



به‌زرعی کشاورزی

دوره ۲۴ ■ شماره ۲ ■ تابستان ۱۴۰۱

صفحه‌های ۳۷۹-۳۹۲

DOI: 10.22059/jci.2021.319223.2521

مقاله پژوهشی:

تأثیر قارچ مایکوریزا آربسکولار روی عملکرد و برخی از شاخص‌های فیزیولوژیک گلرنگ در شرایط کم‌آبی

هادی اسدپور^۱، سعید حضرتی^{۲*}، امیررضا صادقی بختوری^۳، بهمن پاسبان اسلام^۴

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران.

۲. دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران.

۳. استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران.

۴. دانشیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات آموزش کشاورزی و منابع طبیعی، آذربایجان شرقی، تبریز، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۴/۰۵

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۱۱/۲۸

چکیده

قارچ‌های مایکوریزیایی از طریق ایجاد تغییرات روی برخی از خصوصیات ریشه، جذب عناصر غذایی و آب در گیاهان میزبان اثرات تنش خشکی را کاهش می‌دهد. به‌منظور بررسی تأثیر قارچ مایکوریزا آربسکولار بر برخی از خصوصیات گلرنگ بهاره رقم صفا تحت شرایط کم‌آبی، آزمایشی به‌صورت اسپلیت‌پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۸ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید مدنی استان آذربایجان شرقی به‌اجرا در آمد. نتایج نشان داد بیش‌ترین و کم‌ترین میزان عملکرد گلبرگ در شرایط عدم تنش کم‌آبی و تنش کم‌آبی از مرحله گلدهی به‌ترتیب به‌میزان ۲۸۱/۶ و ۱۹۷/۳ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. در تیمار عدم تنش کم‌آبی بیش‌ترین درصد روغن دانه به‌میزان ۳۰/۶۵ درصد مربوط به تیمار بذر با قارچ بود. بیش‌ترین عملکرد روغن از تیمار عدم تنش کم‌آبی ۱۰۹۸/۹ کیلوگرم در هکتار، هم‌چنین در تلقیح بذر با قارچ مایکوریزا آربسکولار ۱۱۰۷/۸ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. بیش‌ترین میزان عملکرد دانه (۴۸۸۴/۴ کیلوگرم در هکتار) در تیمار بدون تنش کم‌آبی در تلقیح بذر و خاک با قارچ به‌دست آمد. با توجه به نتایج تنش کم‌آبی منجر به کاهش عملکرد شده و تلقیح با قارچ مایکوریزا آربسکولار به‌ویژه تلقیح بذر و خاک، عملکرد گیاهان تحت تنش کم‌آبی را به‌واسطه اثر مثبت در فرایند جذب مواد غذایی و آب، رشدونمو را بهبود بخشید و گیاهان تلقیح‌شده با قارچ مایکوریزا آربسکولار در مقایسه با گیاهان تلقیح‌نشده از رشد، عملکرد و محتوای روغن بهتری در شرایط تنش کم‌آبی برخوردار بودند.

کلیدواژه‌ها: درصد روغن، عملکرد، قارچ مایکوریزا آربسکولار، کم‌آبی، گلرنگ.

The Effect of Arbuscular Mycorrhiza Fungi (AMF) on Yield and Some of Physiological Traits of Safflower under Water-deficit Stress Conditions

Hadi Asadpour¹, Saeid Hazrati^{2*}, Amir Reza Sadeghi Bakhtvari³, Bahman Pasban Eslam⁴

1. M.Sc. Student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran.

2. Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran.

3. Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran.

4. Associate Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Tabriz, Iran.

Received: February 16, 2021

Accepted: June 26, 2021

Abstract

Arbuscular mycorrhiza fungi (AMF) reduce the effects of drought stress by altering some root properties and absorbing nutrients and water in plants. In order to evaluate the effect of AMF on some characteristics of *spring safflower* (*Carthamus tinctorius* L.-cv. *Sofeh*) under water-deficit condition, this experiment has been carried out at research farm of the Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz in 2018. The experiment is done as a split plot in a completely randomized blocks design with three replications. The results show that the highest petal yield under non-water stress is 281.6 kg/ha and the lowest stress from flowering stage to 197.3 kg/ha. In the control, the highest content of seed oil is 30.65% related to the seed inoculated with AMF. The highest oil yield is obtained from the condition without stress with 1098.9 kg/ha, also in seed inoculated with fungus of 1107.8 kg/ha. The highest seed yield (4884.4 kg/ha) is obtained in the condition without water stress and inoculation of seeds and soil with AMF. In general, water stress leads to reduced yield and inoculation with AMF, especially inoculation of seeds and soil, yield of plants under water stress due to the positive effect on growth improve nutrition and water uptake. Plants inoculated with AMF display improved growth, yield and oil content under water stress conditions than non-inoculated plants.

Keywords: Mycorrhiza fungus, oil content, safflower, water-deficiency, yield.

۱. مقدمه

گلرنگ زراعی با نام علمی (*Carthamus tinctorius* L) به تیره کاسنیان^۱ تعلق دارد. گلرنگ با اسامی زعفران بدل، زعفران خاردار و زعفران رنگرزی نیز شناخته می‌شود. خاستگاه این گیاه مناطقی واقع در بین قسمت‌های شرقی مدیترانه و خلیج فارس می‌باشد (Hosseini et al., 2017). گلرنگ یکی از گیاهان دانه روغنی و بومی کشور ایران است. وجود گونه‌های وحشی پراکنده در سراسر کشور نشان‌دهنده سازگاری مناسب این گیاه با شرایط آب‌وهوایی ایران است (Nasseri et al., 2017). افزایش جمعیت جهان در دهه‌های اخیر منجر به محدودیت شدید منابع انرژی غذایی شده است، اگرچه ذخایر غذایی اغلب با تکیه بر گندم، برنج، حبوبات و ذرت به‌عنوان غذاهای اصلی مورد بحث قرار می‌گیرند، اما دانه‌های روغن و محصولات دانه روغنی یعنی روغن‌های خوراکی و کنجاله غنی از پروتئین، که نتیجه فرایند روغن‌کشی هستند دومین منبع مهم انرژی غذایی بوده که بخشی از رژیم روزانه انسان و حیوانات را تشکیل می‌دهد (Alessi et al., 2000).

سطح زیر کشت گلرنگ در کشور حدود ۱۵۰۳۸ هکتار و بیش‌ترین سطح زیر کشت به‌ترتیب مربوط به استان‌های اصفهان، خراسان و یزد است (MAJ, 2017). متوسط عملکرد دانه گلرنگ در ایران حدود ۷۰۰ کیلوگرم در هکتار تخمین زده می‌شود. گلرنگ توانایی تولید بیش از چهار تن در هکتار را دارد (Ada, 2013). گلرنگ گیاهی مقاوم به خشکی است و می‌تواند درجه حرارت بالا و رطوبت کم خاک را تحمل کند و به‌نظر می‌رسد این دانه روغنی مناسب برای توسعه کشت در کشور باشد (Safari & Azadikhah, 2019). تنش خشکی مهم‌ترین عامل محدودکننده غیرزنده در رشد و عملکرد گیاه محسوب می‌شود (Cheong et al., 2003). خشکی در محیط کشت گلرنگ باعث کاهش رشد

گیاه، تغییر رنگ برگ، کاهش دوام سطح برگ، کاهش عملکرد دانه و روغن می‌شود (Mottaghi et al., 2019). در بین اجزای عملکرد، تعداد دانه در طبق و وزن هزاردانه نقش برجسته‌تری در تعیین عملکرد گلرنگ بهاره دارند و همچنین محصولات فتوسنتزی غیرساختاری ذخیره‌شده در اندام‌های رویشی، به‌ویژه ساقه‌های گلرنگ قبل از گلدهی، در حمایت از عملکرد دانه تحت تنش کم‌آبی نقش مهمی دارند (Koutroubas et al., 2004).

