

اثر برهم کنش قارچ ریشه آربوسکولار و علف هرز تاج خروس ریشه قرمز (*Amaranthus retroflexus* L.) بر رشد و عملکرد آفتابگردان در شرایط تنش آبی

میثم کرمی^۱، سید عبدالرضا کاظمینی^{۲*}، مهدی زراعی^۳ و مژگان علی نیا^۴

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۸/۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۲۱)

چکیده

مدیریت عناصر خاک با استفاده از کودهای بیولوژیک از ارکان کشاورزی پایدار محسوب می‌شود. به منظور بررسی اثر برهم کنش قارچ ریشه آربوسکولار و علف هرز تاج خروس ریشه قرمز بر رشد و عملکرد آفتابگردان در شرایط تنش آبی، آزمایشی به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۵ در دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز انجام شد. تیمارها شامل آبیاری در سه سطح به عنوان فاکتور اصلی (۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای) و فاکتورهای فرعی شامل قارچ ریشه در دو سطح (با قارچ و بدون قارچ) و وجین و حضور علف هرز تاج خروس بود. نتایج نشان داد که علف هرز، عملکرد دانه را در شرایط آبیاری نرمال تا ۴۲ درصد کاهش داد و کاربرد قارچ توانست افت عملکرد ایجاد شده را تا ۲۹ درصد جبران کند. حضور علف هرز در شرایط تنش آبی ملایم و شدید به ترتیب باعث کاهش ۳۵ و ۵۲ درصدی عملکرد دانه آفتابگردان شد و کاربرد قارچ ریشه قادر به جبران افت عملکرد دانه تا حدود ۴ و ۵۱ درصد شد. نتایج برهم کنش تنش آبی شدید و حضور علف هرز نشان داد که عملکرد روغن، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت تا ۵۷، ۳۶ و ۲۵ درصد کاهش یافت و کاربرد قارچ ریشه، افت ایجاد شده را به ترتیب تا ۶۳، ۲۵ و ۲۰ درصد جبران کرد. به نظر می‌رسد که کاربرد قارچ ریشه می‌تواند باعث کاهش اثرات سوء تنش آبی و علف هرز و بهبود ویژگی‌های رشد و عملکرد آفتابگردان شود.

واژه‌های کلیدی: ظرفیت مزرعه‌ای، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، عملکرد روغن

۱، ۲ و ۴. به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیار و دانشجوی دکتری، بخش زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

۳. دانشیار، بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

*. مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: akazemeini@shirazu.ac.ir

مقدمه

آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) پنجمین منبع تولید روغن خوراکی است (فائو ۲۰۰۵) که در سطح وسیعی از جهان کشت می‌شود (۱۳). سطح زیر کشت آفتابگردان در جهان بیش از ۲۶ میلیون هکتار و در ایران حدود ۴۱ هزار هکتار است. میانگین عملکرد دانه در جهان و ایران به ترتیب ۱۸۰۶/۷ و ۹۶۹/۳ کیلوگرم در هکتار است (۱۲). تنش آبی از مهم‌ترین تنش‌های غیر زنده است و به‌شرایطی گفته می‌شود که در آن سلول‌ها و بافت‌های گیاهی آب کافی برای انجام فعالیت‌های عادی یا طبیعی ندارند که بسته به فصل و زمان وقوع آن، می‌تواند باعث کاهش شدید محصول شود (۲۲). تنش آبی باعث تجزیه نشاسته و مصرف تدریجی آن می‌شود که این کاهش میزان نشاسته، نتیجه فعالیت آنزیم‌هایی است که قندهای قابل حل در سلول را افزایش داده و باعث کاهش رشد و عملکرد می‌شوند (۲۵). تنش آبی شدید در مراحل گل‌دهی، گرده‌افشانی و دانه‌بندی بیشترین کاهش در عملکرد دانه را موجب می‌شود. محصول دانه آفتابگردان همبستگی زیادی با تعداد گل‌های تلقیح شده طبق داشته و عواملی چون گرمای هوا، کمبود رطوبت نسبی محیط، کاهش رطوبت خاک کمتر از ۶۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای و کمبود بارندگی می‌تواند در افزایش پوکی دانه بسیار مؤثر باشد (۱). تنش آبی با تأثیر منفی بر فتوسنتز جاری و انتقال مجدد مواد فتوسنتزی از بوته‌ها به دانه‌ها منجر به کاهش وزن دانه‌ها و چروکیدگی آنها و در نهایت کاهش عملکرد دانه می‌شود (۳).

یکی از راه‌های افزایش تحمل کم‌آبی و افزایش عملکرد در گیاهان زراعی استفاده از قارچ ریشه است. قارچ ریشه یکی از انواع کودهای بیولوژیک محسوب می‌شود و از مهم‌ترین ریزجانداران موجود در اغلب خاک‌های تخریب نشده است، به‌طوری که در برخی تخمین‌های موجود، ۷۰ درصد از توده زنده جامعه میکروبی خاک‌ها را ریشه این قارچ‌ها تشکیل می‌دهد (۱۹). گزارش شده است که هدایت هیدرولیکی سامانه ریشه‌های گیاهان همزیست با قارچ ریشه، بیشتر از گیاهان

غیرهمزیست است که احتمالاً به دلیل افزایش سطح ریشه و یا طول ریشه است (۴). در گیاهان همزیست با قارچ ریشه هدایت آبی در واحد طول ریشه ۱ تا ۱/۵ برابر افزایش می‌یابد (۳۱). حضور قارچ ریشه، ارتباط آب با گیاه میزبان را توسط افزایش هدایت هیدرولیکی خاک، کاهش نسبت تعرق و مقاومت روزنه‌ها به‌وسیله تغییر در تعادل هورمون‌های گیاهی بهبود می‌بخشد که نتیجه آن بهبود تغذیه فسفر گیاهان همزیست با قارچ ریشه در شرایط تنش آبی است (۴). کاهش رشد گیاه در شرایط تنش آبی در گیاهان همزیست با قارچ ریشه کمتر از غیر همزیست است، آثار مثبت قارچ ریشه در زمان تنش آبی بر رشد گیاه در ارتباط با بهبود جذب فسفر است، زیرا فسفر قابل دسترس در خاک خشک کاهش می‌یابد (۴). توانایی رقابتی گیاه زراعی در برابر علف‌های هرز نیز یکی از تکنیک‌های مؤثر در مدیریت علف‌های هرز است. گونه‌ای که قادر به حفظ کارایی و حداکثر مقدار فتوسنتز در دامنه وسیعی از شرایط مناسب و شرایط تنش‌زا باشد، بالقوه رقابت‌کننده‌ای برتر در زمان بروز تنش (زنده و غیر زنده) است (۱۸). بنابراین با توجه به نقش مهم قارچ ریشه آربوسکولار ضمن تأثیر بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی به‌ویژه در شرایط تنش آبی، به‌نظر می‌رسد می‌تواند به‌عنوان یک راهکار اکولوژیکی در کاهش رقابت با علف‌های هرز، مؤثر باشد. این پژوهش با هدف بررسی اثر قارچ ریشه بر رشد و عملکرد آفتابگردان و کاهش اثرات سوء علف هرز تاج‌خروس در تنش آبی انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر برهم‌کنش قارچ ریشه آربوسکولار و علف هرز تاج‌خروس ریشه قرمز بر رشد و عملکرد آفتابگردان در شرایط تنش آبی، آزمایشی به‌صورت اسپلیت-فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل آبیاری در سه سطح به‌عنوان فاکتور اصلی (۱۰۰) (آبیاری نرمال)، ۸۰ و ۶۰ درصد ظرفیت

جدول ۱. نتایج برخی ویژگی‌های آزمون خاک محل اجرای آزمایش

بافت خاک	EC	pH	سیلت رس	شن	نیترژن کل	فسفر	پتاسیم
	(dS/m)		(درصد)	(درصد)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
رسی شنی	۰/۵۷	۷/۱	۴۰	۳۹	۲۱	۰/۰۵	۱۸/۲
							۵۰۱

مزرعه‌ای) و فاکتورهای فرعی شامل قارچ ریشه در دو سطح (تلقیح با قارچ و بدون قارچ) و وجین و عدم وجین علف‌هرز تاج‌خروس بود. قبل از کاشت، نمونه‌برداری از خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر انجام شد و برخی از مهم‌ترین ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک اندازه‌گیری شدند (جدول ۱).

