نشریه تولید گیاهان زراعی
جلد دوازدهم، شماره اول، بهار ۹۸
۱۱۱-۱۲۸
http://ejcp.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/ejcp.2019.15472.2153

اثر کمبود آب و تلقیح با ریزموجودات همزیست بر صفات فنولوژیک، مورفولوژیک، زراعی و خصوصیات کیفی سویا

علی نخزری مقدم[1*]، ناصر صمصامی[2]، علی راحمی کاریزکی[1] و اسماعیل قلی‌نژاد[3]

[1]استادیار گروه تولیدات گیاهی، دانشگاه گنبدکاووس

[2]دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آگرواکولوژی گروه تولیدات گیاهی، دانشگاه گنبدکاووس

[3]دانشیار گروه علمی علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۷

چکیده

سابقه و هدف: تنش خشکی یکی از عوامل مهم غیرزیستی است که رشد و عملکرد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. زراعت سویا در اغلب کشورهای دنیا به‌منظور تولید روغن، پروتئین‌های گیاهی و علوفه صورت می‌گیرد. در نظام‌های کشاورزی پایدار کاربرد کودهای زیستی از اهمیت ویژه‌ای در افزایش تولید محصول و حاصلخیزی خاک برخوردار است. قارچ‌های میکوریزا با ایجاد رابطه همزیستی با ریشه گیاهان از طریق افزایش جذب آب، افزایش مقاومت در برابر تنش‌های زنده (عوامل بیماری‌زا) و غیرزنده (خشکی و شوری) سبب بهبود رشد و نمو و عملکرد گیاهان می‌شوند. لذا این تحقیق با هدف بررسی اثرات کمبود آب بر صفات مهم زراعی، عملکرد دانه، شاخص برداشت روغن و پروتئین دانه سویا رقم کوثر تحت شرایط تلقیح میکوریزا آربوسکولار و باکتری *ریزوبیوم* در ارومیه انجام شد.

مواد و روش‌ها: آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی هنرستان کشاورزی شهرستان ارومیه به‌صورت طرح اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی آبیاری در سه سطح شامل آبیاری مطلوب (آبیاری بعد از ۷۰ میلی‌متر تبخیر)، تنش ملایم خشکی (آبیاری بعد از ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر) و تنش شدید خشکی (آبیاری بعد از ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A)، عامل‌های فرعی قارچ میکوریزا در سه سطح شامل بدون میکوریزا، گونه *G. mosseae* و گونه *Glomus intraradices* و باکتری ریزوبیوم در دو سطح شامل عدم تلقیح و تلقیح با باکتری *Rhizobium japonicum* بود.

یافته‌ها: در شرایط تنش خشکی شدید در مقایسه با شرایط آبیاری مطلوب، میزان شاخص سطح برگ، قطر ساقه، ارتفاع بوته و عملکرد دانه به‌ترتیب به میزان ۶۰، ۳۱، ۱۱ و ۲۲ درصد کاهش یافت. در هر سه شرایط مختلف آبیاری، تلقیح با قارچ میکوریزا گونه *G. mosseae* و گونه *G. intraradices* در مقایسه با عدم تلقیح، ارتفاع بوته، قطر ساقه، شاخص برداشت روغن و پروتئین، شاخص سطح برگ و عملکرد دانه را افزایش داد و پرولین را کاهش داد. در شرایط آبیاری مطلوب، تنش خشکی ملایم و شدید، تلقیح با باکتری در مقایسه با عدم تلقیح با باکتری، عملکرد دانه را به‌ترتیب ۱۷، ۱۹ و ۱۷ درصد افزایش داد. تلقیح با *G. mosseae* و گونه *G. intraradices* در مقایسه با عدم تلقیح میکوریزا، عملکرد دانه را به‌ترتیب ۱۳ و ۸ درصد افزایش داد. بیشترین درصد کلونیزاسیون ریشه از قارچ *G. mosseae* (۴۸/۸۰ درصد) حاصل شد. تلقیح با باکتری در مقایسه با عدم تلقیح، درصد کلونیزاسیون ریشه را حدود ۱۷ درصد افزایش داد. تلقیح با باکتری در مقایسه با عدم تلقیح، درصد نیتروژن دانه را حدود ۸ درصد افزایش داد. تنش خشکی ملایم درصد نیتروژن دانه سویا را افزایش داد.

*نویسنده مسئول: a_nakhzari@yahoo.com

نتیجه‌گیری: تنش خشکی، صفات فنولوژیک مانند طول دوره رشد و زمان تا شروع گل‌دهی، صفات مورفولوژیک مانند قطر ساقه، طول غلاف و ارتفاع بوته، صفات کیفی مانند درصد و عملکرد نیتروژن، شاخص برداشت روغن، صفات فیزیولوژیک مانند شاخص سطح برگ، عملکرد دانه و کلونیزاسیون ریشه گیاه سویا رقم کوثر را به‌طور معنی‌داری کاهش داد درحالی‌که موجب افزایش پرولین گردید. تلقیح با قارچ میکوریزا به‌ویژه *G. mosseae* و تلقیح با باکتری ریزوبیومی از طریق افزایش دسترسی گیاه به آب و عناصر غذایی توانست موجب افزایش کلیه صفات مورد مطالعه شود. همچنین حضور این ریزجانداران در هر سه شرایط آبیاری، پرولین را کاهش و درنهایت عملکرد دانه را افزایش داد. بنابراین می‌توان با تلقیح قارچ میکوریزا به‌ویژه *G. mosseae* و باکتری *R. japonicum* شرایط را برای به‌دست آوردن حداکثر عملکرد کمی و کیفی در گیاه سویا در شرایط مختلف رطوبتی فراهم کرد تا علاوه بر کاهش اثرات تنش خشکی، مصرف کودهای شیمیایی را نیز کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: باکتری، شاخص سطح برگ، عملکرد دانه، کلونیزاسیون ریشه، میکوریزا.

مقدمه

اهمیت جهانی سویا به‌دلیل درصد پروتئین بالای آن است به‌گونه‌ای که ازلحاظ ارزش در جیره غذایی متداول انسان در مقام سوم قرار دارد (۲۴). سطح زیر کشت سویا در جهان ۱۲۱/۵ میلیون هکتار و میزان تولید آن ۳۳۴/۸ میلیون تن با میانگین عملکرد ۲۷۵۵ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. سطح زیر کشت سویا در ایران در سال ۲۰۱۶ حدود ۶۳۰۰۰ هکتار با تولید ۱۴۴۰۰۰ تن و با میانگین عملکرد ۲۲۶۷ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است (۱۰).

تنش خشکی یکی از عوامل مهم غیرزیستی است که رشد و عملکرد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۲۱). دلیل اصلی تنش خشکی، رطوبت پایین در اتمسفر، دمای بالا و کمبود آب است (۳۰). تنش خشکی روی فتوسنتز و فنولوژی گیاه تأثیر می‌گذارد گونه‌های مختلف گیاهی پاسخ‌های متفاوتی به تنش خشکی نشان می‌دهند که شامل پاسخ‌های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی است (۲۷). با افزایش تنش خشکی زمان تا رسیدگی فیزیولوژیک نیز کاهش معنی‌داری خواهد یافت. محدودیت در فراهمی رطوبت به همراه گرمای آخر فصل در تسریع مراحل پایانی رشد و زودرسی می‌تواند تأثیر داشته باشد (۹). بررسی تأثیر تنش خشکی شامل آبیاری کامل (شاهد) و تنش خشکی (قطع آبیاری در فاز زایشی) بر ۸ رقم سویا نشان داد که بیشترین عملکرد دانه از تیمار آبیاری کامل (شاهد) به‌دست آمد (۲۹).

قارچ‌های میکوریزا با ایجاد رابطه همزیستی[1] با گیاهان موجب افزایش کارآیی جذب عناصر غذایی پرمصرف و حتی کم‌مصرف توسط گیاهان می‌شوند (۴۱). قارچ میکوریزا با سنتز تنظیم‌کننده‌های اسمزی[2] شامل مواد آلی محلول ازجمله قند محلول و پرولین، تأثیر مثبتی در جذب یون‌های معدنی محلول در گیاه دارد (۳۸). همزیستی گیاه با میکوریزا با افزایش سطح جذب ریشه، جذب آب و عناصر غذایی به‌ویژه فسفر توسط هیف‌ها و انتقال آن به ریشه گیاه، سبب بهبود وضعیت غذایی و کاهش اثرات منفی تنش بر رشد و عملکرد گیاه می‌شود (۳). علت افزایش عملکرد محصول در گیاهان تلقیح شده با میکوریزا، تعادل آبی و درنتیجه جذب بیشتر آب و عناصر معدنی می‌باشد (۱۸). در آزمایشی گزارش شده است که گیاهان همزیست با قارچ میکوریزای دارای عملکرد دانه بیشتری نسبت به شاهد بودند (۱۷). تدین و سلطانیان (۲۰۱۶) با بررسی تأثیر قارچ میکوریزا آربوسکولار در شرایط تنش خشکی بر بزرک (*Linum ussitatissimum* L.) گزارش کردند که اثر تنش خشکی بر میزان کلونیزاسیون ریشه، ارتفاع بوته، عملکرد دانه، شاخص برداشت و میزان پرولین برگ

1. Symbiotic relationship
2. Osmotic adjustment

معنی‌دار بود. پتانسیل آب برگ در شرایط تلقیح با میکوریزا بیشتر از گیاهان بدون میکوریزایی بود. کلونیزاسیون میکوریزایی در هر دو گونه میکوریزا تحت شرایط آبیاری مطلوب بالاتر از گیاهان تحت تنش کم‌آبی بود (۴۳).

