

عملکرد و ویژگی‌های رشدی ارقام آفتابگردان تلقیح شده با قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا در

شرایط تنش خشکی

نگین نوروزی چقامارانی^۱، غلامرضا محمدی^{۲*} و مختار قبادی^۳

(۱) دانشجوی دکتری گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.
 (۲ و ۳) دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

* نویسنده مسئول: Mohammadi114@yahoo.com

این مقاله مستخرج از رساله دکتری می‌باشد.

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۴/۰۲

چکیده

یکی از روش‌های نوین در زمینه مدیریت بهینه و افزایش بهره‌وری استفاده از منابع آب در مصارف کشاورزی، به‌کارگیری روش‌های کم‌آبیاری است. با توجه به اهمیت این موضوع، این پژوهش به منظور تعیین اثر همزیستی قارچ‌های میکوریزا بر عملکرد رقم‌های آفتابگردان در شرایط تنش خشکی و به‌صورت آزمایش کرت‌های دوبرخورد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۵ انجام شد. تیمارهای اعمال شده شامل سطوح تنش خشکی: تنش شدید، متوسط و بدون تنش، سه رقم آفتابگردان فرخ، هایسان و برزگر و دو گونه قارچ میکوریزا *Glomus intraradices* و *Glomus mossea* بودند. برای اعمال تیمارهای مختلف خشکی، سطوح مختلف تخلیه رطوبتی خاک (به ترتیب ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد) در نظر گرفته شد. تیمارهای مختلف کم‌آبیاری پس از ساقه رفتن اعمال شد و سپس ویژگی‌های رشدی و عملکرد اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد کاربرد میکوریزا اثر معنی‌داری بر افزایش مقدار عملکرد دانه و روغن ارقام آفتابگردان، وزن خشک ساقه، طول ساقه، تعداد دانه و قطر طبق دارد. بیش‌ترین عملکرد دانه از کاربرد رقم هایسان و قارچ *G.mossea* در شرایط تنش خشکی متوسط (۶۳۹۹/۰۵ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد. تنش خشکی شدید و متوسط بدون کاربرد قارچ به ترتیب موجب ۴۶ درصد و ۲۰ درصد افت عملکرد ارقام آفتابگردان نسبت به شاهد (شرایط بدون تنش و بدون استفاده از قارچ) شدند. تنش خشکی متوسط و کاربرد قارچ آربوسکولار میکوریزا تنها ۱۳ درصد عملکرد دانه آفتابگردان را نسبت به آبیاری کامل کاهش داد که در مقایسه با آبیاری کامل ۳۰ درصد در مصرف آب آبیاری صرفه جویی شد. بنابراین نتیجه‌گیری شد که کاربرد قارچ آربوسکولار میکوریزا افت عملکرد ناشی از تنش خشکی را از طریق صرفه جویی در مصرف آب می‌تواند جبران نماید.

واژه‌های کلیدی: آفتابگردان، اجزای عملکرد، کم‌آبیاری و میکوریزا.

مقدمه

آب یکی از مهم‌ترین عوامل اکولوژیک محدود کننده برای رشد و توسعه گیاه به شمار می‌رود، که این عامل در مناطق خشک و نیمه خشک از اهمیت بیش‌تری برخوردار است (FAO, 2002). برای افزایش راندمان مصرف آب در بخش کشاورزی، به‌کارگیری روش‌های مختلف آبیاری، رقم‌های متحمل به خشکی و همچنین استفاده از قارچ‌های میکوریزا از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است (جمشیدی و همکاران، ۱۳۸۸). یکی از روش‌های نوین در زمینه مدیریت بهینه و افزایش بهره‌وری استفاده از منابع آب در مصارف کشاورزی، به‌کارگیری روش‌های کم آبیاری است که در سال‌های اخیر مطرح شده است (رضایی استخریویه و همکاران، ۱۳۹۳). تحت روش‌های کم آبیاری، آب مصرفی تا حد کم‌تر از حداکثر نیاز آبی گیاه می‌باشد و تنش ملایمی به گیاه داده می‌شود تا جایی که حداقل اثر را بر افت عملکرد گیاه داشته باشد. بنابراین، در شرایط خشکی و کمبود منابع آب، روش‌های کم آبیاری می‌تواند عملکرد اقتصادی را در واحد مقدار آب مصرفی افزایش دهد (Dadrasan *et al*, 2015). با توجه به این‌که در روش‌های کم آبیاری، تنش خشکی به گیاه وارد می‌شود، استفاده از قارچ‌های میکوریزا می‌تواند در کاهش تنش‌های وارده به گیاه نقش مهمی را به عهده داشته باشد (Gholamhoseini *et al*, 2013). همچنین ثابت شده است که کاربرد قارچ میکوریزا جذب و تخصیص عناصر غذایی و آب را بین ساقه و ریشه بهبود می‌بخشد و موجب افزایش رشد گیاه می‌شود (سلیمانی، ۱۳۹۶؛ Clark and Zeto, 2000; Giri and Mukerji, 2004؛ Wu and Xia, 2006). در پژوهشی توسط جمشیدی و همکاران (۱۳۸۸) برهم‌کنش قارچ میکوریزا با تنش خشکی بر تمامی صفات آفتابگردان به جز تعداد کل دانه‌ها، وزن هزار دانه، تعداد دانه‌های پر و درصد روغن دانه در سطح یک درصد معنی دار بود. همچنین نتایج نشان داد هر چند که تنش خشکی باعث کاهش عملکرد آفتابگردان شد، ولی قارچ میکوریزا شدت اثر آن را کاهش داد. در بررسی اثر تلقیح قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا بر رشد، جذب عناصر غذایی و بهره‌وری آب آبیاری در شرایط تنش خشکی در گیاه آفتابگردان، نتایج نشان داد که تلقیح میکوریزایی باعث افزایش ماده خشک، تولید دانه‌های سنگین‌تر و تعداد دانه بیش‌تر و همچنین عملکرد روغن بیش‌تری شد (حیدری و کرمی، ۱۳۹۲). این محققان گزارش کردند که گیاهان میکوریزایی وزن خشک ساقه و عملکرد بیش‌تری نسبت به گیاهان غیر میکوریزایی داشتند، این افزایش وزن می‌تواند در نتیجه جذب عناصر غذایی مختلف مثل نیتروژن، کلسیم، پتاسیم، مس به ویژه فسفر توسط شبکه هیف‌های قارچ میکوریزا باشد. نتایج پژوهشی نشان داد برهم‌کنش قارچ میکوریزا با تنش کم آبی بر ارتفاع بوته و وزن خشک اندام هوایی بزرگ معنی‌دار بود و کاربرد قارچ میکوریزا موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه شد، به طوری که تیمار تلقیح شده با میکوریزای *G. intraradices* بیش‌ترین عملکرد دانه را تولید کرد (سلطانیان و همکاران، ۱۳۹۴). از آن‌جا که آفتابگردان به عنوان یکی از منابع مهم در تأمین روغن در جهان به شمار می‌رود، دانه‌های آفتابگردان

با ۴۰ تا ۵۰ درصد روغن و ۱۵ تا ۲۱ درصد پروتئین، نقش بسزایی در تأمین روغن مورد نیاز بشر در سطح جهان دارند (Pavithra and Yapa, 2018). بنابر گزارش‌های موجود، این گیاه پتانسیل خوبی برای کشت با استفاده از روش‌های کم آبیاری دارد (Demir et al, 2006). پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد که رقم‌های مختلف آفتابگردان در مقابل تنش خشکی پاسخ‌های فیزیولوژیک و عملکردهای متفاوتی از خود نشان می‌دهند (طباطبایی و شاکری، ۱۳۹۲؛ کریمی‌کاخری و همکاران، ۱۳۸۸؛ Soleimanzadeh, 2010). به نظر می‌رسد که کشت آفتابگردان با استفاده از روش کم‌آبیاری با کاهش مصرف آب در واحد سطح، گام مهمی در راستای رسیدن به کشاورزی پایدار باشد و از طرفی استفاده از رقم‌های متحمل به تنش خشکی به همراه قارچ‌های میکوریزا می‌تواند تا حدودی تنش خشکی وارد شده به گیاه را در شرایط کم آبی کاهش داده و از کاهش عملکرد جلوگیری نماید. بنابراین، هدف از این آزمایش بررسی اثر همزیستی دو گونه مختلف از قارچ‌های میکوریزایی بر عملکرد دانه و برخی پارامترهای رشدی و فیزیولوژیکی در سه رقم متفاوت آفتابگردان از نظر واکنش به تنش خشکی (حساس، نیمه حساس و متحمل) می‌باشد (رشدی و همکاران، ۱۳۸۵؛ رضایی زاد و همکاران، ۱۳۹۵). همچنین در این پژوهش سعی شده است که تغییر در میزان عملکرد آفتابگردان در مقابل میزان صرفه جویی در میزان آبیاری در شرایط استفاده از قارچ میکوریزا نیز در شرایط تنش خشکی بررسی شود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در بهار و تابستان سال ۱۳۹۵ در مزرعه پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی شهر کرمانشاه با عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۲۱ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۶ دقیقه شرقی با میانگین بارندگی سالیانه بلند مدت ۴۴۱ میلی‌متر و میانگین دمای سالیانه ۱۵ درجه سانتی‌گراد انجام شد.

