

تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی و میکوریزا بر عملکرد ارقام گلرنگ

رضا حق شناس^۱، سوران شرفی^{۲*}، اسماعیل قلی نژاد^۳

تاریخ دریافت: ۹۷/۵/۲۷ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۱/۷

۱- کارشناس ارشد، زراعت دانشگاه آزاد اسلامی واحد مهاباد

۲- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مهاباد

۳- دانشیار گروه علمی علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

*مسئول مکاتبه:

چکیده

اهداف: گلرنگ به دلیل داشتن کیفیت بالای روغن دانه و وجود بیش از ۹۰ درصد اسیدهای چرب غیراشباع به عنوان گیاه روغنی با ارزشی مطرح می‌باشد. تنش خشکی، مهمترین عامل محدود کننده عملکرد گیاهان زراعی در بسیاری از نقاط جهان از جمله ایران می‌باشد. همزیستی با قارچ‌های میکوریزا سبب افزایش رشد، بهبود عملکرد و بالا رفتن مقاومت گیاهان در برابر انواع تنش‌های محیطی از جمله خشکی می‌شود. این تحقیق با هدف بررسی تأثیر همزیستی با میکوریزا بر میزان تحمل ارقام گلرنگ بهاره در سطوح مختلف تنش خشکی از طریق اندازه‌گیری برخی صفات کمی و کیفی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها: این آزمایش به صورت فاکتوریل-اسپلیت پلات، در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی، در مزرعه تحقیقاتی هنرستان کشاورزی ارومیه در سال ۱۳۹۴ با ۳ تکرار اجرا گردید. فاکتور اصلی سه سطح آبیاری شامل آبیاری مطلوب، تنش ملایم و تنش شدید خشکی و میکوریزا بصورت عدم تلقیح (شاهد) و تلقیح با میکوریزا گونه *Glomus mosseae* و فاکتور فرعی شامل پنج رقم گلرنگ بهاره پدیده، گل مهر، گلدشت، صفحه و مکزیک بود.

یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس نشان داد تنش خشکی شدید در مقایسه با آبیاری مطلوب، وزن هزار دانه، تعداد دانه در طبق، تعداد طبق در بوته، عملکرد دانه، عملکرد روغن و عملکرد پروتئین را به ترتیب به میزان ۲۹، ۳۰، ۳۳، ۵۸، ۶۲ و ۶۳ درصد کاهش داد. تلقیح با قارچ میکوریزا در مقایسه با عدم تلقیح عملکرد دانه، شاخص کلروفیل، عملکرد پروتئین، وزن هزار دانه و عملکرد بیولوژیک را به ترتیب به میزان ۱۴، ۱۳، ۱۴، ۵ و ۳۹ درصد افزایش داد.

نتیجه‌گیری: یکی از روش‌های به‌زراعی جهت بهبود عملکرد کمی و کیفی ارقام مختلف گلرنگ بویژه تحت شرایط تنش خشکی، تلقیح با قارچ‌های میکوریزا پیشنهاد می‌گردد همچنین در هر سه شرایط مختلف آبیاری، در بین ارقام مورد بررسی رقم پدیده از نظر عملکرد برتر از سایر ارقام بود و این رقم برای کشت در این منطقه مناسب به‌نظر می‌رسد.

واژه‌های کلیدی: پروتئین، تنش خشکی، روغن، عملکرد و اجزای عملکرد، گلرنگ، میکوریزا

Effect of Different Levels of Drought Stress and Mycorrhiza on Yield of Safflower Cultivars

Reza Haghshenas¹, Soran Sharafi^{2*}, Esmail Gholinezhad³

Received: August 18, 2018 Accepted: January 27, 2020

1-MSc of Agronomy, Islamic Azad University of Mahabad, Iran.

2-Assist. Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University of Mahabad

3-Assoc. Prof., Dept. of Agriculture Sciences, Payame Noor University, Tehran, Iran.

*Corresponding Author Email: sharafi 1352@yahoo.com

Abstract

Objectives: Safflower is known as valuable oil plant due to its high quality of seed oil and the presence of more than 90% of unsaturated fatty acids. Drought stress is the most important factor limiting crop yields in many parts of the world, including Iran. Coexistence with mycorrhizal fungi increases growth, improves yield, and increases plant resistance to a variety of environmental stresses, including drought. The aim of this study was to investigate the effect of coexistence with mycorrhiza on the tolerance of spring safflower cultivars at different levels of drought stress by measuring some quantitative and qualitative traits.

Materials and Methods: This experiment was conducted as a factorial-split plot based on randomized complete block design at research farm of Urmia agricultural high school during 2014 with three replications. The main plots (factor A and B) consisted of three levels of irrigation including optimum irrigation, moderate drought stress and severe drought stress and factor B included mycorrhiza in two levels: non-inoculation (control) and inoculation with mycorrhiza species *Glomus mosseae*. Sub plots (factor C) consisted of five spring safflower cultivars (Padideh, Gol Mehr, Goldasht, Safheh and Mexic).

Results: The results of variance analysis showed that Severe drought stress compared to optimum irrigation reduced 1000-seed weight, number of seeds per head, number of head per plant, seed yield, oil yield and protein yield by about 29, 30, 33, 58, 62 and 63%, respectively. Inoculation with mycorrhizal fungi compared to non-inoculation increased seed yield, chlorophyll index, protein yield, 1000-seed weight and biological yield by about 14, 13, 14, 5 and 39%, respectively.

Conclusion: One of the best methods for improving the quantitative and qualitative performance of safflower cultivars, especially under drought stress conditions, inoculation with mycorrhizal fungi is recommended. Also, in all three different levels of drought stress conditions, among the cultivars studied, Padideh cultivar was superior to other cultivars for yield and this cultivar is suitable for cultivation in this area.

Keywords: Drought Stress, Mycorrhiza, Oil, Protein, Safflower, Yield and Yield Components, Water Stress

مقدمه

روغن یکی از مواد غذایی مورد استفاده انسان است که بخش قابل توجه از کالری مورد نیاز روزانه را تأمین می‌کند. تولید روغن خوراکی در ایران بسیار کم است و متأسفانه همه ساله مقدار قابل توجهی ارز جهت واردات این ماده از کشور خارج می‌شود. از آنجایی که تولید روغن حیوانی همواره با محدودیت مواجه بوده است، لازم است که به منظور تأمین نیاز روز افزون روغن کشور، تولید گیاهان دانه روغنی افزایش یابد (پاسبان اسلام و طاهر قاسمی ۲۰۰۶). گلرنگ یک گیاه دانه روغنی بومی ایران است، سازگاری وسیعی نسبت به شرایط مختلف آب و هوایی کشور دارد و توده‌های بومی آن در اکثر مناطق یافت می‌شود. روغن این گیاه نیز نسبت به سایر دانه‌های روغنی، از کیفیت به مراتب بالاتری برخوردار است (پورداد و جمشید مقدم ۲۰۱۳). از این رو می‌تواند نقش بسیار مؤثری در تأمین نیازهای روغنی کشور ایفا نماید (بایبوردی ۲۰۰۷).

تنش خشکی، مهمترین عامل محدود کننده عملکرد گیاهان زراعی در بسیاری از نقاط جهان از جمله ایران می‌باشد (آروین و همکاران، ۲۰۱۸). گلرنگ اگرچه به دلیل داشتن ریشه‌های طویل و توانایی بالا در جذب رطوبت از اعماق خاک، به عنوان یک گیاه متحمل به کم-آبی شناخته می‌شود (فنائی و همکاران ۲۰۱۷)، ولی با خروج از مرحله رزت، به تنش رطوبتی حساس‌تر می‌شود، به طوری که از زمان پیدایش اولین آثار تشکیل گل آذین تا اواسط پر شدن دانه حساسیت بیشتری به این نوع تنش نشان می‌دهد. طیبی و همکاران (۲۰۱۸) بیان نمودند که ارتفاع و عملکرد دانه گیاه گلرنگ، تحت تنش خشکی به طور معنی‌داری کاهش یافت. لطفی و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند که آبیاری طبیعی منجر به بالاترین ارتفاع در گیاه گلرنگ گردید و اعمال تیمار کم آبی از میزان این متغیر به طور معنی-داری کاست. فراست و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند که

تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه و درصد روغن دانه گلرنگ شد. تنش رطوبتی در مراحل گلدهی و رسیدگی دانه منجر به کاهش تعداد طبق‌های بارور، تعداد دانه در طبق، وزن دانه و در نهایت عملکرد دانه و روغن گردید (نبی‌پور و همکاران ۲۰۰۷). از بین اجزای عملکرد گلرنگ، تعداد طبق در بوته و وزن هزار دانه نقش برجسته‌تری در تعیین عملکرد دارند و نقش فرآورده‌های فتوسنتزی غیرساختاری ذخیره شده در اندام‌های رویشی، به ویژه موادی که قبل از شروع مرحله گلدهی انباشت می‌شوند، در بهبود عملکرد دانه، طی دوره پر شدن دانه‌ها، تحت شرایط محدودیت آبی برجسته است (کویتروباس و همکاران ۲۰۰۹). ابوالحسنی (۲۰۰۶) در بررسی ۱۵ لاین بومی گلرنگ در شرایط تنش خشکی مشخص کرد که این تنش روی وزن دانه تأثیر منفی شدیدی داشت و تعداد دانه در طبق نیز، در شرایط تنش، ۷۱ درصد و در شرایط بدون تنش، ۷۰ درصد تغییرات عملکرد دانه در بوته را توجیه نمود.

میکوریزاها یکی از با مهم‌ترین قارچ‌های موجود در اغلب خاک‌ها می‌باشند، به طوری که برآورد می‌شود در حدود ۷۰ درصد از توده زنده جامعه میکروبی خاک را میسیلیوم‌های این قارچ‌ها تشکیل می‌دهند. اصطلاح میکوریزا که از دو کلمه Mikos به معنی نوعی قارچ و Rhiza به معنی ریشه تشکیل می‌شود (رجالی و همکاران ۲۰۰۷) و بیان کننده رابطه همزیستی بین ریشه‌های گیاه میزبان و قارچ‌های میکوریزی است (جفریس و همکاران ۲۰۰۳)، به سه کلاس اکتومیکوریز، اندومیکوریز و اکتواندومیکوریز تعلق دارند (کریستک و همکاران ۲۰۰۵). همزیستی با این قارچ‌ها موجب افزایش رشد، بهبود عملکرد و بالا رفتن مقاومت گیاهان در برابر انواع تنش‌های محیطی از جمله خشکی می‌شود. علی‌آبادی و همکاران (۲۰۰۸) اعلام کردند که قارچ میکوریزا باعث بهبود صفات کمی و کیفی

بررسی تأثیر همزیستی با میکوریزا بر میزان تحمل ارقام گلرنگ بهاره در سطوح مختلف تنش خشکی از طریق اندازه‌گیری برخی صفات کمی و کیفی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این تحقیق طی سال زراعی ۱۳۹۴، در مزرعه تحقیقاتی هنرستان کشاورزی ارومیه واقع در ۱۲ کیلومتری جاده ارومیه- مهاباد با طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۲ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۳۲ دقیقه و ارتفاع ۱۳۳۲ متر از سطح دریا اجرا گردید. بر اساس آمار هواشناسی، منطقه با داشتن ۱۵۰ تا ۱۸۰ روز خشک، زمستان‌های سرد و مرطوب و تابستان‌های گرم و خشک جزء رژیم رطوبتی خشک و نیمه خشک محسوب می‌شود. نتایج تجزیه خاک مورد آزمایش و برخی از خصوصیات هواشناسی منطقه در طی فصل رشد به ترتیب در جدول ۱ و ۲ آورده شده است.