باکتری *R. japonicum* به‌صورت طبیعی در خاک‌های ایران وجود ندارد و باید باکتری‌ها همراه بذر به خاک اضافه شود. در همزیستی باکتری ریزوبیومی با ریشه سویا، تثبیت نیتروژن برای کشاورزی پایدار اهمیت زیادی دارد و رشد گیاه را در خاک‌های فقیر از نیتروژن و خاک‌های با کارآیی پایین کود نیتروژن حفظ می‌کند (۲۶). مکانیزم‌های مهم باکتری‌های افزاینده رشد گیاه تولید و آزادسازی سیدروفورها (ترکیبات اسیدی که جذب آهن یا فسفات را برای گیاه فراهم می‌کند) می‌باشد. نتایج آزمایش مزرعه‌ای در سویا نشان داد که گیاهچه حاصل از بذرهای تولید شده در شرایط مختلف رطوبتی همراه با تلقیح با باکتری، وزن خشک و ارتفاع بیشتری نسبت به شاهد داشت (۲۰). این تحقیق با توجه به عدم وجود تحقیق کافی در خصوص قارچ‌های میکوریزا و با هدف بررسی اثرات کمبود آب بر صفات مهم زراعی، عملکرد دانه و شاخص برداشت روغن و پروتئین دانه سویا رقم کوثر (جدید) تحت شرایط تلقیح میکوریزا آربوسکولار و باکتری *R. japonicum* در شرایط آب و هوایی ارومیه انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی هنرستان کشاورزی شهرستان ارومیه (واقع در ۱۲ کیلومتری شهر ارومیه با طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۲ دقیقه شمالی و عرض جغرافیایی آن ۳۷ درجه و ۳۲ دقیقه شرقی و ارتفاع از سطح دریا ۱۳۳۲ متر) اجرا شد. منطقه مورد مطالعه با ۱۵۰ تا ۱۸۰ روز خشک، زمستان‌های سرد و مرطوب و تابستان‌های گرم و خشک جزء رژیم رطوبتی خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود. برخی ویژگی‌های مهم هواشناسی در جدول ۱ آمده است. برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش و همچنین برآورد نیاز کودی محصول سویا، از پنج نقطه مختلف مزرعه از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری انجام شد که نتایج آن در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۱- مقادیر متوسط ماهانه دما، بارش، تبخیر و رطوبت هوا در طی فصل رشد سویا در منطقه مورد مطالعه.

Table 1. The mean monthly temperature, precipitation, evaporation and humidity during the growing season of soybean in the studied area.

پارامترهای هواشناسی Meteorological parameters	ماه month					
	شهریور August	مرداد July	تیر June	خرداد May	اردیبهشت April	فروردین March
حداکثر دما (درجه سانتی‌گراد) Maximum temperature (°C)	32.5	34.7	33.3	29	23	16
حداقل دما (درجه سانتی‌گراد) Minimum temperature (°C)	13	17	16	11	8	2.9
میانگین دما (درجه سانتی‌گراد) Mean temperature (°C)	22.75	25.85	24.65	20	15.5	9.45
مجموع بارندگی (میلی‌متر) Total Participation (mm)	0	0.7	0	0.8	16	70.5
کل تبخیر (میلی‌متر) Total evaporation (mm)	213	281	304	246	160	62
میانگین رطوبت نسبی (٪) Average humidity (%)	34	36	38	35	54	54

جدول ۲- برخی خواص فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 2. Some physico-chemical properties of soil in the experimental site

عمق خاک (سانتی‌متر) Soil depth (cm)	بافت خاک Soil texture	رس (٪) Clay (%)	سیلت (٪) Silt (%)	شن (٪) Sand (%)	هدایت‌الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته – pH –	نیتروژن (٪) Nitrogen (%)	فسفر قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Available posphorus ($mg.kg^{-1}$)	قابل جذب پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Available potassium ($mg.kg^{-1}$)
0-30	لومی Loamy	40	35	25	0.85	7.64	0.12	5.16	211

آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی آبیاری در سه سطح شامل آبیاری مطلوب (آبیاری بعد از ۷۰ میلی‌متر تبخیر)، تنش ملایم خشکی (آبیاری بعد از ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر) و تنش شدید خشکی (آبیاری بعد از ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A)، عامل‌های فرعی شامل قارچ میکوریزا در سه سطح بدون قارچ، گونه *G. mosseae* و گونه *Glomus intraradices* و باکتری ریزوبیوم در دو سطح عدم تلقیح و تلقیح با باکتری *R. japonicum* بود. کشت قبلی زمین مورد آزمایش ذرت بود. عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم به‌وسیله گاوآهن برگردان‌دار و تسطیح به‌وسیله روتیواتور انجام شد. براساس آزمون خاک و توصیه کودی مقدار ۵۰ کیلوگرم اوره، ۱۴۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل، ۱۲۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد قبل از کشت در زمین پخش و با خاک مخلوط شد. کاشت به‌صورت جوی و پشته با فاصله ردیف ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بوته روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر (با تراکم بوته ۲۰۰۰۰۰ بوته در هکتار) در نیمه دوم اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۶ انجام شد. آبیاری به‌صورت نشتی صورت گرفت. تعداد خطوط کاشت ۴ خط به طول ۴ متر بود. فاصله بین کرت‌های فرعی ۲ متر و برای تیمارهای اصلی ۴ متر بود. بذر مورد استفاده رقم جدید کوثر بود که از مؤسسه نهال و بذر کرج تهیه شد. سویای کوثر دارای ویژگی‌هایی مانند محدودالرشد بودن، عملکرد بالا، زودرس بودن، مقاوم به بیماری فیتوفترا و تحمل کم‌آبی است که مناسب برای کشت در مناطق غرب و جنوب کشور می‌باشد.

قارچ‌های میکوریزا از شرکت تحقیقاتی زیست‌فناوری توران شاهرود تهیه شد و در زیر میکروسکوپ اسپورهای موجود بررسی گردیده و در تیمارهای مربوط به تلقیح قارچ در هر چاله ۱۰ گرم قارچ ریخته شد و سپس روی قارچ با خاک به‌اندازه دو سانتی‌متر پوشش داده شد. سپس بذرها کشت و روی بذرها حدود سه سانتی‌متر با خاک پوشانده شد. با توجه به تلقیح بذرها با قارچ، عمل ضدعفونی انجام نشد. باکتری مربوط به سویا از شرکت مهر آسیای استان تهران تهیه شد. تیمارهای آبیاری از مرحله ۲ تا ۴ برگی (استقرار بوته‌ها) به بعد اعمال شد. در مرحله ۴-۳ برگی تنک کردن به‌وسیله دست برای رسیدن به تراکم مطلوب انجام شد. مبارزه با علف‌های هرز به روش دستی و در طی دو نوبت به فاصله ۲۰ و ۴۰ روز پس از کاشت در طول فصل رشد انجام شد. برداشت سویا در نیمه دوم شهریورماه زمانی که بوته‌ها کاملاً رسیده و برگ‌ها زرد شده و ریزش پیدا کردند صورت گرفت.

صفات فنولوژیک زمان از کاشت تا ۵۰ درصد گلدهی، کاشت تا شروع رسیدگی فیزیولوژیک اولین غلاف و طول دوره رشد (کاشت تا برداشت) ثبت شد. برای اندازه‌گیری صفات مورفولوژیک، ۱۰ بوته به‌طور تصادفی انتخاب و ارتفاع بوته و طول غلاف محاسبه شدند. برای محاسبه عملکرد دانه، پس از

حذف حاشیه‌ها (نیم متر از ابتدا و انتهای هر کرت و نیز ردیف‌های جانبی) برداشت از خطوط وسط هر کرت انجام گرفت. برای تعیین شاخص سطح برگ، برگ‌های هم اندازه در گروه‌های مختلف قرار گرفتند. سطح برگ از طریق اندازه‌گیری طول و عرض برگ با خط کش و محاسبه مساحت هر برگ محاسبه شد. سپس تعداد برگ در هر بوته محاسبه و در مساحت برگ ضرب شد. شاخص برداشت از تقسیم عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک محاسبه شد. برای اندازه‌گیری درصد نیتروژن از طریق دستگاه کجلدال (VAP 50 Gerhardt) و طبق روابط زیر تعیین گردید.

رابطه ۱

۱۰۰ × [وزن نمونه/ (۰/۰۰۱۴ × مقدار اسید مصرف شده در تیتراسیون)] = درصد نیتروژن

برای محاسبه مقدار جذب نیتروژن دانه، درصد نیتروژن در عملکرد دانه ضرب گردید.