عملیات آماده‌سازی بستر بذر شامل شخم، دو دیسک عمود بر هم، تسطیح و ایجاد ردیف‌های کاشت به طول چهار متر بود. بذر آفتابگردان (رقم هایسان) با فاصله ۱۵ سانتی‌متر از یکدیگر روی پشته‌ها به فاصله ۷۵ سانتی‌متر کشت شد. برای تلقیح قارچ ریشه مقدار پنج گرم از مایه تلقیح قارچ ریزوفوگوس اینترادیسز شامل اسپور (۱۰ اسپور در هر گرم بستر)، هیف و قطعات کلونیزه‌شده (۸۵ درصد) و کلونیزه‌نشده ریشه‌ای به‌ازای هر بذر در عمق پنج سانتی‌متری از خاک پشته مزرعه قرار داده و با خاک زیر مخلوط شد. در تیمارهای شاهد از بستر بدون قارچ استفاده شد. برای اعمال تنش آبی در طول فصل رشد، قبل از هر آبیاری از عمق صفر تا ۶۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری انجام گرفت و میزان رطوبت وزنی محاسبه شد. عمق خالص آب آبیاری بر اساس معادله زیر تعیین شد:

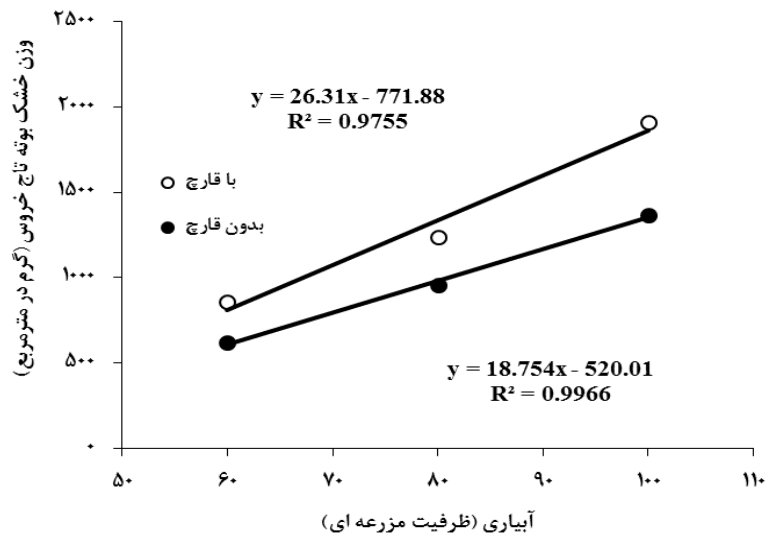
$$d_n = \frac{(\theta_{FC} - (\theta_m \times \rho_b)) \times R_d}{100} \quad (1)$$

θ_{FC} حجم آب خاک در ظرفیت زراعی، ρ_b متوسط وزن مخصوص خاک در عمق توسعه ریشه (R_d)، θ_m درصد رطوبت وزنی خاک. به‌منظور بررسی اثر علف‌هرز بر رشد و عملکرد آفتابگردان در این آزمایش از آلودگی طبیعی مزرعه استفاده شد. بیش از ۹۹ درصد کرت‌های آلوده به علف‌هرز تاج‌خروس با تراکم یکسان بود و فلور غالب مزرعه را تشکیل داد. کنترل علف‌هرز برای سایر علف‌هرزها و همچنین در کرت‌های بدون علف‌هرز به‌صورت وجین

دستی در تمام طول فصل رشد صورت گرفت. نمونه‌برداری برای اندازه‌گیری پارامترهای مربوط به علف‌هرز تاج‌خروس در پایان فصل رشد آفتابگردان و با پرتاب تصادفی چهار کوادرات ۰/۲۵ مترمربعی (۰/۵ در ۰/۵ متر) در هر کرت انجام شد. برای اندازه‌گیری صفات آفتابگردان در پایان فصل رشد و در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی گیاه، از مساحت یک مترمربع از وسط هر کرت و با رعایت حاشیه نمونه‌برداری انجام شد و صفات ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ با اندازه‌گیری سطح برگ با استفاده از دستگاه Leaf Area Meter مدل Delta-T Device، وزن خشک آفتابگردان (نمونه‌ها در آون و در دمای ثابت ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت تا رسیدن به وزن ثابت قرار داده شدند)، وزن هزار دانه، تعداد دانه‌ها در مترمربع، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، درصد و عملکرد روغن و در نهایت شاخص برداشت معادله (۲) تعیین و محاسبه شد.

$$HI = \frac{GY}{BY} \times 100 \quad (2)$$

در این رابطه HI شاخص برداشت، GY عملکرد دانه و BY عملکرد بیولوژیک است. درصد روغن دانه نیز با روش مزومو و همکاران (۱۸) با دستگاه سوکسله اندازه‌گیری و تعیین شد. برای اندازه‌گیری درصد کلونیزاسیون، از ریشه‌های گیاه (آفتابگردان و تاج‌خروس) به اندازه تقریبی یک گرم نمونه‌برداری و رنگ‌آمیزی به روش فیلیپس و هایمن (۲۳) انجام شد و با روش تقاطع خطوط شبکه (۸)، درصد کلونیزاسیون ریشه محاسبه شد. داده‌ها توسط نرم‌افزار آماری SAS 9.3 تجزیه و تحلیل و مقایسه میانگین‌ها نیز به روش حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد و رسم نمودارها با استفاده از برنامه Excel انجام شد.



شکل ۱. رابطه وزن خشک تاج خروس و تنش آبی

آفتابگردان (به جزء درصد روغن) در سطح پنج درصد معنی دار بود (جدول ۲). شاخص سطح برگ آفتابگردان تحت تأثیر قارچ ریشه همواره از مقادیر بیشتری در مقایسه با شرایط بدون قارچ برخوردار بود. در سطوح تنش آبی ملایم و نرمال در شرایط حضور علف هرز، کاربرد قارچ به طور معنی داری شاخص سطح برگ را افزایش داد لیکن در تنش شدید (۶۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای) تفاوت معنی داری مشاهده نشد و کاربرد قارچ ریشه نتوانست اثر سوء حضور علف هرز را کاهش دهد، به عبارت دیگر به نظر می‌رسد اثر کاربرد قارچ بر بهبود شاخص سطح برگ در شرایط وجود همزمان هر دو تنش زنده و غیر زنده (علف هرز و تنش شدید آبی) بسیار کمتر از شرایطی است که تنها یکی از عوامل تنش‌زا باشد. کمترین شاخص سطح برگ آفتابگردان (۴/۴۶) در برهم‌کنش سطح تنش آبی ۶۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای و حضور تاج‌خروس و بدون کاربرد قارچ ریشه مشاهده شد که نسبت به کاربرد قارچ در همین شرایط تفاوت معنی داری نداشت و بیشترین آن (۵/۵۴) در برهم‌کنش آبیاری نرمال، بدون علف هرز و با قارچ به دست آمد که با وضعیت بدون کاربرد قارچ تفاوت معنی دار نشان نداد (جدول ۳). به عبارت دیگر نقش مثبت کاربرد قارچ ریشه در شرایط آبیاری نرمال زمانی که علف هرز حضور داشته باشد از اهمیت

نتایج و بحث

وزن خشک علف هرز در طول فصل رشد آفتابگردان به طور معنی داری تحت تأثیر آبیاری و قارچ ریشه و برهم‌کنش آنها قرار گرفت. اعمال تنش آب منجر به کاهش وزن خشک علف هرز در هر دو شرایط تلقیح میکوریزایی و بدون تلقیح شد و همواره در طول فصل رشد آفتابگردان بیشترین وزن خشک علف هرز در تمام سطوح تنش آبی در آلودگی با قارچ ریشه به دست آمد. افزایش وزن خشک علف هرز تاج‌خروس با بهبود دسترسی به آب در شرایط حضور قارچ ریشه به مراتب بیشتر از بدون قارچ بود که میزان این افزایش به ازای افزایش هر واحد ظرفیت رطوبتی خاک برابر ۲۶/۳۱ واحد وزن خشک بوته است (شکل ۱). به طور کلی، تنش خشکی و دسترسی کمتر علف هرز به آب منجر به کاهش رشد رویشی و اُفت ظرفیت فتوسنتزی گیاه در نتیجه کاهش سطح برگ و دریافت کمتر تشعشعات خورشیدی است (۱۴). لیکن، همزیستی قارچ ریشه با گیاه شرایط را در جهت بهبود رشد رویشی و افزایش وزن خشک می‌تواند به دلیل جذب بیشتر آب و عناصر غذایی به ویژه فسفر فراهم می‌کند (۱۱).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهم‌کنش قارچ ریشه، علف هرز و تنش آبی بر تمام شاخص‌های مورد بررسی

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس اثر قارچ ریشه، علف هرز و تنش آبی بر شاخص های مورد بررسی آفتابگردان