طرح آزمایشی

این آزمایش به صورت کرت‌های دو بار خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. سطوح تنش خشکی (شامل سه سطح: ۱- آبیاری در زمان تخلیه ۸۰ درصد رطوبت خاک (تنش شدید)، ۲- آبیاری در زمان تخلیه ۶۰ درصد رطوبت خاک (تنش متوسط) و ۳- آبیاری در زمان تخلیه ۴۰ درصد رطوبت خاک (بدون تنش)) به عنوان عامل کرت اصلی، سه رقم آفتابگردان (شامل: ۱- فرخ (متحمل)، هایسان ۲- (نیمه حساس) و ۳- برزگر (حساس)) (طباطبایی و شاکری، ۱۳۹۱) به عنوان عامل کرت فرعی و قارچ‌های میکوریزا (شامل سه سطح: دو گونه قارچ میکوریزا شامل *Glomus mossae* و *Glomus intraradices* و یک سطح بدون استفاده از قارچ به عنوان شاهد) به عنوان عامل کرت فرعی در نظر گرفته شدند. کرت‌ها به ابعاد ۳×۳/۷۵ متر، ایجاد شدند. هر کرت شامل پنج ردیف کشت، فاصله ردیف‌ها ۷۵ سانتی‌متر و فاصله کاشت گیاهان در روی ردیف ۲۵ سانتی‌متر بود (زارعی سیاه بیدی و همکاران، ۱۳۹۴).

تلقیح بذر

در ابتدای کاشت (اردیبهشت ماه)، سه عدد بذر با ۲۰ گرم مخلوط اسپور و خاک که هر گرم از آن حاوی حدود ۱۲۰ اسپور بود، در هر چاله کشت، قرار گرفت (Dadrasan et al, 2015). بعد از سبز شدن، یک گیاهچه باقی ماند و بقیه حذف شدند.

مراحل آبیاری

تا مرحله آغاز رشد طولی ساقه برای همه تیمارها با توجه به نیاز آبی گیاه آفتابگردان از آبیاری کامل استفاده شد. سپس در مراحل مختلف رشد، سطوح مختلف کم آبیاری به روش وزنی (با استفاده از فرمول ۱) اعمال شد و رقم‌های مورد نظر تحت رژیم‌های مختلف آبیاری قرار گرفتند که کرت‌های بدون تنش در طی دوره رشد ده مرحله و کرت‌های دارای تنش متوسط هفت مرحله و کرت‌هایی که تحت اثر تنش شدید بودند، پنج مرحله آبیاری شدند. شایان ذکر است که آبیاری به صورت جوی و پشته انجام شد. برای اعمال تیمارهای آبیاری رطوبت خاک ابتدا گنجایش زراعی خاک (FC) اندازه‌گیری شد. برای این منظور نمونه‌های خاک از سرتاسر مزرعه با استفاده از آگر برداشت شده و در داخل گلدان‌هایی قرار داده شدند. پس از اشباع کردن این گلدان‌ها از آب، سطح گلدان‌ها با فویل آلومینومی پوشانده شد و به مدت ۴۸ ساعت بر روی سطوح مشبک قرار داده شدند تا آب ثقیلی آن‌ها خارج شود. سپس وزن خاک در ظرفیت زراعی^۱ به سرعت اندازه‌گیری شد و وزن خشک نمونه‌های خاک^۲ نیز با استفاده از نگهداری در آون به مدت ۲۴ ساعت و در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد (اردلانی و همکاران، ۱۳۹۴). با اندازه‌گیری موارد بالا، درصد وزنی رطوبت خاک در نقطه گنجایش زراعی خاک با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد.

$$FC = (FCW - DW) / DW \times 100 \quad \text{رابطه ۱:}$$

به منظور ایجاد شرایط تنش خشکی و اعمال دوره‌های آبیاری، تخلیه رطوبت قابل استفاده خاک به مقدار ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد وزنی رطوبت خاک در نقطه گنجایش زراعی (FC) به ترتیب به عنوان تیمارهای شاهد، تنش متوسط و تنش شدید در نظر گرفته شدند. به طوری که در فاصله زمانی هر دو روز، نمونه‌هایی از خاک مزرعه برداشت شده و پس از قرار دادن در آون به مدت ۲۴ ساعت و در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد، درصد وزنی رطوبت آن‌ها با استفاده از رابطه ۲ اندازه‌گیری شد:

$$W = (W2 - W3) / (W3 - W1) \times 100 \quad \text{رابطه ۲:}$$

^۱ FCW

^۲ DW

به طوری که W : درصد وزنی رطوبت خاک، W_1 : وزن خالی ظرف (گرم)، W_2 : وزن ظرف + وزن خاک مرطوب (گرم)، W_3 : وزن ظرف + وزن خاک خشک (گرم) می باشد (Carter and Gregorich, 2007).

ویژگی های مورد اندازه گیری

در مرحله برداشت که دانه ها دارای ۱۰ درصد رطوبت بودند در هر کرت، با در نظر گرفتن اثر حاشیه ای، باقی گیاهان از نظر ویژگی های رویشی و عملکرد دانه و روغن مورد اندازه گیری قرار گرفتند. ویژگی های گیاهی شامل: تعداد برگ، طول ساقه، شاخص سطح برگ، قطر طبق، عملکرد، تعداد دانه در هر طبق و وزن خشک اندام های هوایی اندازه گیری شدند. به منظور تعیین عملکرد دانه در مرحله رسیدگی نمونه ها با اعمال اثر حاشیه ای برداشت شدند و طبق ها در هوای آزاد خشک شده و دانه ها جدا شدند. پس از خشک شدن دانه ها، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و روغن تعیین گردید. روغن دانه با استفاده از روش سوکسله و حلال پترولیوم اتر برآورد شد (Heidari and Karami, 2014).

تجزیه و تحلیل داده ها

داده های جمع آوری شده ابتدا توسط آزمون های شاپیرو-ویلک و لون (حیبی، کتاب کاربرد SPSS) از نظر توزیع نرمال و همگنی واریانس ها مورد بررسی قرار گرفتند. سپس با استفاده از آنالیز واریانس اثر ساده و برهم کنش مربوط به فاکتورهای اعمال شده مورد بررسی قرار گرفت. سپس با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد، مقایسه میانگین انجام شد. آنالیز نرمالیتی و همگنی واریانس ها با استفاده از نرم افزار SPSS (نسخه 22 IBM) و آنالیز واریانس و مقایسه میانگین با استفاده از نرم افزار SAS (نسخه ۹/۱) انجام شد.

نتایج و بحث

تجزیه و تحلیل داده ها نشان داد که اثر میکوریزا بر تعداد برگ، طول ساقه، شاخص سطح برگ، قطر طبق، عملکرد دانه و روغن، تعداد دانه در هر طبق و وزن خشک اندام های هوایی در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود. اثر تنش آب و اثر رقم نیز بر تمام صفات گیاهی اندازه گیری شده معنی دار بود، برهم کنش میکوریزا و تنش آب و رقم بر تمامی صفات گیاهی معنی دار شد (جدول ۱). نتایج پژوهشی دیگر نیز نشان داد که اثر قارچ میکوریزا و تنش خشکی و همچنین برهم کنش آن ها بر عملکرد دانه، تعداد کل دانه در متر مربع، تعداد دانه پوک در متر مربع، درصد پوکی، میزان کلونیزاسیون میکوریزا، شاخص سطح برگ، ارتفاع بوته و عملکرد روغن معنی دار شد (جمشیدی و همکاران، ۱۳۸۸).