درصد کلونیزاسیون ریشه به روش شبکه خطوط متقاطع[1] جیوانتی و موسه (۱۹۸۰) محاسبه گردید (۱۶). در مرحله انتهایی رشد، ریشه ۱۰ بوته از هر تیمار به‌طور تصادفی برداشت و پس از شستن ریشه‌ها، حدود یک گرم از ریشه‌های ظریف و ریز در محلول FAA (۱۳ میلی‌لیتر فرمالدئید غلیظ + ۵ میلی‌لیتر اسید استیک غلیظ + ۹۰ میلی‌لیتر اتانول ۵۰٪) قرار داده شدند تا نمونه‌ها تثبیت شوند. به‌منظور رنگ‌آمیزی، ریشه‌ها با آب معمولی شسته شده و سپس قطعات ریشه (به‌طول یک سانتی‌متر) در داخل KOH ۱۰٪ به‌مدت یک ساعت و در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. پس از سرد شدن، ریشه‌ها شسته شده و به مدت سه دقیقه در اسید کلریدریک ۱٪ گذاشته شدند و سپس روی آن محلول رنگی (ترپان بلو ۰/۰۵ درصد) اضافه گردید و به‌مدت یک ربع در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و سپس محلول رنگی خالی گردید و پس‌ازآن محلول رنگ‌زدایی لاکتوگلیسرول (۱:۱:۱ اسید لاکتیک، گلیسرول، آب) به آن‌ها اضافه شد و به‌مدت یک ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد در داخل حمام آب قرار داده شدند. سپس ریشه‌ها به پتری دیش‌های حاوی ۵۰ درصد گلیسرول جهت مشاهده در زیر میکروسکوپ نوری منتقل شدند. محلول رنگ‌بر تمام مواد رنگی را از بافت ریشه به‌جز اندام‌های قارچی خارج می‌کند و درنتیجه اندام‌های قارچی به رنگ آبی در داخل و خارج ریشه به‌طور مشخص دیده می‌شوند. برای تعیین درصد کلونیزاسیون قارچ ریشه‌ها از روش تلاقی خطوط مشبک استفاده شد. در این روش کاغذ شطرنجی را به پشت یک پتری دیش چسبانده و تعدادی از ریشه‌های رنگ آمیزی شده را در داخل پتری دیش به‌طور تصادفی قرار داده می‌شوند. سپس زیر لوپ آزمایشگاهی میزان همزیستی ریشه برحسب طول ریشه کلنی شده تعیین شد. بدین ترتیب که از سمت چپ تعداد مناطقی از ریشه را که با خطوط افقی و عمودی برخورد نموده‌اند را شمرده و سپس نواحی که رنگ آبی پر رنگ دارند را نیز به همین روش شمارش می‌شوند. از تقسیم تعداد نقاط با رنگ آبی بر تعداد کل برخوردها، درصد طول ریشه کلونیزه شده تخمین زده شد. این عمل برای تمام تیمارها با سه تکرار انجام شد.

برای اندازه‌گیری میزان پرولین از روش بیتس و همکاران (۱۹۷۳) استفاده شد (۶). شاخص برداشت روغن و پروتئین از نسبت عملکرد روغن و عملکرد پروتئین به عملکرد بیولوژیک به‌دست آمد (۴۵ و ۴۶). در پایان، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS Ver. 9.1 و MATATC انجام و مقایسه میانگین‌ها نیز توسط آزمون LSD در سطح پنج درصد انجام شد. برای داده‌هایی که از طریق شمارش به‌دست آمده بودند ما در ابتدا با استفاده از نرم‌افزار SPSS، تبدیل جذری به‌عمل آمد و سپس مقایسه میانگین انجام شد.

1. Grid line method

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس برای صفات فنولوژیک و مورفولوژیک رقم کوثر سویا تحت تأثیر میکوریزا، باکتری و سطوح مختلف خشکی در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مختلف رقم کوثر سویا تحت تأثیر میکوریزا، باکتری و سطوح مختلف خشکی

Table 3. Results of variance analysis (mean of squares) of different traits of soybean (cv. Kosar) inoculated with mycorrhizal, bacterial and different drought stress levels

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	کلونیزاسیون ریشه Root colonization	روز تا گلدهی Days to flowering	روز تا رسیدگی Days to maturity	دوره رشد Growth period	ارتفاع بوته Plant height	طول غلاف Pod length	شاخص سطح برگ LAI	پرولین Proline
بلوک Block	2	0.024^{**}	0.32^{ns}	0.97^{ns}	0.11^{ns}	418.2^{ns}	0.14^{*}	0.15^{ns}	11.45^{ns}
آبیاری (I) Irrigation	2	0.08^{**}	2.77^{ns}	2.26^{ns}	5.77^{**}	1214^{*}	0.71^{**}	35.86^{**}	18308^{**}
خطای اصلی Error a	4	0.0007	2.75	0.38	0.07	167.5	0.01	1.51	519.0
میکوریزا Mycorhizal (M)	2	0.83^{**}	0.28^{**}	0.38^{**}	0.12^{ns}	2443^{**}	0.22^{**}	15.16^{**}	11444^{**}
باکتری Bacterial (B)	1	0.07^{**}	0.028^{ns}	0.50^{**}	0.05^{ns}	3266^{**}	0.33^{**}	79.44^{**}	14826^{**}
I × M	4	0.002^{ns}	0.171^{**}	0.117^{ns}	0.02^{ns}	122.9^{*}	0.018^{ns}	0.50^{**}	30.43^{ns}
I × B	2	0.00004^{ns}	0.050^{ns}	0.025^{ns}	0.09^{ns}	6.72^{ns}	0.002^{ns}	3.35^{**}	6.38^{ns}
M × B	2	0.0001^{ns}	0.041^{ns}	0.22^{*}	0.31^{**}	165.4^{*}	0.025^{ns}	7.57^{**}	380.2^{**}
I × M × B	4	0.0004^{ns}	0.23^{**}	0.046^{ns}	0.02^{ns}	2.69^{ns}	0.007^{ns}	0.34^{*}	73.19^{*}
خطای فرعی Error b	30	0.0013	0.037	0.0511	0.04	42.25	0.013	0.11	23.92
ضریب تغییرات(درصد) Coefficient of variation (%)	-	5.64	2.88	2.46	1.70	6.37	2.74	9.93	4.08

**، *و ns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم وجود اختلاف معنی‌دار

**, * and ns: Significant at 1 and 5% probability levels and non-significant, respectively

ادامه جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مختلف رقم کوثر سویا تحت تأثیر میکوریزا، باکتری و سطوح مختلف خشکی

Table 3. Results of variance analysis (mean of squares) of different traits of soybean (cv. Kosar) inoculated with mycorrhizal, bacterial and different drought stress levels

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	درصد نیتروژن دانه N percent in grain	جذب نیتروژن دانه N uptake in grain	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت روغن Oil harvest index	شاخص برداشت پروتئین Protein harvest index	عملکرد بیولوژیک Biologic yield
بلوک Block	2	1.01^{ns}	5352^{ns}	296010^{ns}	1.94^{ns}	2.41^{ns}	6292071^{*}
آبیاری Irrigation (I)	2	16.15^{**}	54218^{**}	3725370^{**}	2.40^{ns}	51.81^{**}	36260796^{**}
خطای اصلی Error a	4	0.41	1764	91142	1.19	2.87	955385
میکوریزا Mycorhizal (M)	2	1.35^{**}	11575^{**}	1172421^{**}	0.96^{ns}	3.30^{*}	11142674^{**}
باکتری Bacterial (B)	1	0.40^{**}	43912^{**}	6670415^{**}	7.10^{**}	12.24^{**}	44366285^{**}
I × M	4	0.099^{*}	651.1^{**}	19973^{ns}	0.66^{ns}	0.19^{ns}	987586^{*}
I × B	2	0.022^{ns}	809.8^{**}	62851^{*}	0.70^{ns}	1.61^{ns}	1358520^{*}
M × B	2	0.038^{ns}	284.3^{ns}	100072^{**}	1.94^{**}	2.83^{*}	759793^{ns}
I × M × B	4	0.021^{ns}	170.3^{ns}	30096^{ns}	0.23^{ns}	0.25^{ns}	40379^{ns}
خطای فرعی Error b	30	0.035	98.27	17731	0.38	0.87	324899
ضریب تغییرات (درصد) Coefficient of variation (%)	-	3.24	4.51	3.55	7.56	7.35	5.84

**، *و ^{ns} : به‌ترتیب معنی‌دار در س طح احتمال یک و پنج درصد و عدم وجود اختلاف معنی‌دار

**, * and ^{ns}: Significant at 1 and 5% probability levels and non-significant, respectively

کلونیزاسیون ریشه: با افزایش شدت تنش خشکی، درصد کلونیزاسیون ریشه کاهش معنی‌داری یافت به‌طوری‌که بیشترین (۴۱/۸۳ درصد) و کمترین (۲۹/۵۰ درصد) درصد کلونیزاسیون ریشه به‌ترتیب از تیمار آبیاری مطلوب و تنش خشکی شدید به‌دست آمد. تلقیح با قارچ میکوریزا و باکتری درصد کلونیزاسیون ریشه را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. بیشترین درصد کلونیزاسیون ریشه از قارچ نوع *G. mosseae* (۴۸/۸ درصد) حاصل شد. تلقیح با باکتری در مقایسه با عدم تلقیح، درصد کلونیزاسیون قارچ ریشه را حدود ۱۷ درصد افزایش داد (جدول ۴). کاهش معنی‌دار درصد کلونیزاسیون با افزایش سطح تنش خشکی احتمالاً به علت کاهش در تندش و رشد هیف‌ها است. مرحله مهم‌تر پس از تندش اسپور، رشد هیف حاصل از تندش است که نقش اساسی در کلونیزاسیون ریشه ایفا می‌کند. به ظاهر رشد هیف بیشتر از تندش اسپور تحت تأثیر پتانسیل اسمزی قرار می‌گیرد (۱). با کاهش رطوبت خاک، کمیت و کیفیت ترشحات ریشه‌ای تغییر می‌کند که روی جوانه‌زنی اسپور تأثیر می‌گذارد. کاهش رطوبت همچنین به‌طور مستقیم بر جوانه‌زنی اسپور تأثیر می‌گذارد (۴۲). تدین و سلطانیان (۲۰۱۶) با بررسی تنش رطوبت (بدون تنش، تنش ملایم، تنش متوسط و تنش شدید) و تلقیح با قارچ میکوریزا (*G. intraradices*، *G. mosseae* و عدم تلقیح) بر گیاه بزرک اظهار داشتند که اثر تنش خشکی بر میزان کلونیزاسیون ریشه، ارتفاع بوته، قطر ساقه، وزن خشک اندام هوایی، عملکرد دانه، شاخص برداشت و میزان پرولین برگ معنی‌دار بود (۴۳). در مطالعه‌ای دیگر، بررسی واکنش مزرعه‌ای گندم تلقیح شده با دو گونه میکوریزا آربوسکولار (*G. mosseae* و *G. etunicatum*) تحت تنش کم‌آبی مشخص کرد که کلونیزاسیون میکوریزایی در هر دو گونه میکوریزا تحت شرایط آبیاری مطلوب بالاتر از گیاهان تحت تنش کم‌آبی بود (۱۷).