خاک مجاور ریشه گیاهان به‌طور قابل‌توجهی تحت تأثیر فعالیت میکروبی و ترشحات ریشه گیاه قرار دارد. از بین موجودات غالب در این ناحیه، می‌توان به قارچ‌های ویزیکولار آربسکولار مایکوریزا (VAM)^۲ اشاره کرد (Bahmaniyan et al., 2019). قارچ‌های مایکوریزای یکی از میکروارگانیسم‌های مهم در ریزوسفر هستند. اثرات این قارچ با تغییر برخی از خصوصیات ریشه و جذب عناصر غذایی در گیاهان میزبان تحت تنش خشکی اعمال می‌شود (Soltanian & Tadayyon, 2015). قارچ‌های مایکوریزا آربسکولار در سال‌های اخیر برای مقابله با کم‌آبی در بسیاری از گیاهان مورد استفاده قرار گرفته است (Song, 2005). این قارچ در گیاهانی که دارای ریشه‌های بدون انشعاب هستند، کارایی بیش‌تری دارند. همزیستی مایکوریزا آربسکولار اغلب منجر به تغییر سرعت حرکت آب در خارج و داخل گیاهان میزبان شده و روی آب‌گیری بافت و فیزیولوژی برگ تأثیر می‌گذارد (Auge et al., 2001). در همزیستی قارچ‌های مایکوریزا آربسکولار با گیاه میزبان، بخشی از کربن حاصل از فتوسنتز گیاه به قارچ همزیست عرضه می‌شود و در عوض شبکه گسترده قارچ‌های مایکوریزا آربسکولار آب و مواد معدنی را از مناطق غیرقابل دسترس سیستم جذب و حمل می‌کند. همزیستی گیاهان با قارچ مایکوریزا آربسکولار رشد ریشه گیاه را تسریع می‌کند و به رشد گیاهان در شرایط

پشتاز واریان تهیه شد، که هر گرم دارای ۱۲۰ عدد اسپور زنده بود. رقم مورد استفاده در این پژوهش رقم بهاره صفه بود. قبل از کاشت از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری مزرعه نمونه خاک تهیه و به آزمایشگاه ارسال شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آنالیز خاک در جدول (۱) ارائه شده است. در تیمار تلقیح بذر با قارچ ابتدا بذر را خیس کرده و سپس با قارچ مخلوط و درون شیارهای ایجاد ده و در ۲۰ خردادماه کشت انجام شد. برای تلقیح بذر و خاک با قارچ، قارچ را درون شیار ریخته و سپس بذر را روی قارچ کشت و با خاک پوشانده شد. هر کرت آزمایشی شامل چهار ردیف کاشت به طول چهار متر و با فاصله ۳۰ سانتی‌متر بود که به‌روش دستی مورد کشت قرار گرفت. به‌منظور تعیین تعداد بوته‌های هدف در هر واحد آزمایشی، بذر بیش‌تری کاشته شد و سپس در مرحله چهار برگی عملیات تنک انجام شد. برای جلوگیری از سفیدک سطحی، توپاس را با غلظت دو در هزار در فواصل ۱۰ روز و برای کنترل مگس گلرنگ (*Acanthiophilus helianthi*) با دیازینون با غلظت ۱/۵ هزار محلول پاشی انجام شد. آبیاری در کرت‌های بدون تنش بسته به شرایط منطقه و فصل انجام شد. در کرت‌های تحت تنش کم‌آبی در گلدهی و پرشدن دانه، آبیاری تا رسیدن به این مراحل با روال عادی صورت گرفت. پس از رسیدن به این مراحل، آبیاری متوقف شد. طول این مدت براساس تبخیر ۱۲۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر کلاس A بود.

۱.۲. اندازه‌گیری صفات رشدی و عملکردی

بعد از حذف اثرات حاشیه‌ای تعداد ۱۰ بوته از هر واحد آزمایشی به‌صورت تصادفی انتخاب شد و متغیرهایی چون ارتفاع بوته، تعداد طبق در بوته، قطر طبق، تعداد شاخه‌های فرعی، وزن هزاردانه، عملکرد دانه و عملکرد گلبرگ مورد ارزیابی قرار گرفتند.

نامساعد محیطی مانند خشکی کمک می‌کند (Amerian et al., 2001). تلقیح بذر گلرنگ بهاره با باکتری‌های آزادشده توسط آزوتوباکتر و قارچ‌های مایکوریزا آربسکولار علاوه بر افزایش عملکرد دانه و روغن، تحمل گیاهان در برابر عوامل نامساعد محیطی را افزایش می‌دهد و کیفیت محصولات را بهبود می‌بخشد. همزیستی با قارچ‌های مایکوریزا آربسکولار به‌دلیل تولید هورمون‌های رشد به‌ویژه جیبرلین تعداد برگ‌ها، وزن خشک قسمت‌های هوایی و عملکرد گیاهان را در گلرنگ به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌دهد (Omidi, 2009). بنابراین هدف اصلی از این پژوهش بررسی اثرات همزیستی قارچ مایکوریزا آربسکولار با گلرنگ بهاره بر تحمل به تنش کم‌آبی از مرحله گلدهی تا رسیدگی دانه و بهبود عملکرد دانه و اجزای عملکرد و برخی ویژگی‌های رشدی می‌باشد. هم‌چنین از اهداف این پژوهش بررسی اثرات تنش کم‌آبی بر عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ بهاره و اثرات کاهشی تنش توسط قارچ مایکوریزا آربسکولار می‌باشد.

۲. مواد و روش‌ها

آزمایش حاضر در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید مدنی استان آذربایجان شرقی با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۸۱ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۹۳ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۳۱۸/۸ متر از سطح دریا به‌صورت اسپلیت‌پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال ۱۳۹۸ در فصل بهار اجرا شد. در این آزمایش فاکتور اصلی آن شامل شرایط عدم تنش کم‌آبی، تنش کم‌آبی در مرحله گلدهی و تنش کم‌آبی در مرحله پرشدن دانه و فاکتور فرعی تلقیح با قارچ مایکوریزا آربسکولار گونه *Glomus versiforme* به سه صورت بدون تلقیح (شاهد)، تلقیح بذر با قارچ و تلقیح بذر و خاک با قارچ بود. قارچ مایکوریزای آربسکولار از شرکت زیست‌فناور

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مورد آزمایش

نیترژن	پتاسیم	فسفر	بافت خاک	آهک	ماده آلی	EC	pH
(%)	(mg.kg ⁻¹)	(mg.kg ⁻¹)		(%)	(%)	(dS/m)	
۰/۰۶	۵۶۷	۴۶	شنی لومی	۵/۵۰	۰/۹۹	۱/۹۲	۷/۹۶

محتوای نسبی آب طبق معادله (Kumar & Sharma, 2010) محاسبه شد.

$$RWC = \frac{(Fw - Dw)}{(Tw - Dw)} \times 100 \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در این معادله، Fw وزن تر برگ، Dw وزن خشک برگ و Tw وزن برگ آماس یافته است.

۳.۲. درصد روغن

استخراج روغن با استفاده از حلال دی‌اتیل‌اتر صورت گرفت. بدین منظور دو گرم بذر برای روغن‌گیری خرد و به داخل لوله‌های آزمایشی ریخته شد. حدود ۱۰ میلی‌لیتر از حلال دی‌اتیل‌اتر به لوله‌های آزمایشی اضافه شد و محلول آماده‌سازی شده با استفاده از دستگاه ورتکس هم‌زده شد تا محلول یکنواختی به دست آید. سپس، محتوای لوله‌های آزمایشی به داخل فالدون ۵۰ میلی‌لیتری انتقال داده شدند. فالدون‌ها به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۱۰ هزار دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. پس از رسوب تفاله‌های بذر در قسمت انتهایی فالدون‌ها، محلول باقی‌مانده در قسمت بالایی فالدون‌ها که شامل دی‌اتیل‌اتر همراه با روغن بذر بود، جمع‌آوری شده و محتویات آن به لوله آزمایشی دیگری که از قبل وزن شده بود، ریخته شد. به منظور جداسازی حلال از ماده روغنی، محلول‌ها به داخل دستگاه آون با دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت منتقل شدند. پس از تبخیر و جدا شدن حلال دی‌اتیل‌اتر، تنها ماده باقی‌مانده روغن گلرنگ بود که وزن آن با کسر وزن لوله آزمایشی محتوی روغن از لوله آزمایشی که از قبل وزن شده بود به دست آمد (Zeinali et al., 2018).