تعداد و وزن خشک برگ

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که کاربرد قارچ آربوسکولار میکوریزا بر تعداد برگ تحت اثر تنش‌های آبیاری و ارقام متفاوت اثر مثبت داشته است و نسبت به شاهد (عدم کاربرد قارچ) اختلاف معنی‌داری ایجاد کرده است (جدول ۲). بیش‌ترین تعداد برگ از تیمار تنش متوسط، رقم هایسان و کاربرد قارچ *G.intraradices* با میانگین ۲۸/۶۶ به دست آمد که نسبت به شاهد (شرایط بدون تنش و بدون استفاده از قارچ) ۵۳ درصد افزایش داشت. و کم‌ترین تعداد برگ با میانگین ۱۳/۳۳ مربوط به تنش شدید و رقم برزگر بدون کاربرد قارچ بود. که علت این موضوع می‌تواند ناشی از حضور قارچ باشد که ممکن است قارچ آربوسکولار میکوریزا در شرایط کمبود مختصر رطوبت، توسعه بیش‌تری یابد و به جذب آب از لایه‌های پایین‌تر خاک از طریق شبکه گسترده هیف و در نتیجه گسترش سیستم ریشه‌ای کمک کند. قابل ذکر است که اختلاف مربوط به ویژگی تعداد برگ تا مراحل قبل از رسیدگی فیزیولوژیک معنی‌دار نبود و معنی‌دار شدن این اختلاف به دلیل تفاوت در زمان ریزش برگ در گیاهان غیرمیکوریزایی نسبت به گیاهان میکوریزایی باشد که برگ گیاهان میکوریزایی در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک دیرتر دچار ریزش شده بودند. در نتیجه گیاهان غیر میکوریزایی به دلیل از دست دادن برگ‌های خود در این مرحله، دارای برگ‌های کم‌تری بودند. در این راستا نتایج پژوهش سلطانیان و همکاران (۱۳۹۴) نیز نشان داد که تعداد برگ گیاه بزرک تلقیح شده با *G.intraradices* در شرایط بدون تنش افزایش یافت که دلیل آن را ریزش دیر هنگام برگ‌های گیاه میکوریزایی نسبت به گیاه غیرمیکوریزایی دانستند. نتایج آزمایشی دیگر نشان داد که قارچ میکوریزا موجب افزایش طول ساقه و اندام‌های رویشی، شاخص سطح برگ و وزن خشک و تازه ساقه می‌شود (Abdallah *et al*, 2013). در پژوهش جاری در تیمار تنش متوسط و کاربرد قارچ *G.mossea* و *G.interaradices* ویژگی تعداد برگ به ترتیب برای رقم فرخ ۶ و ۶۵ درصد، برای رقم هایسان ۳ و ۳۸ درصد و برای رقم برزگر به طور مساوی ۳۶ درصد نسبت به شاهد مربوط به خودشان بیش‌تر بود. در همین تیمار وزن خشک برگ به ترتیب برای رقم فرخ ۱۲۸ و ۱۷۷ درصد افزایش، برای رقم هایسان ۱۳ و ۲۶۵ درصد افزایش و برای رقم برزگر ۲ درصد افت و ۴ درصد افزایش نسبت به شاهد خودشان نشان داد. در تیمار تنش شدید و کاربرد قارچ *G.mossea* و *G.interaradices* ویژگی تعداد برگ به ترتیب برای رقم فرخ ۲۰ و ۴۰ درصد، برای رقم هایسان ۶۰ و ۱۴۸ درصد و برای رقم برزگر ۳۴ و ۳۹ درصد نسبت به شاهد مربوط به خودشان افزایش نشان داد. در همین تیمار برای ویژگی وزن خشک برگ نیز به ترتیب برای رقم فرخ ۶۰ و ۱۴۸ درصد، برای رقم هایسان ۴۰ و ۶۸ درصد و برای رقم برزگر ۲۸۶ و ۴۷۵ درصد نسبت به شاهد مربوط به خودشان افزایش مشاهده شد (جدول ۲).

جدول ۱: تجزیه واریانس صفات گیاهی آفتابگردان در شرایط تنش خشکی و تلقیح با میکوریزا

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات									
		عملکرد روغن	عملکرد دانه	قطر طبق	تعداد دانه در طبق	وزن خشک ساقه	وزن خشک برگ	شاخس سطح برگ	وزن خشک برگ	طول ساقه	تعداد برگ
بلوک	۲	۷۹/۵۰ ^{ns}	۳۲۶۹/۰۳ ^{ns}	۰/۰۸ ^{ns}	۶۲۶۳۱ ^{ns}	۵۸۳ ^{ns}	۰/۳۵ ^{ns}	۵۷۹۷۸ ^o	۰/۲۱ ^{ns}	۰/۷۰ ^{ns}	
تنش خشکی	۲	۴۱۴۶۶۴۹/۱۰ ^{oo}	۹۶۴۲۱۰۷/۳۳ ^{oo}	۱۳۹/۳۱ ^{oo}	۸۲۶۱۹۶/۴۹ ^{oo}	۱۷۷۴/۵۷ ^{oo}	۱۸۹۴/۸۶ ^{oo}	۶۲۶۶۲۳۱ ^{oo}	۹۴/۱۹۵ ^{oo}	۸۸/۹۳ ^{oo}	
خطای a	۴	۳۱۴/۰۶	۱۵۱۴/۸۸	۱/۴۲	۱۱۳۷/۷۹	۸۹/۱۳	۴/۳۵	۲۷۵/۳۹	۲۹۸۶	۱/۹۶	
رقم	۲	۱۷۴۱۴۲۸/۶۸ ^{oo}	۳۲۴۲۸۲۴/۵۶ ^{oo}	۳۴/۷۲ ^{oo}	۷۳۷۸۷۸/۷۱ ^{oo}	۸۶۴۷۵/۱۵ ^{oo}	۶۶۱/۲۰ ^{oo}	۶۰۴۵۹/۱۳ ^{oo}	۲۵۶۴/۶۴ ^{oo}	۱۳/۳۷ ^{oo}	
تنش خشکی × رقم	۴	۸۳۹۶۷۴/۶۰ ^{oo}	۹۷۵۶۶۷۳ ^{oo}	۳۰/۲۷ ^{oo}	۴۶۶۹/۳۱ ^{oo}	۱۷۹۳۳/۵۴ ^{oo}	۱۰۴۲/۴۳ ^{oo}	۲۷۱۵۰/۹۹ ^{oo}	۱۵۳/۱۵ ^{oo}	۲۹/۵۷ ^{oo}	
خطای b	۱۲	۱۷۰/۷۴	۵۵۶۶/۴۸	۰/۴۶	۲۶۹/۵۲	۳۲/۶۸	۲/۳۱	۲۲۶/۸۳	۱۵/۲۵	۰/۸۴	
میکوریزا	۲	۲۵۶۲۵۸۸۳ ^{ns}	۱۰۸۶۷۵/۷۳ ^{oo}	۵/۳۷ ^{oo}	۶۰۰۹۹۷/۹۷ ^{oo}	۳۳۶۱۰/۵۹ ^{oo}	۹۹۹/۰۵ ^{oo}	۱۰۴۹۷۳/۱۳ ^{oo}	۱۷۲۳/۲۵ ^{oo}	۳۰/۱۱ ^{oo}	
تنش خشکی × میکوریزا	۴	۶۷۷۴۹/۱۳ ^{oo}	۱۱۷۸۳۱۷۵/۶۵ ^{oo}	۵۳/۲۷ ^{oo}	۱۹۲۲۳/۶۸ ^{oo}	۲۰۹۴۲/۳۲ ^{oo}	۱۲۵/۶۱ ^{oo}	۱۹۱۳۱/۷۰ ^{oo}	۲۸۱۰/۸۰ ^{oo}	۴/۷۰ ^{oo}	
رقم × میکوریزا	۴	۱۵۷۹/۲۵ ^{oo}	۳۵۴۰۸۰۶/۹۵ ^{oo}	۵۰/۹۶ ^{oo}	۷۴۰۶۳۹/۴۶ ^{oo}	۸۳۴۶/۵۰ ^{oo}	۱۰۸۸/۲۷ ^{oo}	۸۸۳۳/۵۸ ^{oo}	۱۳۴۰/۴۶ ^{oo}	۱۳۸۳/۱ ^{oo}	
تنش خشکی × رقم × میکوریزا	۸	۸۴۵/۳۰ ^{oo}	۳۷۴۰۸۰۸/۶۸ ^{oo}	۲۰/۶۵ ^{oo}	۵۶۹۳۴/۲۷ ^{oo}	۳۷۶۴/۳۰ ^{oo}	۳۴۸/۶۹ ^{oo}	۱۱۸۶۶۷/۴۶ ^{oo}	۱۰۰۷/۰۸ ^{oo}	۱۵/۹۶ ^{oo}	
خطای c	۳۶	۱۰۰/۸۶	۹۴۴۴/۲۵	۰/۳۰	۷۶۸/۹۶	۲۲/۸۳	۰/۶۷	۱۸۸/۶۹	۲۱/۱۲	۰/۴۶	
درصد ضریب تغییرات	-	۱۶/۱۸	۱۷/۰۳	۱۲/۷۱	۱۶/۳۷	۱۲/۳۲	۱۱/۶۰	۱۴/۴۸	۱۲/۳۳	۱۰/۷۷	

*و **: به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال یک و پنج درصد و ns غیر معنی دار .