تعداد روز تا ۵۰ درصد گلدهی: مقایسه میانگین اثرات متقابل سه گانه آبیاری، میکوریزا و باکتری نشان داد با افزایش تنش خشکی، تعداد روز تا ۵۰ درصد گلدهی کاهش معنی‌داری یافت (جدول ۵). متوسط تعداد روز تا ۵۰ درصد گلدهی برای آبیاری مطلوب، تنش خشکی ملایم و شدید به‌ترتیب ۵۱/۸۲، ۴۳/۸۳ و ۴۱/۷۷ روز بود. تنش خشکی شدید و ملایم در مقایسه با آبیاری مطلوب، تعداد روز تا ۵۰ درصد گلدهی را به‌ترتیب ۲۰ و ۱۶ درصد کاهش داد. بیشترین تعداد روز تا ۵۰ درصد گلدهی (۵۵/۶۶ روز) از تیمار آبیاری مطلوب و تلقیح با قارچ میکوریزا گونه *G. mosseae* و تلقیح با باکتری به‌دست آمد. کمترین تعداد روز تا ۵۰ درصد گلدهی (۳۸/۳۳ روز) نیز از تیمار تنش خشکی شدید، بدون میکوریزا و بدون تلقیح باکتری حاصل شد. علت کاهش تعداد روز تا ۵۰ درصد گلدهی، محدودیت در فراهمی رطوبت و تسریع در زودرسی می‌باشد. محدودیت در فراهمی رطوبت به همراه گرمای آخر فصل در تسریع مراحل پایانی رشد و زودرسی می‌تواند تأثیر داشته باشد (۹). تنش خشکی سبب تسریع در شروع فاز گلدهی شد. تنش خشکی در فاز زایشی، رسیدگی فیزیولوژیک را در ژنوتیپ‌ها تسریع کرد (۳۴). تنش خشکی در مرحله گلدهی موجب کاهش طول دوره گلدهی و تعداد روز تا رسیدگی کلزا گردید (۳۶).

جدول ٤- مقایسه میانگین اثرات ساده آبیاری، میکوریزا و باکتری بر صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک سویا

Table 4. Mean comparisons of simple effects of irrigation, mycorhiza and bacteria on morphological and physiological traits of soybean

تیمار Treatment	کلونیزاسیون ریشه (درصد) Root colonization (%)	طول دوره رشد (روز) Growth period (day)	طول غلاف (سانتی‌متر) Pod length (cm)	درصد نیتروژن Nitrogen percent	شاخص برداشت پروتئین (درصد) Protein harvest index (%)
I					
I_1	41.83	144.4	4.36	-	12.36
I_2	37.02	143.5	4.32	-	14.53
I_3	29.50	121.4	3.99	-	11.19
LSD5%	2.02	5.96	0.09	-	1.56
M					
M1	48.80	-	4.28	-	-
M2	45.16	-	4.29	-	-
M_3	14.38	-	4.09	-	-
LSD5%	2.23	-	0.08	-	-
B					
B_1	39.37	-	4.30	5.98	-
B_2	32.87	-	4.14	5.55	-
LSD5%	1.82	-	0.002	0.10	-

I_1=آبیاری مطلوب، I_2= تنش ملایم خشکی، I_3= تنش شدید خشکی؛ M_1= گلوموس موسهآ، M_2= گلوموس اینترادیسز، M_3= بدون میکوریزا (شاهد)؛ B_1= تلقیح با باکتری، B_2= عدم تلقیح با باکتری.

I_1= Optimum irrigation, I_2= Moderate drought stress, I_3= Severe drought stress; M_1= *Glomus mosseae,* M_2= *Glomus intraradices,* M_3= Without mycorrhiza; B_1= Inoculation with bacteria, B_2= Non-inoculation with bacteria.

جدول ٥- مقایسه میانگین برهمکنش آبیاری × میکوریزا × باکتری بر روز تا ۵۰ درصد گلدهی، شاخص سطح برگ و پرولین سویا

Table 5. Mean comparisons of interaction effects of irrigation ×mycorhiza ×bacteria on days to 50 % flowering, leaf area index and proline content of soybean

تیمار Treatment	روز تا ۵۰ درصد گلدهی Days to 50 % flowering			شاخص سطح برگ Leaf area index			پرولین (میلی مول در کیلوگرم وزن خشک برگ) Proline (mmol kg^{-1} DW)		
	آبیاری مطلوب Optimum irrigation	تنش ملایم Moderate drought stress	تنش شدید Severe drought stress	آبیاری مطلوب Optimum irrigation	تنش ملایم Moderate drought stress	تنش شدید Severe drought stress	آبیاری مطلوب Optimum irrigation	تنش ملایم Moderat e drought stress	تنش شدید Severe drough t stress
M×B									
$M_1 \times B_1$	55.66	44.66	44.00	7.11	6.86	3.25	61.47	73.0	117.6
$M_1 \times B_2$	54.66	46.00	41.66	2.66	2.49	1.18	93.82	114.9	165.0
$M_2 \times B_1$	55.00	47.00	43.66	6.64	6.16	2.86	70.22	83.4	131.0
$M_2 \times B_2$	49.00	46.66	41.33	3.65	2.99	1.23	92.62	104.2	156.3
$M_3 \times B_1$	47.33	39.33	39.33	3.77	3.44	1.37	106.5	118.0	168.2
$M_3 \times B_2$	49.33	41.66	38.33	2.53	2.11	0.78	147.03	156.7	197.2
$LSD_{5\%}$		4.63			0.55			8.14	

M_1= گلوموس موسهآ، M_2= گلوموس اینترادیسز، M_3= بدون تلقیح (شاهد)؛ B_1= تلقیح با باکتری، B_2= عدم تلقیح با باکتری.

M_1= *G. mosseae* M_2= *G. intraradices* M_3=Without mycorrhiza B_1=Inoculation with bacteria B_2= Without bacteria.

تعداد روز تا شروع رسیدگی فیزیولوژیک اولین بذر: بیشترین تعداد روز تا شروع رسیدگی فیزیولوژیک اولین بذر (۸۸/۴۴ روز) از تیمار میکوریزا موسهآ و تلقیح با باکتری به‌دست آمد که با تیمار تلقیح با قارچ *G. intraradices* همراه با تلقیح و بدون تلقیح با باکتری تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین تعداد روز تا شروع رسیدگی فیزیولوژیک اولین بذر (۷۸/۴۴ روز) از تیمار عدم تلقیح با

میکوریزا و عدم تلقیح با باکتری حاصل شد که با تیمار تلقیح با قارچ گونه *G. mosseae* همراه با عدم تلقیح با باکتری تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۶). ملکی‌نژاد و مجیدی (۲۰۱۵) گزارش نمودند که تنش خشکی تأثیر معنی‌داری روی صفت تعداد روز تا رسیدگی داشت به‌طوری‌که گلرنگ در شرایط تنش به‌طور متوسط ۳/۶ درصد کاهش نشان داد (۲۸).

جدول ٦- مقایسه میانگین برهمکنش میکوریزا و باکتری بر صفات فیزیولوژیک گیاه سویا

Table 6. Mean comparisons of interaction effects of mycorhiza and bacteria on physiological traits of soybean

تیمار Treatment	روز تا رسیدگی (روز) Days to maturity (day)	طول دوره رشد (روز) Growth period (day)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	شاخص برداشت روغن (درصد) Oil harvest index (%)	شاخص برداشت پروتئین (درصد) Protein harvest index (%)	عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار) Grain yield (kg ha^{-1})
M×B						
M1×B1	88.44	139.0	120.2	9.19	14.08	4432
M1×B2	82.11	136.2	110.6	7.71	12.22	3558
M2×B1	85.33	134.7	101.8	8.27	12.91	4078
M2×B2	86.44	140.1	86.55	7.96	12.34	3446
M3×B1	83.77	137.6	107.3	8.20	12.51	3787
M3×B2	78.44	131.0	85.55	7.82	12.09	3184
LSD5%	3.95	4.55	6.25	0.59	0.89	128

M_1= گلوموس موسه‌آ، M_2= گلوموس اینترادیسز، M_3= بدون تلقیح (شاهد)؛ B_1= تلقیح با باکتری، B_2= عدم تلقیح با باکتری.

M_1=*G. mosseae* M_2=*G. intraradices* M_3=Without mycorrhiza B_1=Inoculation with bacteria B_2= Without bacteria.