ابزارهای مورد استفاده خط‌کش (برای اندازه‌گیری ارتفاع بوته)، کولیس دیجیتالی (برای اندازه‌گیری قطر طبق) و ترازوی دیجیتال (برای وزن هزاردانه و عملکرد گلبرگ) بودند. برای اندازه‌گیری دمای برگ با استفاده از دماسنج مادون قرمز مدل 825-T₂ ساخت کارخانه تستو (Testo) ایتالیا اندازه‌گیری شد. تعداد ۱۰ بوته به صورت تصادفی انتخاب و دمای برگ‌های بخش میانی آن‌ها دو هفته بعد از اعمال تنش کم‌آبی اندازه‌گیری و میانگین مربوطه تعیین شد. همچنین اندازه‌گیری دمای برگ بین ساعت ۱۱ تا ۱۴ صورت گرفت.

۲.۲. محتوای نسبی آب برگ (RWC)

جهت اندازه‌گیری محتوای نسبی آب در ساعت ۱۲-۸ از برگ‌های شاخه اصلی سه بوته نمونه‌برداری انجام گرفت. برگ‌های جداشده از هر بوته به‌طور جداگانه در کیسه پلاستیکی قرار داده شد و برای جلوگیری از تلفات آب نمونه‌ها روی تکه یخ به سرعت به آزمایشگاه منتقل شد و سپس برگ‌ها در ابعاد دو در دو سانتی‌متر برش داده شده و وزن تر آن‌ها با ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شد و میانگین یادداشت شد. سپس برگ‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق در آب مقطر جهت محاسبه وزن آماس غوطه‌ور شدند و پس از این مدت سطح نمونه‌ها با دستمال کاغذی کاملاً خشک و وزن آماس آن‌ها اندازه‌گیری شد و میانگین یادداشت شد. در نهایت جهت اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرار داده شد و

تأثیر قارچ میکوریزا آربسکولار روی عملکرد و برخی از شاخص‌های فیزیولوژیک گلرنگ در شرایط کم‌آبی

قطر طبق در تیمار شاهد (۲/۶ سانتی‌متر) مشاهده شد (جدول ۳). مقایسه میانگین تیمار قارچ میکوریزا آربسکولار نشان داد استفاده از میکوریزا آربسکولار باعث افزایش قطر طبق شده و تیمار تلقیح قارچ با بذر و خاک دارای بیش‌ترین (۲/۶ سانتی‌متر) و تیمار بدون تلقیح کم‌ترین قطر طبق (۲/۵ سانتی‌متر) را دارا می‌باشد (جدول ۴). در این مطالعه همواره تلقیح قارچ میکوریزا آربسکولار نسبت به عدم تلقیح دارای طبق بزرگ‌تر و به‌دنبال آن قطر طبق بزرگ‌تر بود. قطر طبق به‌عنوان تابعی از اجزای عملکرد با مصرف کودهای زیستی در شرایط تنش خشکی افزایش یافت و می‌توان انتظار داشت که در نهایت باعث افزایش عملکرد دانه شود (Veysi et al., 2016). کلونیزه‌شدن گیاهان به‌وسیله قارچ سبب تنظیم اسمزی بهتر و بهبود رابطه آبی می‌شود. قارچ میکوریزا آربسکولار باعث افزایش میزان جذب آب در گیاه نسبت به تیمارهای بدون قارچ می‌شود و افزایش جذب آب سبب تورژسانس در سلول‌ها می‌شود که خود یک عامل محرک طویل‌شدن سلول‌ها و افزایش قطر طبق است (Begum et al., 2019).

برای محاسبه عملکرد روغن درصد روغن در عملکرد بذر در هکتار ضرب و عملکرد روغن به‌دست آمد.

۲.۴. آنالیز آماری

در پایان آزمایش داده‌های حاصل ابتدا با نرم‌افزار MINITAB نرمال گردیده سپس با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.1 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مقایسات میانگین داده‌ها به‌روش دانکن در سطح احتمال آماری پنج درصد انجام و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

۳. نتایج و بحث

۳.۱. قطر طبق

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد اثر تنش کم‌آبی و قارچ میکوریزا آربسکولار در سطح احتمال پنج درصد تأثیر معنی‌داری بر قطر طبق داشتند، اما برهم‌کنش اثر کم‌آبی و قارچ میکوریزا آربسکولار تأثیر معنی‌داری بر قطر طبق نداشت (جدول ۲). مقایسات میانگین تنش کم‌آبی نشان می‌دهد که تنش در مرحله پرشدن دانه کم‌ترین قطر طبق را دارا بود و بیش‌ترین

جدول ۲. تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه روی گلرنگ بهاره در شرایط کم‌آبی با کاربرد قارچ میکوریزا آربسکولار

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		قطر طبق	تعداد طبق در بوته	ارتفاع گیاه	وزن هزاردانه	عملکرد دانه	عملکرد شاخص برداشت
تکرار	۲	۰/۱۵۰ns	۲۸/۵۹ns	۱/۵۴ns	۲/۶۰ns	۲۵۰۱۵۰/۳ns	۲۱۶۷۶۶۵/۴ns
تنش کم‌آبی	۲	۷/۷۳*	۳۱/۸۹**	۰/۹۴۰ns	۸/۸۳**	۱۴۱۵۸۶۲/۲**	۱۱۲۲۱۳۸/۹*
خطای اصلی	۴	۱/۸۸	۱۵/۰۳	۴/۸۸	۶/۴۲	۱۱۲۰۵۳/۷	۳۱۷۰۸۹۷/۴
میکوریزا آربسکولار	۲	۴/۰۵*	۷/۲۵ns	۷/۲۹ns	۴/۷۲*	۱۳۶۶۳۰/۲**	۲۶۵۱۵۶۹۶/۲**
تنش کم‌آبی × میکوریزا آربسکولار	۴	۳/۴۸ns	۲۶/۸۷ns	۱/۶۶ns	۰/۷۶ns	۱۱۱۰۹۲/۷*	۶۲۶۳۱۳/۴ns
خطای فرعی	۱۲	۱/۴۲	۲۷/۱۱	۹/۱۴	۰/۹۲۲	۱۷۳۹۰۵/۷	۲۸۷۶۲۶۵/۲
ضریب تغییرات (%)		۴/۶۵	۱۲/۸۸	۴/۰۲	۳/۴۵	۱۰/۳۲	۱۱/۲۳

ns: * و **: به ترتیب عدم معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول ۳. میانگین اثرات رژیم آبیاری بر صفات مورد مطالعه گلرنگ

به‌زراعی کشاورزی

دوره ۲۴ ■ شماره ۲ ■ تابستان ۱۴۰۱

میانگین صفات				
عملکرد زیستی (kg.ha ⁻¹)	وزن هزاردانه (g)	تعداد طبق در بوته	قطر طبق (mm)	کم آبی
۱۶۲۵۱/۶a	۲۸/۵۰a	۴۷/۲۲a	۲۶/۶۹ a	بدون تنش
۱۴۰۲۴ a	۲۶/۵۲a	۳۷/۷۷b	۲۵/۲۵b	تنش کم آبی از مرحله گلدهی
۱۵۰۰۰/۷ a	۲۷/۴۱a	۳۶/۲۲b	۲۴/۹۷b	تنش کم آبی از مرحله پرشدن دانه

حروف مشترک در هر ستون نشان‌دهنده عدم معنی‌داری بین تیمارها براساس آزمون دانکن می‌باشد.