جدول ۲: مقایسه میانگین صفات گیاهی آفتابگردان در شرایط تنش خشکی و تلفیق با میکوریزا

تیمار آبیاری	رقم	نوعاد بزرگ	وزن بزرگ (گرم)	شاخص سطح برگ	طول ساقه (سانتی متر)	وزن ساقه (گرم)	فصل طریق (سانتی متر)	تعداد دانه در طبق	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد روغن (کیلوگرم در هکتار)
تخلیه ۴۰ درصد رطوبت خاک	میکوریزا	<i>Gmosssea</i>	۲۰/۳۳	۴۰/۴۰	۲/۲۹	۱۶۶/۳۳	۱۸۰/۵۷	۲۴/۶۷	۵۹۹۷/۷۵	۲۳۷۹/۱۰
		<i>Gintraradices</i>	۲۶/۶۶	۷۰/۶۰	۴/۸۸	۱۲۹/۶۶	۲۰/۱۱۷	۲۰/۶۷	۵۱۴۸/۵۵	۲۰۵۹/۲۳
تخلیه ۸۰ درصد رطوبت خاک	میکوریزا	شاهد	۱۸/۶۶	۱۹/۴۷	۱/۸۷	۱۳۲/۶۶	۱۱۴/۷۳	۱۹/۳۳	۴۷۷۴/۱۵	۱۹۰۸/۹۸
		<i>Gmosssea</i>	۱۸/۶۶	۲۲/۲۳	۲/۶۴	۱۴۲/۴۶	۱۸۲/۲۶	۲۵/۳۳	۱۵۰۰/۰۰	۵۳۴۹/۲۰
تخلیه ۴۰ درصد رطوبت خاک	میکوریزا	<i>Gintraradices</i>	۲۵/۶۶	۴۰/۳۳	۱/۷۸	۱۵۵/۶۶	۲۳۷/۲۷	۲۱/۶۷	۵۹۵۷/۶۰	۲۲۸۲/۰۴
		شاهد	۱۷/۶۶	۲۰/۲۶	۱/۳۱	۱۴۶/۶۶	۱۵۶/۷۳	۲۰/۳۳	۷۹۶/۶۷	۲۰۶۵/۸۶
تخلیه ۴۰ درصد رطوبت خاک	میکوریزا	<i>Gmosssea</i>	۱۶/۶۶	۳۶/۵۰	۲/۸۱	۱۶۴/۳۳	۴۴۴/۴۳	۲۲/۶۷	۵۳۰۸/۵۵	۲۰۸۲/۴۳
		<i>Gintraradices</i>	۱۵/۶۶	۵۹/۱۷	۲/۶۸	۱۲۵/۶۶	۲۴۴/۵۰	۲۱/۶۷	۷۲۲/۳۳	۱۶۵۷/۶۰
تخلیه ۸۰ درصد رطوبت خاک	میکوریزا	شاهد	۱۶/۶۶	۲۲/۵۷	۲/۸۶	۱۳۶/۶۶	۱۹۶/۳۰	۱۹/۶۷	۳۹۸۶/۵۵	۱۵۹۴/۶۲
		<i>Gmosssea</i>	۱۶/۳۳	۳۹/۶۰	۲/۵۵	۱۳۲/۰۰	۲۰۰/۵۷	۲۲/۰۰	۷۰۲/۳۳	۲۰۷۰/۴۶
تخلیه ۴۰ درصد رطوبت خاک	میکوریزا	<i>Gintraradices</i>	۲۵/۳۳	۴۸/۰۰	۴/۰۱	۱۶۴/۳۳	۲۸۹/۳۷	۱۹/۳۳	۴۵۲۵/۰۵	۱۸۲۵/۰۳
		شاهد	۱۵/۳۳	۱۷/۳۰	۰/۸۳	۱۱۷/۳۳	۸۹/۳۳	۱۷/۰۰	۶۰۲/۳۳	۱۵۴۲/۱۲
تخلیه ۴۰ درصد رطوبت خاک	میکوریزا	<i>Gmosssea</i>	۲۱/۳۳	۳۲/۲۷	۲/۳۳	۱۴۹/۶۶	۱۷۱/۶۴	۲۱/۶۷	۶۳۹۹/۰۵	۲۵۵۹/۶۲
		<i>Gintraradices</i>	۲۸/۶۶	۱۰۳/۸۰	۲/۵۲	۱۴۱/۳۳	۳۸۸/۷۳	۲۴/۶۷	۵۷۰۸/۱۵	۲۲۸۱/۲۵
تخلیه ۴۰ درصد رطوبت خاک	میکوریزا	شاهد	۲۰/۶۶	۲۸/۳۷	۱/۴۴	۱۰۶/۰۰	۱۴۵/۳۷	۲۰/۰۰	۴۴۲۲/۰۵	۱۷۵۶/۲۳
		<i>Gmosssea</i>	۲۲/۳۳	۳۵/۵۷	۲/۷۱	۱۳۵/۳۳	۴۸۱/۸۰	۲۱/۳۳	۷۶/۰۰	۴۱۳۰/۸۰
تخلیه ۴۰ درصد رطوبت خاک	میکوریزا	<i>Gintraradices</i>	۲۲/۳۳	۳۷/۶۷	۲/۹۷	۱۳۷/۳۳	۲۶۹/۵۷	۲۰/۳۳	۵۳۰۹/۳۵	۲۱۳۲/۴۵
		شاهد	۱۶/۳۳	۳۶/۰۰	۲/۶۳	۱۳۴/۶۶	۱۸۷/۷۷	۱۶/۳۷	۷۱۰/۰۰	۴۰۹۵/۳۵
تخلیه ۸۰ درصد رطوبت خاک	میکوریزا	<i>Gmosssea</i>	۱۸/۰۰	۴۸/۶۰	۱/۰۱	۱۲۶/۳۳	۱۲۲/۳۷	۱۲/۶۷	۳۲۲۵/۶۵	۱۳۰۱/۸۶
		<i>Gintraradices</i>	۲۱/۰۰	۷۴/۹۰	۰/۸۹	۱۲۲/۳۳	۱۲۶/۹۷	۱۴/۳۳	۳۳۰۲/۱۵	۱۳۳۰/۸۶
تخلیه ۴۰ درصد رطوبت خاک	میکوریزا	شاهد	۱۵/۳۳	۳۰/۲۰	۰/۸۱	۱۱۷/۶۶	۷۸/۶۰	۱۱/۳۳	۱۴۱۷/۳۵	۵۶۶/۹۴
		<i>Gmosssea</i>	۱۹/۰۰	۳۹/۵۷	۰/۹۶	۱۰۴/۰۰	۱۳۲/۵۳	۱۴/۶۷	۲۶۶/۶۷	۱۱۰۷/۳۴
تخلیه ۴۰ درصد رطوبت خاک	میکوریزا	<i>Gintraradices</i>	۲۰/۰۰	۴۷/۵۰	۱/۰۱	۱۲۶/۳۳	۱۳۷/۳۳	۱۷/۶۷	۳۷۴۶/۴۰	۱۳۹۸/۵۶
		شاهد	۱۵/۳۳	۲۸/۲۶	۰/۹۱	۹۲/۶۶	۱۰۰/۶۰	۱۴/۳۳	۲۶۹۶/۱۵	۱۰۷۸/۴۶
تخلیه ۴۰ درصد رطوبت خاک	میکوریزا	<i>Gmosssea</i>	۱۸/۳۳	۶۹/۰۳	۱/۷۰	۱۴۱/۶۶	۲۵۹/۵۰	۱۸/۶۷	۳۳۷۲/۰۰	۱۳۴۸/۸۰
		<i>Gintraradices</i>	۱۹/۰۰	۸۱/۷۰	۱/۹۶	۱۵۸/۳۳	۲۳۲/۹۰	۱۶/۳۳	۳۳۷/۰۰	۱۳۴۷/۵۰
تخلیه ۴۰ درصد رطوبت خاک	میکوریزا	شاهد	۱۳/۶۶	۱۴/۲۰	۰/۶۴	۱۳۶/۶۶	۱۱۷/۷۳	۱۵/۶۷	۳۲۲/۱۵	۱۲۷/۵۴
		شاهد	۱۳/۶۶	۱۴/۲۰	۰/۶۴	۱۳۶/۶۶	۱۱۷/۷۳	۱۵/۶۷	۳۲۲/۱۵	۱۲۷/۵۴

LSD

براساس جدول ۲ بیشترین وزن خشک برگ با میانگین $103/80$ گرم، مربوط به تیمار تنش متوسط، رقم هایسان و کاربرد قارچ *G.intraradices* بود که نسبت به شاهد (شرایط بدون تنش و بدون استفاده از قارچ) ۳۴۰ درصد افزایش داشت و کمترین وزن خشک برگ با میانگین $14/20$ گرم، از تیمار تنش شدید رقم برزگر بدون استفاده از قارچ حاصل شد. احتمالاً علت این امر مربوط به گسترش بهتر میکوریزا در شرایط کمبود جزئی عوامل حیاتی مثل آب نسبت به شرایط ایده‌آل باشد. طبق جدول ۲ کاربرد قارچ *G.intraradices* در افزایش تعداد برگ و وزن خشک برگ نسبت به کاربرد قارچ *G.mossea* مؤثرتر بود، پژوهشگران علت این موضوع را به متفاوت بودن رفتارهای دو گونه قارچ میکوریزا حتی در شرایط یکسان نسبت داده‌اند (Gholamhoseini et al, 2013). احتمالاً قارچ میکوریزا در شرایط تنش متوسط در مقایسه با شرایط مطلوب رطوبتی، همزیستی بیش‌تری با ریشه گیاهان برقرار می‌کند و در نتیجه به تحمل گیاه و رشد رویشی بهتر آن در این شرایط کمک می‌کند، اما در شرایط تنش شدید و خشکی فعالیت زیستی میکوریزا کاهش می‌یابد و به علت محدودیت فراوان به خوبی با گیاه ارتباط برقرار نمی‌کند و نمی‌تواند به بهبود رشد گیاه کمک کند (Gholamhoseini et al, 2013). همچنین جمشیدی و همکاران (۱۳۸۸) گزارش کردند که میزان توسعه میکوریزا با کاهش میزان رطوبت خاک کاهش می‌یابد که نشان دهنده اثر خشکی بر میزان همزیستی میکوریزا می‌باشد.