گشنیز در شرایط تنش خشکی شد. باقری و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که همزیستی میکوریزایی به طور قابل ملاحظه‌ای بر رشد رویشی گیاه پسته در شرایط تنش خشکی افزود، به طوری که *G. intraradices* و *G. mosseae* به ترتیب ۷۰ و ۱۰۰ درصد ارتفاع بوته را نسبت به شاهد افزایش دادند. نادیان (۲۰۱۱) گزارش کرد که در تمام سطوح تنش خشکی، وزن ماده خشک سورگوم میکوریزایی از ارقام شاهد بیشتر بود. حقیقت‌نیا و همکاران (۲۰۱۲) اظهار داشتند که کلنی‌سازی میکوریزایی به ویژه توسط گونه *G. mosseae* سبب بهبود مقاومت به تنش خشکی و جبران بخشی از کاهش عملکرد گردید.

با وجود شواهد بسیار مبنی بر تأثیر قارچ‌های میکوریزایی بر افزایش تحمل گیاهان مختلف به ویژه انواع دانه روغنی به تنش خشکی، هنوز مطالعات جامعی در مورد اثرات این قارچ‌ها بر میزان تحمل گلرنگ به این نوع تنش انجام نشده است، لذا این تحقیق با هدف

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

عمق خاک (cm)	بافت خاک	EC (ds.m ⁻¹)	pH	درصد مواد خنثی شورنده	رطوبت اشباع (%)	آهک (%)	رس (%)	سیلت (%)	شن (%)	کربن آلی (%)	نیترژن (%)	فسفر (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم (mg.kg ⁻¹)
۰-۳۰	لومی-لومی رسی	۰/۷۷	۷/۶۹	۲۲/۸	۲۰	-	۲۸	۳۶	۲۶	۱/۱۱	۰/۱۱	۵/۲۱	۲۲۱

میکوریزا گونه و فاکتور فرعی شامل ۵ رقم گلرنگ (پدیده، گل مهر، گلدشت، صفحه و مکزیک) بود. برای برطرف کردن نیاز سرمایی ارقام پاییزه گلرنگ (پدیده و گل مهر) قبل از کاشت، بذور آنها در آب خیس گردید و در انکوباتور دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷ روز قرار داده شد (کاردوسو اوبا و همکاران ۲۰۱۷).

آزمایش به صورت فاکتوریل اسپلیت پلات با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار به اجرا درآمد. فاکتور اصلی شامل آبیاری در سه سطح، آبیاری مطلوب (۸۰ میلی‌متر تبخیر جمعی از تشتک تبخیر کلاس A)، تنش ملایم (۱۲۰ میلی‌متر تبخیر جمعی) و تنش شدید خشکی (۱۶۰ میلی‌متر تبخیر جمعی) و نیز میکوریزا در دو سطح، عدم تلقیح (شاهد) و تلقیح با

جدول ۲- مقادیر متوسط ماهانه دما، بارش، تبخیر و رطوبت نسبی هوا در طی فصل رشد گلرنگ در منطقه مورد مطالعه

پارامترهای هواشناسی	ماه				
	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
حداکثر دما (°C)	۲۴/۱	۲۷/۸	۳۲/۷	۳۳/۲	۳۱/۴
حداقل دما (°C)	۹/۲	۱۱/۰	۱۵/۸	۱۵/۷	۱۲/۶
میانگین دما (°C)	۱۶/۶	۱۹/۴	۲۴/۵	۲۴/۴	۲۲/۰
مجموع بارندگی (mm)	۳۵/۱	۲۴/۱	۰/۰	۰/۰	۰/۱
کل تبخیر (mm)	۱۹۰/۳	۲۵۵/۹	۲۳۸/۰	۲۸۱/۸	۲۳۶/۷
میانگین رطوبت نسبی (%)	۵۳	۵۱	۴۴	۴۲	۴۳

برای انجام آزمایش، قطعه زمین مناسبی در مزرعه هنرستان کشاورزی انتخاب شد. جهت مبارزه با علف-های هرز و آماده کردن زمین، شخم در پاییز انجام گرفت و در بهار پس از گاورو شدن زمین تکرار گردید. عملیات کاشت، در تاریخ ۲۸ فروردین ۱۳۹۴، به صورت جوی و پشته با فواصل بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر و روی ردیف ۵ سانتی‌متر انجام شد. برای اطمینان از حصول تراکم مورد نظر، در موقع کاشت در هر کپه ۳ عدد بذر قرار گرفت که در مرحله ۲ تا ۴ برگی تنک شدند. قبل از کاشت نسبت به مایه کوبی خاک با قارچ میکوریزا اقدام گردید. قارچ میکوریزا که از نوع *Glomus mosseae* بود از شرکت تحقیقاتی زیست فناوری توران شاهرود تهیه شد، تعداد اسپورهای آن در زیر میکروسکوپ ۲۰ عدد در هر گرم تعیین گردید و به میزان ۱۰ گرم در هر چاله ریخته شد. روی قارچ به ارتفاع ۲ سانتی‌متر با خاک پوشانده شد، کاشت بذرهای روی خاک انجام گرفت و روی بذرهای با حدود سه سانتی‌متر خاک پر گردید. آبیاری به روش نشستی صورت گرفت. تا زمان تنک بوته‌ها و استقرار کامل آنها، همه تیمارها به طور یکسان آبیاری شدند و بعد از این مرحله سطوح مختلف تنش خشکی اعمال گردید. جهت جلوگیری از نفوذ آب بین سطوح مختلف آبیاری یک

فاصله ۳/۵ متری بین تیمارها ایجاد شد. مبارزه با علف-های هرز در دو مرحله دو برگی و شروع رشد زایشی به صورت وجین دستی انجام گرفت.

در پایان فصل رشد، تعداد ۱۰ بوته از بخش میانی هر کرت انتخاب و متغیرهای ارتفاع بوته، قطر ساقه، مقدار کلروفیل تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه اندازه‌گیری گردید.

برای تعیین شاخص سطح برگ، برگ‌های بوته‌های موجود در یک متر مربع از هر کرت، از ساقه جدا گردید، مساحت آنها با استفاده از فرمول مول و کامپارث (۱۹۷۷) به شرح $A = L \times W \times 0.75$ که در آن، A: مساحت برگ، L: طول برگ و W: بزرگترین پهنای برگ می‌باشد، اندازه‌گیری شد و عدد حاصل بر مساحت ۱ متر مربع تقسیم گردید.

برای تعیین عملکرد بیولوژیک در واحد سطح، پس از حذف اثرات حاشیه‌ای، بوته‌های خطوط وسط هر کرت به مساحت یک مترمربع برداشت شدند، به مدت ۴۸ ساعت در داخل آون با دمای ۷۵ درجه خشک گردیدند و آنگاه با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ توزین شدند. عملکرد دانه در واحد سطح نیز در این یک متر مربع اندازه‌گیری گردید.

ارتفاع بوته

بیشترین ارتفاع بوته با میانگین ۱۱۰/۶۶ سانتی‌متر، مربوط به رقم پدیده در آبیاری مطلوب با مصرف میکوریزا و کمترین ارتفاع بوته با میانگین ۵۳ سانتی-متر، در رقم مکزیک در تنش شدید خشکی با عدم مصرف میکوریزا به دست آمد. در نتیجه می‌توان گفت که تنش شدید آبی و عدم مصرف میکوریزا باعث کاهش ارتفاع گیاه شد. تنش خشکی شدید و ملایم در مقایسه با آبیاری مطلوب، ارتفاع بوته ارقام گلرنگ را به ترتیب ۴۹ و ۱۲ درصد کاهش داد (جدول ۷). در شرایط آبیاری مطلوب، تنش خشکی ملایم و شدید، تلقیح با میکوریزا در مقایسه با عدم تلقیح، ارتفاع بوته را به ترتیب ۱۸، ۲۸ و ۱۱ درصد افزایش داد (جدول ۷).

کاهش ارتفاع بوته، در ژنوتیپ‌های گلرنگ، در شرایط کمبود رطوبت توسط امید (۲۰۰۹) گزارش شد. رجب نسب آقامحلی و کاراپتیان (۲۰۱۳) عنوان کردند که تنش خشکی از طریق کاهش میانگره‌ها باعث کاهش ارتفاع ارقام مختلف گلرنگ گردید. بنابر نظر لطفی و همکاران (۲۰۱۲) کاهش ارتفاع گلرنگ به موازات تنش خشکی را می‌توان به اختلال در فرآیند فتوسنتز کاهش ارائه مواد فتوسنتزی به بخش‌های در حال رشد و عدم دستیابی به پتانسیل ژنتیکی از نظر ارتفاع نسبت داد. فراهم بودن عناصر غذایی در نتیجه استفاده از کودهای زیستی، از طریق افزایش طول میانگره‌ها باعث افزایش ارتفاع گیاه می‌شود. سعیدنژاد و همکاران (۲۰۱۱) در تمامی تیمارهای حاوی کودهای بیولوژیک، برتری معنی‌داری را از نظر ارتفاع گیاه در سورگوم علوفه‌ای نسبت به تیمار شاهد گزارش کردند. سایر محققان نیز گزارش کردند تنش آبی باعث کاهش ارتفاع بوته در گیاه آفتابگردان شد و گیاهان تلقیح شده با میکوریزا ارتفاع بوته بیشتری داشتند و اثر متقابل تنش آبی و میکوریزا نشان داد گرچه تنش آبی باعث کاهش ارتفاع بوته گردید ولی قارچ‌های میکوریزا تا حدودی باعث جبران کاهش ارتفاع بوته ناشی از تنش آبی شدند

درصد روغن، با استفاده از دستگاه سوکسله (صفاری ۲۰۰۶؛ انجمن رسمی شیمیدان تحلیلی ۱۹۹۰) و درصد پروتئین با کمک دستگاه کج‌دال مدل v40 اندازه‌گیری شد (درصد نیتروژن محاسبه و سپس در عدد ۶/۲۵ ضرب شد) (حسینی ۱۹۹۵؛ تکاچاک ۱۹۶۹). عملکرد روغن از حاصل ضرب درصد روغن در عملکرد دانه و عملکرد پروتئین نیز از حاصل ضرب درصد پروتئین در عملکرد دانه محاسبه گردید.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS نسخه ۹/۲ و MSTATC نسخه ۱/۴۲، رسم نمودارها با استفاده از Excel و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس برای صفات مورد مطالعه در این تحقیق در جدول ۳ ارائه شد (جدول ۳). بر این اساس، اثر متقابل سه جانبه سطوح آبیاری، قارچ میکوریزا و رقم بر متغیرهای ارتفاع بوته، قطر طبق، شاخص سطح برگ، عملکرد بیولوژیک، تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق، درصد روغن دانه و عملکرد روغن در سطح احتمال ۱ درصد، اثر متقابل دو جانبه سطوح آبیاری و قارچ میکوریزا بر متغیرهای قطر ساقه، شاخص کلروفیل، عملکرد دانه در واحد سطح و عملکرد پروتئین، در سطح احتمال ۱ و یا ۵ درصد، اثر متقابل دو جانبه سطوح آبیاری و رقم بر متغیرهای قطر ساقه، شاخص کلروفیل، وزن هزار دانه، عملکرد دانه در واحد سطح، درصد پروتئین دانه و عملکرد پروتئین، در سطح احتمال ۱ درصد و اثر متقابل دو جانبه قارچ میکوریزا و رقم بر متغیرهای قطر ساقه و وزن هزار دانه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد.