شاخص برداشت	عملکرد روغن	عملکرد بیولوژیک	درصد روغن	عملکرد دانه	تعداد دانه در مترمربع	وزن هزار دانه	قطر طبق	ارتفاع بوته	شاخص سطح برگ	درجه آزادی	منبع تغییرات
۴/۱۳	۶۴۲۹/۰۱	۳۷۳۸۲/۴۰	۱/۹۷ ^{ns}	۷۳۹۳۶/۴۲	۴۵۴۶۱/۳۳	۱۲/۳۸	۲/۴۸	۳۳/۸۶	۰/۰۴۵۶۷	۲	بلوک
۸۲/۶۳*	۳۳۷۰۶۱۲/۶۲**	۵۵۲۹۵۱۷۴/۴۰**	۵۹۹/۴۶**	۸۴۸۵۹۵۲/۲۴**	۹۹۱۷۸۷۶/۰۰**	۴۹۷/۷۹*	۱۱/۸۵۵*	۷۹۵/۸۶**	۰/۶۰۰۰۶۷**	۲	آبیاری (A)
۴/۶۳ ^{ns}	۲۱۵۶۵/۹۳ ^{ns}	۲۷۶۳۳۷۶/۴۰ ^{ns}	۰/۰۳ ^{ns}	۱۱۲۴۶۸/۲۳ ^{ns}	۲۰۲۰۶۹/۳۳ ^{ns}	۲۴/۴۹ ^{ns}	۱/۷۴ ^{ns}	۲۶/۶۹ ^{ns}	۰/۰۸۶۷۶ ^{ns}	۴	خطا اول (a)
۹۷/۶۸**	۴۳۸۷۰۶۱۹**	۲۱۴۱۲۸۱۳۳/۲۰**	۱۶/۹۷ ^{ns}	۲۶۷۰۷۸۵۴/۶۶**	۲۹۷۵۳۳۸۸/۴۴**	۱۲۰۳۷/۴**	۴۲/۹۰**	۱۶۰۰/۰۱**	۲/۵۳۲۳۶**	۱	علف هرز (B)
۵۵/۵۰**	۵۹۱۸۲۴/۳۷**	۱۵۵۸۱۶۹۱/۹۰*	۵/۰۱ ^{ns}	۳۶۸۲۸۸۷/۴۹**	۴۲۱۰۷۰۴/۰۰*	۱۱۴/۷۳*	۳۹/۹۰**	۳۶۱/۱۲**	۰/۵۱۱۶۱*	۱	قارچ ریشه (C)
۲۰/۲۶*	۱۳۳۷۷۹/۹۱*	۳۳۸۹۳۹۸/۸۰ ^{ns}	۰/۰۳ ^{ns}	۲۸۷۶۰۴۳۰ ^{ns}	۷۱۲۷/۱۱ ^{ns}	۱۷/۸۰ ^{ns}	۳/۵۰*	۹۴/۷۵*	۰/۱۰۹۶۲*	۲	A*B
۰/۸۸ ^{ns}	۱۱۶۶۲/۵ ^{ns}	۵۱۴۷۹۸/۵۰ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۱۳۶۵۶/۵۰ ^{ns}	۳۶۴۸۶۹/۳۳ ^{ns}	۱۱/۸۷ ^{ns}	۳/۸۹*	۶۶/۰۸*	۰/۰۱۵۴۴ ^{ns}	۲	A*C
۸/۷۰*	۱۴۸۸۴۷/۳۵*	۲۱۱۶۸۷۲۲/۱۰*	۲۶/۸۳*	۱۵۴۷۰۲۵/۷۹*	۲۴۹۶۴۰/۰۰*	۳/۱۹ ^{ns}	۱/۶۴ ^{ns}	۵۳/۷۸*	۰/۰۰۶۱۶ ^{ns}	۱	B*C
۷/۰۷*	۹۰۷۰۹/۲۲*	۷۶۹۵۷۸/۷۰*	۰/۰۲ ^{ns}	۶۲۴۲۷۶/۲۶*	۵۵۷۹۶۸/۰۰*	۱۱۴/۵۷*	۴/۴۲*	۷۷/۱۹*	۰/۰۹۳۱۴*	۲	A*B*C
۱/۸۰	۱۹۴۷۶/۲	۱۷۶۰۱۵۵/۰۰	۵/۳۳	۱۰۷۶۸۷/۶۵	۱۹۸۸۱۱/۲۶	۱۹/۴۴	۰/۹۴	۱۳/۰۱	۰/۰۲۹۷۸	۱۸	خطا باقی مانده (b)
۴/۸۷	۱۰۸۵	۱۱/۲۳	۶/۱۰	۹/۸۸	۸/۴۳	۷/۲۱	۹/۴۲	۹/۹۱	۱۳/۴۳	(/)	ضریب تغییرات

ns: غیر معنی دار، * و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر برهم کنش قارچ ریشه، علف هرز و تنش آبی بر شاخص های مورد بررسی آفتابگردان

شاخص برداشت	شاخص	عملکرد روزن	عملکرد دانه	عمکرد دانه در مترمربع	تعداد دانه	وزن هزار دانه (گرم)	قطر طبق (سانتی متر)	ارتفاع بوته (سانتی متر)	شاخص سطح برگ	تیمارها	آیاری (ظرفیت مرزعه)
۲۷/۱۲ ^c	۱۲۲۴۸/۰ ^d	۱۰۲۴۱/۰ ^d	۳۳۲۱/۰ ^{cd}	۵۱۸۱۷/۰ ^b	۶۰/۰ ^{abc}	۲۰/۰ ^{acdf}	۱۹۰/۳ ^c	۱۹۰/۳ ^c	۵/۲۴ ^{bc}	با قارچ	بدون علف
۲۶/۶۸ ^c	۱۰۶۷۳/۰ ^{def}	۹۲۲/۰ ^d	۲۸۴۸۲/۰ ^{def}	۲۷۴۹۳/۰ ^{cd}	۵۷/۳۴ ^{bc}	۱۸/۵۳ ^{gh}	۱۷۸/۳ ^{ef}	۱۷۸/۳ ^{ef}	۴/۸۷ ^d	با قارچ	هرز
۲۴/۰۱ ^e	۸۵۲۱/۰ ^{efg}	۶۵۰/۰ ^e	۲۰۴۶/۰ ^g	۳۸۴۸/۰ ^e	۵۳/۳۷ ^e	۱۸/۱۶ ^{gh}	۱۷۷/۳ ^{ef}	۱۷۷/۳ ^{ef}	۴/۴۸ ^e	با قارچ	با علف هرز
۱۹/۹۳ ^f	۶۸۱۲/۰ ^g	۳۹۸/۰ ^f	۱۳۵۷/۰ ^h	۳۰۱۷/۰ ^f	۴۴/۱۷ ^d	۱۷/۴۳ ^h	۱۷۶/۳ ^f	۱۷۶/۳ ^f	۴/۴۶ ^e	بدون قارچ	با علف هرز
۳۲/۴۸ ^a	۱۵۹۷۱/۰ ^b	۱۹۲۴/۰ ^b	۵۱۸۸۸/۰ ^a	۷۱۶۲۸/۰ ^a	۷۲/۶۶ ^a	۲۳/۵۰ ^{bcd}	۲۰۱/۶ ^b	۲۰۱/۶ ^b	۵/۳۸ ^{ab}	با قارچ	بدون علف
۲۹/۷۰ ^{ab}	۱۲۹۸۵/۰ ^{cd}	۱۶۴۷/۰ ^c	۳۸۵۷/۰ ^{bc}	۵۳۰۶۷/۰ ^{bc}	۷۲/۴۱ ^a	۲۳/۱۰ ^{cd}	۱۹۴/۶ ^c	۱۹۴/۶ ^c	۵/۳۱ ^{ab}	بدون قارچ	هرز
۲۶/۹۱ ^c	۹۵۹۵/۰ ^f	۹۶۶/۰ ^d	۲۵۸۲/۰ ^{efg}	۴۴۵۲/۰ ^{de}	۶۰/۰ ^{abc}	۲۱/۰ ^{de}	۱۹۳/۰ ^c	۱۹۳/۰ ^c	۵/۱۹ ^{bc}	با قارچ	با علف هرز
۲۶/۱۲ ^c	۹۵۲۱/۰ ^f	۸۷۰/۰ ^{de}	۲۴۸۷/۰ ^{efg}	۴۳۰۱۳/۰ ^{de}	۵۶/۲۹ ^{bc}	۱۹/۸۰ ^{efg}	۱۷۹/۳ ^{ef}	۱۷۹/۳ ^{ef}	۴/۸۷ ^d	بدون قارچ	با علف هرز
۲۹/۸۱ ^{ab}	۱۸۱۹۴/۰ ^a	۲۵۲۶/۰ ^a	۵۶۱۳/۰ ^a	۷۲۲۴/۰ ^a	۷۵/۴۹ ^a	۲۸/۵۳ ^a	۲۰۹/۰ ^a	۲۰۹/۰ ^a	۵/۵۴ ^a	با قارچ	بدون علف
۲۸/۷۳ ^b	۱۴۸۰۷/۰ ^{bc}	۱۹۷۰/۰ ^b	۴۲۵۵/۰ ^b	۶۷۱۷/۰ ^a	۶۳/۶۳ ^b	۲۴/۹ ^{bc}	۲۰۱/۶ ^b	۲۰۱/۶ ^b	۵/۳۵ ^{ab}	بدون قارچ	هرز
۲۶/۵۳ ^c	۱۲۰۲۶/۰ ^{de}	۱۴۱۸/۰ ^c	۳۱۹۱/۰ ^d	۵۳۷۶/۰ ^{bc}	۵۹/۳۸ ^{bc}	۲۴/۶۰ ^{bc}	۱۸۸/۳ ^{cd}	۱۸۸/۳ ^{cd}	۴/۹۸ ^{cd}	با قارچ	با علف هرز
۲۵/۴۳ ^d	۹۷۳۸/۰ ^{ef}	۱۳۸۲/۰ ^c	۲۴۷۶/۰ ^{efg}	۴۲۰۴/۰ ^{de}	۵۸/۹۱ ^{bc}	۲۲/۱۳ ^{de}	۱۸۳/۳ ^{de}	۱۸۳/۳ ^{de}	۴/۵۳ ^c	بدون قارچ	با علف هرز