طول دوره رشد: با افزایش شدت تنش خشکی، طول دوره رشد کاهش معنی‌داری یافت؛ به‌طوری‌که بیشترین و کمترین طول دوره رشد (با ۱۴۴/۴ و ۱۲۱/۴ روز) به‌ترتیب از تیمار آبیاری مطلوب و تنش خشکی شدید به‌دست آمد (جدول ۴). تلقیح با قارچ میکوریزا و باکتری طول دوره رشد را به‌طور معنی‌داری افزایش داد، به‌طوری‌که بیشترین طول دوره رشد از تیمار *G. intraradices* و بدون تلقیح با باکتری و کمترین آن از تیمار شاهد به‌دست آمد (جدول ۴). یکی از روش‌های مقابله با تنش خشکی در گیاهان، فرار از تنش می‌باشد که گیاه سعی می‌کند دوره رشد و مراحل فنولوژیکی خود را سریع‌تر به پایان برساند (۴۸). بر همین اساس، تنش خشکی باعث کاهش طول دوره رویشی گردید. با کاهش طول دوره رشد و کاهش مراحل فنولوژیک، تعداد گره و طول میانگره در گیاه کاهش و به دنبال آن ارتفاع کاهش یافت. این نتایج با نتایج نواپ‌پور و همکاران (۲۰۱۷) هماهنگی داشت (۳۲). صادقی‌نژاد و همکاران (۲۰۱۴) در تحقیقی روی کلزا نشان دادند که تنش خشکی موجب کاهش طول دوره رشد و زودرسی گیاهان گردید (۳۶). کاهش روز تا رسیدگی بر اثر تنش کم‌آبی توسط شرستا و همکاران (۲۰۰۶) نیز گزارش شده است (۴۰).

ارتفاع بوته: با افزایش تنش خشکی حتی با حضور باکتری ارتفاع بوته کاهش معنی‌داری یافت. بیشترین ارتفاع بوته (۱۱۹/۳ سانتی‌متر) از اثر متقابل تنش خشکی ملایم و تلقیح با قارچ گونه *G. mosseae* به‌دست آمد. کمترین ارتفاع بوته (۸۳/۳ سانتی‌متر) نیز از تیمار اثر متقابل تنش خشکی شدید و بدون تلقیح با قارچ میکوریزا حاصل شد (جدول ۷). همچنین بر اساس جدول (۵)، بیشترین ارتفاع بوته (۱۲۰/۲ سانتی‌متر) از تلقیح قارچ میکوریزا نوع *G. mosseae* و تلقیح با باکتری به‌دست آمد. در بررسی تأثیر تنش خشکی بر هشت رقم سویا مشخص شد برهمکنش تنش خشکی و رقم بر صفات ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، عملکرد کوانتومی و عملکرد دانه

معنی‌دار و بر بقیه ویژگی‌های مورد بررسی معنی‌دار نشد. بیشترین عملکرد دانه از تیمار آبیاری کامل (شاهد) و رقم PE مشاهده گردید (۲۹). همان‌گونه که انتظار می‌رفت در این تحقیق در شرایط آبیاری مطلوب، گیاهان از رشد بیشتری برخوردار بودند و بیشترین ارتفاع را داشتند ولی با افزایش شدت تنش خشکی به دلیل تولید کمتر مواد فتوسنتزی، رشد و ارتفاع بوته کاهش یافت. همچنین تلقیح قارچ میکوریزا در تمامی شرایط تنش رطوبتی سبب افزایش ارتفاع بوته شد که با نتیجه بررسی سابرامانیان و همکاران (۲۰۰۶) مطابقت داشت (۴۲). احتمالاً کاربرد همزمان میکوریزا و باکتری در شرایط تنش خشکی شدید از طریق بهبود تعادل آب در بافت‌های گیاه و القای ساخت برخی هورمون‌های گیاهی مانند اکسین و جذب بهتر عناصر غذایی عامل افزایش ارتفاع بوته گیاه سویا باشد (۸).

جدول ۷- مقایسه میانگین برهم‌کنش آبیاری و میکوریزا بر ارتفاع بوته، درصد نیتروژن، عملکرد نیتروژن و عملکرد بیولوژیک سویا

Table 7. Mean comparisons of interaction effects of irrigation and mycorrhiza on plant height, nitrogen percent and yield of soybean

تیمار Treatment	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	درصد نیتروژن دانه (درصد) Nitrogen percent in grain (%)	جذب نیتروژن دانه (کیلوگرم بر هکتار) N uptake in grain ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم بر هکتار) Biological yield ($kg\ ha^{-1}$)
I×M				
I_1M_1	117.50	5.94	259.3	11567
I_1M_2	98.33	5.55	227.5	10428
I_1M_3	97.00	5.32	206.0	10009
I_2M_1	119.33	7.08	300.0	11303
I_2M_2	98.16	6.86	270.0	10868
I_2M_3	109.00	6.41	232.0	9246
I_3M_1	109.33	5.00	171.9	8442
I_3M_2	86.00	5.05	165.8	8487
I_3M_3	83.33	4.68	141.5	7424
$LSD_{5\%}$	7.65	0.22	9.4	671.3

I_1=آبیاری مطلوب، I_2= تنش ملایم خشکی، I_3= تنش شدید خشکی؛ M_1= گلوموس موسه‌آ، M_2= گلوموس اینترادیسز، M_3= بدون میکوریزا (شاهد)

I_1=Optimum irrigation I_2=Moderate stress I_3= Severe st. M_1=*G. mosseae* M_2=*G. intraradices* M_3=Without mycorrhiza

طول غلاف: با افزایش شدت تنش خشکی، طول غلاف کاهش معنی‌داری یافت به‌طوری‌که بیشترین (۴/۳۶ سانتی‌متر) و کمترین (۳/۹۹ سانتی‌متر) طول غلاف به‌ترتیب از تیمار آبیاری مطلوب و تنش خشکی شدید به‌دست آمد (جدول ۴). تلقیح با قارچ میکوریزا و همچنین تلقیح با باکتری طول غلاف را به‌طور معنی‌داری افزایش داد (جدول ۴). تنش خشکی از طریق کاهش طول دوره رشد باعث کاهش طول غلاف شد که با نتایج صفایی و همکاران (۲۰۰۹) مطابقت داشت، ایشان گزارش کردند شدت تنش کمبود آب (طولانی‌تر شدن دوره بدون آبیاری) در گیاه کلزا سبب کاهش طول غلاف می‌شود (۳۷). توگای و همکاران (۲۰۰۸) بیان داشتند که تلقیح بذور نخود با مزوریزوبیوم مناسب سبب افزایش تعداد و طول غلاف‌ها و تعداد دانه در غلاف نسبت به شاهد شد (۴۴). در یک بررسی نشان داده شد که بیشترین (۵/۷۶ سانتی‌متر) و کمترین (۱/۲ سانتی‌متر) طول غلاف به‌ترتیب از تیمار آبیاری مطلوب و تیمار قطع آبیاری در مرحله توسعه دانه به‌دست آمد (۳۵). مهربان و همکاران (۲۰۱۶) نیز گزارش کردند که بیشترین (۳/۷۵ سانتی‌متر) و کمترین (۳/۴۷ سانتی‌متر)

طول غلاف به‌ترتیب از تیمار آبیاری کامل و تنش خشکی به‌دست آمد (۲۹).

شاخص سطح برگ: حداکثر شاخص سطح برگ (۷/۱۱) از تیمار تلقیح با قارچ میکوریزا نوع *G. mosseae* و تلقیح با باکتری در شرایط آبیاری مطلوب به‌دست آمد که با شاخص سطح برگ در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی ملایم و تیمار تلقیح قارچ میکوریزا نوع *G. intraradices* و تلقیح با باکتری تفاوت معنی‌داری نداشت. حداقل شاخص سطح برگ (۰/۷۸) از تیمار بدون تلقیح با قارچ میکوریزا و بدون تلقیح با باکتری در شرایط تنش خشکی شدید حاصل گردید (جدول ۵). در هر سه شرایط مختلف آبیاری، تلقیح با قارچ میکوریزا و همچنین تلقیح با باکتری در مقایسه با عدم تلقیح با قارچ میکوریزا و باکتری باعث افزایش شاخص سطح برگ شد. استفاده از قارچ میکوریزا *G. mosseae* و *G. intraradices* در مقایسه با عدم تلقیح، شاخص سطح برگ را به‌ترتیب به میزان ۳۶ و ۳۹ درصد در شرایط آبیاری مطلوب، ۴۱ و ۴۰ درصد در شرایط تنش خشکی ملایم و ۵۲ و ۴۸ درصد در شرایط تنش خشکی شدید افزایش داد. در شرایط آبیاری مطلوب، تنش خشکی ملایم و شدید، تلقیح با باکتری در مقایسه با عدم تلقیح با باکتری، شاخص سطح برگ را به‌ترتیب به میزان ۵۰، ۵۴ و ۵۸ درصد افزایش داد. دلیل احتمالی افزایش شاخص سطح برگ با تلقیح میکوریزا در هر سه شرایط مختلف آبیاری، بهبود شرایط جذب آب و عناصر غذایی خاک توسط گیاه در اثر استفاده از میکوریزا و باکتری و تأثیر مثبت این کودهای زیستی بر افزایش رشد رویشی گیاه بوده و در نهایت باعث افزایش شاخص سطح برگ سویا رقم کوثر شده است. گزارش شده است که تنش آبی در مراحل رشد اولیه گیاه، باعث تحلیل رفتن برگ گیاه شد که همین امر باعث کاهش میزان فتوسنتز می‌گردد (۴۷).