۲.۳. تعداد طبق در بوته

نتایج تجزیه واریانس برای صفات تعداد طبق در بوته بیانگر این است که اثر تنش کم آبی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و قارچ مایکوریزا آربسکولار و اثر متقابل کم آبی و قارچ مایکوریزا آربسکولار تأثیر معنی‌داری نداشتند (جدول ۲). مقایسه میانگین‌های اثر تنش کم آبی بر تعداد طبق در بوته نشان داد که بیش‌ترین تعداد طبق در بوته (۴۷/۲۲ عدد) در شاهد و کم‌ترین آن (۳۶/۲۲ عدد) در مرحله تنش کم آبی از مرحله پرشدن دانه به‌دست آمد (جدول ۳). هم‌چنین با بررسی مقایسات میانگین قارچ مایکوریزا آربسکولار مشخص شد قارچ مایکوریزا آربسکولار تأثیر معنی‌داری بر تعداد طبق ندارد (جدول ۴). یکی از دلایل کاهش تعداد طبق در بوته به‌واسطه محدودیت آبی می‌تواند ناشی از تأثیر این عامل بر تعداد شاخه جانبی باشد. در پژوهشی دیگر مشخص شد که با افزایش شدت خشکی در گلرنگ، به‌دلیل کاهش ارتفاع گیاه، انشعابات جانبی و دوره رشد از تعداد طبق در بوته به‌طور معنی‌داری کاسته می‌شود (Noroozi & Kazemeini, 2013). در تأیید نتایج پژوهش حاضر، پژوهش‌گران در طی مطالعه‌ای اظهار داشتند که تعداد طبق در بوته گلرنگ به‌واسطه کاربرد کودهای زیستی افزایش یافت (Mirzakhilili *et al.*, 2009).

۳.۳. وزن هزاردانه

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد اثر کم آبی در سطح احتمال یک درصد و قارچ مایکوریزا آربسکولار در سطح احتمال پنج درصد تأثیر معنی‌داری بر وزن

هزاردانه گلرنگ داشتند و برهم‌کنش اثر کم آبی و قارچ مایکوریزا آربسکولار بر این صفت معنی‌دار نشد (جدول ۲). مقایسه میانگین‌های اثر تنش کم آبی بر وزن هزاردانه نشان داد که بیش‌ترین وزن هزاردانه (۲۸/۵۰ گرم) مربوط به تیمار شاهد و کم‌ترین وزن هزاردانه (۲۶/۵۲ گرم) مربوط به تنش کم آبی از مرحله پرشدن دانه بود (جدول ۳). هم‌چنین مقایسه میانگین‌های قارچ مایکوریزا آربسکولار نشان داد که استفاده از این قارچ باعث افزایش وزن هزاردانه شد. بیش‌ترین وزن هزاردانه مربوط به تیمار بذر و خاک با قارچ و کم‌ترین آن در شاهد مشاهده شد (جدول ۴). دلیل کاهش وزن دانه تحت شرایط کم آبی ممکن است به‌علت کاهش تعداد سلول‌های آندوسپرمی تولیدشده در مرحله پرشدن دانه باشد. تنش خشکی باعث زردشدن و ریزش برگ و در نهایت کاهش فتوسنتز شده و در انتقال مواد غذایی از منبع به مخزن اختلال ایجاد می‌کند که در نهایت شاهد کاهش وزن هزاردانه تحت تأثیر این تنش خواهیم بود. کاهش وزن هزاردانه در اثر تنش خشکی در گیاه گلرنگ نیز مشاهده شد (Farid & Ehsanzadeh, 2006). در مطالعه‌ای روی گیاه گلرنگ با مصرف کودهای زیستی بیان کردند کاربرد ازتوباکتر و مایکوریزا آربسکولار در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی سبب افزایش وزن هزاردانه شد. اثر مثبت تلقیح قارچ مایکوریزا نسبت به عدم تلقیح بر افزایش وزن هزاردانه را می‌توان به افزایش جذب آب و مواد غذایی به‌واسطه توسعه بیش‌تر ریشه‌ها و بهبود شرایط تغذیه‌ای و رشدی گیاه نسبت داد (Raei *et al.*, 2015).

تأثیر قارچ مایکوریزا آربسکولار روی عملکرد و برخی از شاخص‌های فیزیولوژیک گلرنگ در شرایط کم‌آبی

جدول ۴. میانگین اثرات قارچ مایکوریزا آربسکولار بر صفات مورد مطالعه گلرنگ

میانگین صفات				
قارچ مایکوریزا آربسکولار	قطر طبق (mm)	تعداد طبق در بوته	وزن هزاردانه (g)	عملکرد زیستی (kg.ha ⁻¹)
عدم تلقیح	۲۵/۱۳b	۳۹/۴۴a	۲۶/۷۸b	۱۳۴۹۱/۹b
تلقیح بذر با قارچ	۲۵/۳۷ab	۴۱/۲۲a	۲۷/۴۱ab	۱۴۸۷۹/۵b
تلقیح بذر و خاک با قارچ	۲۶/۴۰a	۴۰/۵۵a	۲۸/۲۳ a	۱۶۹۰۴/۹a

حروف مشترک در هر ستون نشان‌دهنده عدم معنی‌داری بین تیمارها براساس آزمون دانکن می‌باشد.

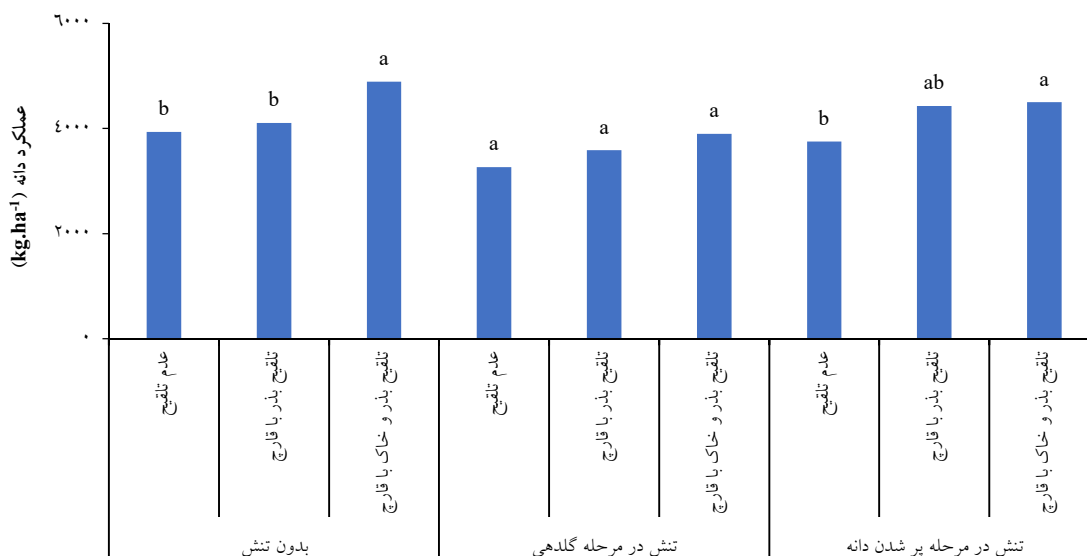
۳. ۴. عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر کم‌آبی و قارچ مایکوریزا آربسکولار در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه داشتند. هم‌چنین برهم‌کنش اثر کم‌آبی و قارچ مایکوریزا آربسکولار بر این صفت معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسات میانگین نشان داد در سطوح بدون تنش بیش‌ترین میزان عملکرد دانه، به‌میزان ۴۸۸۷/۴ کیلوگرم در هکتار، مربوط به تیمار بذر و خاک با قارچ بود و کم‌ترین میزان عملکرد دانه به‌میزان ۳۹۳۳/۳ کیلوگرم در هکتار مربوط به شاهد بود. در سطوح تنش از مرحله گلدهی بیش‌ترین میزان ۳۹۰۰/۷ کیلوگرم مربوط به تیمار بذر و خاک با قارچ و کم‌ترین میزان عملکرد دانه ۳۲۶۵/۹ کیلوگرم مربوط به شاهد بود. در شرایط تنش از مرحله پرشدن دانه بیش‌ترین و کم‌ترین میزان عملکرد دانه به‌ترتیب مربوط به تیمار بذر و خاک با قارچ و بدون تیمار به‌میزان ۴۵۰۱/۵ و ۳۷۵۲/۶ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (شکل ۱). براساس نتایج *Joshani et al.* (2019) می‌توان گفت که، هرچه زمان اعمال تنش خشکی به مرحله تشکیل طبق‌ها نزدیک‌تر باشد، اثر آن بر تعداد طبق و درنهایت بر عملکرد دانه بیش‌تر خواهد شد. اعمال تنش خشکی پس از مرحله تشکیل طبق‌های اولیه باعث کاهش تعداد طبق‌های ثانویه و ثالثیه می‌شود، که این طبق‌ها در مقایسه با طبق‌های اولیه معمول قطر کم‌تری دارند. نتایج پژوهش *Safari & Azadikhah* (2019) نشان داد که

مصرف قارچ‌های مایکوریزا آربسکولار چه در شرایط مطلوب و چه در شرایط تنش، باعث افزایش عملکرد و اجزای عملکرد در مقایسه با تیمارهای مشابه و عدم استفاده از قارچ‌های مایکوریزا آربسکولار می‌شود. تلقیح قارچ مایکوریزا آربسکولار در مقایسه با حالت عدم تلقیح قارچ مایکوریزا آربسکولار، باعث افزایش اجزای عملکرد دانه شده که در نهایت منجر به افزایش عملکرد دانه شد. دلیل این امر ممکن است به‌خاطر تأثیر قارچ مایکوریزا آربسکولار بر جذب فسفر، عمر بیش‌تر گیاه، افزایش سطح برگ و نیز بهبود میزان فتوسنتز به‌واسطه کلروفیل بیش‌تر باشد (*Habibzadeh et al.*, 2013).