(جمشیدی و همکاران ۲۰۰۹) که با یافته‌های ما در این تحقیق مطابقت داشت.

قطر ساقه

ترکیب تیماری سطوح آبیاری با قارچ میکوریزا نشان داد که حداکثر (۰/۹۰ سانتی‌متر) و حداقل (۰/۶۵ سانتی‌متر) قطر ساقه به ترتیب در شرایط آبیاری مطلوب و تلقیح با میکوریزا و تنش خشکی شدید و عدم تلقیح با میکوریزا به دست آمد (جدول ۴). در بررسی برهمکنش آبیاری و رقم مشخص شد که حداکثر (۱/۰۱ سانتی‌متر) و حداقل (۰/۵۹ سانتی‌متر) قطر ساقه به ترتیب در ارقام پدیده با آبیاری مطلوب و صفحه در تنش شدید خشکی مشاهده شد (جدول ۵). اثر متقابل قارچ میکوریزا و رقم نشان داد که بیشترین قطر ساقه به رقم پدیده با و بدون همزیستی با مایکریزا و کمترین آن به ارقام گلدشت و صفحه بدون همزیستی با مایکوریزا تعلق داشت (جدول ۶). پراساد و همکاران (۲۰۰۸) اظهار داشتند که کاهش رشد ساقه در شرایط تنش خشکی به دلیل کاهش فرایندهای مرتبط با تقسیم سلولی می‌باشد. معراجی پور و همکاران (۲۰۱۲) عنوان کردند که تنش خشکی با کم کردن میزان فتوسنتز، تقسیم سلولی و تجمع ماده خشک، سبب کاهش رشد ساقه در گلرنگ شد (معراجی پور و همکاران ۲۰۱۲). وجود میکروارگانسیم‌های ریزوسفری تأثیر مثبت بر رشد ساقه می‌گذارد. نصیری و همکاران (۲۰۱۶) و خرم قهفرخی و همکاران (۲۰۱۶) گزارش نمودند که مصرف کود زیستی سبب افزایش رشد ساقه گیاهان گردید. همسو با نتایج ما در این پژوهش، در نتایج سایر محققان نیز تأثیر مثبت قارچ‌های میکوریزا بر رشد ساقه در هر سه شرایط مختلف آبیاری (مطلوب، تنش ملایم و تنش شدید) گزارش شده است (حقیقت‌نیا و همکاران ۲۰۱۲).

قطر طبق

با افزایش شدت تنش خشکی، قطر طبق کاهش معنی‌داری پیدا کرد به طوری که تنش خشکی شدید و ملایم در مقایسه با آبیاری مطلوب، قطر طبق را به ترتیب به میزان ۳۴ و ۲۴ درصد کاهش داد (جدول ۷). در شرایط آبیاری مطلوب، تنش خشکی ملایم و شدید، تلقیح با قارچ میکوریزا در مقایسه با عدم تلقیح، قطر طبق را به ترتیب به میزان ۳، ۲ و ۷ درصد افزایش داد (جدول ۷). نتایج تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد قارچ‌های میکوریزا در طی دوره تنش خشکی با افزایش پتانسیل آب برگ، افزایش سرعت مصرف دی اکسید کربن و افزایش میزان تعرق و نیز افزایش میزان جذب آب در واحد زمان و در واحد طول ریشه گیاه میزبان قادر هستند اثرات تنش خشکی در گیاه را کاهش دهند (راعی و همکاران ۲۰۱۵).

شاخص سطح برگ

حداکثر شاخص سطح برگ در هر سه شرایط مختلف رطوبتی از رقم پدیده در تلقیح با قارچ میکوریزا بدست آمد و بین ارقام گلرنگ از نظر شاخص سطح برگ اختلاف معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۷). با افزایش شدت تنش خشکی، شاخص سطح برگ کاهش معنی‌داری پیدا کرد به طوری که تنش خشکی شدید و ملایم در مقایسه با آبیاری مطلوب، شاخص سطح برگ را به ترتیب به میزان ۸۶ و ۲۷ درصد کاهش داد (جدول ۷). کاهش چشمگیر مقدار شاخص سطح برگ گلرنگ در اثر کمبود آب در نتایج سایر محققان نیز گزارش شده است (میلاادی لاری و احسان زاده ۲۰۱۱ و پورقاسمیان و زینالی ۲۰۰۹). تنش کمبود آب از طریق کاهش تولید و رشد برگ، پیری زودرس برگ‌ها و افزایش پیری برگ‌ها مقدار شاخص سطح برگ را کاهش می‌دهد (فتحیان و احسان زاده ۲۰۱۶). در شرایط آبیاری مطلوب، تنش خشکی ملایم و شدید، تلقیح با قارچ میکوریزا در مقایسه با عدم تلقیح، شاخص سطح برگ را به ترتیب به

افزایش میزان رشد و محتوای آب برگ، کاهش هدایت روزنه‌ای و افزایش میزان فتوسنتز خالص می‌شود (دیکسون و همکاران ۱۹۹۴).

میزان ۳۳، ۱۳ و ۴۹ درصد افزایش داد (جدول ۷). مطالعات انجام گرفته نشان داده است که افزایش جذب آب به واسطه میکوریزا در گیاه میزبان اغلب باعث

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس برهمکنش سطوح آبیاری، قارچ میکوریزا و رقم بر صفات مورد مطالعه کلرنگ

میانگین مربعات															
منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع بوته	قطر ساقه	قطر طبق	شاخص سطح برگ	مقدار کلروفیل برگ	عملکرد بیولوژیک در واحد سطح	تعداد طبق در بوته	تعداد دانه در طبق	وزن هزار دانه	عملکرد دانه در واحد سطح	درصد روغن دانه	عملکرد روغن	درصد پروتئین دانه	عملکرد پروتئین
بلوک	۲	۹۴/۵۴ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۱۳ [*]	۰/۶۴ [*]	۷۷/۹۱ ^{ns}	۷۷۱۱۳۶/۰۰ ^{ns}	۰/۷۵ ^{ns}	۰/۲۳ ^{ns}	۴/۳۱ ^{ns}	۲۷۴۲۹/۴۳ ^{ns}	۰/۰۵ ^{ns}	۲۰۴۷/۱۹ ^{ns}	۰/۳۶ ^{ns}	۱۴۸۸/۹۲ ^{ns}
آبیاری	۲	۷۹۴۸/۳۱ ^{ns}	۰/۲۸ ^{ns}	۶/۹۸ ^{ns}	۲۳۹/۳۸ ^{ns}	۱۲۷۴۸/۵۷ ^{ns}	۷۲۲۴۳۸۴۵۸/۰۰ ^{ns}	۲/۹۸ ^{ns}	۸/۶۰ ^{ns}	۱۰۴۳/۸۷ ^{ns}	۱۵۲۹۵۴۱۹/۳۵ ^{ns}	۱۶/۱۶ ^{ns}	۱۱۱۰۳۸۶/۴۷ ^{ns}	۸۵/۹۰ ^{ns}	۹۰۰۷۵۲/۰۰۹ ^{ns}
میکوریزا	۱	۳۳۷۶/۱۰ ^{ns}	۰/۰۷ ^{ns}	۰/۰۲ ^{ns}	۲۵/۰۵ ^{ns}	۱۰۱۳/۳۷ ^{ns}	۲۹۳۷۹۶۰/۰۰ ^{ns}	۲/۲۱ ^{ns}	۰/۱۳ ^{ns}	۸/۱۰ ^{ns}	۱۳۵۷۰۰۱/۴۱ ^{ns}	۱۲/۵۳ ^{ns}	۱۳۷۴۲۷/۹۶ ^{ns}	۰/۱۷ ^{ns}	۶۸۳۶۲/۸۸ ^{ns}
آبیاری × میکوریزا	۲	۱۳۹۰/۵۳ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۰۵ ^{ns}	۱۰/۶۶ ^{ns}	۳۹۷/۹۱ ^{ns}	۴۰۶۳۷۲۰/۰۰ ^{ns}	۰/۱۸ ^{ns}	۰/۱۵ ^{ns}	۱/۰۳ ^{ns}	۱۶۳۰۸/۸۶ ^{ns}	۲/۳۳ ^{ns}	۶۲۰۹/۸۰ ^{ns}	۰/۰۹ ^{ns}	۱۴۶۲/۵۹ ^{ns}
خطای اصلی (E _{ab})	۱۰	۸/۳۸	۰/۰۰۱	۰/۰۰۹	۰/۰۵۳	۱۶۹/۶۰	۱۹۲۱۳۳۲	۰/۰۵	۰/۰۴	۱/۵۱	۲۰۰۱/۹۲	۰/۰۴۳	۸۹/۰۹	۰/۱۳	۱۰۵/۶۶
رقم	۴	۸۷۲/۰۹ ^{ns}	۰/۰۱۷ ^{ns}	۰/۰۶ ^{ns}	۱۴/۴۱ ^{ns}	۴۵۹/۰۷ ^{ns}	۴۴۶۲۱۲۰/۰۰ ^{ns}	۴/۴۶ ^{ns}	۳/۲۲ ^{ns}	۱۰۳/۷۱ ^{ns}	۹۲۶۷۵/۰۶ ^{ns}	۱۷/۰۸ ^{ns}	۱۶۰۷۴/۷۸ ^{ns}	۵/۹۱ ^{ns}	۱۲۱۹۷/۳۸ ^{ns}
آبیاری × رقم	۸	۳۹۹/۳۵ ^{ns}	۰/۰۰۶ ^{ns}	۰/۰۴ ^{ns}	۶/۶۰ ^{ns}	۳۱۸/۷۳ ^{ns}	۹۸۴۶۱۳/۰۰ ^{ns}	۰/۲۲ ^{ns}	۰/۱۵ ^{ns}	۲۱/۵۴ ^{ns}	۱۸۵۸۸/۱۱ ^{ns}	۴/۰۸ ^{ns}	۹۵۷/۰۵ ^{ns}	۰/۴۱ ^{ns}	۲۱۰/۱۵ ^{ns}
میکوریزا × رقم	۴	۲۱۱/۵۷ ^{ns}	۰/۰۰۶ ^{ns}	۰/۰۴ ^{ns}	۲/۸۶ ^{ns}	۶۳/۷۳ ^{ns}	۷۸۱۹۸۹۶/۰۰ ^{ns}	۰/۳۶ ^{ns}	۰/۱۶ ^{ns}	۲/۲۶ ^{ns}	۳۷۵۹/۲۵ ^{ns}	۱/۷۳ ^{ns}	۱۶۴۲/۰۳ ^{ns}	۰/۰۵ ^{ns}	۱۲۰/۱۳ ^{ns}
آبیاری × میکوریزا × رقم	۸	۱۹۰/۸۸ ^{ns}	۰/۰۰۱۹ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۲/۰۵ ^{ns}	۲۴/۰۶ ^{ns}	۱۹۳۲۹۱۸۷/۰۰ ^{ns}	۰/۱۰ ^{ns}	۰/۱۳ ^{ns}	۰/۵۳ ^{ns}	۲۱۳۲/۱۷ ^{ns}	۰/۹۹ ^{ns}	۷۴۴/۴۹ ^{ns}	۰/۰۶ ^{ns}	۱۱۳/۰۰ ^{ns}
خطای فرعی (E _c)	۴۸	۶/۳۱	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۴	۰/۱۹	۲۶/۵۱	۳۱۹۳۸۹۳/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۵۰	۴۳۸۴/۹۵	۰/۰۲	۲۸۴/۶۶	۰/۰۵۳	۲۴۷/۷۰
ضریب تغییرات (%)	-	۳/۲۷	۴/۳۵	۲/۷۹	۱۱/۱۱	۴/۰۶	۱۵/۸۱	۳/۴۲	۳/۲۳	۲/۱۸	۳/۷۸	۰/۵۷	۳/۷۹	۱/۰۶	۴/۰۸

ns، * و ** به ترتیب به معنی عدم وجود اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد می‌باشند.