در هر ستون میانگین های با حروف مشابه تفاوت معنی داری با یکدیگر ندارند (پنج درصد LSD).

نشان‌دهنده نقش مثبت قارچ در برطرف کردن اثر تنش آبی بر کاهش ارتفاع بوته است. به نظر می‌رسد کاهش دسترسی گیاه زراعی آفتابگردان به آب منجر به توسعه کمتر سطح برگ گیاه شده است که این امر منجر به کاهش میزان وستز و اختصاص کمتر مواد پرورده به رشد اندام‌های رویشی گیاه و کاهش ارتفاع بوته می‌شود (۱۵). نقش قارچ در برطرف کردن اثر سوء علف‌های هرز، در سطوح مختلف تنش آبی متفاوت بوده است و به‌طور کلی تنها در تنش ملایم ارتفاع بوته را به‌طور معنی‌داری افزایش داد لکن در تنش شدید و آبیاری نرمال تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳).

کمترین قطر طبق آفتابگردان (۱۷/۴۳ سانتی‌متر) در تنش آبی ۶۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای با حضور علف هرز تاج‌خروس و بدون کاربرد قارچ ریشه مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با وضعیت آلودگی با قارچ نشان نداد لکن در همین سطح تنش آبی با کاربرد قارچ در وضعیت بدون علف هرز قطر طبق تا (۲۰/۹۳) در مقابل (۱۸/۵۳) ۱۳ درصد به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. به‌عبارت دیگر در تنش شدید رطوبتی اثر سوء علف هرز با کاربرد قارچ مرتفع نمی‌شود. در آبیاری نرمال و بدون قارچ، حضور علف هرز تاج‌خروس منجر به کاهش ۱۱/۲ درصدی قطر طبق در مقایسه با وجین علف هرز (۲۲/۱۳) در مقابل (۲۴/۹۳ سانتی‌متر) شد. به‌طور کلی با کاهش شدت تنش تا ۸۰ درصد و حتی آبیاری نرمال با کاربرد قارچ حتی در شرایط حضور علف هرز، قطر طبق به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و این حاکی از آن است که کاربرد قارچ در تنش‌های ملایم به‌صورت توأمان قادر به کاهش رقابت علف هرز بوده است (جدول ۳). به نظر می‌رسد تنش آبی در مراحل متفاوت رشد گیاه آفتابگردان باعث کاهش فتوسنتز برگ‌ها و در نتیجه کاهش شاخص سطح برگ و انتقال سریع مواد پرورده و عناصر معدنی قابل انتقال شده است و در نهایت باعث کاهش قطر طبق گیاه زراعی و تسریع مراحل رسیدگی گیاه می‌شود (۷). از سوی دیگر، در شرایط حضور علف هرز و افزایش رقابت با گیاه زراعی و تخلیه سریع‌تر عناصر غذایی خاک، بوته‌های آفتابگردان با تنش روبه‌رو شده و این امر منجر به کاهش فتوسنتز گیاه و کاهش قطر

خاصی برخوردار است و در شرایط تنش آبی شدید در شرایط بدون علف هرز تفاوت معنی‌داری ایجاد می‌کند (جدول ۳). در شرایط آبیاری نرمال و بدون قارچ، حضور علف هرز تاج‌خروس منجر به کاهش ۱۵/۳ درصدی شاخص سطح برگ در مقایسه با بدون علف هرز (۴/۵۳) در مقابل (۵/۳۵) شد. به نظر می‌رسد در شرایط تنش آبی و دسترسی کمتر گیاه زراعی به آب شاخص سطح برگ گیاه کاهش می‌یابد که این امر منجر به کاهش جذب نور می‌شود. کاهش جذب نور مؤثر در فتوسنتز منجر به تولید کمتر مواد پرورده در گیاه و کاهش زیست‌توده گیاه می‌شود. این امر در نهایت باعث کاهش رشد رویشی و سطح برگ گیاه زراعی می‌شود (۲۷). همچنین، افزایش رقابت بین گونه‌ای بر سر منابع غذایی و کاهش میزان نور رسیده به درون کانوپی در شرایط حضور علف هرز منجر به کاهش رشد رویشی و به‌ویژه سطح برگ گیاه می‌شود (۲۶). وجود قارچ‌ها به‌میزان قابل توجهی رشد و جذب عناصر غذایی را افزایش می‌دهند. اسماعیل‌پور و همکاران (۱۰) گزارش کردند که در شرایط تنش آبی کاربرد قارچ ریشه در مقایسه با بدون قارچ منجر به افزایش ارتفاع ساقه، طول ریشه، مساحت سطح برگ و وزن خشک برگ گیاه مرزه (*Satureja hortensis* L.) شد.

بررسی تأثیر همزمان هر سه عامل تنش آبی، علف هرز و قارچ نشان داد که همواره در طول فصل رشد بیشترین ارتفاع بوته (۲۰۹ سانتی‌متر) آفتابگردان در برهم‌کنش آبیاری نرمال (۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای) و کاربرد قارچ ریشه در شرایط بدون علف هرز به‌دست آمد. کمترین ارتفاع آفتابگردان (۱۷۴/۳۳ سانتی‌متر) در برهم‌کنش تنش آبی ۶۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای، با حضور علف هرز تاج‌خروس و بدون کاربرد قارچ ریشه به‌دست آمد که نسبت به کاربرد قارچ در همین سطح تنش آبی و در شرایط بدون علف هرز تاج‌خروس (۱۷۴/۳۳) در مقابل (۱۹۰/۳۳) به‌طور معنی‌داری و به‌میزان ۸/۴ درصد کاهش نشان داد (جدول ۳). به‌طور کلی کاربرد قارچ در هر شرایطی باعث بهبود ارتفاع بوته آفتابگردان شده است و نبود تفاوت معنی‌دار در تیمار برهم‌کنش تنش شدید آبی و بدون علف هرز با تیمار تنش ملایم و آبیاری نرمال حتی در شرایط با علف هرز

دانه‌ها شود (۱۷) لکن کلونیزاسیون قارچ ریشه آفتابگردان می‌تواند تا حدودی اثر تنش رطوبتی را کاهش داده و با جذب بیشتر آب و مواد غذایی و کاهش رقابت علف‌های هرز با تأثیر بر سرعت فتوسنتز و تولید و اختصاص مواد پرورده به دانه‌ها را افزایش داده و وزن هزار دانه را افزایش دهد.

بیشترین تعداد دانه در مترمربع (۷۴۲۴ عدد) در برهم‌کنش آبیاری نرمال (۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای)، با قارچ و بدون حضور علف هرز به دست آمد که نسبت به حضور علف هرز تاج‌خروس ۳۸/۰۹ درصد افزایش نشان داد (جدول ۳). کمترین میزان تعداد دانه در مترمربع نیز (۳۰۷۷) در تنش آبی ۶۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای، با علف هرز و بدون کاربرد قارچ ریشه مشاهده شد که نسبت به کاربرد قارچ در همین سطح آبیاری و حضور علف هرز تاج‌خروس (۳۰۷۷ در مقابل ۳۸۳۴) حدود ۱۹/۷۴ درصد کاهش داشت (جدول ۳). در هر سطحی از تنش آبی در شرایط بدون علف هرز، کاربرد قارچ به طور معنی‌داری تعداد دانه در مترمربع را افزایش داده است. به عبارت دیگر هر چند با افزایش شدت تنش آبی، تعداد دانه در مترمربع کاهش یافت لکن کاربرد قارچ توانست اثر سوء تنش را برطرف کند و نبود تفاوت معنی‌دار بین برهم‌کنش سطح تنش آبی ۸۰ درصد و بدون قارچ با سطح ۶۰ درصد و کاربرد قارچ در شرایط بدون علف هرز نیز تأیید این موضوع است. پژوهش‌ها نشان داده است که تنش آبی رشد دانه‌های گرده و رشد لوله گرده در خامه و بافت تخمدان و تخمک را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد و تعداد دانه‌های پوک را افزایش می‌دهد (۲۹). از سوی دیگر، افزایش رقابت بین گونه‌ای میان علف هرز و آفتابگردان منجر به کاهش دسترسی گیاه زراعی به عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن خاک شده و این امر منجر به کاهش تعداد دانه‌های بارور در طبق گیاه زراعی می‌شود (۶).