۳. ۵. عملکرد زیستی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر کم‌آبی در سطح احتمال پنج درصد و قارچ مایکوریزا آربسکولار در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری بر عملکرد زیستی داشتند، اما اثر بر هم‌کنش کم‌آبی و قارچ مایکوریزا آربسکولار تأثیر معنی‌داری بر این صفت نداشت (جدول ۲). مقایسات میانگین رژیم آبیاری نشان داد که بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد زیستی در زمان بدون تنش (شاهد) و تنش در زمان گلدهی اتفاق افتاد (جدول ۳). هم‌چنین در مقایسات میانگین قارچ مایکوریزا آربسکولار بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد در تیمار بذر و خاک با قارچ و بدون تیمار رخ داد (جدول ۴).



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر متقابل قارچ مایکوریزا آربسکولار و تنش کم آبی بر عملکرد دانه. (میانگین‌هایی که حروف مشترک دارند، با هم اختلاف معنی‌دار آماری براساس آزمون دانکن ندارند.)

هم‌زیستی مایکوریزای (*Glomus mossea*) در شرایط مطلوب رطوبتی و تنش خشکی می‌تواند عملکرد زیستی گندم را افزایش دهد.

۶.۳. دمای برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر کم آبی و قارچ مایکوریزا آربسکولار در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری بر دمای برگ داشتند و برهم‌کنش اثر کم آبی و قارچ مایکوریزا آربسکولار تأثیر معنی‌داری بر دمای برگ نداشت (جدول ۵). مقایسات میانگین نشان داد در تنش کم آبی از مرحله گلدهی بیش‌ترین دمای برگ ۳۴/۰۸ درجه سانتی‌گراد و کم‌ترین آن در سطوح بدون تنش (شاهد) به میزان ۲۸/۹ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد (جدول ۶). هم‌چنین در مقایسات میانگین قارچ مایکوریزا آربسکولار بیش‌ترین و کم‌ترین میزان دمای برگ به ترتیب در تیمار بذر با قارچ و تیمار بذر و خاک با قارچ به میزان ۳۱/۶۵ و ۳۰/۹۷ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد (جدول ۷).

علت افت عملکرد زیستی در سطوح‌های تنش کم آبی، ناشی از کاهش وزن خشک بخش‌های رویشی و زایشی به‌واسطه افزایش رقابت برای جذب آب و مواد غذایی می‌باشد و تلقیح با قارچ مایکوریزا آربسکولار باعث افزایش عملکرد زیستی در تیمار بذر و خاک با قارچ و تیمار بذر با قارچ نسبت به شاهد شد پس تلقیح گیاهان با قارچ مایکوریزا آربسکولار باعث افزایش جذب عناصر مواد غذایی و سبب افزایش رشد رویشی و در نتیجه فراهم‌سازی امکان بهره‌برداری بهتر از نور و فتوسنتز و تولید بیش‌تر ماده خشک نسبت به گیاهان تلقیح نشده می‌شود. دلیل افزایش عملکرد بیولوژیک در اثر استفاده از مایکوریزا آربسکولار، بهبود کیفیت خاک، افزایش قابلیت دسترسی ریشه گیاه به عناصر غذایی توسط میکروارگانیسم‌های خاک بیان شده است (Tinca et al., 2007). نتایج مطالعه Yaghoobian et al. (2012) روی تلقیح گندم تحت تأثیر تلفیقی از گونه‌های مختلف قارچ مایکوریزا در سطوح مختلف تنش خشکی نشان داد که

تأثیر قارچ میکوریزا آربسکولار روی عملکرد و برخی از شاخص‌های فیزیولوژیک گلرنگ در شرایط کم‌آبی

داشته و با کاهش آب قابل استفاده خاک، پتانسیل آب گیاه و در نتیجه تعرق برگ، دمای تاج‌پوشش برگی افزایش می‌یابد. هم‌چنین دمای تاج‌پوشش برگی با محتوای نسبی آب برگ همبستگی داشته و با کاهش آن افزایش می‌یابد (Kumar & Sharma, 2010). در آزمایشی دمای برگ صفت مناسبی در گزینش ژنوتیپ‌های بهاره متحمل به خشکی گلرنگ بوده است (Pasban Eslam, 2011).

استفاده از دماسنج مادون قرمز ابزار مفیدی در تشخیص تنش آبی وارده به گیاه است. به عبارت دیگر، دمای برگ را می‌توان به شاخص‌های فیزیولوژیکی معینی نسبت داد و به‌طور غیرمستقیم وضعیت آبی گیاه را برآورد کرد. بدیهی است هرچه شدت تنش کم‌آبی بیشتر باشد، اختلاف دمای هوا و برگ نیز بیش‌تر خواهد بود (Aziz et al., 2018). تغییرات دمای تاج‌پوشش برگی با شدت تنش خشکی همبستگی

جدول ۵. تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه روی گلرنگ بهاره در شرایط کم‌آبی با کاربرد قارچ میکوریزا آربسکولار

میانگین مربعات				درجه آزادی	منابع تغییرات
عملکرد روغن	درصد روغن	عملکرد گلبرگ	محتوای نسبی آب برگ		
۳۵۵۷/۵ns	۲/۴۹ns	۱۰۰۲/۵ns	۰/۰۰۰۴ns	۶/۱۱*	تکرار
۴۰/۵۳**	۴۰/۵۳**	۱۸۳۷۸/۳**	۰/۰۱۳۴*	۷۸/۰**	تنش کم‌آبی
۳۲۵۶۶۸/۷	۷/۸۷	۹۷۱/۸	۰/۰۰۱۳	۱/۶۶	خطای اصلی
۲۰۱۷۳۹/۳**	۵۶/۵۸**	۶۸۹۸/۵*	۰/۰۰۷ns	۱۱/۴**	مایکوریزا آربسکولار
۵۱۰۷/۹ns	۹/۷۹*	۱۱۷۹/۶ns	۰/۰۰۱۲ns	۱/۰۰ns	تنش کم‌آبی × مایکوریزا آربسکولار
۱۴۴۶۲/۸	۱/۸۶	۵۹۷/۸	۰/۰۰۲۵	۰/۹۲۱	خطای فرعی
۱۲/۰۹	۵/۵۸	۹/۸۲	۷/۰۸	۳/۱۲	ضریب تغییرات (%)

ns, * و **: به ترتیب عدم معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

جدول ۶. میانگین اثرات رژیم آبیاری بر صفات مورد مطالعه گلرنگ

میانگین صفات						کم‌آبی
عملکرد روغن	محتوای نسبی آب برگ	دمای برگ	ارتفاع گیاه	عملکرد گلبرگ	شاخص برداشت	
(kg.ha ⁻¹)	(%)	(°C)	(cm)	(kg.h ⁻¹)	(%)	
۱۰۹۸/۹a	۷۴a	۲۸/۹۰b	۷۶/۴۶a	۲۸۱/۶a	۲۶/۴۴a	بدون تنش کم‌آبی
۷۹۲/۴b	۶۷b	۳۴/۰۸a	۷۴/۹۴a	۱۹۷/۳b	۲۶/۰۲a	تنش کم‌آبی از مرحله گلدهی
۱۰۹۱/۴ a	۷۱a	۲۹/۰۸b	۷۴a	۲۶۷/۶ a	۲۸/۹۹ a	تنش کم‌آبی از مرحله پرشدن دانه

حروف مشترک در هر ستون نشان‌دهنده عدم معنی‌داری بین تیمارها بر اساس آزمون دانکن می‌باشد.