پرولین: با افزایش شدت تنش خشکی و عدم تلقیح با باکتری و قارچ مقدار پرولین افزایش معنی‌داری پیدا کرد (جدول ۵). بیشترین مقدار پرولین با ۱۹۷/۲ میلی‌مول در کیلوگرم وزن خشک برگ از تیمار عدم تلقیح با قارچ و باکتری در شرایط تنش خشکی شدید به‌دست آمد که نسبت به تیمار تلقیح با قارچ *G. mosseae* و باکتری در شرایط تنش خشکی شدید با ۱۱۷/۶ میلی‌مول در کیلوگرم وزن خشک برگ حدود ۶۷/۶۹ درصد و نسبت به تیمار تلقیح با قارچ *G. mosseae* و باکتری در شرایط عدم تنش خشکی با ۶۱/۴۷ میلی‌مول در کیلوگرم وزن خشک برگ حدود ۲/۲۱ برابر بیشتر بود (جدول ۵). در هر سه شرایط مختلف آبیاری، تلقیح با قارچ میکوریزا و همچنین تلقیح با باکتری در مقایسه با عدم تلقیح با قارچ میکوریزا و باکتری باعث کاهش مقدار پرولین شد. قارچ‌های میکوریزا با تولید هیف‌های فراوان باعث افزایش سطح تماس ریشه‌ها با خاک می‌شوند که نتیجه آن افزایش جذب آب و عناصر غذایی موجود در خاک توسط ریشه‌ها در شرایط تنش خشکی شده و به‌این‌ترتیب میزان پرولین کاهش می‌یابد. عبدالمنعم و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند بیشترین (۷۲/۰۰ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) و کمترین (۳۷/۳۵ میلی‌گرم در گرم وزن‌تر برگ) میزان پرولین در شرایط تنش خشکی و آبیاری مطلوب حاصل شد (۲). تلقیح بذر با قارچ میکوریزا میزان پرولین را کاهش داد که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت. بتی یانا و همکاران (۲۰۱۵) و کامروا و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند تنش خشکی باعث افزایش میزان پرولین شد و بیشترین و کمترین میزان پرولین به‌ترتیب از تنش خشکی شدید و آبیاری

مطلوب به‌دست آمد که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت (۷ و ۲۲).

درصد نیتروژن: تلقیح با باکتری در مقایسه با عدم تلقیح، درصد نیتروژن را حدود ۸ درصد افزایش داد (جدول ۴). بررسی مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری و قارچ میکوریزا نشان داد که با افزایش تنش خشکی درصد نیتروژن افزایش معنی‌داری یافت ولی این افزایش تا میزان تنش خشکی ملایم ادامه داشت و افزایش تنش خشکی شدید درصد نیتروژن دانه را به‌طور معنی‌داری کاهش داد (جدول ۷). مجدم (۲۰۱۶) اظهار داشت بیشترین درصد نیتروژن (۷/۰۸ درصد) از اثر متقابل تنش خشکی ملایم و تلقیح قارچ گونه *G. mosseae* به‌دست آمد (۳۱). کمترین درصد نیتروژن (۴/۶۸ درصد) نیز از تیمار اثر متقابل تنش خشکی شدید و بدون تلقیح قارچ میکوریزا حاصل شد (جدول ۷). در هر سه شرایط مختلف آبیاری، تلقیح با قارچ میکوریزا، درصد نیتروژن را افزایش داد (جدول ۷). کشاورز و همکاران (۲۰۱۳) اظهار داشتند که تنش خشکی باعث افزایش معنی‌دار نیتروژن برگ گردید (۲۳). میزان زیاد نیتروژن در گیاهان در شرایط تنش خشکی به دلیل تجمع سریع اسیدهای آمینه آزاد می‌باشد که تبدیل به پروتئین نشده‌اند (۵).

جذب نیتروژن دانه: بیشترین جذب نیتروژن دانه (۳۰۰/۰ کیلوگرم بر هکتار) از اثر متقابل تنش خشکی ملایم و تلقیح با قارچ گونه *G. mosseae* به‌دست آمد. کمترین جذب نیتروژن دانه (۱۴۱/۵ کیلوگرم بر هکتار) نیز از تیمار اثر متقابل تنش خشکی شدید و بدون تلقیح با قارچ میکوریزا حاصل شد. در هر سه شرایط مختلف آبیاری، تلقیح با قارچ میکوریزا، جذب نیتروژن دانه را افزایش داد (جدول ۷). بر اساس جدول ۸، بیشترین جذب نیتروژن دانه (۳۰۳/۲ کیلوگرم بر هکتار) از تیمار تنش خشکی ملایم و تلقیح با باکتری به‌دست آمد. کمترین جذب نیتروژن دانه (۱۳۷/۸ کیلوگرم بر هکتار) هم از تیمار تنش خشکی شدید و بدون تلقیح با باکتری به‌دست آمد. در شرایط آبیاری مطلوب، تنش خشکی شدید و ملایم، تلقیح با باکتری، جذب نیتروژن دانه را به‌ترتیب ۲۲، ۲۴ و ۲۵ درصد افزایش داد. نتایج این تحقیق در رابطه با تأثیر تنش خشکی شدید بر کاهش جذب نیتروژن دانه با یافته‌های محققان دیگر مطابقت داشت (۱۲ و ۱۴).

جدول ۸- مقایسه میانگین برهمکنش آبیاری و باکتری بر عملکرد نیتروژن و دانه گیاه سویا

Table 8. Mean comparisons of interaction of irrigation and bacteria on nitrogen and grain yield of soybean

تیمار Treatment	جذب نیتروژن دانه (کیلوگرم بر هکتار) ($kg\ ha^{-1}$)	عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار) Grain yield ($kg\ ha^{-1}$)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم بر هکتار) Biological yield ($kg\ ha^{-1}$)
I×B			
$I_1 \times B_1$	259.2	4468	11842
$I_1 \times B_2$	202.7	3724	9493
$I_2 \times B_1$	303.2	4311	11392
$I_2 \times B_2$	232.5	3516	9553
$I_3 \times B_1$	181.7	3518	8743
$I_3 \times B_2$	137.8	2948	7492
$LSD_{5\%}$	9.4	128	548.1

I_1=آبیاری مطلوب، I_2= تنش ملایم خشکی، I_3= تنش شدید خشکی؛ B_1= تلقیح با باکتری، B_2= عدم تلقیح با باکتری،

I_1= Optimum irrigation, I_2= Moderate stress, I_3= Severe stress; B_1= Inoculation with bacteria, B_2= Non-inoculation with bacteria,

عملکرد دانه: در شرایط آبیاری مطلوب، تنش خشکی ملایم و شدید، تلقیح با باکتری در مقایسه با عدم تلقیح با باکتری، عملکرد دانه را به‌ترتیب ۱۷، ۱۹ و ۱۷ درصد افزایش داد (جدول ۸). همچنین بر اساس جدول ۵، بیشترین عملکرد دانه (۴۴۳۲/۳ کیلوگرم بر هکتار) از تیمار تلقیح قارچ میکوریزا نوع *G.*

mosseae و تلقیح با باکتری به‌دست آمد. کمترین عملکرد دانه (۳۱۸۴/۰ کیلوگرم بر هکتار) هم از تیمار بدون تلقیح قارچ میکوریزا و بدون تلقیح با باکتری به‌دست آمد (جدول ۵). تلقیح با قارچ *G. mosseae* و *G. intraradices* در مقایسه با عدم تلقیح میکوریزا، عملکرد دانه را به‌ترتیب ۱۳ و ۸ درصد افزایش داد (جدول ۵). در این تحقیق شرایط آبیاری مطلوب در مقایسه با شرایط تنش خشکی، سبب بهبود شاخص سطح برگ، طول غلاف، قطر ساقه و طول دوره رشد سویا گردید و مجموعه این عوامل سبب افزایش عملکرد دانه در شرایط آبیاری مطلوب شد. همچنین شرایط آبیاری مطلوب، سبب افزایش فتوسنتز و تولید مواد پرورده می‌شود و بر سرعت پر شدن دانه، وزن دانه و عملکرد نهایی تأثیر مثبت دارد. کاهش عملکرد دانه تحت تنش خشکی ناشی از کاهش اجزای عملکرد دانه است که با نتایج سایر محققان مطابقت داشت (۴ و ۳۵). قارچ‌های میکوریزا قادر هستند آثار نامطلوب تنش خشکی را در گیاهان کاهش دهند (۳۹). از مهم‌ترین اثرات مطلوب تلقیح میکوریزا می‌توان به تغییر سطح هورمون‌های گیاهی مثل اسید آبسیزیک و سیتوکینین، جذب مستقیم آب توسط هیف‌های قارچ در خاک و انتقال آن به گیاه میزبان، افزایش تولید و تجمع پرولین و سایر متابولیت‌ها به‌منظور تنظیم اسمزی در گیاهان مختلف (۲۵) اشاره کرد. سایر محققان نیز گزارش کردند بیشترین و کمترین عملکرد دانه سویا به‌ترتیب در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی شدید به‌دست آمد (۱۱ و ۳۰). در بررسی گیلانی و همکاران (۲۰۱۸) ترکیب قارچ و باکتری باعث افزایش عملکرد دانه برنج نسبت به تیمار شاهد (عدم تلقیح) شد (۱۵).