به‌طور کلی بیشترین عملکرد دانه آفتابگردان (۵۶۱۳/۸ کیلوگرم در هکتار) در شرایط آبیاری نرمال و در برهم‌کنش شرایط بدون علف هرز و کاربرد قارچ به دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تنش آبی ملایم نشان نداد (جدول ۳). کاربرد قارچ

طبق آفتابگردان می‌شود (۲۰). علاوه بر این، همزیستی قارچ ریشه با گیاه زراعی آفتابگردان منجر به کاهش اثرات نامطلوب تنش آبی و بهبود جذب عناصر غذایی شده است که این امر منجر به افزایش ظرفیت فتوسنتزی و انتقال مواد پرورده بیشتر در جهت رشد زایشی و توسعه قطر طبق آفتابگردان می‌شود (۳۰).

بیشترین وزن هزار دانه آفتابگردان (۷۵/۴۹ گرم) در برهم‌کنش بدون علف هرز و کاربرد قارچ ریشه و آبیاری نرمال به دست آمد که نسبت به شرایط مشابه در تنش آبی ملایم (۸۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای)، تفاوت معنی‌داری نشان نداد و کمترین وزن هزار دانه آفتابگردان (۴۴/۱۷ گرم) در برهم‌کنش تیمار حضور علف هرز تاج‌خروس و بدون کاربرد قارچ ریشه در تنش شدید آبی (۶۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای) به دست آمد (جدول ۳). علف‌های هرز سبب کاهش وزن هزار دانه آفتابگردان شد و ضریب همبستگی منفی و معنی‌دار (** $r = -0.79$) نیز تأییدکننده این موضوع است لکن کاربرد قارچ به‌ویژه در شرایط تنش شدید آبی توانست با کاهش تأثیر اثر سوء علف‌های هرز، به طور معنی‌داری وزن هزار دانه را به میزان ۲۰/۸ درصد (۵۳/۳۷ در مقابل ۴۴/۱۷ گرم) افزایش دهد و در سایر سطوح تنش آبی افزایش معنی‌دار نبود (جدول ۳). در شرایط بدون کاربرد قارچ، رقابت علف‌های هرز در شرایط تنش آبی شدید توانست وزن هزار دانه را به میزان ۲۳ درصد (۴۴/۱۷ در مقابل ۵۷/۳۴ گرم) به طور معنی‌داری کاهش دهد ولی با همزیستی قارچ کاهش معنی‌داری در وزن هزاردانه در مقایسه با شرایط بدون علف هرز مشاهده نشد و این بیانگر نقش تأثیرگذار قارچ در شرایط تنش آبی شدید است درحالی که با کاهش شدت تنش آبی نفش میکوریزا در برطرف اثر سوء علف‌های هرز کمتر شد. به‌طور کلی هر چند تنش رطوبتی می‌تواند به دلیل محدودیت‌های بیوشیمیایی ناشی از کمبود آب از قبیل کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی به‌ویژه کلروفیل‌ها و کاهش جذب نور مؤثر در فتوسنتز به‌واسطه کاهش سطح برگ در نهایت منجر به کاهش تولید مواد پرورده و در نتیجه اختصاص کمتر مواد پرورده به مقصدهای زایشی گیاه از جمله

جدول ۴. ضرایب همبستگی بین شاخص‌های مورد بررسی آفتابگردان با وزن خشک علف هرز

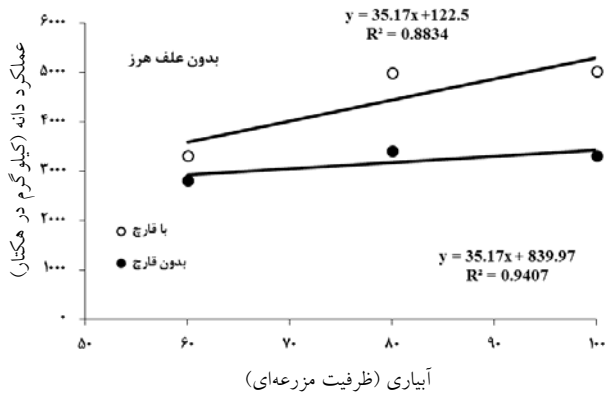
وزن هزار دانه	عملکرد دانه	عملکرد روغن	عملکرد بیولوژیک	شاخص برداشت	درصد همزیستی قارچ با آفتابگردان	وزن خشک علف هرز
وزن هزار دانه	۱					
عملکرد دانه	۰/۸۷**					
عملکرد روغن	۰/۸۱**	۱				
عملکرد بیولوژیک	۰/۸۳**	۰/۹۶**	۱			
شاخص برداشت	۰/۷۱**	۰/۷۳**	۰/۷۲**	۱		
درصد همزیستی قارچ با آفتابگردان	۰/۶۶**	۰/۷۲**	۰/۵۹*	۰/۷۱**	۱	
وزن خشک علف هرز	-۰/۷۹**	-۰/۷۱**	-۰/۵۵*	-۰/۶۵**	-۰/۶۵**	۱

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

و آبیاری نرمال توانست افت عملکرد ایجادشده را تا ۵۱ درصد (۲۰۴۶/۶ در مقابل ۱۳۵۷/۸ کیلوگرم در هکتار) و ۲۸/۸ درصد (۳۱۹۱/۲ در مقابل ۲۴۷۶/۶۷ کیلوگرم در هکتار) بهبود ببخشد (جدول ۳). میزان افزایش عملکرد دانه در شرایط بدون علف هرز به‌ازای افزایش هر واحد ظرفیت رطوبتی خاک برابر ۴۶/۲۴ واحد عملکرد دانه بود در حالی که در شرایط با علف هرز میزان این افزایش برابر ۲۸/۲۹ واحد عملکرد دانه بود (شکل ۲). همچنین در شرایط بدون علف هرز میزان افزایش عملکرد دانه آفتابگردان، با کاربرد قارچ ریشه به‌ازای افزایش هر واحد ظرفیت رطوبتی خاک برابر ۵۷/۳۱ واحد عملکرد دانه (شکل ۳) و در شرایط با علف هرز میزان افزایش عملکرد دانه با کاربرد قارچ به‌ازای افزایش هر واحد ظرفیت رطوبتی خاک برابر ۲۸/۶۱ واحد عملکرد دانه بود (شکل ۴). وجود قارچ ریشه به‌میزان قابل توجهی رشد و جذب عناصر غذایی در گیاه را افزایش می‌دهد. علاوه بر این، همزیستی قارچ ریشه به موفقیت استقرار گیاه و بقای آن کمک می‌کند و غلظت آب و تنظیم اسمزی در تنش خشکی را افزایش می‌دهد (۱۶). عملکرد دانه از همبستگی بالایی با وزن هزار دانه ($r = 0.87^{**}$) و عملکرد بیولوژیک (۰/۹۶) در سطح یک درصد برخوردار بود (جدول ۴).