جدول ۴- نتایج مقایسه میانگین برهمکنش سطوح آبیاری و میکوریزا بر برخی از صفات مورد مطالعه کلرنگ

تیمار (آبیاری × میکوریزا)	قطر ساقه (cm)	مقدار کلروفیل (SPAD)	عملکرد دانه در واحد سطح (kg.ha ⁻¹)	عملکرد پروتئین (kg.ha ⁻¹)
آبیاری مطلوب با میکوریزا	۰/۹۰ a	۶۸/۸۶ a	۲۶۱۹/۰۴ a	۵۸۶/۰۹ a
بدون میکوریزا	۰/۸۸ a	۶۴/۷۳ ab	۲۳۲۷/۴۶ b	۵۱۹/۲۴ b
تنش ملایم خشکی با میکوریزا	۰/۸۳ b	۵۵/۰۰ b	۱۸۵۰/۱۸ c	۴۲۶/۲۰ c
بدون میکوریزا	۰/۷۹ c	۴۰/۰۶ c	۱۶۰۳/۱۷ d	۳۶۷/۳۶ d
تنش شدید خشکی با میکوریزا	۰/۷۵ d	۲۶/۱۳ d	۱۱۴۴/۸۵ e	۲۲۶/۵۱ e
بدون میکوریزا	۰/۶۵ e	۲۵/۰۶ d	۹۴۶/۵۰ f	۱۸۶/۸۴ f

حرف مشترک به معنی عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها می‌باشد.

جدول ۵- نتایج مقایسه میانگین برهمکنش سطوح آبیاری و رقم بر برخی از صفات مورد مطالعه گلرنگ

عملکرد پروتئین (kg.ha ⁻¹)	درصد پروتئین دانه (%)	عملکرد دانه در واحد سطح (kg.ha ⁻¹)	وزن هزار دانه (g)	مقدار کلروفیل (SPAD)	قطر ساقه (cm)	تیمار (آبیاری × رقم)
۶۰۶/۷۰ a	۲۳/۱۷ b	۲۶۱۷/۸۵ a	۳۷/۸۳ bc	۶۸/۵۰ bc	۱/۰۱ a	پدیده
۵۲۸/۷۲ c	۲۲/۰۴ e	۲۳۹۸/۷۶ c	۳۳/۵۰ f	۶۲/۶۶ c	۰/۹۶ b	گل مهر
۵۸۳/۰۳ b	۲۳/۰۳ bc	۲۵۳۰/۸۸ b	۳۱/۸۳ g	۷۷/۸۳ a	۰/۷۸ g	گلدشت × آبیاری مطلوب
۵۱۸/۹۲ c	۲۱/۷۵ f	۲۳۸۴/۶۳ c	۳۷/۱۶ cd	۵۲/۵۰ de	۰/۸۱ fg	صفحه
۵۲۵/۹۵ c	۲۱/۶۰ f	۲۴۳۴/۱۱ c	۳۹/۳۳ a	۷۲/۵۰ ab	۰/۹۰ cd	مکزیک
۴۴۹/۶۵ d	۲۳/۷۶ a	۱۸۹۲/۱۶ d	۳۸/۵۰ b	۵۶/۳۳ d	۰/۹۰ cd	پدیده
۴۰۲/۷۹ e	۲۲/۸۴ c	۱۷۶۳/۴۱ e	۳۴/۳۳ e	۴۵/۱۶ f	۰/۹۱ c	گل مهر
۳۹۰/۸۷ ef	۲۳/۵۳ a	۱۶۵۹/۲۱ f	۳۲/۰۰ g	۵۲/۵۰ de	۰/۶۹ h	گلدشت × تنش ملایم خشکی
۳۶۷/۵۷ g	۲۲/۳۳ d	۱۶۴۵/۲۶ f	۳۶/۸۳ d	۳۴/۳۳ g	۰/۷۰ h	صفحه
۳۷۳/۰۴ fg	۲۲/۲۹ de	۱۶۷۳/۳۳ f	۳۷/۵۰ cd	۴۹/۳۳ ef	۰/۸۵ ef	مکزیک
۲۲۲/۵۲ h	۲۰/۳۶ g	۱۰۹۲/۶۳ g	۲۹/۱۶ h	۲۳/۶۶ i	۰/۸۶ de	پدیده
۲۰۶/۶۰ hi	۱۹/۵۲ hi	۱۰۵۷/۹۵ gh	۲۶/۰۰ j	۲۲/۸۳ i	۰/۷۲ h	گل مهر
۲۰۶/۰۸ hi	۱۹/۸۰ h	۱۰۴۰/۳۸ gh	۲۴/۳۳ k	۲۷/۰۰ hi	۰/۶۲ i	گلدشت × تنش شدید خشکی
۱۹۶/۲۱ i	۱۹/۶۵ hi	۹۹۸/۶۳ h	۲۱/۸۳ l	۳۲/۱۶ gh	۰/۵۹ i	صفحه
۲۰۱/۹۵ i	۱۹/۴۴ i	۱۰۳۸/۸۰ gh	۲۷/۰۰ i	۲۲/۳۳ i	۰/۷۰ h	مکزیک

حرف مشترک به معنی عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها می‌باشد.

جدول ۶- مقایسه میانگین برهمکنش قارچ میکوریزا و رقم بر قطر ساقه و وزن هزار دانه گلرنگ

وزن هزار دانه (g)	قطر ساقه (cm)	تیمار (میکوریزا × رقم)
۳۵/۲۲ a	۰/۹۳ a	پدیده
۳۱/۷۷ cd	۰/۸۷ b	گل مهر
۲۹/۲۲ f	۰/۷۴ d	گلدشت × با میکوریزا
۳۲/۳۳ c	۰/۷۵ d	صفحه
۳۵/۳۳ a	۰/۸۵ b	مکزیک
۳۳/۵۲ b	۰/۹۱ a	پدیده
۳۰/۷۷ e	۰/۸۶ b	گل مهر
۲۷/۵۵ g	۰/۶۵ e	گلدشت × بدون میکوریزا
۳۱/۵۵ d	۰/۶۵ e	صفحه
۳۳/۸۸ b	۰/۷۹ c	مکزیک

حرف مشترک به معنی عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها می‌باشد.

مقدار کلروفیل برگ

در تمامی سطوح مختلف آبیاری، تلقیح با قارچ میکوریزا در مقایسه با عدم تلقیح شاخص کلروفیل را به میزان ۱۴ درصد افزایش داد (جدول ۴). بررسی برهمکنش آبیاری و رقم نشان داد حداکثر (۷۷/۸۳) و حداقل (۲۲/۳۳) شاخص کلروفیل به ترتیب در ارقام گلدشت تحت شرایط آبیاری مطلوب و رقم مکزیم تحت شرایط تنش خشکی شدید مشاهده شد (جدول ۵). تنش خشکی شدید و ملایم در مقایسه با آبیاری مطلوب، شاخص کلروفیل را به ترتیب به میزان ۶۲ و ۲۹ درصد کاهش داد. سایر محققان نیز گزارش کردند تلقیح با قارچ‌های میکوریزا باعث افزایش سطح برگ‌ها و در نتیجه افزایش میزان کلروفیل گردید (رایت و همکاران ۱۹۹۸ و سهرابی و همکاران ۲۰۱۲). عدم کاهش میزان کلروفیل در تلقیح با میکوریزا تحت شرایط تنش خشکی به دلیل تاثیر مثبت میکوریزا در کاهش تنش اکسایشی و حفظ محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی بوده است. علت کاهش محتوای کلروفیل با افزایش سطح تنش خشکی احتمالا می‌تواند به دلیل افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلانز (کایا و همکاران ۲۰۰۱) و پیری زودرس برگ‌ها به دلیل اختلالات هورمونی (کافی ۲۰۰۰) باشد. سایر محققان نیز گزارش کردند با افزایش شدت تنش خشکی میزان کلروفیل کاهش معنی‌داری پیدا کرد (معراجی‌پور و همکاران ۲۰۱۲ و آزادبخت و همکاران ۲۰۱۶) که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت.

عملکرد بیولوژیک در واحد سطح

با افزایش شدت تنش خشکی، عملکرد بیولوژیک کاهش معنی‌داری پیدا کرد به طوری که تنش خشکی شدید و ملایم در مقایسه با آبیاری مطلوب، عملکرد بیولوژیک را به ترتیب به میزان ۸۲ و ۲۳ درصد کاهش داد (جدول ۷). در شرایط آبیاری مطلوب، تنش خشکی ملایم و شدید، تلقیح با قارچ میکوریزا در مقایسه با عدم

تلقیح، عملکرد بیولوژیک را به ترتیب به میزان ۳۳، ۴۸ و ۲۶ درصد افزایش داد (جدول ۷). کاهش عملکرد بیولوژیک در شرایط تنش خشکی را می‌توان ناشی از کاهش شاخص سطح برگ و کاهش قدرت منبع دانست. باغخانی و فرحبخش (۲۰۱۰) و نصیری و همکاران (۲۰۱۶) در گلرنگ نتایج مشابهی را گزارش کردند. تنش خشکی به دلیل کاهش آماس سلولی سبب کاهش فاصله میانگره‌ها، ارتفاع بوته، وزن تر و خشک و در نهایت کاهش عملکرد بیولوژیک می‌شود. قارچ میکوریزا با تولید ترکیبات تنظیم کننده رشد گیاه و افزایش فراهمی عناصر غذایی برای گیاه باعث افزایش فتوسنتز و میزان تولید ماده خشک در گیاه می‌شوند (نصیری و همکاران، ۲۰۱۶). دلیل افزایش عملکرد بیولوژیک در اثر استفاده از میکوریزا، بهبود کیفیت خاک، افزایش قابلیت دسترسی ریشه گیاه به عناصر غذایی توسط میکروارگانیسم‌های خاک بیان شده است (تینکا و همکاران ۲۰۰۷).