جدول ۷. میانگین اثرات قارچ میکوریزا آربسکولار بر صفات مورد مطالعه گلرنگ

میانگین صفات						قارچ میکوریزا آربسکولار
عملکرد روغن	محتوای نسبی آب برگ	دمای برگ	ارتفاع گیاه	عملکرد گلبرگ	شاخص برداشت	
(kg.ha ⁻¹)	(%)	(°C)	(cm)	(kg.ha ⁻¹)	(%)	
۸۲۴/۵۹b	۶۸b	۲۹/۴۵b	۷۴/۱۶a	۲۲۰/۵c	۲۷/۳۰a	عدم تلقیح
۱۱۰۷/۸a	۷۰ab	۳۱/۶۵a	۷۵/۳۰a	۲۵۰/۱b	۲۷/۲۵a	تلقیح بذر با قارچ
۱۰۵۰/۳a	۷۴a	۳۰/۹۷a	۷۵/۹۴a	۲۷۵/۸a	۲۶/۹۰a	تلقیح بذر و خاک با قارچ

حروف مشترک در هر ستون نشان‌دهنده عدم معنی‌داری بین تیمارها بر اساس آزمون دانکن می‌باشد.

۷.۳. عملکرد گلبرگ

تجزیه واریانس نشان داد اثر تنش کم‌آبی در سطح احتمال یک درصد و قارچ مایکوریزا آریسکولار در سطح احتمال پنج درصد تأثیر معنی‌داری بر عملکرد گلبرگ داشتند و برهم‌کنش اثر تنش کم‌آبی و قارچ مایکوریزا آریسکولار تأثیر معنی‌داری بر این صفت نداشت (جدول ۵). مقایسات میانگین نشان داد که در شرایط عدم تنش کم‌آبی بیش‌ترین میزان عملکرد گلبرگ به‌میزان ۲۸۱/۶ کیلوگرم در هکتار و کم‌ترین میزان عملکرد گلبرگ مربوط به تنش از مرحله گلدهی به‌میزان ۱۹۷/۳ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۶). هم‌چنین براساس مقایسات میانگین بیش‌ترین عملکرد گلبرگ در تلقیح بذر و خاک با قارچ مایکوریزا آریسکولار و کم‌ترین در شاهد به‌دست آمد (جدول ۷). در سطوح رژیم آبیاری تنش از مرحله گلدهی بیش‌ترین کاهش عملکرد گلبرگ مشاهده شد، زیرا در گیاه گلرنگ پس از انجام گرده‌افشانی گلبرگ‌ها به‌تدریج پلاسیده شده و بخشی از آن‌ها دچار ریزش می‌شوند که موجب کاهش عملکرد گلبرگ‌ها می‌شود پس می‌توان عنوان کرد که استفاده از تیمار بذر و خاک با قارچ در سطوح رژیم آبیاری و قارچ مایکوریزا آریسکولار باعث افزایش عملکرد گلبرگ شد. مطالعات نشان داده که میزان عملکرد گلبرگ همبستگی مثبت با تعداد طبق در بوته و تعداد دانه در طبق دارد (Dadashi & Khajehpour, 2004).

۸.۳. محتوای نسبی آب برگ (RWC)

تجزیه واریانس نشان داد اثر کم‌آبی در سطح احتمال پنج درصد تأثیر معنی‌داری بر محتوای نسبی آب برگ داشت، اما قارچ مایکوریزا آریسکولار و برهم‌کنش اثر تنش کم‌آبی و قارچ مایکوریزا آریسکولار تأثیر معنی‌داری بر محتوای نسبی آب برگ نداشت (جدول ۵). مقایسات میانگین نشان می‌دهد که در سطح شاهد آبیاری دارای

بیش‌ترین مقدار آب نسبی برگ به‌میزان ۷۵ درصد بود هم‌چنین در تیمار قارچ مایکوریزا آریسکولار بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار آب نسبی برگ به‌ترتیب در تیمار بذر و خاک با قارچ و بدون تیمار به مقدار ۷۴ و ۶۸ درصد بود (جدول ۷). وضعیت مناسب رقم صفه از نظر محتوای نسبی رطوبت برگ در شرایط آبیاری مطلوب و تنش ملایم را می‌توان به توانایی این رقم در جذب آب (Kumar & Sharma, 2010) و پایین‌بودن تلفات آب از طریق روزنه‌ها نسبت داد (Zhang et al., 2008). مطالعه که روی ژنوتیپ‌های گلرنگ در شرایط عادی و تنش خشکی آخر فصل اقلیمی اصفهان انجام دادند گزارش کردند که بروز خشکی در مراحل گل‌دهی و پرشدن دانه باعث کاهش معنی‌دار محتوای نسبی آب برگ شد و رقم صفه عملکرد بیش‌تری از خود نشان داد (Shiresmaeili et al., 2018). نتایج مطالعات انجام‌شده نشان می‌دهد که قارچ ای مایکوریزا آریسکولار طی دوره تنش خشکی با افزایش پتانسیل آب برگ و نیز افزایش میزان جذب آب در واحد زمان و در واحد طول ریشه گیاه میزبان قادر هستند اثرهای تنش خشکی در گیاه را کاهش دهند (Brantley et al., 2017).

۹.۳. درصد روغن

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر کم‌آبی و قارچ مایکوریزا آریسکولار در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری بر درصد روغن دارد، و هم‌چنین اثر برهم‌کنش کم‌آبی و قارچ مایکوریزا آریسکولار در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). مقایسات میانگین نشان داد که در سطوح بدون تنش کم‌آبی بیش‌ترین درصد روغن دانه مربوط به استفاده از تیمار بذر با قارچ می‌باشد و کم‌ترین میزان درصد روغن دانه مربوط به بدون تیمار می‌باشد. هم‌چنین مقایسات میانگین نشان داد اعمال تنش

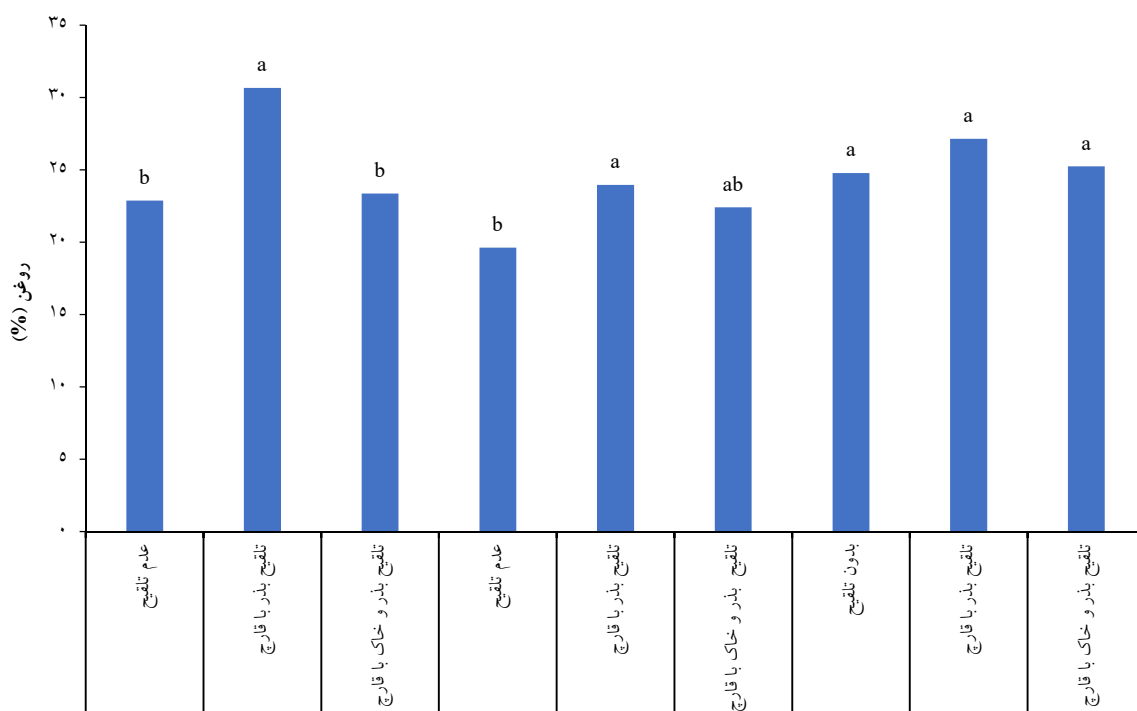
تأثیر قارچ میکوریزا آربسکولار روی عملکرد و برخی از شاخص‌های فیزیولوژیک گلرنگ در شرایط کم‌آبی