شاخص سطح برگ

مقایسه میانگین برهم‌کنش سه‌گانه نشان داد که بیشترین شاخص سطح برگ از تیمار بدون تنش و رقم فرخ و کاربرد قارچ *G.intraradices* با میانگین $4/88$ گزارش شد که ۱۶۰ درصد (بیش از $1/5$ برابر) باعث افزایش شاخص سطح برگ نسبت به شاهد (شرایط بدون تنش و بدون استفاده از قارچ) شد و کمترین مقدار این شاخص با میانگین $0/81$ مربوط به تیمار تنش شدید و رقم فرخ بدون استفاده از قارچ بود (جدول ۲). کاربرد قارچ میکوریزا آربوسکولار اثر معنی‌داری بر شاخص سطح برگ داشت و با تیمار شاهد (بدون کاربرد قارچ) اختلاف معنی‌داری داشت و بین دو گونه میکوریزا اختلاف معنی‌داری وجود داشت. شاخص سطح برگ در شرایط کم آبیاری، هم در گیاهان تلقیح شده هم در گیاهان بدون تلقیح نسبت به شرایط آبیاری مطلوب کاهش یافت و در شرایط تنش، تلقیح میکوریزایی بر شاخص سطح برگ مؤثرتر بود. البته دلیل اختلاف زیاد مقادیر شاخص سطح برگ در گیاهان میکوریزایی و غیر میکوریزایی را باید به ریزش دیرهنگام‌تر برگ گیاهان میکوریزایی و بیش‌تر بودن تعداد برگ موجود در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک دانست. شاخص سطح برگ در تیمار تنش متوسط و کاربرد قارچ *G.mossea* و *G.interaradices* به ترتیب برای رقم فرخ 207 و 383 درصد، برای رقم هایسان 61 و 75 درصد و برای رقم برزگر 41 و 12 درصد نسبت به شاهد مربوط به خودشان افزایش نشان داد (جدول ۲). شاخص سطح برگ در تیمار تنش شدید و کاربرد قارچ *G.mossea* و *G.interaradices*

به ترتیب برای رقم فرخ ۲۴ و ۹ درصد، برای رقم هایسان ۵ و ۱۰ درصد و برای رقم برزگر ۱۶۵ و ۲۰۰ درصد نسبت به شاهد مربوط به خودشان افزایش نشان داد (جدول ۲). تنش خشکی باعث کاهش شاخص سطح برگ می‌شود که دلیل اصلی آن کاهش هدایت هیدرولیکی سلول‌های برگ است که منجر به کاهش انتقال آب، مانع بزرگ شدن و تقسیم سلولی و در نهایت توسعه برگ می‌شود (Gholamhoseini et al, 2013). به نظر می‌رسد که میکوریزا از طریق ایجاد شبکه گسترده هیف‌های خارج ریشه‌ای و افزایش دسترسی به آب، باعث برطرف شدن این مشکلات می‌شود و به رشد و توسعه برگ کمک می‌کند. نتایج پژوهش‌های سلیمانی (۱۳۹۶) و جمشیدی و همکاران (۱۳۸۸) ثابت کردند که شاخص سطح برگ در شرایط تنش و بدون میکوریزا به علت ریزش برگ‌های پایینی در اثر کم آبی کاهش می‌یابد که همزیستی میکوریزا از طریق ایجاد شبکه گسترده هیف، دسترسی به آب و مواد غذایی را افزایش می‌دهد و موجب افزایش شاخص سطح برگ می‌شود.

طول و وزن خشک ساقه

از جدول مقایسه میانگین (جدول ۲) چنین برآورد می‌شود که بیش‌ترین طول ساقه مربوط به تیمار بدون تنش، رقم فرخ و کاربرد قارچ *G.mossea* می‌باشد که با میانگین ۱۶۶/۳۳ سانتی‌متر موجب افزایش ۳۴ درصد طول ساقه نسبت به شاهد (شرایط بدون تنش و بدون استفاده از قارچ) شد و با سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار داشت. کم‌ترین طول ساقه از تیمار تنش شدید رقم هایسان بدون کاربرد قارچ با مقدار ۹۳/۶۶ سانتی‌متر گزارش شد. احتمالاً علت این موضوع جذب بیش‌تر آب و مواد غذایی توسط شبکه گسترده هیف‌هایی که میکوریزا به وجود می‌آورد باشد که در نتیجه این افزایش جذب، رشد برگ‌ها، شاخص سطح برگ و طول ساقه افزایش می‌یابد. نتایج آزمایشی نشان داد که بین تیمارهای آبی از نظر طول ساقه اختلاف معنی‌داری وجود دارد و تنش خشکی باعث کاهش ارتفاع بوته می‌شود (جمشیدی و همکاران، ۱۳۸۸). اگرچه تنش خشکی باعث کاهش ارتفاع بوته شد، ولی کاربرد قارچ میکوریزا این کاهش را به طور نسبی جبران کرد (جدول ۲). نتایج پژوهش پیشین در همین زمینه نیز نشان داد که اثر *G.mossea* بر طول ساقه بیش‌تر از *G.hoi* بود (جمشیدی و همکاران، ۱۳۸۸). میکوریزا به علت افزایش جذب آب و در نتیجه تورم و آماس و گسترش سلول‌ها در افزایش ارتفاع بوته مؤثر است (Ortasa et al, 2011). در تیمار تنش متوسط و کاربرد قارچ *G.mossea* و *G.interaradices* ویژگی طول ساقه به ترتیب برای رقم فرخ ۱۳ و ۴۰ درصد، برای رقم هایسان ۴۱ و ۳۳ درصد و برای رقم برزگر ۵/۰ و ۱ درصد نسبت به شاهد مربوط به خودشان افزایش نشان داد (جدول ۲). در همین تیمار، وزن خشک ساقه به ترتیب برای رقم فرخ ۱۲۴ و ۲۲۳ درصد، برای رقم هایسان ۱۸ و ۱۷۶ درصد و برای رقم برزگر ۱۵۶ و ۴۳ درصد نسبت به شاهد مربوط به خودشان افزایش نشان داد (جدول ۲). در تیمار تنش شدید و کاربرد قارچ *G.mossea* و *G.interaradices* ویژگی طول ساقه به

ترتیب برای رقم فرخ ۱۲ و ۱ درصد، برای رقم هایسان ۱۱ و ۴۵ درصد و برای رقم برزگر ۵ و ۱۷ درصد نسبت به شاهد خودشان افزایش نشان داد. در همین تیمار برای وزن خشک ساقه به ترتیب برای رقم فرخ ۵۸ و ۶۱ درصد، برای رقم هایسان ۳۳ و ۳۸ درصد و برای رقم برزگر ۱۲۰ و ۹۰ درصد نسبت به شاهد مربوط به خودشان افزایش مشاهده شد (جدول ۲). بیشترین مقدار وزن خشک ساقه از تیمار تنش متوسط رطوبتی و رقم برزگر به همراه کاربرد قارچ *G.mossea* گزارش شد با مقدار ۴۸۱/۸۰ گرم که نسبت به شاهد (شرایط بدون تنش و بدون استفاده از قارچ) ۱۴۵ درصد افزایش داشت و کمترین مقدار وزن خشک ساقه از تیمار تنش شدید رطوبتی و رقم هایسان بدون کاربرد قارچ با میانگین ۱۰۶/۶۰ گرم به دست آمد. کاربرد قارچ *G.mossea* در افزایش این صفت نسبت به کاربرد قارچ *G.intraradices* مؤثرتر بود که شاید به دلیل متفاوت بودن رفتارهای گونه‌ها حتی در شرایط یکسان باشد. گیاهان میکوریزیایی وزن خشک ساقه و عملکرد بیش‌تری نسبت به گیاهان غیر میکوریزیایی داشتند (Giri and Mukerji, 2004). برخی از محققان نتیجه گرفتند که وزن خشک اندام هوایی و ارتفاع بوته بزرگ در اثر تلقیح با *G.intraradices* در شرایط رطوبتی نرمال نسبت به تنش خشکی بیش‌تر شد (سلطانیان و همکاران، ۱۳۹۴).