تعداد طبق در بوته

تنش خشکی شدید و ملایم در مقایسه با آبیاری مطلوب، تعداد طبق در بوته را به ترتیب به میزان ۳۴ و ۱۰ درصد کاهش داد. در شرایط آبیاری مطلوب، تنش خشکی ملایم و شدید، تلقیح با میکوریزا در مقایسه با عدم تلقیح، تعداد طبق در بوته را به ترتیب ۲۴، ۲۲ و ۱۳ درصد افزایش داد (جدول ۷). کاهش تعداد طبق در بوته در شرایط تنش خشکی را می‌توان به قدرت رشد رویشی کمتر گیاه تحت شرایط تنش که از کاهش در صفاتی چون ارتفاع بوته، قطر ساقه و تعداد ساقه‌های فرعی ناشی می‌شود نسبت داد. تنش خشکی ضمن کاهش سطح برگ‌ها، پیری زودرس آن‌ها را تسریع نموده و بدین وسیله می‌تواند میزان تولید را خیلی بیشتر از آنچه که به علت اثرات ناشی از شدت فتوسنتز خالص تقلیل می‌یابد کاهش دهد (سرمدنیا و کوچکی

خشکی تعداد سلول‌های بنیادی کاهش می‌یابد و تعداد دانه در طبق کمتری تولید می‌گردد (سرمدنیا و کوچکی 1999). از طرفی می‌توان گفت تنش خشکی باعث کاهش سطح ویژه برگ و دوام سطح برگ در گیاه شده که این وضعیت نیز با کاهش سطح فتوسنتز کننده در طول دوره رشد گیاه باعث کاهش تولید آسیمیلات‌ها شده و در نتیجه تعداد دانه کاهش می‌یابد (لطفی و همکاران ۲۰۱۲). امیرآبادی و همکاران (۲۰۰۹) طی آزمایشی که روی ذرت انجام دادند اظهار داشتند که کاربرد میکوریزا باعث افزایش معنی‌دار صفات تعداد دانه در ردیف بلال، تعداد ردیف دانه در بلال، تعداد دانه در بلال و وزن هزاردانه گردید. توحیدی مقدم و همکاران (۲۰۰۷) افزایش حلالیت فسفر توسط میکوریزاها و در نتیجه افزایش قابلیت دسترسی ریشه به فسفر می‌تواند در افزایش تعداد دانه در گیاه و نیز سایر اجزای عملکرد گیاه سویا موثر باشد. قارچ‌های میکوریزا از طریق گسترش شبکه‌های هیف خارج از ریشه موجب افزایش جذب و انتقال مواد غذایی به ریشه‌ها می‌شوند که این امر در بهبود عملکرد و اجزای عملکرد آنها موثر است (خان ۲۰۰۵).

وزن هزار دانه

حداکثر وزن هزاردانه در رقم مکزیک در شرایط آبیاری مطلوب با میانگین ۳۹/۳۳ گرم و حداقل وزن هزاردانه در شرایط تنش شدید خشکی در رقم صفحه با میانگین ۲۱/۸۳ گرم مشاهده شد (جدول ۵). تنش خشکی در مقایسه با آبیاری مطلوب، وزن هزاردانه را ۲۹ درصد کاهش داد. همچنین مقایسه میانگین برهمکنش میکوریزا و رقم نشان داد بیشترین وزن هزاردانه در ارقام مکزیک (۳۵/۳۳ گرم) و پدیده (۳۵/۲۲ گرم) در شرایط تلقیح با قارچ میکوریزا مشاهده شد و کمترین وزن هزاردانه از رقم گلدشت (۲۷/۵۵ گرم) در شرایط عدم تلقیح با قارچ میکوریزا بدست آمد (جدول ۶). تلقیح با قارچ میکوریزا در مقایسه با عدم تلقیح وزن

در نتیجه گیاه به دلیل کاهش منابع و مواد فتوسنتزی تعداد طبق کمتری تولید می‌کند کاهش ۳۸/۱ درصدی توسط فرید و احسان‌زاده (۲۰۰۶) و ۱۳/۱ درصدی توسط ابوالحسنی (۲۰۰۲) در تعداد طبق در بوته گلرنگ تایید کننده نتایج بدست آمده در این آزمایش است. تنش خشکی با کاهش طول دوره رشد گیاه و هم‌چنین تسریع در ورود به فاز زایشی منجر به کاهش تعداد طبق در بوته می‌شود، همچنین کمبود آبیاری مانع رشد جوانه‌های جانبی شده و تعداد شاخه فرعی و در نتیجه تعداد طبق در بوته را کاهش می‌دهد (حیاشی و حنادا ۱۹۹۸). افزایش تعداد طبق در بوته در نتیجه کاربرد کودهای بیولوژیک می‌تواند به دلیل افزایش جذب مواد غذایی توسط گیاه باشد (نصیری و همکاران ۲۰۱۶).

تعداد دانه در طبق

تنش خشکی شدید و ملایم در مقایسه با آبیاری مطلوب، تعداد دانه در طبق را به ترتیب به میزان ۲۹ و ۱۴ درصد کاهش داد. در شرایط آبیاری مطلوب، تنش خشکی ملایم و شدید، تلقیح با میکوریزا در مقایسه با عدم تلقیح، تعداد دانه در طبق را به ترتیب ۸، ۱۱ و ۸ درصد افزایش داد (جدول ۷). بیشتر بودن تعداد دانه در طبق در شرایط آبیاری مطلوب و تلقیح با میکوریزا را می‌توان به بیشتر بودن قطر طبق در این شرایط نسبت داد (جدول ۷). راعی و همکاران (۲۰۱۵) نیز در تحقیقی روی گلرنگ گزارش کردند که کاربرد توام از توپاکتر و میکوریزا در سطوح مختلف آبیاری تأثیر مثبت معنی‌داری بر تعداد دانه در طبق داشت. به طور کلی تعداد دانه در طبق تحت تأثیر شرایط محیطی دوران رشد سریع طبق و رشد سریع مغز دانه قرار می‌گیرد و تعداد دانه در طبق می‌تواند از قبل از شروع گرده‌افشانی تا مدتی پس از آن تغییر کند (ویالوبوس و همکاران ۱۹۹۶). ماده خشک ذخیره شده در بذر عمدتاً نتیجه فتوسنتز انجام شده می‌باشد بنابراین در اثر تنش

کاهش تعداد دانه در تیمار و کاهش وزن هزاردانه در تیمار تنش باشد (ماریتا و مولدون ۱۹۹۵). کمبود آب و بروز تنش خشکی در محیط رشد گلرنگ موجب کاهش اندازه گیاه، تغییر رنگ برگ‌ها، کم شدن دوام سطح برگ‌ها و کاهش عملکرد می‌شود (کافی و رستمی ۲۰۰۷). فرخی‌نیا و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که تنش خشکی در گیاه با کاهش آب برگ و در نتیجه بسته شدن روزنه‌ها و افت فتوسنتز از یک سو و متأثر کردن فعالیت‌های آنزیمی و فرآیندهای مربوطه از سوی دیگر، موجب افت عملکرد دانه از طریق کاهش اجزای عملکرد می‌شود.

بررسی جدول ۸ نشان داد که بین صفات وزن ۱۰۰۰ دانه ($r=0/75^{**}$)، تعداد دانه در طبق ($r=0/67^{**}$)، تعداد طبق در بوته ($r=0/47^{**}$)، قطر طبق ($r=0/93^{**}$) و عملکرد بیولوژیک ($r=0/78^{**}$) با عملکرد دانه همبستگی مثبت معنی‌داری وجود داشت. بنابراین با افزایش اجزای عملکرد دانه گلرنگ به خصوص وزن ۱۰۰۰ دانه و قطر طبق می‌توان عملکرد دانه را بهبود بخشید. البته همبستگی به تنهایی نمی‌تواند روابط بین دو متغیر را توجیه نماید به خاطر اینکه ممکن است این دو متغیر تحت تاثیر متغیرهای دیگر قرار گرفته باشند. با انجام تجزیه علیت بهتر می‌توان در این مورد تصمیم‌گیری کرد. بین صفت قطر طبق با وزن ۱۰۰۰ دانه و تعداد دانه در طبق همبستگی مثبت معنی‌داری وجود داشت به طوری که با افزایش قطر طبق، تعداد دانه در طبق نیز افزایش یافت. بنابراین با افزایش قطر طبق، تعداد دانه در طبق در ارقام گلرنگ افزایش یافته و دانه‌ها درشت‌تر و وزن ۱۰۰۰ دانه هم زیاد شده و برآیند آنها باعث افزایش عملکرد دانه شده است. راعی و همکاران (۲۰۱۵) نیز اظهار داشتند که تعداد دانه در طبق با قطر طبق همبستگی مثبت معنی‌داری دارد. بین قطر طبق با تعداد طبق در بوته و همچنین بین وزن ۱۰۰۰ دانه با تعداد طبق در بوته همبستگی معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۸). نژاد شاملو (۱۹۹۶) همبستگی بین تعداد دانه در طبق

هزار دانه را به میزان ۵ درصد افزایش داد (جدول ۶). افزایش وزن هزاردانه به شرایط محیطی در زمان پر شدن دانه مربوط است. کاهش رطوبت در این زمان منجر به کاهش وزن هزاردانه می‌شود. علت این کاهش احتمالاً به دلیل محدود بودن انتقال مجدد در تیمارهای تحت تنش رطوبتی می‌باشد. کاهش وزن هزار دانه تحت تنش رطوبتی در آزمایش‌های یاری و همکاران (۲۰۱۴) گزارش شده است. جمشیدی و همکاران (۲۰۰۹) اظهار داشتند همزیستی قارچ میکوریزا با ریشه گیاه گلرنگ ممکن است از طریق افزایش جذب آب و عناصر غذایی، باعث افزایش فتوسنتز گیاه شده و از این طریق موجب بهبود رشد گیاه گردیده باشد.

عملکرد دانه در واحد سطح

تلقیح با قارچ میکوریزا در مقایسه با عدم تلقیح عملکرد دانه را به ترتیب به میزان ۱۴ درصد افزایش داد (جدول ۴). بررسی برهمکنش آبیاری و رقم نشان داد حداکثر (۲۶۱۷/۸۵ کیلوگرم در هکتار) و حداقل (۹۹۸/۶۳ کیلوگرم در هکتار) عملکرد دانه به ترتیب در ارقام پدیده و صفحه مشاهده شد (جدول ۵). تنش خشکی در مقایسه با آبیاری مطلوب، عملکرد دانه را ۵۸ درصد کاهش داد. کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی نسبت به آبیاری مطلوب را می‌توان به کاهش فتوسنتز و ماده سازی در گیاه تحت شرایط تنش نسبت داد چرا که کاهش فتوسنتز خالص و کاهش مواد غذایی انتقال یافته از برگ به دانه از پیامدهای تنش کمبود آب است که باعث کاهش عملکرد دانه می‌شود. در بررسی صفات زراعی ژنوتیپ‌های گلرنگ در دو رژیم رطوبتی، گزارش شده است که عملکرد دانه گلرنگ در شرایط تنش رطوبتی به میزان ۵۸/۲۰ درصد دچار افت می‌شود (ابوالحسنی و سعیدی ۲۰۰۶). به طور کلی، از آنجایی که کاهش دوره پر شدن دانه، کوچک شدن دانه و کاهش وزن دانه از دلایل کاهش عملکرد می‌باشند، لذا کاهش عملکرد می‌تواند به واسطه

با عملکرد دانه را مثبت و بسیار بالا ($r=0/94^{**}$) گزارش نموده است. گل پرور و قاسمی پیربلوطی (۲۰۱۲) همبستگی بین وزن ۱۰۰۰ دانه و تعداد دانه در گیاه گلرنگ با عملکرد دانه را مثبت و معنی‌دار گزارش کردند. نیک فکر و سعیدی (۲۰۱۵) نیز همبستگی مثبت معنی‌داری را بین صفات قطر طبق، تعداد طبق در بوته و

تعداد دانه در طبق با عملکرد دانه گلرنگ گزارش کردند. در این آزمایش تنش خشکی با تغییر اجزای عملکرد دانه، عملکرد را کاهش داد. کاربرد قارچ میکوریزا مخصوصاً در شرایط تنش خشکی باعث جبران کاهش عملکرد دانه گردید.