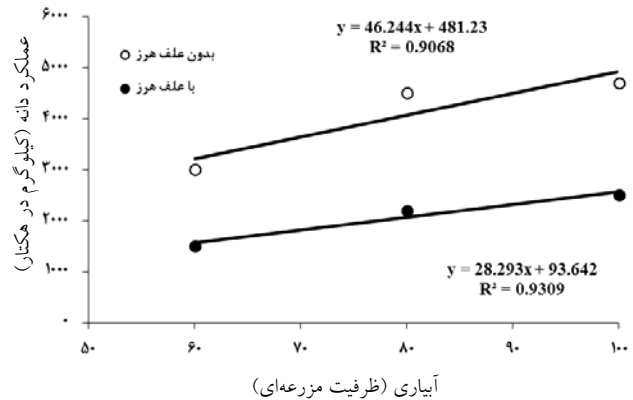
نتایج نشان داد حضور علف هرز منجر به تشدید اثر منفی تنش کم‌آبی بر عملکرد روغن شد. بیشترین عملکرد روغن

در سطوح تنش آبی ۶۰، ۸۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای و آبیاری نرمال در شرایط بدون علف هرز در مقایسه با عدم کاربرد قارچ عملکرد دانه را به‌ترتیب میزان ۱۷، ۳۴/۵ و ۳۲ درصد به‌طور معنی‌داری افزایش داد (جدول ۳). مرحله زایشی گیاه حساسیت خاصی نسبت به تنش آبی دارد و کاهش دسترسی گیاه زراعی به آب منجر به کاهش ظرفیت فتوسنتزی گیاه و تغییرات بیوشیمیایی در گیاه شده که این عوامل شرایط را برای انتقال کمتر مواد پرورده در گیاه به سمت مقصدهای زایشی (دانه‌ها) مساعد کرده است و این امر منجر به کاهش شکل‌گیری و فرایند پر شدن دانه‌ها می‌شود (۹). رقابت علف هرز و آفتابگردان بر سر منابع غذایی و کاهش میزان نور رسیده به درون کانوپی در این شرایط با تأثیر بر کاهش رشد زایشی می‌تواند عامل مهمی در کاهش عملکرد دانه آفتابگردان باشد که با نتایج رتا و همکاران (۲۶) مطابقت دارد و ضرایب همبستگی عملکرد دانه با وزن خشک علف هرز تاج‌خروس ($r = -0.71^{**}$) که نشان‌دهنده یک ارتباط منفی و معنی‌دار است این موضوع را تأیید می‌کند (جدول ۴) ولی افت عملکرد حاصل شده در شرایط عدم حضور قارچ در تمام سطوح تنش آبی نسبت به آلودگی با قارچ بیشتر بود به‌صورتی که در آبیاری نرمال این کاهش تا ۴۲ درصد و در تنش شدید آبی تا ۵۲ درصد بود. لکن با همزیستی قارچ این کاهش برطرف شد به‌صورتی که به‌ترتیب در شرایط تنش شدید رطوبتی

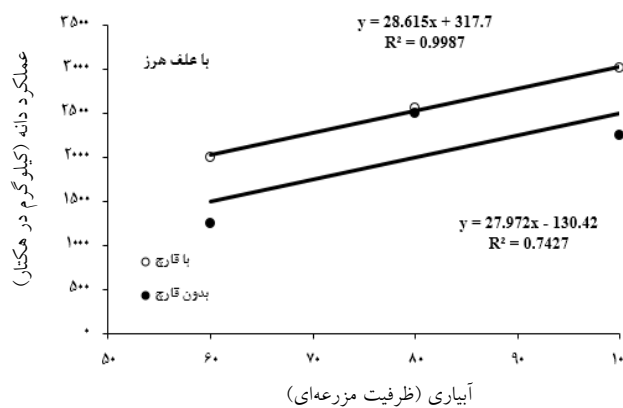


شکل ۳. رابطه عملکرد دانه آفتابگردان و تنش آبی در شرایط بدون

علف هرز



شکل ۲. رابطه عملکرد دانه آفتابگردان و تنش آبی



شکل ۴. رابطه عملکرد دانه آفتابگردان و تنش آبی در شرایط با علف هرز

و مصرف شدن آن در جهت بقا گیاه است. رابطه همبستگی منفی و معنی‌دار عملکرد روغن و وزن خشک علف هرز ($r = -0.55^*$) نیز تأییدکننده این موضوع است (جدول ۴). رقابت بین علف هرز و گیاه زراعی منجر به کاهش دسترسی گیاه به عناصر غذایی و همچنین کاهش نفوذ نور به درون کانوپی گیاه می‌شود. در نتیجه شرایط تنش‌زا برای گیاه زراعی تشدید شده و مواد پرورده کمتری صرف رشد زایشی و تولید روغن در گیاه می‌شود (۱۷). همزیستی قارچ ریشه با گیاه زراعی منجر به افزایش سطح جذب گیاه، دسترسی بیشتر به عناصر غذایی خاک به‌ویژه فسفر و تعدیل اثرات نامطلوب تنش خشکی بر گیاه زراعی می‌شود و شرایط را برای تولید روغن بیشتر در گیاه فراهم می‌کند (۴). اثر سطوح تنش آبی در برهم‌کنش با علف هرز و آلودگی قارچ بر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بوده است و

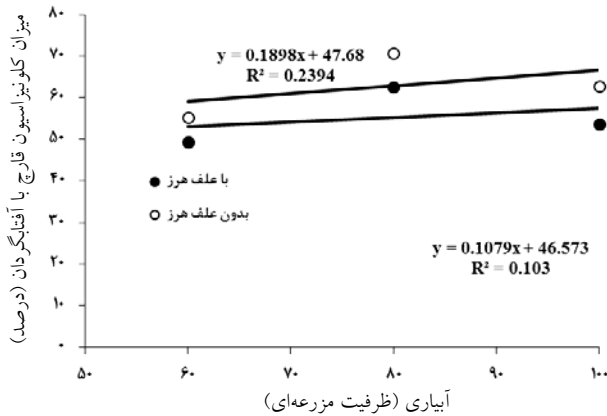
آفتابگردان (۲۵۴۶/۹ کیلوگرم در هکتار) در شرایط آبیاری نرمال و برهم‌کنش بدون علف هرز و کاربرد قارچ به‌دست آمد که در مقایسه با تنش ملایم و برهم‌کنش مشابه به‌میزان ۳۲/۳۱ درصد افزایش نشان داد. کمترین عملکرد روغن آفتابگردان (۳۹۸/۷ کیلوگرم در هکتار) در شرایط تنش آبی شدید (۶۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای) و با برهم‌کنش حضور علف هرز و بدون کاربرد قارچ ریشه مشاهده شد که نسبت به برهم‌کنش بدون حضور علف هرز و بدون کاربرد قارچ ریشه در همین شرایط تنش آبی به‌میزان ۵۶/۸ درصد کاهش داشت (جدول ۳). کمبود آب در مراحل مختلف رشد به‌ویژه دوره رشد زایشی، کمیت و کیفیت روغن تولیدشده در گیاهان دانه روغنی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. آنگادی (۳) گزارش کرد که کاهش عملکرد روغن در گیاه کلزا در شرایط تنش آبی به‌دلیل تولید کمتر مواد پرورده

استقرار گیاه و بقای آن کمک می‌کند و غلظت آب و تنظیم اسمزی در تنش خشکی را افزایش می‌دهد که این شرایط رشد گیاه را بهبود داده و میزان زیست‌توده گیاه را افزایش می‌دهد (۱۶).

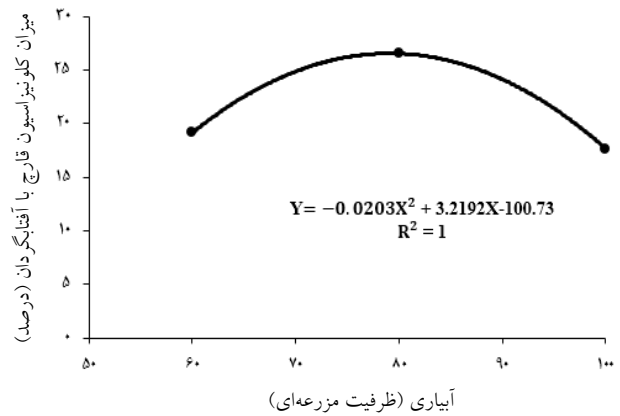
بیشترین شاخص برداشت آفتابگردان (۳۲/۴۸ درصد) در تیمار آبیاری ۸۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای، بدون حضور علف‌هرز و همراه با کاربرد قارچ ریشه به‌دست آمد که نسبت به سطح آبیاری نرمال، بدون علف‌هرز و کاربرد قارچ ریشه تفاوت معنی‌داری نداشت. لکن، کمترین شاخص برداشت آفتابگردان (۱۹/۹۳ درصد) در تیمار آبیاری ۶۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای، با علف‌هرز و بدون کاربرد قارچ ریشه مشاهده شد که نسبت به کاربرد قارچ در همین سطح آبیاری و حضور علف‌هرز (۱۹/۹۳ در مقابل ۲۴/۰۱ درصد) حدود ۱۷ درصد کاهش داشت (جدول ۳). به‌عبارت دیگر هر چند کاربرد قارچ توانسته است شاخص برداشت را در تمام تیمارهای تنش آبی و علف‌هرز بهبود بخشد لکن بیشترین تأثیر آن در سطح تنش شدید آبی بوده است و علت آن می‌تواند با توجه به تأثیرپذیری بیشتر عملکرد دانه در مقایسه با عملکرد بیولوژیک در این شرایط باشد. بررسی همبستگی نشان‌دهنده یک ارتباط منفی و معنی‌دار بین شاخص برداشت با وزن خشک علف‌هرز ($r = -0/65^{**}$) وجود دارد که منجر به کاهش شاخص برداشت شد. به‌نظر می‌رسد همراه شدن تنش آبی با حضور علف‌هرز باعث کاهش ظرفیت فتوسنتزی می‌شود و شرایط را برای افزایش رقابت علف‌هرز و دسترسی کمتر گیاه به نور و عناصر غذایی فراهم می‌کند. کاهش تعداد دانه‌ها از یک سو و کاهش زیست‌توده گیاه زراعی از سوی دیگر منجر به کاهش شاخص برداشت گیاه می‌شود (۲۸). وجود قارچ‌های میکوریزا به‌میزان قابل توجهی رشد و جذب عناصر غذایی در گیاه را افزایش می‌دهند و این شرایط را برای بهبود رشد زایشی و افزایش شاخص برداشت فراهم می‌کند (۵).