قطر طبق و تعداد دانه در طبق

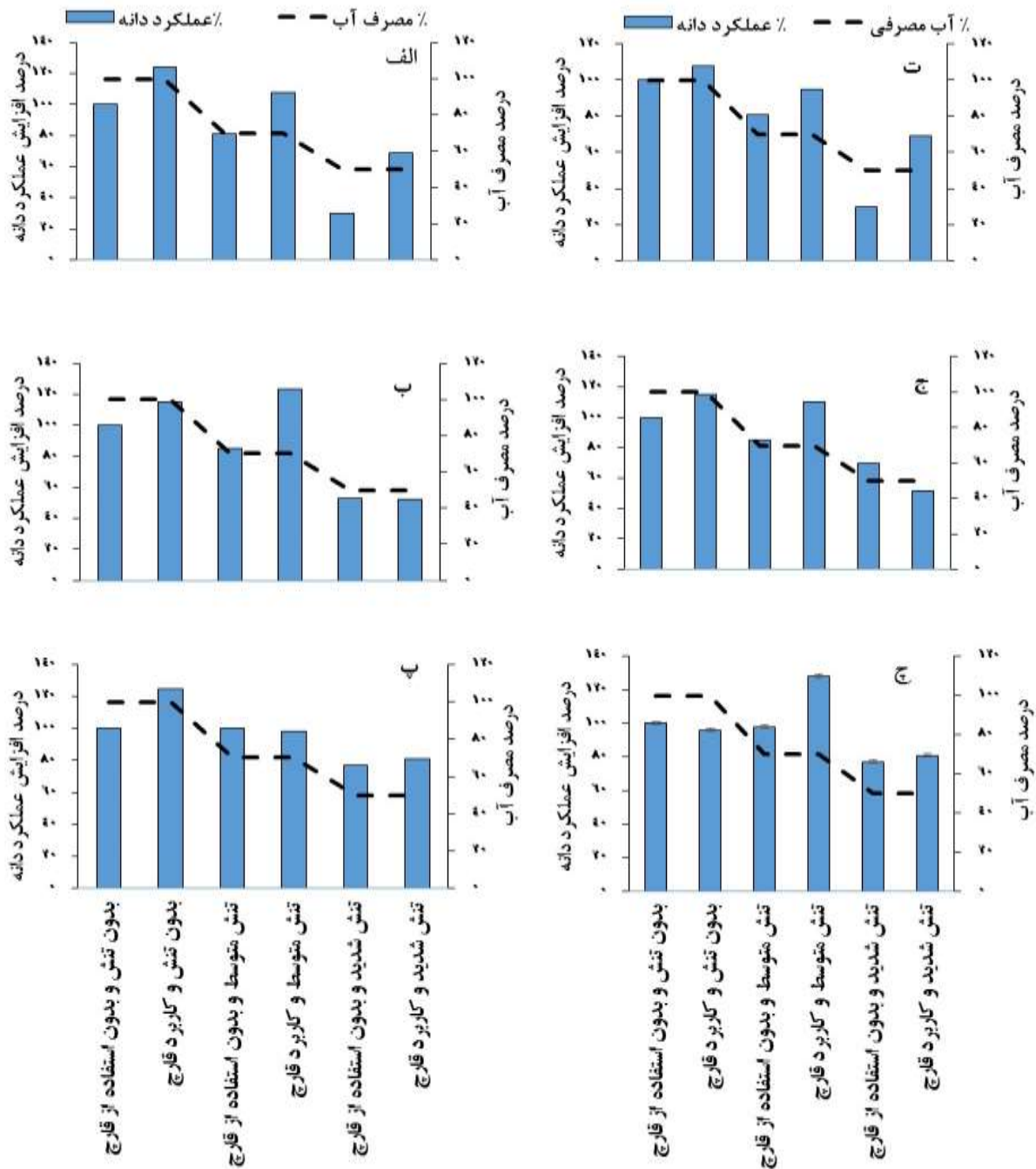
بر اساس جدول مقایسه میانگین برهم‌کنش بیش‌ترین قطر طبق با میانگین ۲۵/۳۳ سانتی‌متر مربوط به تیمار آبیاری کامل و رقم هایسان با استفاده از قارچ *G.mossea* گزارش شد و ۲۴ درصد قطر طبق را نسبت به شاهد (شرایط بدون تنش و بدون استفاده از قارچ) افزایش داد که با تیمار تنش متوسط و رقم هایسان به همراه قارچ *G.intraradices* با میانگین ۲۴/۶۷ سانتی‌متر و تیمار بدون تنش و رقم فرخ و کاربرد قارچ *G.mossea* با میانگین ۲۴/۶۷ سانتی‌متر اختلاف معنی‌دار نداشت، اما با سایر تیمارها با بیش از ۲ سانتی‌متر اختلاف معنی‌دار داشت. کمترین مقدار قطر طبق با میانگین ۱۱/۳۳ سانتی‌متر از تیمار تنش شدید و رقم فرخ بدون استفاده از قارچ به دست آمد. داده‌های جدول ۲ نشان می‌دهند که بیش‌ترین تعداد دانه در هر طبق از تیمار بدون تنش و رقم هایسان به همراه قارچ *G.mossea* با میانگین ۱۵۰۰ گزارش شد و باعث ۸۸ درصد افزایش نسبت به شاهد (شرایط بدون تنش و بدون استفاده از قارچ) شد و با تیمار بدون تنش و رقم هایسان به همراه قارچ *G.mossea* با میانگین ۱۴۴۰ و تیمار تنش متوسط و رقم هایسان و کاربرد قارچ *G.intraradices* با میانگین ۱۴۹۶/۶۷ اختلاف معنی‌دار نداشت. در تیمار تنش متوسط و کاربرد قارچ *G.mossea* و *G.intraradices* ویژگی قطر طبق به ترتیب برای رقم فرخ ۲۹ و ۱۳ درصد، برای رقم هایسان ۸ و ۲۳ درصد و برای رقم برزگر ۳۰ و ۲۴ درصد نسبت به شاهد مربوط به خودشان افزایش نشان داد. در همین تیمار، تعداد دانه در طبق به ترتیب برای رقم فرخ هر دو قارچ به طور مساوی ۱۶ درصد، برای رقم هایسان ۷۴ و ۱۴۸ درصد و برای رقم برزگر ۲ و ۷ درصد نسبت به شاهد

مربوط به خودشان افزایش نشان داد (جدول ۲). در تیمار تنش شدید و کاربرد قارچ *G. mossea* و *G. interradices* ویژگی قطر طبق به ترتیب برای رقم فرخ ۱۱ و ۲۶ درصد، برای رقم هایسان ۲ و ۲۳ درصد و برای رقم برزگر ۱۹ و ۴ درصد نسبت به شاهد خودشان افزایش نشان داد. در همین تیمار برای تعداد دانه در طبق به ترتیب برای رقم فرخ ۹ و ۲۷ درصد، برای رقم هایسان ۲۶ و ۲۹ درصد و برای رقم برزگر ۱۶ و ۷۴ درصد نسبت به شاهد مربوط به خودشان افزایش مشاهده شد (جدول ۲). با اعمال تنش خشکی، تعداد دانه در طبق کاهش یافت، به گونه‌ای که کم‌ترین تعداد دانه در طبق با میانگین ۳۴۳/۳۳ از تیمار تنش شدید و رقم برزگر بدون استفاده از قارچ به دست آمد. به نظر می‌رسد همزیستی میکوریزا علاوه بر افزایش جذب آب و مواد غذایی که موجب افزایش رشد بوته و شاخص سطح برگ و در نتیجه بهبود فتوسنتز و رشد بیش‌تر گیاه و افزایش عملکرد و اجزای عملکرد می‌شود با تولید آنزیم فسفاتاز و افزایش میزان جذب فسفر به افزایش تعداد دانه و وزن دانه‌ها کمک می‌کند. در راستای اثبات این موضوع نتایج آزمایشی نشان داد که افزایش حلالیت فسفر توسط میکوریزا و در نتیجه افزایش دسترسی ریشه به فسفر می‌تواند در افزایش تعداد دانه و سایر اجزای عملکرد گیاه سویا مؤثر باشد (توحیدی مقدم و همکاران، ۱۳۸۶). نتایج پژوهشی نیز نشان داد که با اعمال تنش خشکی تعداد دانه در طبق کاهش می‌یابد که این کاهش تعداد دانه در طبق آفتابگردان را ناشی از کاهش مساحت طبق به دلیل کاهش جذب دانست، اما گزارش شد که کاربرد میکوریزا اثر مثبتی بر قطر طبق و وزن دانه‌ها در شرایط تنش رطوبتی داشت و موجب افزایش آن‌ها و ایجاد اختلاف معنی‌دار با شاهد شد (حسینی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۳).

عملکرد دانه و روغن

جدول شماره ۲ نشان می‌دهد که کاربرد قارچ *G. mossea* در شرایط رطوبتی متوسط و رقم هایسان با میانگین ۶۳۹۹/۰۵ کیلوگرم در هکتار موجب تولید بیش‌ترین عملکرد دانه در هکتار شد که نسبت به شاهد (شرایط بدون تنش و بدون استفاده از قارچ) ۲۳ درصد افزایش داشت. همچنین کم‌ترین عملکرد دانه با مقدار ۱۴۱۷/۳۵ کیلوگرم در هکتار از تیمار تنش شدید و رقم فرخ بدون کاربرد قارچ به دست آمد. نتایج پژوهشی نشان داد که در شرایط نرمال رطوبتی، رقم رکورد و هایسان ۳۳، بیش‌ترین عملکرد دانه را دارا می‌باشند که این موضوع در عملکرد روغن نیز نمایان می‌شود و با اعمال تنش خشکی از عملکرد روغن ارقام کاسته می‌شود (رشدی و همکاران، ۱۳۸۵). برخی از محققان نتیجه گرفتند که تنش خشکی عملکرد آفتابگردان را کاهش می‌دهد، اما کاربرد قارچ میکوریزا از طریق افزایش جذب فسفر و نیتروژن این افت عملکرد را جبران می‌کند (حیدری و کرمی، ۱۳۹۲). این محققان گزارش کردند در این زمینه قارچ *G. etanicatum* مؤثرتر از قارچ *G. mossea* بود. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که قارچ آربوسکولار میکوریزا بر ویژگی‌های رشدی آفتابگردان تحت تنش خشکی و آبیاری نرمال اثر مثبت داشت (حیدری و کرمی، ۱۳۹۲). نتایج جدول شماره ۲ نشان داد که بیش-