جدول ۷- نتایج مقایسه میانگین برهمکنش سطوح آبیاری، قارچ میکوریزا و رقم بر برخی از صفات مورد مطالعه گلرنگ

عملکرد بیولوژیک در واحد سطح ($kg \cdot ha^{-1}$)		شاخص سطح برگ		قطر طبق (cm)		ارتفاع بوته (cm)		تیمار (میکوریزا × رقم)			
تنش شدید	تنش ملایم	آبیاری مطلوب	تنش شدید	تنش ملایم	آبیاری مطلوب	تنش شدید	تنش ملایم	تنش شدید	تنش ملایم	آبیاری مطلوب	آبیاری مطلوب
u	e	a	۱/۰۸ ij	۶/۳۷ c	۹/۰۱ a	۲/۰۶ jk	fgh	۲/۹۶ a	۶۵/۰۰	۹۲/۰۰	۱۱۰/۶۶ a
۲۸۰۰/۰۰	۱۱۶۰۰/۰۰	۱۴۰۰۰/۰۰					۲/۲۵		lmn	ef	
x	o	q	۱/۰۱ ij	fgh	۴/۶۰ ef	lnm	۲/۳۳ f	۲/۸۸ abc	۶۱/۳۳ jk	۷۲/۶۶ i	۷۲/۳۳ i
۱۶۶۶/۶۶		۶۶۶۰/۰۰ n		۳/۸۳		۱/۹۰					
w	i	h	۱/۴۴ i	۵/۰۲ de	۷/۰۵ c	۲/۰۵ jk	۲/۱۰ ij	۲/۷۳ d	۵۹/۳۳ jkl	۹۶/۶۶	۹۴/۳۳ def
۱۸۰۰/۰۰	۱۰۰۶۶/۶۶	۱۰۰۳۳/۳۳								de	
y	f	c	۱/۱۴ ij	۴/۸۱ de	۸/۱۸ b	mno	۲/۱۲ ij	۲/۸۸ abc	۶۱/۶۶ jk	۹۸/۳۳	۹۶/۳۳ def
۱۵۳۰/۰۰	۱۱۳۳۳/۳۳	۱۳۷۰۰/۰۰		۱/۸۳		۱/۸۳				cd	
u	d	a	۱/۱۲ ij	۳/۶۷ gh	۶/۹۹ c	۱/۹۶ kl	۲/۱۵ hij	۲/۹۰ a	۶۰/۶۶ jk	۹۲/۰۰ f	۱۰۲/۰۰ bc
۲۸۰۰/۰۰	۱۲۸۰۰/۰۰	۱۴۱۰۰/۰۰									
w	j	g	۰/۷۲ ij	۴/۹۸ de	۵/۵۱ d	۱/۹۱ lm	ghi	۲/۹۱ ab	۵۴/۶۶	۶۳/۶۶ j	۸۷/۰۰ g
۱۸۶۶/۶۶		۱۰۹۰۰/۰۰					۲/۲۱		mn		
۷۳۳/۳۳ z	۴۷۳۳/۳۳ r	۶۵۳۳/۳۳ o	۰/۵۶ j	۳/۷۸ gh	۳/۶۷ gh	lmno	۲/۲۷ fg	۲/۷۸ cd	۴۲/۶۶ o	۶۰/۶۶	۶۳/۰۰ j
				۱/۸۶		۱/۸۶				jk	
y	p	m	۰/۶۶ ij	efg	۴/۷۰ e	lmno	۲/۱۰ ij	۲/۶۰ e	۵۷/۶۶	۶۳/۳۳ z	۸۰/۶۶ h
۱۵۳۳/۳۳	۵۲۶۶/۶۶	۶۸۴۶/۶۶		۴/۴۶		۱/۸۹			klm		
z	s	k	۰/۴۸ j	efg	۶/۶۹ c	۱/۷۹ no	۲/۰۹ j	۲/۸۲ bcd	۵۷/۳۳	۸۷/۶۶ g	۱۰۳/۰۰ b
۱۴۰۰/۰۰	۴۰۹۲/۳۳	۸۱۰۰/۰۰		۴/۳۱					klmn		
v	t	l	۰/۵۶ j	۳/۰۹ h	۳/۶۸ gh	۱/۷۸ o	۲/۰۸ j	۲/۸۹ abc	۵۲/۰۰ n	۵۴/۶۶	۷۳/۰۰ i
۲۴۰۰/۰۰	۳۳۴۴/۳۱	۷۵۳۳/۳۱							mn		
عملکرد روغن ($kg \cdot ha^{-1}$)		درصد روغن دانه (%)		تعداد دانه در طبق		تعداد طبق در بوته		تیمار (میکوریزا × رقم)			
تنش شدید	تنش ملایم	آبیاری مطلوب	تنش شدید	تنش ملایم	آبیاری مطلوب	تنش شدید	تنش ملایم	تنش شدید	تنش ملایم	آبیاری مطلوب	آبیاری مطلوب
۴۹۲/۳۳ k	۸۵۴/۱۳ e	۱۱۵۴/۶۳ a	d	۴۲/۲۳ b	۴۲/۱۳ b	def	bc	۹/۰۰ jk	de	۱۴/۰۰ cd	۱۴/۰۰ cd
			۴/۲۳			۴۰/۶۶	۴۷/۶۶		۱۲/۰۰		
۴۷۷/۴۵ k	۷۹۶/۲۱ f	۱۱۰۴/۶۶ a	de	۴۱/۷۱ c	۴۲/۶۶ a	jk	fg	۴۴/۰۰ cd	۴/۰۰ o	۷/۳۳ l	۶/۰۰ mn
			۴/۱۶			۲۸/۶۶	۲۸/۳۳				
۴۴۲/۴۶ l	۷۱۱/۰۰ g	۱۰۶۶/۴۵ b	۳۹/۳۵ j	ghi	۴۰/۱۲ hi	jk	fgh	cde	۱۰/۰۰ ij	۱۶/۳۳ b	۲۱/۳۳ a
				۴۰/۲۶		۲۹/۰۰	۳۷/۳۳	۴۲/۳۳			
lm	۷۲۹/۱۴ g	۱۰۴۷/۰۵ b	m	۴۰/۷۶ f	۴۱/۵۸ c	۳۲/۰۰ ij	fgh	def	fghi	ef	۱۴/۶۶ c
۴۲۲/۴۲			۳۸/۰۴				۳۷/۰۰	۴۰/۰۰	۱۱/۰۰	۱۲/۰۰	
lm	۶۸۰/۶۹ h	۱۰۶۲/۱۳ b	n	hi	۴۰/۹۲ ef	efg	۵۰/۶۶ b	۵۲/۰۰ b	۸/۶۶ k	fg	۱۱/۶۶ fg
۴۲۷/۹۶			۳۷/۷۰	۴۰/۱۰		۳۸/۶۶				۱۱/۶۶	
lm	۷۱۰/۶۵ g	۱۰۱۰/۵۸ c	gh	۴۰/۵۰ g	۴۱/۱۶ de	۳۹/۳۳ l	def	۴۹/۳۳ b	۷/۰۰ l	fg	۱۳/۳۳ d
۴۰۸/۰۳			۴۰/۳۳				۴۰/۶۶			۱۱/۶۶	
lm	۶۴۹/۳۰ hi	۸۹۱/۸۳ de	de	hi	ghi	۳۷/۶۶ k	ghi	def	۴/۰۰ o	۷/۰۰ l	۵/۳۳ n
۳۹۲/۶۱			۴۱/۰۶	۴۰/۲۷	۴۰/۲۷		۲۴/۳۳	۴۰/۳۳			
mn	۶۰۷/۰۹ j	۹۴۰/۷۷ de	k	۳۹/۰۹ k	۳۹/۱۴ jk	۳۷/۰۰ k	fg	def	۹/۰۰ jk	fgh	۱۱/۶۶ fg
۳۳۳/۳۶			۳۹/۰۵				۲۸/۳۳	۴۱/۰۰		۱۱/۳۳	
۳۳۴/۵۵ n	۶۰۲/۸۴ ij	۹۲۳/۷۸ d	n	hi	۴۱/۰۲ de	jk	ghi	۳۸/۳۳ fg	۱۰/۳۳ hi	ghi	۱۳/۰۰ de
			۳۷/۷۳	۴۰/۱۳		۲۹/۰۰	۲۴/۰۰			۱۰/۶۶	
۳۵۳/۸۰ n	hij	۹۱۰/۵۴ de	n	۳۸/۵۶ l	۴۰/۰۶ i	hi	def	۵۲/۰۰ b	۷/۰۰ l	۶/۶۶ lm	۸/۳۳ k
	۶۳۴/۰۷		۳۷/۵۴			۳۲/۳۳	۴۲/۰۰				

حرف مشترک به معنی عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها می‌باشد.

درصد روغن دانه

تنش خشکی شدید و ملایم در مقایسه با آبیاری مطلوب، درصد روغن را به ترتیب به میزان ۷ و ۳ درصد کاهش داد. در شرایط آبیاری مطلوب، تنش خشکی ملایم و شدید، تلقیح با میکوریزا در مقایسه با عدم تلقیح، درصد روغن را به ترتیب ۵، ۶ و ۲ درصد افزایش داد (جدول ۷). نادری و همکاران (۲۰۰۵) اظهار داشتند که با اعمال تنش خشکی در گلرنگ درصد روغن به شدت کاهش می‌یابد. سایر محققان نیز اظهار داشتند که با کاهش میزان آبیاری، درصد روغن دانه گیاه گلرنگ کاهش پیدا کرد (راعی و همکاران ۲۰۱۵). کاهش درصد روغن در اثر تنش خشکی می‌تواند به علت اختلال در فرایندهای متابولیکی بذر و آسیب به انتقال آسمیلات ها به دانه باشد (بوچروآ و همکاران ۱۹۹۶). هزینه‌هایی که گیاه در برخورد با شرایط تنش خواهد داشت مانند تنظیم اسمزی و افزایش تخصیص مواد فتوسنتزی به ریشه از یک طرف و نیز کاهش فتوسنتز از سوی دیگر موجب کاهش انرژی لازم برای ساخت موادی مانند روغن می‌شود که نیاز به انرژی بیشتری دارند لذا درصد روغن کاهش می‌یابد. اوجاقلو (۲۰۰۷) اظهار کردند که کاربرد کودهای زیستی می‌توانند با ساز و کار جداگانه در افزایش عملکرد دانه و درصد روغن دانه گلرنگ مؤثر باشد. نتایج این آزمایش مبنی بر کاهش درصد روغن تحت تنش خشکی با نتایج حیدری و کرمی (۲۰۱۲) در تحقیقات خود روی آفتابگردان همخوانی دارد. بدنفالوی و همکاران (۱۹۸۸) در تحقیقات خود روی سویا به این نتیجه دست یافتند که در شرایط تنش، قارچ‌های میکوریزا با افزایش جذب آب سبب افزایش درصد روغن گردید. نتایج جمشیدی و همکاران (۲۰۰۹) نیز نشان داد که تلقیح با میکوریزا باعث افزایش درصد روغن آفتابگردان شد.