رابطه کلونیزاسیون قارچ و علف‌هرز نشان داد که بیشترین میزان کلونیزاسیون قارچ ریشه با علف‌هرز در شرایط تنش آبی

بیشترین عملکرد بیولوژیک آفتابگردان (۱۸۷۹۴ کیلوگرم در هکتار) در تیمار آبیاری نرمال، بدون حضور علف‌هرز تاج‌خروس و همراه با کاربرد قارچ ریشه به‌دست آمد و کمترین (۶۸۱۲ کیلوگرم در هکتار) آن در شرایط تنش شدید آبی و با حضور علف‌هرز و بدون کاربرد قارچ مشاهده شد (جدول ۳). کاربرد قارچ ریشه در شرایط آبیاری نرمال و بدون علف‌هرز در مقایسه با بدون قارچ، عملکرد بیولوژیک را به‌میزان ۲۷ درصد (۱۸۷۹۴ در مقابل ۱۴۸۰۷ کیلوگرم در هکتار) به‌طور معنی‌داری افزایش داد. لکن، در شرایط تنش آبی ملایم و شدید، این افزایش به‌ترتیب ۲۲/۹ درصد (۱۵۹۷۱ در مقابل ۱۲۹۸۵ کیلوگرم در هکتار) و ۱۴/۷ درصد (۱۲۲۴۸ در مقابل ۱۰۶۷۳ کیلوگرم در هکتار) بود (جدول ۳). هر چند به‌طور کلی هر دو عامل تنش آبی و حضور علف‌هرز باعث کاهش عملکرد بیولوژیک آفتابگردان شده است و کاربرد قارچ توانست عملکرد بیولوژیک را در تمام سطوح تنش آبی افزایش دهد لکن این افزایش در شرایط حضور علف‌هرز تفاوت معنی‌داری نسبت به عدم آلودگی با قارچ نداشت و برعکس در شرایط بدون علف‌هرز آلودگی قارچ توانست عملکرد بیولوژیک را به‌ترتیب در سطوح تنش شدید، ملایم و آبیاری نرمال نسبت به بدون قارچ به‌میزان ۱۴/۷، ۲۳ و ۲۳/۵ درصد افزایش دهد (جدول ۳). نتایج نشان داد که میان عملکرد بیولوژیک و وزن خشک علف‌هرز یک همبستگی منفی و معنی‌داری ($r = -0/65^{**}$) وجود داشت. به‌نظر می‌رسد در شرایط تنش خشکی و دسترسی کمتر گیاه زراعی به آب میزان فتوسنتز مؤثر در گیاه کاهش می‌یابد که این امر منجر به کاهش ذخیره مواد پرورده در گیاه، کاهش وزن خشک گیاه زراعی و همچنین کاهش رشد رویشی و زایشی گیاه می‌شود و در نهایت عملکرد بیولوژیک گیاه کاهش می‌یابد (۲۷). از سوی دیگر، کاهش دسترسی گیاه زراعی به عناصر غذایی و کاهش نفوذ نور به درون کانوپی منجر به کاهش بیشتر ظرفیت فتوسنتزی گیاه می‌شود (۲۶). وجود قارچ‌های میکوریزا به‌میزان چشمگیری رشد و جذب عناصر غذایی در گیاه را افزایش می‌دهند. علاوه بر این، همزیستی میکوریزا به‌موفقیت



شکل ۶. رابطه درصد کلونیزاسیون آفتابگردان و تنش آبی



شکل ۵. رابطه درصد کلونیزاسیون تاج خروس و تنش آبی

کلونیزاسیون قارچ ریشه با آفتابگردان (۴۹/۳۷ درصد) در تیمار آبیاری ۶۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای و با حضور علف هرز تاج خروس مشاهده شد. رابطه رگرسیون خطی نشان‌دهنده یک ارتباط مثبت و معنی‌دار میان افزایش ظرفیت آبیاری و درصد همزیستی قارچ با آفتابگردان در هر دو شرایط وجین و یا حضور علف هرز تاج خروس بود اگرچه میزان افزایش همزیستی قارچ با آفتابگردان در شرایط بدون علف هرز به‌ازای افزایش هر واحد ظرفیت رطوبتی خاک برابر ۰/۱۸ بود در حالی که میزان این افزایش در شرایط با علف هرز برابر ۰/۱۰ بود (شکل ۶).

به‌نظر می‌رسد که تنش خشکی و حضور علف هرز تاج خروس منجر به تشدید کاهش دسترسی گیاه زراعی به عناصر غذایی خاک می‌شود. در نتیجه درصد همزیستی گیاه آفتابگردان و قارچ ریشه به‌دلیل شرایط تنش‌زا برای کسب بیشتر عناصر غذایی به‌ویژه فسفر در خاک افزایش می‌یابد لکن در شرایط تنش شدید آبی این همزیستی نیز مختل می‌شود و شاید به‌دلیل عدم تأمین کربوهیدرات مورد نیاز قارچ توسط گیاه زراعی همزیستی به‌خوبی برقرار نباشد. یوسفی‌راد و همکاران (۲۴) گزارش کردند که قارچ ریشه سبب افزایش شاخص تحمل جو شده و این بهبود در شرایط شوری بالا مشهودتر بوده است و در مجموع گیاهان در محیط شور وابستگی قارچ ریشه بالاتری را نشان دادند. به‌عبارتی در شرایطی که گیاه زراعی با تنش روبه‌رو می‌شود درصد

ملازم به‌دست آمد و به‌طور کلی در شرایط تنش ملازم نسبت به آبیاری نرمال و تنش شدید به‌ترتیب (۲۶/۵۶ در مقابل ۱۶/۶۸ و ۱۹/۱۶ درصد) ۲۲/۵ و ۳۸/۶ درصد افزایش میزان کلونیزاسیون داشت (شکل ۵). به‌نظر می‌رسد که با افزایش شدت تنش آبی دسترسی علف هرز به عناصر غذایی و آب در خاک کاهش یابد. در نتیجه درصد همزیستی علف هرز و قارچ ریشه به‌دلیل شرایط تنش‌زا برای کسب بیشتر عناصر غذایی و آب در خاک افزایش می‌یابد لکن در شرایط تنش شدید آبی این همزیستی نیز مختل می‌شود و شاید به‌دلیل عدم تأمین کربوهیدرات مورد نیاز قارچ توسط علف هرز همزیستی به‌خوبی برقرار نباشد. در مقابل در شرایط آبیاری نرمال نیز میزان درصد همزیستی قارچ و علف هرز کمتر از شرایط تنش ملازم بود که احتمالاً به‌دلیل شرایط مناسب برای رشد علف هرز و یا قارچ میزان همزیستی کاهش می‌یابد.

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که درصد کلونیزاسیون قارچ ریشه با گیاه زراعی آفتابگردان به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر فاکتور تنش آبی و علف هرز تاج خروس و برهم‌کنش آنها قرار گرفت. حضور علف هرز منجر به کاهش درصد کلونیزاسیون قارچ با گیاه زراعی شد به‌گونه‌ای که بیشترین درصد کلونیزاسیون قارچ با آفتابگردان (۷۰/۶۷ درصد) در برهم‌کنش تنش ملازم آبی (۸۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای) و وجین علف هرز به‌دست آمد که نسبت به تیمار نرمال و با علف هرز ۱۲/۶۲ درصد افزایش داشت. کمترین درصد

عملکرد دانه آفتابگردان بوده و کاربرد قارچ ریشه توانسته است نقش مهمی در کاهش افت عملکرد ایجاد شده باشد به گونه‌ای که در شرایط تنش آبی شدید و حضور علف هرز، کاربرد قارچ ریشه باعث افزایش عملکرد دانه (۵۰/۷ درصد)، عملکرد روغن (۶۳/۲ درصد)، عملکرد بیولوژیک (۲۵/۰۸ درصد) و شاخص برداشت (۲۰/۵ درصد) نسبت به تیمار بدون قارچ شد. لذا کاربرد قارچ ریشه در تمام سطوح تنش آبی و حضور علف هرز، با توجه به بالا بودن کلونیزاسیون ریشه به نفع گیاه زراعی آفتابگردان عمل کرده است و به عنوان یک راهکار اکولوژیکی برای کاهش خسارت علف هرز و تنش آبی قابل توصیه است.