ترین عملکرد روغن از تیمار کاربرد قارچ *G.mossea* تحت تنش متوسط خشکی و رقم هایسان با میانگین ۲۵۵۹/۶۲ کیلوگرم در هکتار به دست آمد که نسبت به شاهد (شرایط بدون تنش و بدون استفاده از قارچ) ۲۲ درصد افزایش داشت. همچنین کمترین عملکرد روغن با مقدار ۵۶۶/۹۴ کیلوگرم در هکتار از تیمار تنش شدید و رقم فرخ بدون کاربرد قارچ به دست آمد. در پژوهشی دیگر گزارش شد که عملکرد روغن دانه آفتابگردان تحت تنش خشکی در حضور قارچ *G.mossea* نسبت به شاهد افزایش پیدا کرد و عملکرد دانه و در نتیجه عملکرد روغن آفتابگردان با شاخص سطح برگ رابطه مستقیم دارد و با افزایش شاخص سطح برگ عملکرد هم افزایش می‌یابد، در آفتابگردان حداکثر تابش خورشیدی جذب شده در شاخص سطح برگ بالا اتفاق می‌افتد و در این زمان حداکثر عملکرد نیز به دست می‌آید (Merrien, 1992). به نظر می‌رسد که تنش خشکی با کاهش شاخص سطح برگ، منجر به کاهش فتوسنتز و در نتیجه کاهش تولید ماده خشک، عملکرد دانه و میزان روغن می‌شود که کاربرد قارچ میکوریزا با افزایش جذب آب و مواد غذایی به رشد بهتر برگ‌ها و در نتیجه فتوسنتز بیشتر و تولید دانه‌های سنگین‌تر که اجزای اصلی عملکرد می‌باشد، کمک می‌کند و در نهایت باعث افزایش عملکرد دانه و پیرو آن افزایش میزان روغن می‌شود. عملکرد دانه رقم فرخ در حضور قارچ *G.mossea* تحت تنش شدید خشکی و تنش متوسط به ترتیب ۳۱ درصد کاهش و هشت درصد افزایش نسبت به شاهد (شرایط بدون تنش و بدون استفاده از قارچ) داشت. در حالی که عملکرد دانه بدون همزیستی با قارچ ۷۰ درصد در شرایط تنش شدید خشکی و ۱۹ درصد در تنش متوسط نسبت به شاهد افت داشت (شکل ۱-الف). عملکرد دانه رقم هایسان در اثر همزیستی با *G.mossea* تحت تنش شدید و متوسط به ترتیب ۴۷ درصد افت و ۲۳ درصد افزایش نسبت به شاهد (شرایط بدون تنش و بدون استفاده از قارچ) داشت و عملکرد دانه این رقم بدون همزیستی با قارچ در تنش شدید ۴۸ درصد و تحت تنش متوسط ۱۵ درصد نسبت به شاهد (شرایط بدون تنش و بدون استفاده از قارچ) افت داشت (شکل ۱-ب). رقم برزگر در حضور قارچ *G.mossea* در شرایط تنش شدید ۱۹ درصد افت عملکرد دانه نسبت به شاهد (شرایط بدون تنش و بدون استفاده از قارچ) داشت و تحت تنش متوسط عملکرد برابر با شاهد (شرایط بدون تنش و بدون استفاده از قارچ) شد و عملکرد این رقم بدون کاربرد قارچ در تنش شدید ۲۳ درصد و در تنش متوسط چهار درصد نسبت به شاهد (شرایط بدون تنش و بدون استفاده از قارچ) افت داشت (شکل ۱-پ). عملکرد دانه رقم فرخ در حضور قارچ *G.intraradices* تحت تنش شدید خشکی و تنش متوسط به ترتیب ۳۱ و پنج درصد افت نسبت به شاهد (شرایط بدون تنش و بدون استفاده از قارچ) داشت، در حالی که عملکرد دانه بدون همزیستی با قارچ به میزان ۷۰ درصد در شرایط تنش شدید خشکی و ۱۸ درصد در تنش متوسط نسبت به شاهد (شرایط بدون تنش و بدون استفاده از قارچ) افت داشت (شکل ۱-ت).



شکل ۱: میزان درصد افزایش عملکرد دانه نسبت به شاهد در ازای میزان درصد آب مصرفی نسبت به شاهد

الف) قارچ موسه آ + رقم فرخ ب) قارچ موسه آ + رقم هایسان پ) قارچ موسه آ + رقم برزگر
 ج) قارچ اینترادیسس + رقم فرخ ج) قارچ اینترادیسس + رقم هایسان چ) قارچ اینترادیسس + رقم برزگر

عملکرد دانه رقم هایسان در اثر همزیستی با *G.intraradices* تحت تنش شدید و متوسط به ترتیب ۲۸ درصد افت و ده درصد افزایش نسبت به شاهد (شرایط بدون تنش و بدون استفاده از قارچ) داشت و عملکرد دانه این رقم بدون همزیستی

با قارچ در تنش شدید ۴۸ درصد و تحت تنش متوسط ۱۵ درصد نسبت به شاهد (شرایط بدون تنش و بدون استفاده از قارچ) افت داشت (شکل ۱-ج). رقم برزگر در حضور قارچ *G.intraradices* در شرایط تنش شدید ۱۹ درصد افت عملکرد دانه نسبت به شاهد (شرایط بدون تنش و بدون استفاده از قارچ) داشت و تحت تنش متوسط عملکرد دانه ۲۸ درصد نسبت به شاهد (شرایط بدون تنش و بدون استفاده از قارچ) افزایش پیدا کرد و عملکرد دانه این رقم بدون کاربرد قارچ در تنش شدید ۲۴ درصد و در تنش متوسط سه درصد نسبت به شاهد (شرایط بدون تنش و بدون استفاده از قارچ) افت داشت (شکل ۱-چ). تنش شدید خشکی در حضور قارچ آربوسکولار میکوریزا به طور میانگین عملکرد دانه را ۳۰ درصد نسبت به تنش متوسط و ۴۵ درصد نسبت به شرایط بدون تنش کاهش داد، همچنین تنش متوسط و کاربرد این قارچها تنها ۱۳ درصد عملکرد دانه آفتابگردان را نسبت به آبیاری کامل کاهش داد. در حالی که در شرایط تنش متوسط سه مرحله آبیاری در مقایسه با آبیاری کامل (ده مرحله) کم تر انجام شد و در مقایسه با آبیاری کامل ۳۰ درصد در مصرف آب آبیاری صرفه جویی شد در نتیجه کاربرد قارچ آربوسکولار میکوریزا افت عملکرد دانه ناشی از تنش خشکی را از طریق صرفه جویی در مصرف آب جبران کرد. برخی محققان مشابه نتایج تحقیق حاضر نتیجه گرفتند که هر چند تنش خشکی باعث کاهش عملکرد آفتابگردان شد، ولی میکوریزا شدت اثر آن را کاهش داد. همچنین نتایج آنان نشان داد *G.mossea* دارای قدرت همزیستی بیشتری در مقایسه با *G. hoi* بود و از افت شدید عملکرد آفتابگردان در شرایط تنش خشکی جلوگیری نمود (جمشیدی و همکاران، ۱۳۸۸). نتایج پژوهش های مشابهی افزایش رشد گیاه را ناشی از بهبود جذب عناصر غذایی، جذب بیش تر آب توسط هیف های میکوریزا و در نتیجه افزایش میزان آب برگ، کاهش هدایت روزنه ای و افزایش میزان فتوسنتز خالص در اثر تلقیح با میکوریزا دانستند (سلطانیان و همکاران، ۱۳۹۴؛ سلیمانی، ۱۳۹۶; Wu and Xia, 2006).