شاخص برداشت روغن: بیشترین شاخص برداشت روغن (۹/۱۹ درصد) از تیمار تلقیح قارچ میکوریزا گونه *G. mosseae* و تلقیح با باکتری به‌دست آمد. کمترین شاخص برداشت روغن (۷/۸۲ درصد) هم از تیمار بدون تلقیح قارچ میکوریزا و بدون تلقیح با باکتری به‌دست آمد (جدول ۵). هرچند عملکرد بیولوژیک سویا نیز تحت شرایط تلقیح با قارچ میکوریزا و باکتری افزایش یافته است، اما تلقیح با قارچ میکوریزا و باکتری در مقایسه با عدم تلقیح عملکرد روغن دانه را بیشتر از عملکرد بیولوژیک افزایش داده است و همین عامل نیز باعث افزایش شاخص برداشت روغن سویا شده است این نتیجه با نتیجه بررسی قلی‌نژاد (۲۰۱۷) مطابقت داشت (۱۳). در تلقیح قارچ میکوریزا نوع *G. intraradices* و عدم تلقیح قارچ میکوریزا با تلقیح و عدم تلقیح باکتری ازنظر شاخص برداشت روغن اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۵).

شاخص برداشت پروتئین: با افزایش تنش خشکی شاخص برداشت پروتئین افزایش معنی‌داری یافت ولی این افزایش تا میزان تنش خشکی ملایم ادامه داشت و افزایش تنش خشکی شدید شاخص برداشت پروتئین را به‌طور معنی‌داری کاهش داد (جدول ۶). بیشترین (۱۴/۵۳ درصد) و کمترین (۱۱/۱۹ درصد) شاخص برداشت پروتئین به‌ترتیب از تیمار تنش خشکی ملایم و تنش خشکی شدید به‌دست آمد (جدول ۶). علت افزایش شاخص برداشت پروتئین در شرایط تنش خشکی ملایم به دلیل تأثیر مثبت تنش خشکی بر افزایش عملکرد پروتئین دانه بوده است، درحالی‌که عملکرد بیولوژیک در شرایط تنش خشکی ملایم کاهش یافته است و مجموعه این عوامل سبب گردیده شاخص برداشت پروتئین افزایش یابد درحالی‌که در شرایط تنش خشکی شدید، به دلیل تأثیر منفی تنش خشکی شدید بر عملکرد پروتئین دانه و عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت پروتئین کاهش یافته است. در شرایط تلقیح میکوریزا و باکتری، بیشترین شاخص برداشت پروتئین (۱۴/۰۸

درصد) از اثر متقابل تلقیح میکوریزا گونه *G. mosseae* و تلقیح باکتری به‌دست آمد. کمترین میزان شاخص برداشت پروتئین (۱۲/۰۹ درصد) نیز از تیمار بدون تلقیح میکوریزا و بدون تلقیح باکتری حاصل گردید (جدول ۵). تلقیح با قارچ میکوریزا *G. mosseae* و *G. intraradices* در مقایسه با بدون میکوریزا شاخص برداشت پروتئین را به‌ترتیب به میزان ۷ و ۳ درصد افزایش داد (جدول ۵). حبیب‌زاده و همکاران (۲۰۱۲) اظهار داشتند که بیشترین شاخص برداشت پروتئین از تیمار آبیاری مطلوب و کمترین مقدار از تیمار تنش خشکی شدید حاصل شد و تلقیح با قارچ میکوریزا در مقایسه با عدم تلقیح باعث افزایش معنی‌دار شاخص برداشت پروتئین شد که نتایج با این تحقیق مطابقت داشت (۱۹).

عملکرد بیولوژیک: بر اساس جدول تجزیه واریانس (جدول ۳)، عملکرد بیولوژیک تحت تأثیر اثرات ساده آبیاری، میکوریزا، باکتری و اثرات متقابل دو گانه آبیاری × میکوریزا و آبیاری × باکتری قرار گرفت. بیشترین عملکرد بیولوژیک از تیمار آبیاری مطلوب و تلقیح با قارچ *G. mosseae* به‌دست آمد. کمترین عملکرد بیولوژیک نیز از تیمار تنش خشکی شدید و بدون تلقیح با قارچ میکوریزا حاصل شد (جدول ۷). در هر سه شرایط آبیاری، تلقیح با قارچ میکوریزا عملکرد بیولوژیک را افزایش داد. تخفیف تنش در تیمارهای تلقیح با *G. mosseae* بیش از *G. intraradices* بود. تلقیح با میکوریزا با افزایش پتانسیل آب برگ شرایط بهتری را برای رشد فراهم می‌کند که حاصل آن جذب بیشتر نیتروژن، افزایش ارتفاع گیاه و افزایش عملکرد دانه و درنتیجه افزایش وزن خشک (عملکرد بیولوژیک) است. اورتاس و همکاران (۲۰۱۱) معتقدند که پتانسیل آب برگ و هدایت روزنه‌ای در گیاهان همزیست با قارچ‌های میکوریزا بالاتر بوده و این گیاهان دارای مواد فتوسنتزی بیشتری نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی می‌باشند. همچنین، هدایت هیدرولیکی ریشه افزایش و تماس با ذرات خاک از طریق اتصال هیف قارچ که قادر به استخراج آب از منافذ ریز می‌باشد، بهبود می‌یابد و به‌این‌ترتیب گیاهان رشد بیشتری می‌کنند (۳۳).

تلقیح با باکتری در هر سه شرایط آبیاری عملکرد بیولوژیک را افزایش داد؛ به‌طوری‌که بیشترین عملکرد بیولوژیک از تیمار آبیاری مطلوب و تلقیح با باکتری و کمترین آن از تیمار تنش خشکی شدید و بدون تلقیح به‌دست آمد (جدول ۸). در شرایط آبیاری مطلوب، تنش خشکی ملایم و شدید تلقیح با باکتری عملکرد بیولوژیک را نسبت به عدم تلقیح به‌ترتیب ۲۴/۷۴، ۱۹/۲۵ و ۱۶/۷ درصد افزایش داد. تلقیح با باکتری با افزایش جذب نیتروژن توسط گیاه شرایط را برای افزایش فتوسنتز و رشد بیشتر و درنتیجه افزایش عملکرد فراهم کرد و به‌این‌ترتیب باعث افزایش عملکرد بیولوژیک شد. در بررسی فرنیا و مدنی (۲۰۱۰) کاهش رطوبت مورد نیاز سویا در خاک، تولید ماده خشک به‌دلیل کاهش نیتروژن موجود در گیاه و کاهش تولید مواد فتوسنتزی کاهش داد (۱۲).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که تنش خشکی شدید صفات فنولوژیک مانند روز تا گلدهی، روز تا رسیدگی و طول دوره رشد، صفات مورفولوژیک مانند ارتفاع بوته، قطر ساقه و طول غلاف، صفات فیزیولوژیک مانند شاخص سطح برگ و پرولین، درصد نیتروژن دانه، کلونیزاسیون ریشه، جذب نیتروژن دانه و شاخص برداشت روغن و پروتئین و درنهایت عملکرد دانه سویا را به‌طور معنی‌داری کاهش داد. در تمام تیمارهای رطوبتی، تلقیح با قارچ میکوریزا و باکتری ریزوبیومی توانست

اثرات نـامطلوب تـنش خشـکی را بـه دلیـل افـزایش دسترسی به آب و عناصر غذایی کاهش داده و باعـث بهبود عملکـرد دانـه و صـفات مطالعـه شـده در ایـن تحقیق شدند. لذا در راستای نیل به کشاورزی پایدار و کاهش اثرات سمی کودهای شیمیایی می‌توان اثر تنش خشکی را تـا حـدودی بـا تلقـیح بـذر بـا میکـوریزا به‌خصوص گونـه *G. mosseae* و بـاکتری مخصـوص سویا *R. japonicum* تعدیل نمود.

منابع

1. Aliasgharzadeh, N. 1997. Soil microbiology and biochemistry. University of Tabriz Press, 212p (In Persian).
2. Abdelmoneim, T.S., Tarek Moussa, A.A., Almaghrabi, O.A., Hassan, S. Alzahrani, and Abdelbagi, I. 2014. Increasing plant tolerance to drought stress by inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi. Life Sci. J., 11(1): 10-17.
3. Alqarawi, A.A., Abd Allah, E.F., and Abeer, H. 2014. Alleviation of salt-induced adverse impact via mycorrhizal fungi in *Ephedra aphylla* Forssk. J. Plant Interact., 9(1): 802-810.
4. Aminifar, J., Biglouei, M.H., Mohsenabadi, Gh.R., and Samiezadeh, H. 2012. Effect of deficit irrigation on quantitative and qualitative yield of soybean cultivars in Rasht region. Electron. J. Crop Prod., 5(2): 93-109. (In Persian)
5. Argenta, G., Da Silva, P.R.F., and Sangoi, L. 2004. Leaf relative chlorophyll content as an indicator parameter to predict nitrogen fertilization in maize. Crop Sci., 34: 1379-1387.
6. Bates, L.S., Waldern, R.P., and Teave, I.D. 1973. Rapid determination of free praline for water stress standees. Plant Soil., 39: 107-205.
7. Betiana C.G., Urcelay, C., María, A.S., Silvina, V.G., and Celina, M.L. 2015. The role of inoculum identity in drought stress mitigation by arbuscular mycorrhizal fungi in soybean. Biol. Fertil. Soils., 51: 1-10.
8. Dakora. F.D. 2003. Defining new roles for plant and rhizobial molecules in sole and mixed plant cultures involving symbiotic legumes. New Phytol., 157: 39-49.
9. Fanaee, H.R., Naroyee Rad, M.R., and Ghasemi, M. 2014. Evaluation of seed yield, yield components and tolerance to drought stress of spring canola genotypes. Seed and Plant Improv. J. 30(2): 269-287. (In Persian)
10. FAO Stat. 2016. www.FAO.Org/faostat
11. Farhoudi, R., Modhej, A., and Khoshnaz, P. 2016. Effect of drought stress at the end of the season on photosynthesis, grain yield and seed vigor of five soybean cultivars. J. Physiol. Crops, 6(24): 41-55. (In Persian)
12. Farnia, A., and Madani, H. 2010. Effect of drought stress and different breeds of Japanese *Rhizobium japonicum* bacteria on quantitative and qualitative characteristics of soybean cultivar Clarke. J. Agric. New Findings., 4(4): 391-404. (In Persian)
13. Gholinezhad, E. 2017. Using the productivity effort, quantity and quality yield to identify sesame tolerant landraces to drought in symbiosis with mycorrhizal. Electron. J. Crop Prod., 10(1): 75-94. (In Persian).
14. Gholinezhad, E., Ayneband, A., Hassanzadeh Ghorthapeh, A., Noormohammadi, G., and Bernousi, I. 2012. Effect of drought stress, nitrogen amounts and plant density on grain yield, rapidity period of grain filing in sunflower. J. Agric. Sci. Sustain. Prod., 22(1): 129-143. (In Persian)
15. Gilani, Z., Bakhshandeh, E., and Pirdashti. H. 2018. Effect of plant growth promoting micro-organisms on some vegetative characteristics and grain yield of rice (*Oryza sativa* L.) under different levels of potassium fertilizer. Electron. J. Crop Prod., 11(2): 197-214.
16. Giovannetti, M., and Mosse, B. 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular

mycorrhizal infection in roots. New Phytol., 84: 489–500.
17. Habibi, S., Meskarbashee, M., and Farzaneh, M. 2015. Effect of mycorrhizal fungus (*Glomus spp*) on wheat (*Triticum aestivum*) yield and yield components with regard to irrigation water quality. Iranian J. Field Crops Res., 13(3): 471-484. (In Persian)
18. Habibzadeh, Y., Jalilian, J., Zardashti, M.R., Pirzad, A., and Eini, O. 2015. Some morpho-physiological characteristics of mung bean mycorrhizal plant under different irrigation regimes in field condition. J. Plant Nutr., 38(11): 1754-1767.
19. Habibzadeh, Y., Pirzad, A., Zardashtai, M.R., Jalilian, J., and Eini, O. 2012. Effects of Arbuscular Mycorrhizal fungi on seed and protein yield under water–deficit stress in mung bean. Agron. J., 105: 79-84.
20. Hadi, H., Asgharzadeh, A., Daneshian, J., and Hamidi, A. 2010. Effect of soybean inoculants and aztobacter on soybean plants produced under drought stress conditions. J. Water Soil., 24(2): 165-177. (In Persian)
21. Jaleel, C.A., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Al-Juburi, H.J., Somasundaram, R., and Panneersel Vam, R. 2009. Drought stress in plants: A review on morphological characteristics and pigments composition. Int. J. Agric. Biol., 11(1): 100-105.
22. Kamrava, S., Babaeian Jolodar, N., and Bagheri, N. 2017. Evaluation of drought stress on chlorophyll and proline traits in soybean genotypes. J. Crop Breed., 9(23): 95-104. (In Persian).
23. Keshavarz, L., Farahbakhsh, H., and Gholkar, P. 2013. Effect of hydrogel and irrigation regimes on chlorophyll, nitrogen and some growth factors and forage yield of millet. J. Crop Pro. Pro., 3(9): 147-160. (In Persian)
24. Khajepour, M. 2012. Production of Industrial Plants. Isfahan University of Technology Press, 106p. (In Persian)
25. Khalafallah, A.A., and Abo-Ghalia, H.H. 2008. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on the metabolic products and activity of antioxidant system in wheat plants subjected to short-term water stress, followed by recovery at different growth stages. J. Appl. Sci. Res., 4: 559-569.
26. Kunert, K.J., Vorster, B.J., Fenta, B.A., Kibido, T., Dionisio, G., and Foyer, C.H. 2016. Drought stress responses in soybean roots and nodules. Front Plant Sci., 7(1015): 1-7.
27. Le, D.T., Nishiyama, R., Watanabe, Y., Tanaka, M., Seki, M., Yamaguchi-Shinozaki, K., Shi-Nozaki, K., and Tran, L.S.P. 2012. Differential gene expression in soybean leaf tissues at late developmental stages under drought stress revealed by genome-wide transcriptome analysis. PLoS One., 7(11): e49522.
28. Maleki Nejad, R., and Majidi, M.M. 2015. Evaluation of Iranian and foreign safflower germplasms under normal and drought stress conditions. J. Crop Breed., 7(15): 1-13. (In Persian)
29. Mehraban, A., Azizian Sharmeh, O., and Kamali Deljoo, A. 2016. Investigation of stress on yield and quality of eight soybean cultivars in Sistan region. J. Plant Environ. Physiol., 11(43): 99-90. (In Persian)
30. Mimi, A., Mannan, M.A., Khaliq, Q.A., and Baset Mia, M.A. 2016. Yield response of soybean (*Glycine max* L.) genotypes to water deficit stress. Bangladesh Agron. J., 19(2): 51-60
31. Mojaddam, M. 2016. The effect of drought stress on physiological traits and seed yield of sunflower in different levels of nitrogen. Electron. J.Crop Prod., 9(4): 121-136. (In Persian)
32. Navabpour, S., Hezarjaribi, E., and Mazandarani, A. 2017. Evaluation of drought stress effects on important agronomic traits, protein and oil content of soybean genotypes. Environ. Stresses Crop Sci., 10(4): 491-503. (In Persian)
33. Ortas, I., Sari, N., Akpinar, C., and Yetisir, H. 2011. Screening mycorrhiza species for plant growth, P and Zn uptake in pepper seedling grown under greenhouse conditions. Scientia Hortic., 128(2): 92-98.
34. Rezaizadeh, A., Mohammadi, V., Zali, A.A., Zinali, A., and Mardi, M. 2011. Study of main agronomy traits and relations between these traits under

normal irrigation and drought stress conditions in double haploid canola. Iran. J. Field Crop Sci., 42: 683-694.
35. Rostami Ajirloo, A., Asgharipour, M. R., Ghanbari, A., Joudi, M., and Khorami Vafa, M. 2016. The reaction of yield, yield components, morphological and quality traits of soybean varieties to cutting irrigation in different growth stages. J. App. Res. Plant Ecophysiol., 3(1): 1-16. (In Persian)
36. Sadeghinejad, A.A., Modarres-Sanavy, S.A.M., Tabatabaei, S.A., and Modares Vaneghi, S.M. 2014. Effect of water deficit stress at various growth stages on yield, yield components and water use efficiency of five rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. J. Water Soil Sci., 24(2): 53-64. (In Persian)
37. Safaei, R., Shirani Rad, A.H., Mirhadi, M.J., and Delkhosh, B. 2009. Zeolite effects on agronomic traits of two oilseed rape cultivars under drought stress. Plant Ecosystem J., 15: 63-79. (In Persian).
38. Sanchez-Blanco, J., Fernandez, T., Morales, M.A., Morte, A., and Alarcon, J.J. 2006. Variation in water stress, gas exchange, and growth in *Rosmarinus officinalis* plants infected with *Glomus deserticola* under drought conditions. J. Plant Physiol., 161(6): 675-682.
39. Seyed Sharifi, R., and Seyed Sharifi, R. 2017. The effect of mycorrhiza and foliar nano (Fe and Zn) oxide spraying on yield, oil percentage and some biochemical traits of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under water limitation condition. Crops Improv., 19(3): 733-749. (In Persian).
40. Shrestha, R., Turner, N.C., Siddique, K.H., Turner, D.W., and Speijers, J. 2006. A water deficit during pod development in lentils reduces flower and pod number but not pod size. Aust. J. Agric. Res., 57(4): 427-438.
41. Smith, S.E., and Read, D.J. 2008. Mycorrhizal Symbiosis (3rd.ed.). Academic Press, London.
42. Subramanian, K.S., Santhanakrishnan, P., and Balasubramanian, P. 2006. Responses of field grown tomato plants Arbuscular Mycorrhizal Fungal Arbuscular Mycorrhizal Fung colonization under varying intensities of drought stress. Sci. Hort., 107: 245-253.
43. Tadayyon , A., and Soltanian, S. 2016. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on root colonization and phosphorus uptake of linseed (*Linum ussitatissimum* L.) under drought stress conditions. J. Plant Proc. Function., 5(15): 147-156. (In Persian)
44. Togay, N., Togay, Y., Cimrin, K.M., and Turan, M. 2008. Effect of rhizobium inoculation, sulfur and phosphorous application on yield, yield components and nutrients uptake in chickpea (*Cicer arientinum* L.). Afr. J. Biotechnol., 7(6): 776-782.
45. Toosi Kahl, P., Esfahani, M., Rabiee, B., and Rabiee, M. 2012. Changing growth and oil harvest indices of canola at different concentrations and different times, nitrogen fertilizer foliar application. J. Crop Pro., 2(6): 179-189. (In Persian)
46. Tousi, P., Tajbaksh, M., Esfahani, M., and Rabiee, M. 2014. Effect of organic growth stimulators and magnetic water oil harvest index and protein yield of soybean at different harvesting times. J. Crop. Pro., 4(12): 13-24. (In Persian)
47. Westgate, M.E., Otegui, M.E., and Andrade, F.H. 2004. Physiology of the corn plant. In: Smith, W. C., Betrán, J. and Runge, E. Eds. Corn: origin, history, technology and production. John Wiley and Sons. P: 235-271.
48. Yazdansepas, A. 2013. Breeding for tolerance to Abiotic Stresses. Seed and Plant Improvement Institute Press. 365p. (Translated in Persian)