نتایج این پژوهش با نتایج پژوهش *Raei et al.* (2015) مطابقت دارد. درصد روغن عبارت است از نسبت روغن موجود در دانه به کل وزن دانه که شامل پوست و فیبر نیز می‌باشد. چون در شرایط اعمال تنش، کل وزن دانه نیز کاهش می‌یابد این نکته باعث می‌شود که با وجود کاهش میزان روغن دانه، درصد روغن دانه تغییر زیادی نداشته باشد.

۳.۱۰. عملکرد روغن

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثر کم‌آبی و قارچ میکوریزا آربسکولار در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری بر عملکرد روغن داشتند، اما اثر متقابل کم‌آبی و قارچ میکوریزا آربسکولار بر این صفت معنی‌دار نشد (جدول ۵).

از مرحله گلدهی از میزان درصد روغن نسبت به سایر سطوح کاسته شده است. با اعمال تنش کم‌آبی طول دوره پرشدن دانه کاهش پیدا کرده و با توجه به این که ساخت و ذخیره‌سازی پروتئین در اوایل دوره پرشدن دانه اتفاق می‌افتد، لذا فرصت کم‌تری برای سنتز روغن دانه فراهم شده و در نتیجه درصد روغن کاهش پیدا می‌کند (شکل ۲). مطالعه تأثیر مثبت قارچ میکوریزا آربسکولار از طریق افزایش جذب آب و عناصر غذایی سبب افزایش فتوسنتز شده و این امر خود موجب تولید آسیمیلات بیش‌تر و بهبود رشد شده است که در نهایت موجب افزایش درصد روغن دانه گیاه نسبت به تیمار عدم تلقیح با قارچ میکوریزا آربسکولار شده است. کاهش درصد روغن دانه در اثر تنش کم‌آبی می‌تواند به علت اختلال در فرایندهای متابولیکی بذر و آسیب به انتقال آسیمیلات‌ها به دانه باشد.



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر قارچ میکوریزا آربسکولار بر درصد روغن در سطوح مختلف تنش کم‌آبی. (میانگین‌هایی که حروف مشترک دارند، با هم اختلاف معنی‌دار آماری براساس آزمون دانکن ندارند.)

مقایسات میانگین رژیم کم آبی نشان داد که بیشترین عملکرد روغن از تیمار شاهد (بدون تنش) با میانگین (۱۰۹۸/۹) کیلوگرم در هکتار به دست آمد و کمترین عملکرد روغن با مقدار (۷۹۲/۴) کیلوگرم در هکتار از تیمار تنش از مرحله گلدهی به دست آمد (جدول ۶). همچنین در مقایسات میانگین قارچ مایکوریزا آربسکولار بیشترین عملکرد روغن از تیمار بذر با قارچ با میانگین (۱۱۰۷/۸) کیلوگرم در هکتار) و کمترین عملکرد روغن در عدم تلقیح (جدول ۷). کاهش عملکرد روغن در تنش گلدهی نه تنها به دلیل کاهش درصد روغن دانه، بلکه به دلیل تأثیر سوء تنش کمبود آب بر وزن دانه و عملکرد دانه که در نهایت بر عملکرد روغن تأثیر می‌گذارد، می‌باشد. در مطالعه Heshmati *et al.* (2017) روی گلرنگ بیان کردند در شرایط تنش در مرحله زایشی در سطوح مختلف کود زیستی فسفات بارور ۲ کاربرد کود فسفر به طور معنی‌داری عملکرد روغن را در مقایسه با تیمار شاهد (بدون کاربرد کود فسفر) افزایش داد. در گزارشی Joshan *et al.* (2019) بیان داشتند عملکرد روغن تحت تأثیر تنش خشکی قرار داشته، به طوری که بیشترین عملکرد روغن در تیمار آبیاری کامل و کمترین عملکرد روغن در تیمار تنش شدید خشکی حاصل شد. علت کاهش عملکرد روغن در شرایط تنش خشکی، کاهش عملکرد دانه و کاهش درصد روغن است. در مطالعه Omid *et al.* (2009) روی صفات مهم زراعی ارقام گلرنگ بهاره، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد روغن با عملکرد دانه مشاهده نموده و نتیجه‌گیری کردند که با افزایش عملکرد دانه در بوته، عملکرد روغن نیز افزایش می‌یابد.

۴. نتیجه‌گیری

به‌طور کلی یافته‌های حاصل از این پژوهش نشان داد که تنش کم آبی به‌ویژه در مرحله گلدهی منجر به کاهش

عملکرد گلرنگ در مقایسه با آبیاری نرمال شد، اما تلقیح با قارچ مایکوریزا آربسکولار، عملکرد گیاهان تحت شرایط بدون تنش و تنش کم آبی را به واسطه اثر مثبت در فرایند رشدونمو و جذب مواد غذایی بهبود بخشید. تلقیح بذر و خاک با قارچ مایکوریزا آربسکولار روی صفات مورد مطالعه بیشترین تأثیر مثبت را تحت شرایط بدون تنش و تنش کم آبی داشت، به طوری که تنش کم آبی بر صفات عملکرد و اجزای عملکرد اثر منفی معنی‌داری داشت و باعث کاهش آن‌ها شد. تلقیح با قارچ مایکوریزا آربسکولار موجب شد گیاه در تمام مراحل رشد به نحو مطلوبی با تنش کم آبی مقابله کند و به عملکرد و اجزای عملکرد کمترین آسیب وارد شود. با توجه به این که بیشترین افت عملکرد دانه در شرایط کم آبی در مرحله گلدهی اتفاق افتاد و این مرحله نسبت به مرحله پرشدن دانه حساسیت بیشتری نسبت به کم آبی برخوردار می‌باشد، بنابراین تأمین آب کافی تلقیح بذر و خاک با قارچ مایکوریزا آربسکولار در طی این مراحل، جهت حصول عملکرد قابل قبول ضروری می‌باشد. تنش کم آبی از طریق کاهش عملکرد دانه و درصد روغن باعث کاهش عملکرد روغن شد، اما تلقیح بذر و خاک با قارچ مایکوریزا آربسکولار باعث بهبود درصد روغن و عملکرد دانه شد و از این طریق اثرات تنش کم آبی نسبت به عملکرد روغن تعدیل شد، احتمالاً تلقیح با قارچ تحت شرایط تنش کم آبی سبب گسترش سیستم هیف در اطراف ریشه و در نتیجه افزایش تماس ریشه با خاک می‌شود و در نتیجه به جذب بیشتر آب و مواد غذایی کمک می‌کند.

۵. تشکر و قدردانی

از دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز به‌خاطر حمایت مالی این پژوهش، تشکر و قدردانی می‌گردد.