نتیجه گیری

نتایج این آزمایش نشان داد که عملکرد و ویژگی های رشدی آفتابگردان از طریق همزیستی با قارچ میکوریزا در شرایط تنش خشکی، افت کمتری دارد. اگر چه تنش خشکی موجب افت عملکرد شد، اما همزیستی قارچ میکوریزا تا حدودی این افت را جبران کرد. کاربرد هر دو گونه قارچ در افزایش عملکرد و ویژگی های رویشی آفتابگردان تحت شرایط خشکی نسبت به گیاهان غیر میکوریزایی اختلاف معنی دار ایجاد کرد. البته پژوهش های پیشین نیز اثر کاربرد قارچ آربوسکولار میکوریزا را در شرایط خشکی بر بهبود عملکرد آفتابگردان نشان دادند، ولی در این پژوهش برای اولین بار به این نکته توجه شده است که در ازای تغییر در میزان عملکرد در شرایط تنش خشکی، چه مقدار می توان در مصرف آب صرفه جویی نمود. به طوری که یافته های این پژوهش نشان دادند که در شرایط تنش خشکی، متوسط عملکرد رقم هایسان بدون کاربرد قارچ میکوریزا به میزان ۱۵ درصد نسبت به شاهد (بدون تنش و بدون کاربرد قارچ میکوریزا) افت داشت، در حالی که همین رقم در

همین شرایط تنش با کاربرد قارچ میکوریزا *G.mossea* نه تنها نسبت به شاهد مربوطه (بدون تنش و بدون کاربرد قارچ میکوریزا) افت نشان نداد بلکه ۲۳ درصد نیز افزایش عملکرد نشان داد. عملکرد رقم‌های فرخ و برزگر در شرایط تنش متوسط خشکی در حضور هر دو گونه قارچ میکوریزا نسبت به شاهد (بدون تنش و بدون کاربرد قارچ میکوریزا) به‌طور میانگین ۱۳ درصد افت داشتند. به‌طور کلی در شرایط تنش متوسط خشکی ۳۰ درصد در مصرف آب صرفه‌جویی شد. با توجه به نتایج به دست آمده از این پژوهش، در شرایط تنش خشکی شدید گرچه ۵۰ درصد در مصرف آب صرفه‌جویی شد ولی به دلیل افت شدید عملکرد حتی با کاربرد قارچ‌های میکوریزا (تا ۴۵ درصد) استفاده از این شرایط پیشنهاد نمی‌شود.

منابع

اردلانی، ش.، سعیدی، م.، جلالی هنرمند، س.، قبادی، م.ا. و عبدلی، م. ۱۳۹۴. اثر تنش خشکی پس از گرده افشانی بر برخی صفات زراعی و فیزیولوژیک مرتبط با قدرت منبع در چهار ژنوتیپ گندم نان. نشریه تحقیقات غلات، ۱(۵): ۴۵-۶۵.

توحیدی مقدم، ح.، نصیری، م.، زاهدی، ح.، پاک‌نژاد، ف. و رنجبرزاده، ر. ۱۳۸۶. کاربرد کودهای بیولوژیک راهکاری به منظور کاهش مصرف کودهای شیمیایی در زراعت سویا. همایش ملی کشاورزی بوم‌شناختی ایران، ۲: ۱۴۲۳-۱۴۳۴.

جمشیدی، ا.، فلاوند، ا.، صالحی، ا.، جواد زارع، م. و جمشیدی، ع. ر. ۱۳۸۸. اثر میکوریزا آربوسکولار بر عملکرد، اجزای عملکرد و صفات گیاهی آفتابگردان (*Helianthus annuus L.*) در شرایط تنش خشکی. مجله علوم زراعی ایران، ۱(۱۱): ۱۵۰-۱۳۶.

حبیبی، آ. ۱۳۸۶. آموزش کامل SPSS و راهنمای تصویری نرم‌افزار SPSS. ویرایش پنجم. پایگاه علمی-پژوهشی پارس مدیر. ۲۰۰ صفحه.

حسینی نژاد، س. م.، سینکی، ج. م.، بیابانی، ع. و عابدینی اسفهلانی، م. ۱۳۹۳. بررسی اثرات تنش خشکی و قارچ میکوریزا بر عملکرد و برخی صفات زراعی و فیزیولوژیک ارقام آفتابگردان. نشریه زراعت (پژوهش‌سازندگی)، ۱(۱۰): ۹۵-۱۰۲.

حیدری، م. و کرمی، و. ۱۳۹۲. بررسی اثر تنش خشکی و گونه‌های میکوریزا بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه، میزان کلروفیل و ترکیبات بیوشیمیایی آفتابگردان. مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی، ۱(۶): ۲۶-۱۷.

- رشدی، م.، حیدری شریف آباد، ح.، کریمی، م.، نورمحمدی، ق. و درویش، ف. ۱۳۸۵. بررسی اثرات تنش کم آبی بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه ارقام آفتابگردان. ویژه نامه پژوهشی علوم کشاورزی، ۱ (۱۲): ۱۰۹-۱۲۲.
- رضایی استخروویه، ع.، خوش قدم، س.، ابراهیمی سیریزی، م. و بادیه نشین، ع. ۱۳۹۳. ارزیابی عملکرد گیاه آفتابگردان (رقم فرخ) تحت تاثیر کم آبیاری سنتی و خشکی موضعی ریشه. نشریه آب و خاک، ۵ (۲۸): ۸۶۷-۸۷۵.
- رضایی زاد، ع.، بهمنی، ی.، اطمینان، ع. ر. ۱۳۹۵. ارزیابی عملکرد و خصوصیات زراعی دو رگ های جدید آفتابگردان در شرایط نرمال و تنش خشکی. پژوهشنامه گیاهان دانه روغنی ایران، ۱ (۵): ۵۳-۶۴.
- زارعی سیاه بیدی، ا.، رضایی زاد، ع.، الیاسپور، س. ۱۳۹۴. نشریه زراعت آفتابگردان. چاپ اول. ۲۹ صفحه.
- سلطانیان، م.، تدین، ع. و فلاح، س. ا. ۱۳۹۴. اثر قارچ میکوریزای آربوسکولار بر برخی صفات رویشی و عملکرد بزرک (*Linum ussitatissimum* L.) تحت تنش کم آبی. مجله به زراعی کشاورزی، ۳ (۱۷): ۶۳۴-۶۲۱.
- سلیمانی، ع. ۱۳۹۶. بررسی برخی شاخص های فیزیولوژیک مؤثر بر رشد ارقام آفتابگردان تحت تاثیر تنش خشکی. مجله تنش های محیطی در علوم زراعی، ۴ (۱۰): ۵۱۹-۵۰۵.
- طباطبایی، س. ع. و شاکری، ا. ۱۳۹۲. مقایسه صفات کمی و کیفی و شاخص های تحمل ارقام آفتابگردان در شرایط تنش خشکی و بدون تنش. مجله دانش زراعت، ۴ (۸): ۲۶-۱۵.
- کریمی کاخکی، م.، سپهری، ع.، ابوطالبیان، م. ع. ۱۳۸۸. اثر کم آبیاری در دوران رشد زایشی بر رشد و عملکرد چهار رقم جدید آفتابگردان. مجله علوم گیاهان زراعی ایران، ۳ (۴۱): ۵۹۹-۶۲۱.

Abdallah, M. M., El-Monem, A. A. Abd., Hassanein, R. A. and El-Bassiouny, H. M. S. 2013. Response of sunflower plant to the application of certain vitamins and arbuscular mycorrhiza under different water regimes. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 7 (2): 915-932.

Carter, M. R. and Gregorich E.G. 2007. Soil Sampling and Methods of Analysis. Boca Raton: CRC Press, <https://doi.org/10.1201/9781420005271>.

Clark, R. B. and Zeto, S. K. 2000. Mineral acquisition by arbuscular mycorrhizal plants. Journal of Plant Nutrition, 23: 876-902.

Dadrasan, M., Chaichi, M. R., Pourbabaee, A. A., Yazdani, D. and Keshavarz-Afshar, R. 2015. Deficit irrigation and Biological fertilizer influence on yield and trigonelline production of Fenugreek. Industrial Crops and Products, 77: 156-162.

Demir, A. O., Goksoy, A. T., Buyukcangaz, H., Turan, Z. M. and Koksall, E. S. 2006. Deficit irrigation of Sunflower (*Helianthus annuus* L.) in a sub-humid climate. Irrigation Science, 24: 729-289.

- FAO. 2002.** Deficit irrigation practices. Water Reports no, 22. Rome.
- Gholamhoseini, M., Ghalavand, A., Dolatabadian, A., Jamshidi, E. and Khodaei-Joghan, A. 2013.** Effects of Arbuscular Mycorrhizal inoculation on growth, yield, nutrient uptake and irrigation water productivity of Sunflowers grown under drought stress. *Agricultural Water Management*, 117: 106-114.
- Giri, B. and Mukerji, K.G. 2004.** Mycorrhizal inoculant alleviates salt stress in *Sesbania aegyptiaca* and *Sesbania grandiflora* under field conditions evidence for reduced sodium and improved magnesium uptake. *Mycorrhiza Journal*, 14: 307-312. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 13: 9-13.
- Merrien, A. 1992.** Some aspects of Sunflower crop physiology. In Proc. 13th Int. Sunflower Conf., Pisa, Italy, 7-11, Sept, 1:481-498.
- Ortasa, I., Sari, N., Akpinara, C. and Yetisir, H. 2011.** Screening Mycorrhiza species for plant growth, P and Zn uptake in pepper seedling grown under greenhouse conditions. *Scientia Horticulture*, 128(2): 92-98.
- Pavithra, D. and Yapa, N. 2018.** Arbuscular Mycorrhizal Fungi inoculation enhances drought stress tolerance of plants. *Groundwater for Sustainable Development*, 7:490-494.
- Soleimanzadeh, H. 2010.** Effect of VA-Mycorrhiza on growth and yield of Sunflower (*Helianthus annuus* L.) at different phosphorus levels. *Journal of Agricultural and Biosystems Engineering*, 4 (11): 820-823.
- Wu, Q.S. and Xia, R. X. 2006.** Arbuscular Mycorrhiza Fungi influence on growth, osmotic adjustment and photosynthesis of citrus under well watered and water stress conditions, *Journal of Plant Physiology*, 4:417-425.