani, E., P. Hassibi, M. Meskarbashee, K.M. Khanlou, and S.A. Seyedahmadi. 2019. Effect of drought stress and silica spraying on some physiological and functional traits of canola cultivars. Bulgarian Journal of Agricultural Science, 25: 62–66. WWW.FAO. Org. FAOSTAT, 2024.

Flores-Saavedra, M. Plazas, M. Vilanova, J. Santiago Prohens, and P. Gramazio**.** 2023. Introduction of water stress in major *Solanum* crops: A review

and severe food insecurity. Scientific Reports, 14 (14398): 1-10. DOI: 10.1038/s41598-024-65274-z.

Li, Q.F., C.C. Ma, and Q.L. Shang. 2007. Effects of silicon on photosynthesis and antioxidative enzymes of maize under drought stress. Ying Yong Sheng Tai Xue Bao, 18 (3): 531-536.

Lob, S. Syakirah Sa'ad, N. Faziha Ibrahim, N. Che Soh, N. Mohd Shah, R. and Hafiz Zaudin, M.S. 2023. Enhanced growth of chili (*Capsicum annuum* L.) by silicon nutrient application in fertigation system. Malaysia Applied Biology, 52 (2): 13-20.

Ponakala, Padmavathi, K. Garg, K.aushal. Anantha, K.H. 2023.Water use and yield response of rainfed safflower (*Cartamus tinctorius* L.) in vertisols with varying soil depths. Agronomy Journal, 116: 1933-1951.
DOI: 10.1002/agi2.21581.

on metodologies and their applicaion for identifying drought tolerance materials. Scientia Horticulture, 318: 1-12. DOI: 10.1016/j.scienta. 2023.112105.

Haghighi, M. and M. Pessarakli. 2013. Infuence of silicon and nanosilicon on salinity tolerance of cherry tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) at early growth stage, Scientia Horticulture, 161:111–117.
DOI: 10.1016/j.scienta.2013.06.034.

Jamshidi Jam, B., F. Shekari, B. Andalibi, R. Fotovat, V. Jafarnia, J. Najafi, D. Uberti, and A. Mastinu, A. 2023. Impact of silicon foliar application on the growth and physiological traits of *Carthamus tictorius* L. exposed to salt stress. Silicon, 15: 1235-1245. DOI: 10.1007/s12633-022-02090-y.

Kompas, T., T.N. Che, and R.Q. Grafton, R.Q. 2024. Global impacts of heat and water stress on food production

The effect of silicon foliar application on vegetative characteristics, yield and yield components of Safflower cultivars under limited irrigation conditions

M. Najafian[1], M.R. Owji[2]*, F. Mohajeri[3], M. Madandoost[3]

1. Ph.D Student of Agrotechnology, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Fasa Branch, Islamic Azad University, Fasa, Iran.
2. Assistant Professor of Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Fasa Branch, Islamic Azad University, Fasa, Iran.
3. Associate Professor of Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Fasa Branch, Islamic Azad University, Fasa, Iran.

Abstract

With the aim of evaluating the vegetative growth and yield of three Iranian safflower cultivars in the hot and dry region of Fars province, during the years 2019 and 2020, a factorial split-plot experiment was conducted in randomized complete block design in three replications. The treatments include four levels of irrigation (control, interruption of irrigation at the stages of stem growth, flowering and grain formation) in the main plots, three levels of silicon foliar application (concentration of 100, 150 and 200 $mg.l^{-1}$) and three varieties of safflower (Faraman, Goldasht and Golmehr) were in sub-plots. The results indicated that the experimental treatments had a significant effect on the studied characteristics. Stopping irrigation during the flowering stage led to a 23% decrease in diameter heads, 58% in number of grain and 28% in 1000 grain weight. Foliar spraying of silicon with concentrations of 150 and 200 $mg.l^{-1}$ increased the studied characteristics compared to the concentration of 100 $mg.l^{-1}$. In general, cutting irrigation in the stem stage led to a decrease in the vegetative characteristics of the cultivars and water stress in the stages of reproductive growth, especially flowering, led to a decrease in yield. Also, silicon foliar application in a concentration between 150 and 200 $mg.l^{-1}$ is sufficient to increase the yield of cultivars in the region and also to reduce economic and environmental costs. Among the varieties, Faraman and Goldasht were the best varieties.

Keywords: Faraman, Heads diameter, Goldasht, Golmehr, 1000 seed Weight

* Corresponding author (ahimowji@gmail.com)