- components and seed yield of safflower in Isfahan. *Journal of Water and Soil Science*, 8(3), 95-112.
- Farid, N., & Ehsanzadeh, P. (2006). Yield and yield components of spring-sown safflower genotypes and their response to shading on inflorescence and the adjacent green tissue in Isfahan. *Journal of Water and Soil Science*, 10(1), 189-199.
- Habibzadeh, Y., Pirzad, A., Zardashti, M.R., Jalilian, J., & Eini, O. (2013). Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on seed and protein yield under water-deficit stress in mung bean. *Agronomy Journal*, 105(1), 79-84. doi.org/10.2134/agronj2012.0069
- Heshmati, S., Amini Dehaghi, M., & Fathi Amirkhiz, K. (2017). Effects of biological and chemical phosphorous fertilizer on grain yield, oil seed and fatty acids of Spring Safflower in water deficit conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 48(1), 159-169. doi: 10.22059/ijfcs.2017.135975.653977
- Hosseini, Y., Homaei, M., & Asadi Kapourchal, S. (2017). Evaluating natural saline water and nitrogen interactions on yield, cumulative transpiration and water use efficiency in canola. *Journal of Crop Production*, 10(1), 57-73. doi: 10.22069/ejcp.2017.10371.1810
- Joshan, Y., Sani, B., Jabbari, H., Mozafari, H., & Moaveni, P. (2019). Effect of drought stress on oil content and fatty acids composition of some safflower genotypes. *Plant, Soil and Environment*, 65, 563-567. doi.org/10.17221/591/2019-PSE
- Koutroubas, S.D., Papakosta, D.K., & Doitsinis A. (2004). Cultivar and seasonal effects on the contribution of pre-anthesis assimilates to safflower yield. *Field Crops Research*, 90(2-3), 263-274. doi.org/10.1016/j.fcr.2004.03.009
- Kumar, A., & Sharma, K.D. (2010). Leaf water content-a simple indicator of drought tolerance in crop plants. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 80, 1095-1097.
- MAJ. (2017). <https://www.maj.ir/Dorsapax/userfiles/sub65/amarnamehj1-95-96-site>.
- Mirzakhali, M., Ardakani, M.R., Band, A.A., Rejali, F., & Rad, A.S. (2009). Response of spring safflower to co-inoculation with azotobacter chroococum and glomus intraradices under different levels of nitrogen and phosphorus. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 4(3), 255-261.
- Mottaghi, S., Mottaghi, L., Shirani Rad, A.H., & Latifi Far, O. (2019). Study the efficiency of zeolite in reduce the effect of drought stress on agronomical traits and seed yield of rapeseed in Karaj region. *Journal of Plant Ecophysiology*, 11(36), 256-271.

۶. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۷. منابع

- Ada, R. (2013). Cluster analysis and adaptation study for safflower genotypes. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 19(1), 103-109.
- Alessi, M.C., Bastelica, D., Morange, P., Berthet, B., Leduc, I., Verdier, M., & Juhan-Vague, I. (2000). Plasminogen activator inhibitor 1, transforming growth factor-beta1, and BMI are closely associated in human adipose tissue during morbid obesity. *Diabetes*, 49 (8), 1374-1380. doi.org/10.2337/diabetes.49.8.1374
- Amerian, M.R., Stewart, W. S., & Griffiths, H. (2001). Effect of two species of arbuscular mycorrhizal fungi on growth, assimilation and leaf water relations in maize (*Zea mays* L.). *Aspects of Applied Biology*, 63, 71-76.
- Auge, R.M., Stodola, A.J.W., Tims, J.E., & Saxton, A.M. (2001). Moisture retention properties of a mycorrhizal soil. *Plant and Soil*, 230, 87-97.
- Aziz, A., Akram, N.A., & Ashraf, M. (2018). Influence of natural and synthetic vitamin C (ascorbic acid) on primary and secondary metabolites and associated metabolism in quinoa (*Chenopodium quinoa* L.) plants under water deficit regimes. *Plant Physiology and Biochemistry*, 123, 192-203.
- Bahmaniyan, H., Nadian Ghomsheh, H., & Rang Zan, N. (2019). The Interaction Effect of Mycorrhiza (*Glomus Intraradices*) and Filtercake on Coriander (*Coriandrum Sativum* L.) Production. *Journal of Agricultural Engineering Soil Science and Agricultural Mechanization*, 42(2), 143-161. doi: 10.22055/agen.2019.28369.1479.
- Begum, N., Qin, C., Ahanger, M.A., Raza, S., Khan, M.I., Ashraf, M., Ahmed, N., & Zhang, L. (2019). Role of arbuscular mycorrhizal fungi in plant growth regulation: implications in abiotic stress tolerance. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1068.
- Brantley, S. L., Eissenstat, D.M., Marshall, J.A., Godsey, S.E., Balogh-Brunstad, Z., Karwan, D.L., & Chadwick, O. (2017). Reviews and syntheses: on the role trees play in building and plumbing the critical zone. *Biogeosciences (Online)*, 14(22), 5115-5142.
- Cheong, F.C., Lim, K.Y., Sow, C.H., Lin, J., & Ong, C.K. (2003). Large area patterned arrays of aligned carbon nanotubes via laser trimming. *Nanotechnology*, 14(4), 433.
- Dadashi, N., & Khajepour, M.R. (2004). Effects of planting date and cultivar on growth, yield

- Nasseri, A., Masoudi, T., Khorshidi, M., & Abdii, A. (2017). Water quality effect on yield and yield components of four genotypes of safflower. *Journal of Water Research in Agriculture*, 31(3), 301-313. doi: 10.22092/jwra.2017.113668
- Noroozi, M., & Kazemeini, S.A.R. (2013). Effect of water stress and plant density on growth and seed yield of safflower. *Journal of Field Crops Research*, 10 (4), 781-788.
- Omidi, A.H. (2009). Effect of drought stress at different growth stages on seed yield and some agro-physiological traits of three spring safflower cultivars. *Seed and Plant Production Journal*, 25(1), 15-31. doi: 10.22092/ sppj. 2017.110361
- Pasban Eslam, B. (2011). Evaluation of physiological indices for improving water deficit tolerance in spring safflower. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 13, 327-338.
- Raei, Y., Shariati, J., & 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 Sustainable Production*, 25(1), 65-84.
- Safari, D., & Azadikhah, M. (2019). Effect of pseudomonas fluorescent bacteria on growth stimulation of some physiological indices, yield components of rapeseed under salt stress. *Journal of Crop Physiology*, 4(11), 67-83.
- Sajedi, N.A., & Rejali, F. (2011). Effects of drought stress, zinc application and mycorrhiza inoculation on uptake of micor nutrients in maize. *Journal of Soil Research*, 25(2), 83-92.
- Shiresmaeili, G.H., Maghsudimood, A.A., Khajueinejad, G.R., & Abdolshahi, R. (2018). Yield and oil percentage of safflower cultivars (*Carthamus tinctorius* L.) in spring and summer planting seasons affected by drought stress. *Journal of Crop Ecophysiology*, 12, 237-252.
- Soltanian, M., & Tadayyon, A. (2015). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on some agronomic characteristics on linseed (*Linum ussitatissimum* L.) under drought stress. *Journal of Plant Production Research*, 22(2), 1-21.
- Song, H. (2005). Effects of vam on host plant in the condition of drought stress and its mechanisms. *Electronic Journal of Biology*, 1(3), 44-48.
- Tinca, G., Munteanu, N., Paduraru, A., Podaru, M., & Teliban, G. (2007). Optimization zation of certain technological measure for Hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) crops in the ecological condition. Financed by Ministry of Education Research and Youth. *Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology*, 1059, 132-134.
- Veysi, H., Heidari, G., & Sohrabi, Y. (2016). The effect of mycorrhizal fungi and humic acid on yield and yield components of sunflower. *Journal of Agroecology*, 8(4), 567-582. doi: 10.22067/ jag.v 8i4 .47568
- Yaghoubian, Y., Pirdashti, H., Mohammadi Goltapeh, E., Feiziasl, V., & Esfandiari, E. (2012). Investigation of dryland waeat (*Triticum aestivum* L.) plants response to symbiosis with arbuscular mycorrhiza and mycorrhiza like fungi different levels of drought stress. *Journal of Agroecology*, 4(1), 63-73.
- Zeinali, A., Sadeghi Bakhtvari, A., & Sarabi, V. (2018). Investigation of nitrogen and sulphur effects on quantitative and qualitative characteristics of castor bean seed (*Ricinus communis* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science*, 49(1), 29-43. (In Persian).
- Zhang, M., Zhai, Z., Tian, X., Duan, L., & Li, Z. (2008). Brassinolide alleviated the adverse effect of water deficits on photosynthesis and the antioxidant of soybean (*Glycine max* L). *Plant Growth Regulation*, 56, 257-264.