کلونیزاسیون قارچ و گیاه در صورت وجود قارچ در محیط تنش افزایش می‌یابد (۳۰). آموزگار و همکاران (۲) گزارش کردند که درصد کلونیزاسیون قارچ ریشه و گیاه زراعی آفتابگردان در شرایط تنش عناصر سنگین (خاک آلوده به سرب) افزایش یافته است که این امر منجر به افزایش وزن خشک و جذب بیشتر عناصر غذایی خاک به ویژه فسفر می‌شود.

نتیجه گیری

به طور کلی تنش آبی و علف هرز دو عامل مهم در کاهش

منابع مورد استفاده

1. Alahdadi, I., H. Oraki and F. Parhizkar khajani. 2011. Effect of water stress on yield and yield components of sunflower hybrids. *African Journal of Biotechnology* 10: 6504-6509.
2. Amouzegar, M., A. Abbaspour, S. Shahsavani, H. R. Asghari and M. Parsaeiyan. 2016. Effects of phosphorous fertilizers and arbuscular mycorrhiza fungi symbiosis with sunflower on Pb availability in a contaminated soil. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources* 19(74): 39-51. (In Farsi).
3. Angadi, S. V. and M. H. Entz. 2002. Water Relations of standard height and dwarf sunflower cultivars. *Crop Science* 42: 152-159 .
4. Auge, R. M. 2001. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza* 11(1): 3-42.
5. Barnes, P. W., W. Beyshlag, R. Rayel, S. D. Flint and M. M. Caldwell. 1990. Plant competition for light with a multispecies canopy structure in mixtures and monocultures of wheat and wild oat. *Oecologia* 82: 560-566.
6. Bensch, C. N., M. J. Horak and D. E. Peterson. 2000. Amaranthus competition in soybean. *Weed Science Society of America* 55: 81-92.
7. Cakir, R. 2004. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. *Field Crops Research* 89: 1-16.
8. Dalp, Y. 1993. Vesicular Arbuscular Mycorrhiza. pp.287-301, In: M. R. Carter (Ed.), *Soil Sampling and Methods of Analysis*. Lewis Press, Birzebbuga.
9. Emam, Y. 2007. Cereal production. Shiraz, Univ. Iran. (In Farsi).
10. Esmaelpoor, B., P. Jalilvand and J. Hadian. 2013. Effect of drought stress and arbuscular mycorrhizal fungi on some morphophysiological characteristics and yield on savory (*Satureja hortensis* L.). *Agroecology* 5(2): 169-177. (In Farsi).
11. Estrada-Luna, A. A. and F. T. Davies. 2003. Arbuscular Mycorrhizal fungi influence water relations, gas exchanges, abscisic acid and growth of micropropagated chile ancho pepper (*Cappicum annuum* L.CV. San Luis) plantlets during acclimatization and postacclimatization. *Journal of Plant Physiology* 160: 1073-1083.
12. FAO. 2016. FAO Land and plant nutrition management service. Available online at: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>.
13. Flagella, Z., T. Rotinno, E. D. Tarantino, R. Caterina and A. De-Caro. 2002. Changes in seed yield and oil fatty acid composition of high oleic sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids in relation to the sowing date and the water regim. *European Journal of Agronomy* 17: 221-230.
14. Gholinezhad, E., A. Aynaband, G. A. Hassanzade, G. Noormohamadi and I. Bernousi. 2012. Effects of drought stress, nitrogen amounts and plant densities on grain yield, rapidity and period of grain filing in sunflower. *Agricultural Science and Sustainable Production* 22: 129-143. (In Farsi).
15. Jabari, H., G. Akbari, A. Daneshian, J. Alah-dadi and I. Shahbazian. 2007. Effect of water deficit stress on agronomic characteristics of sunflower hybrids. *Journal of Agriculture* 9: 13-22.

16. Jastrow, J. D., R. M. Miller and J. Lussenhop. 1998. Contributions of interacting biological mechanisms to soil aggregate stabilization in restored prairie. *Soil Biological and Biochemistry* 30: 905-916.
17. Lawlor, D. W. and G. Cornic. 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plant. *Cell and Environment* 25: 275-249.
18. Mezzomo, N., B. Mileo, M. T. Friedrich, J. Martinez and S. R. Ferreira. 2010. Supercritical fluid extraction of peach (*Prunus persica*) almond oil: Process yield and extract composition. *Bioresource Technology* 101: 5622-5632.
19. Miller, M. H. 2000. Arbuscular mycorrhizae and the phosphorus nutrition of maize. A. Review Guleph of studies. *Canadian Journal of Plant Science* 80: 47-52.
20. Mirshekari, B. 2010. Effect of different densities and emergence times of redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.) on competitive ability of sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids. *Crop Production in Environmental Stress* 2(3): 9-24. (In Farsi).
21. Mosse, B. D., P. Stribley and F. Letacon. 1981. Ecology of mycorrhizae and mycorrhizal fungi. *Advances in Microbial Ecology* 5: 137-147.
22. Osakabe, Y., K. Osakabe, K. Shinozaki and L. P. Tran. 2014. Response of plants to water stress. *Frontiers in Plant Science* 5: 23-35.
23. Philips, J. M. and D. S. Hayman. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of British Mycological Society* 55: 158-161 .
24. Rad, M. Y., G. Noormohammadi, M. R. Ardakani, E. M. Hervean and S. J. Mirhadi. 2009. Effect of mycorrhiza on morphological characteristics and nutrients content of barley under different salinity levels. *Journal of New Agricultural Science* 5(16): 105-114. (In Farsi).
25. Rejeb, I. B., V. Pastor and B. Mauch-Mani. 2014. Plant responses to simultaneous biotic and abiotic stress: molecular mechanisms. *Plants* 3: 458-475.
26. Retta, A., R. L. Vanderlip, R. A. Higinns, L. J. M. Shier and A. M. Feyerherm. 1991. Suitability of corn growth models for incorporation of weed and insect stresses. *Agronomy Journal* 83: 757-765.
27. Roshdi, M., H. Heydari-Sharifabad, M. Karimi, G. H. Nourmohammadi and F. Darvish. 2006. A survey on the impact of water deficiency over the yield of sunflower seed cultivar and its components. *Journal of Agricultural Science* 12: 109-121.
28. Seyahjani, E. A., F. Farhvasht, K. Benam and A. Sadeghi. 2010. Studying the effect of drought stress on yield and yield components of three sunflower cultivars. *Environmental Stresses in Crop Sciences* 3(1): 59-68. (In Farsi).
29. Sivainani, E. and A. Bahieldin. 2000. Improved biomass productivity and water use efficiency under drought conditions in transgenic wheat constitutively expressing the Barley. *Plant Science* 155: 1-9.
30. Soltanian, M. and A. Tadayyon. 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. (In Farsi).
31. Troeh, Z. I. and T. E. Loynachan. 2003. Endomycorrhizal fungal survival in continuous corn, soybean, and fallow. *Agronomy Journal* 95: 224-230.

Interaction Effect of Arbuscular Mycorrhiza and Redroot Pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.) on Growth and Yield of Sunflower under Water Stress Conditions

M. Karami¹, S. A. Kazemeini^{2*}, M. Zarei³ and M. Alinia⁴

(Received: October 29-2018; Accepted: February 10-2019)

Abstract

The management of soil elements by biological fertilizers is considered as an important attribute of sustainable agriculture. In order to evaluate the interaction effects of *Arbuscular mycorrhizal* fungi and redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.) on growth and yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under water stress conditions, a field study was conducted in 2015 at School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran. Water stress at three levels (60, 80 and 100% FC) as main factor, mycorrhizal fungi at two levels (with and without fungi) and redroot pigweed at two levels (weedy and weed free) were used in three replications based on factorial in sub plots. Results showed that seed yield reduced the by 42% under weedy conditions and applying mycorrhizal fungi compensated the grain yield decrease by 29%. Weed in moderate and severe water stress conditions caused seed yield reductions of 35 and 52%, and applying mycorrhizal fungi compensated grain yield loss by 4 and 51%, respectively. Mean comparisons for severe water stress and weedy treatment interaction showed oil yield, biological yield and harvest index reduced by 57, 36 and 25% and applying mycorrhizal fungi compensated oil yield, biological yield and harvest index decreases by 63, 25 and 20%, respectively. In general, it seems that the application of mycorrhiza can improve growth and yield characteristics of sunflower under water stress and weedy conditions.

Keywords: Biological yield, Field capacity, Grain yield, Harvest index, Oil yield

1, 2, 4. MSc. Student, Associate Professor, PhD. Student, Respectively, Department of Crop Production and Plant Breeding, School of Agriculture, Shiraz University, Bajgah, Iran.

3. Associate Professor, Department of Soil Science, School of Agriculture, Shiraz University, Bajgah, Iran.

*: Corresponding Author, Email: akazemeini@shirazu.ac.ir