عملکرد روغن

رقم پدیده و گلمهر در شرایط آبیاری مطلوب و مصرف میکوریزا دارای بیشترین عملکرد روغن بودند

و کمترین میزان آن به رقم صفحه و مکزیک در شرایط تنش شدید خشکی و عدم مصرف مصرف میکوریزا مربوط بود (جدول ۷). تنش خشکی شدید و ملایم در مقایسه با آبیاری مطلوب، عملکرد روغن را به ترتیب به میزان ۶۲ و ۳۲ درصد کاهش داد. در شرایط آبیاری مطلوب، تنش خشکی ملایم و شدید، تلقیح با میکوریزا در مقایسه با عدم تلقیح، عملکرد روغن را به ترتیب ۱۶، ۱۷ و ۱۸ درصد افزایش داد (جدول ۷). کافی و رستمی (۲۰۰۷) بیان داشتند عملکرد روغن تحت تأثیر تنش خشکی قرار داشت به طوری که بیشترین عملکرد روغن در تیمار آبیاری کامل و کمترین عملکرد روغن در تیمار تنش شدید خشکی حاصل گردید. نادری درباغشاهی و همکاران (۲۰۰۵) اظهار داشتند با اعمال تنش خشکی در گلرنگ عملکرد روغن به شدت کاهش یافت. نتایج جمشیدی و همکاران (۲۰۰۹) نشان داد تحت شرایط کم آبی در آفتابگردان، عملکرد روغن در گیاهان تلقیح شده با میکوریزا از گیاهان تلقیح نشده بیشتر بود و آنها، افزایش عملکرد روغن را ناشی از افزایش تعداد دانه، کاهش میزان پوکی و وزن هزار دانه گزارش کردند. محسن نیا و جلیلیان (۲۰۱۲) بیان کردند عملکرد دانه در تیمار بدون کود زیستی میکوریزا در مقایسه با تیمارهای کودی کاهش معنی‌داری پیدا کرد.

درصد پروتئین دانه

حداکثر و حداقل درصد پروتئین دانه گلرنگ از ارقام پدیده (۲۳/۷۶ درصد) و گلدشت (۲۳/۵۳ درصد) در شرایط تنش خشکی ملایم و رقم مکزیک (۱۹/۴۴ درصد) در شرایط تنش خشکی شدید بدست آمد (جدول ۵). با افزایش تنش خشکی تا حد ملایم، درصد پروتئین ارقام گلرنگ افزایش معنی‌داری یافت و افزایش بیش از حد شدت تنش خشکی باعث کاهش درصد پروتئین دانه شد. تاثیر میکوریزا بر درصد پروتئین دانه معنی‌دار نشد. نتایج بدست آمده از این تحقیق با گزارشات باغخانی و فرحبخش (۲۰۱۰) و موحدی دهنوی و همکاران (۲۰۰۶) مطابقت دارد. بیشتر بودن درصد

تلقیح با قارچ میکوریزا در مقایسه با عدم تلقیح عملکرد پروتئین را به میزان ۱۴ درصد افزایش داد (جدول ۴). سایر محققان نیز گزارش کردند تنش خشکی باعث کاهش عملکرد پروتئین در گیاه کنجد شد در حالی که تلقیح با قارچ میکوریزا در تمامی شرایط مختلف رطوبتی عملکرد پروتئین را بهبود بخشید (قلی‌نژاد، ۲۰۱۶) که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. باغخانی و فرحبخش (۲۰۱۰) در تحقیقی روی گلرنگ بیان داشتند که تنش خشکی باعث کاهش عملکرد پروتئین شد. عملکرد پروتئین تابعی از درصد پروتئین و عملکرد دانه است با اینکه تنش خشکی ملایم در مقایسه با آبیاری مطلوب باعث افزایش درصد پروتئین دانه شد ولی این افزایش در برابر کاهش عملکرد دانه ناشی از تنش خشکی ناچیز بود و در نهایت عملکرد پروتئین در شرایط تنش خشکی کاهش پیدا کرد.

پروتئین در شرایط تنش رطوبتی می‌تواند با کاهش طول دوره رشد و نمو مرتبط باشد که سبب کاهش نسبت روغن به پروتئین و در نتیجه افزایش درصد پروتئین می‌شود (آلیاری و همکاران ۲۰۰۰). افزایش پروتئین‌ها تحت تنش خشکی احتمالاً به دلیل سنتز آنزیم‌ها و پروتئین‌های دفاعی جدید می‌باشد (هوکسترا و همکاران ۲۰۰۱). رجب نسب آقامحلی و کارپتیان (۲۰۱۲) و محسن نیا و جلیلیان (۲۰۱۲) در آزمایش گلرنگ به نتایج مشابهی دست یافتند بدین معنی که افزایش شدت تنش خشکی میزان پروتئین دانه را بالا برد.

عملکرد پروتئین

تنش خشکی شدید و ملایم در مقایسه با آبیاری مطلوب، عملکرد پروتئین را به ترتیب ۶۳ و ۲۹ درصد کاهش داد (جدول ۵). در تمام سطوح مختلف آبیاری،

جدول ۸- ضرایب همبستگی صفات عملکرد و اجزای عملکرد دانه

۶	۵	۴	۳	۲	۱	
					۱	۱- وزن ۱۰۰۰ دانه
				۱	۰/۶۱**	۲- تعداد دانه در طبق
			۱	۰/۳۶*	۰/۳۳ ^{ns}	۳- تعداد طبق در بوته
		۱	۰/۳۴ ^{ns}	۰/۹۲**	۰/۶۷**	۴- قطر طبق
	۱	۰/۹۳**	۰/۴۷**	۰/۶۷**	۰/۷۵**	۵- عملکرد دانه
۱	۰/۷۸**	۰/۷۰**	۰/۶۰**	۰/۶۳**	۰/۷۹**	۶- عملکرد بیولوژیک

**، * و ^{ns} به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪، ۵٪ و غیر معنی‌دار

نتیجه گیری کلی

دانه گردید و در هر سه شرایط مختلف آبیاری (مطلوب، تنش ملایم و تنش شدید) نیز می‌توان با مصرف قارچ میکوریزا اجزای عملکرد دانه را بهبود بخشید. در هر سه شرایط مختلف رطوبتی و تلقیح با قارچ میکوریزا، بیشترین عملکرد روغن و عملکرد پروتئین از رقم پدیده بدست آمد. به نظر می‌رسد قارچ میکوریزا در این رقم در مقایسه با سایر ارقام، اجزای عملکرد دانه را بیشتر افزایش داد و باعث تولید حداکثر عملکرد دانه شد.

نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که تنش خشکی و کمبود آب عملکرد و اجزای عملکرد دانه گلرنگ را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد. کاربرد قارچ میکوریزا در هر سه شرایط مختلف آبیاری عملکرد و اجزای عملکرد دانه اکثر رقم‌ها را افزایش داد. با توجه به نتایج بدست آمده استفاده از قارچ میکوریزا باعث کاهش تعداد دانه پوک و افزایش قطر ساقه و وزن هزار

منابع مورد استفاده

- Abolhasani Kh and Saeidi Gh. 2006. Evaluation tolerance to drought stress of safflower lines based on tolerance and susceptibility indices to water stress. *Journal of Agricultural Sciences and Technology*, 10(3): 407-418. (In Persian).
- Abolhasani Kh. 2002. Evaluation of lines from safflower landraces in two moisture regimes. M.Sc of Agriculture, Islamic Azad University, Khorasgan Branch of Isfahan.
- Aliabadi Farahani H, Arbab A and Abbaszadeh B. 2008. The effects of super phosphate triple, water deficit stress and Glomus hoi biological fertilizer on some quantity and quality characteristics of *Coriandrum sativum* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 24(1): 18-30. (In Persian).
- Alyari H and Shekari F. 2000. Oily seeds (Agriculture and physiology). Publications of Amidi. Tabriz. 182p. (In Persian).
- Amirabadi M, Ardakani MR, Rejali F, Borji M and Khaghani Sh. 2009. Determination of mycorrhizal and aztobacter efficiency under different levels of P on yield and yield components corn Var. 704 in Arak. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 40(2): 45-51. (In Persian).
- Arvin P, Vafa bakhsh J and Mazaheri D. 2018. Study of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and drought on physiological traits and ultimate yield of cultivars of oilseed rape (*Brassica* spp. L.). *Journal of Agroecology*, 9(4): 1208-1226. (In Persian).
- Association Official Analytical Chemists. 1990. Official Method of Analysis. Washington, DC, USA.
- Azadbakht F, Ahmadi Kh and Omidi H. 2016. The effect of drought stress at the end of the season on germination indices and photosynthetic pigments of mother base safflower genotypes. *Journal of Plant Ecophysiology*, 8(32): 75-90. (In Persian).
- Bagheri V, Shamshiri MH, Shirani H and Rousta HR. 2011. The effect of mycorrhizal fungi and drought stress on growth, water relations, Proline and soluble accumulation in two basic cultivars of domestic pistachios. *Iranian Journal of Horticulture*, 42(4): 365-377. (In Persian).
- Baghkhani F and Farahbakhsh H. 2010. Effects of drought stress on yield and some physiological characters of three spring safflower (*Carthamus tinctorius*) varieties. *Agricultural Research: Water, Soil and Plant in Agriculture*, 8(2): 45-57. (In Persian).
- Baybordi A. 2007. Safflower Plant Nutrition. Publications Parivar. Tabrez. Press 80p. (In Persian).
- Bethenfalway GJ, Brown MS, Ames RN and Thomas RS. 1988. Effects of drought on host and endophyte development in mycorrhizal soybeans in relation to water use and phosphate uptake. *Plant Physiology*, 72: 565-571.
- Bouchereau A, Clossais BN, Bensaoud A, Beport L and Renard M. 1996. Water stress effects on rapeseed quality. *European Journal of Agronomy*, 5: 19-30.
- Cardoso Oba G, Duarte Goneli AL, Elisa Masetto T, Hartmann Filho CP, Souza Patricio V, Laís Leite Sarath K. 2017. Dormancy of safflower seeds: effect of storage and cold stratification. *Journal of Seed Science*, 39(4): 433-439.
- Dixon RK, Rao MV and Garg VK. 1994. Water relation and gas exchange of mycorrhizal leucaena leucocephala seedlings. *Journal of Tropical Forest Science*, 6: 542-552
- Fanaei HR, Azma A and Piri I. 2017. Effect of biological and chemical fertilizers on oil, seed yield and some agronomic traits of safflower under different irrigation regimes. *Journal of Agroecology*, 8(4): 551-566. (In Persian).
- Farasat M, Sajedi N and Mirzakhani M. 2012. Evaluation of effect of drought stress on yield and yield components of safflower genotypes. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 10(2): 346-353. (In Persian).

- Farid N and Ehsanzadeh P. 2006. Yield and yield components of safflower genotypes and its response to shading on inflorescences and adjacent leaves in spring conditions in Isfahan. *Journal of Agricultural Sciences and Technology*, 10(1): 189-198. (In Persian).
- Farokhnia M, Roshdi M, Pasban Eslam B and Sasandoust R. 2011. Study of some physiological characteristics and spring safflower yield under water deficit stress. *Journal of Iranian Crop Science*, 42(3): 545-553. (In Persian).
- Fathian Sh and Ehsanzadeh P. 2016. Relationship of some physiological characteristics with yield in spring safflower in two irrigation regimes. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 43(4): 649-659. (In Persian)
- Gholinezhad E. 2016. Effect of two species mycorrhizal fungi on quantitative and qualitative yield of sesame (*Sesamum indicum* L.) landraces in different levels of drought stress. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 15(1): 150-167. (In Persian).
- Golparvar A and Gasemi Pirbalouti A. 2012. Evaluation of correlation and pass analysis of seed and oil yield in spring safflower cultivars under optimum irrigation and drought stress. *New Agricultural Findings*, 6(3): 255-267. (In Persian).
- Haghiatnia H, Nadian H, Rejali F and Tavakoli AR. 2012. Effect of two species of arbuscular-mycorrhizal fungi on vegetative growth and phosphorous uptake of Mexican lime rootstock (*Citrus aurantifolia*) under drought stress conditions. *Journal of Plant and Seed Improvement*, 28(4): 403-417. (In Persian).
- Hayashi H and Hanada K. 1998. Effects of soil water deficit on seed yield and yield components of safflower. *Japans Journal of Crop Science*, 54(4): 364-352.
- Heidari M and Karami V. 2013. Effect of drought stress and mycorrhiza species on yield and grain yield components, chlorophyll content and biochemical composition of sunflower. *Journal of Environmental Stress in Crop Sciences*. 6(1): 17-26. (In Persian).
- Hoekstra FA, Golovina EA and Buitink J. 2001. Mechanisms of plant desiccation tolerance. *Trends in Plant Science*, 6(9): 431-438.
- Hosseini, Z. 1995. Conventional methods in food analysis. Shiraz University Press. Pp. 210. (In Persian).
- Jamshidi E, Ghalavand A, Salehi A, Zare MJ and Jamshidi AR. 2009. Effect of Arbuscular mycorrhizal on yield, yield components and plant characteristics of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 11(2): 136-151. (In Persian).
- Jeffries P, Gianinazzi S, Perotto S, Turnau K, Barea JM. 2003. The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. *Biological and Fertility of Soils*, 37: 116-126.
- Kafi M and Rostami M. 2007. Effect of drought stress on reproductive growth stage on yield, yield components and oil content of three safflower cultivars under irrigation conditions with saline water. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 5(1): 121-131. (In Persian).
- Kafi, M. 2000. Mechanisms of response to environmental stresses in plants. Publishers of Mashhad Ferdowsi University. 309p. (In Persian).
- Kaya C, Higgs D and Kernak H. 2001. The effects of high salinity (NaCl) and supplementary phosphorus and potassium on physiology and nutrition development of development of spinach. *Blug. Plant Physiology*, 27: 47-59.
- Khan AG. 2005. Mycorrhizas and phytoremediation. In: Willey N. (ed.), *Method in Biotechnology-Phytoremediation: Methods and Reviews*. Totowa, USA: Humana Press.
- Khoram Ghahfarokhi A, Rahimi A and Torabi B. 2016. Effect of humic acid fertilizer application and foliar spraying of compost tea and vermiwash on growth indices of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Plant Process and Function*, 5(17): 221-235. (In Persian).
- Koutroubas SD, Papakost DK and Doitsinis A. 2009. Cultivar and seasonal effects on the contribution of pheanthesis assimilation to safflower yield. *Field Crops Research*, 90: 263-299

- Kristek S, Kristek A and Pavlovic H. 2005. The influence of mycorrhizal fungi on field pea plant survival and growth in drought caused stress condition. *Plant, Soil and Environment*, 51: 385-389
- Lotfi P, Mohammadi-Nejad G and Golkar P. 2012. Evaluation of drought tolerance in different genotypes of the Safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Agriculture Knowledge*, 5(7): 1-14. (In Persian).
- Marita T and Muldoon D. 1995. Effect of irrigation schedules and new spacing on the yield of safflower. *Journal of Oilseed Research*, 7: 307-308
- Merajipour M, Movahedi dehnavi M, Dehdari A, Faraji H and Merajipour M. 2012. The effect of drought stress on some of physiological traits four spring safflower in Yasoj region. *Environmental stresses in Crop Sciences*, 5(2): 125-134. (In Persian).
- Milady Lary S and Ehsanzadeh P. 2011. The negative effect of drought on safflower grain yield through impact of photosynthetic efficiency and surfaces. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 41: 375-384. (In Persian).
- Mohsennia O and Jalilian J. 2012. Response of safflower Seed quality characteristics to different soil fertility systems and irrigation disruption. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*, 3(5): 968-976.
- Moll RH and Kamparth EJ. 1977. Effect of population density up on agronomic traits associated with genetic increases in yield of Maize. *Agronomy Journal*, 69: 81-84.
- Movahedi dehnavi M, Modares Sanavi SAM and Jalili M. 2006. The effect of drought stress and spraying Zn and Mn on yield and yield components of three autumn safflower cultivars. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 5: 1-11. (In Persian).
- Nabipour M, Meskarabashee M and Yousefpour H. 2007. The effect of water deficit on yield and yield components of safflower. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 10(3): 421-426
- Naderi Darbagshahi MR, Noormohammadi Gh, Majidi Haravan E, Darvish F, Shirani-Rad AH and Madani H. 2005. Effect of drought stress and plant density on ecophysiological traits of three safflower lines in summer planting in Isfahan. *Plant and Seed*, 20(3): 281-296. (In Persian).
- Naderi MR, Nour-Mohammadi G, Majidi I, Darvish F, Shirani-Rad AH and Madani H. 2005. Evaluation of summer safflower reaction to different intensities of drought stress at Isfahan region. *Journal of Agricultural Sciences of Iran*, 7(3): 211-225. (In Persian).
- Nadian H. 2011. Effect of drought stress and mycorrhizal symbiosis on growth and absorption of phosphorus by two different sorghum cultivars in root morphology. *Journal of Agricultural Sciences and Technology*, 15(57): 127-140. (In Persian).
- Nasiri M, Roozbahani A and Ziaei Nasab M. 2016. Effect of low irrigation and use of phosphate solubilizing bio-fertilizer on yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Plant Ecophysiology*, 8(27): 32-43. (In Persian).
- Nezhad Shamloo AR. 1996. Morphological characteristics and performance of spring safflower cultivars in Isfahan. M.Sc of Agriculture, Islamic Azad University, Khorasgan Branch of Isfahan.
- Nikfekar R and Saeidi Gh. 2015. Study of relationship between agronomic traits and yield components in some of breeding lines of safflower. *Production and processing of Crops and Gardens*, 5(16): 65-73. (In Persian).
- Ojaglu F. 2007. The effect of bio-fertilizer inoculation on grain yield and its components of safflower. M.Sc. Thesis. Islamic Azad University of Tabriz. 89 pp.
- Omidi H. 2009. Effect of drought stress at different growth stages on seed yeild and some agro-physiological traits of three spring safflower cultivars. *Journal of Seed and Plant Improvement*, 25(1): 15-31. (In Persian).
- Pasban Eslam B and Taher Ghasemi M. 2006. Evaluation of yield and yield components in spring safflower genotypes. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 1(2): 357-362. (In Persian).

- Pourdad SS and Jamshid Moghaddam M. 2013. Study on genetic variation in safflower collection (*Carthamus tinctorius* L.) under rainfed condition. Iranian Dryland Journal, 1(3): 1-16. (In Persian).
- Pourqasemian N and Zahedi M. 2009. Effects of planting pattern and level of soil moisture on yield and yield components of two safflower cultivars in Isfahan. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, 13: 545-555. (In Persian).
- Prasad PVV, Staggenborg SA and Ristic Z. 2008. Impacts of drought and/or heat stress on physiological, developmental, growth, and yield processes of crop plants. In: Response of crops to limited water: understanding and modeling water stress effects on plant growth processes. (Eds. Ahuja, L. R., Reddy, V. R., Saseendran, S. A. and Yu, Q.) 301-355. American Society of Agronomy, Crop Science Society of American, Soil Science Society of American, Madison, USA.
- Raei Y, Shariati J and Weisany W. 2015. Effect of biological fertilizers on seed oil, yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) at different irrigation levels. Journal of Agricultural Science and Suitable Production, 25(1): 65-84. (In Persian).
- Rajab Nasab Aghamahali M and Karapetian Zh. 2013. The water stress at flowering stage on plant height and seed protein of different safflower cultivars. Iranian Ecophysiology Research, 8(3): 37-46. (In Persian)
- Rejali F, Alizadeh A, Malakouti MJ and Saleh Rastin N. 2007. Investigating the effect of arbuscular mycorrhizal symbiosis on growth, yield and mineral intake of wheat under drought stress. Journal of Soil and Water Sciences, 21(2): 241-259. (In Persian).
- Saeidnezhad AH, Rezvani Moghddam P, Khazaei HR and Nasiri Mahalati M. 2011. The effect of organic matter, biological fertilizer and fertilizer on digestibility and protein content of forage sorghum in Speidefid variety. Iranian Journal of Field Crops Research, 9(4): 623-630. (In Persian).
- Safari, H. 2006. Evaluation of effect of method and optimal range of micronutrient fertilizer containing iron and zinc on qualitative and quantitative of rapeseed oil. Proceedings of the 1th scientific, practical and industrial seminar of vegetable oils in Iran. P: 183-186. (In Persian).
- Sarmadnia A and Kocheki A. 1999. Crop physiology. Publications University of Mashhad.
- Sohrabi Y, Heidari G, Weisany W, Ghasemi Golezani K and Mohammadi K. 2012. Changes of antioxidativ enzymes, lipid peroxidation and chlorophyll content in chickpea types colonized by different *Glomus* species under drought stress. Symbiosis, 56: 5-18.
- Tayebi S, Earahvash F, Mirshekari B, Tari-nejad A and Yarnia M. 2018. Effect of shoot application of Salicylic acid on some growth parameters and yield of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under water stress. Journal of Plant Ecophysiology, 32: 78-93. (In Persian).
- Tinca G, Munteanu N, Paduraru A, Podaru M and Teliban G. 2007. Optimization zation of certain technological measure for Hyssop (*Hyssopus officinalis*) crops in the ecological condition. Financed by Ministry of Education Research and Youth, 1059: 132-134.
- Tkachuk R. 1969. Nitrogen-to-Protein Conversion Factors for Cereals and Oilseed Meals. 46: 419-423.
- Tohidi Moghadam, H., Ghoshchi, R.F., Hamidi, A., and Kasraey, P. 2007. Influence of biofertilizer application on quantity and quality characteristics of soybean. Iranian Journal of Dynamic Agriculture 4(2): 205-216. (In Persian).
- Villalobos FJ, Hall AJ, Ritchie JT and Orgaz F. 1996. Oilcrop-sun: A development growth and yield model of the sunflower crop. Agronomy Journal, 88: 403-415.
- Wright DP, Scholes JD and Read DJ. 1998. Effects of mycorrhizal colonization on photosynthesis and biomass production of *Trifolium repens* L. Plant Cell and Environment, 21: 209-216.
- Yari P, Keshtkar AH and Sepehri A. 2014. Evaluation of water stress effect on growth and yield of spring safflower. Plant Production Technology, 14(2): 101-117. (In Persian).