تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد پانزدهم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۱

http://dx.doi.org/10.22077/escs.2021.3757.1912

مقاله پژوهشی

برهم‌کنش همزیستی میکوریزایی و محلول‌پاشی آهن و روی بر برخی ویژگی‌های کمی و کیفی ماش تحت رژیم‌های مختلف آبیاری

ماجده عباسی[۱]، عباس ملکی[۲*]، محمد میرزایی حیدری[۲]، محمود رستمی‌نیا[۳]

۱. دانشجوی دکترای زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ایلام
۲. استادیار گروه زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی، ایلام
۳. استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
کلات
تلقیح
تنش خشکی
نانو روی

تاریخ دریافت:
۱۳۹۹/۰۷/۱۲

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۰/۰۱/۲۴

تاریخ انتشار:
تابستان ۱۴۰۱
۱۵(۲): ۴۰۷-۴۲۶

چکیده

گیاه زراعی ماش بشدت از تنش خشکی آسیب می‌بیند، دراین‌بین ریزمغذی‌ها مانند نانو کودهای آهن و روی می‌تواند اثر سوء تنش خشکی را کاهش دهد. لذا این بررسی با هدف مطالعه تأثیر همزیستی میکوریزا و نانو کودهای آهن و روی بر عملکرد کمی و کیفی و جذب عناصر ماش تحت رژیم‌های مختلف آبیاری انجام شد. این آزمایش در سال ۱۳۹۶ در دو منطقه مهران و ملکشاهی اجرا گردید. آزمایش به‌صورت اسپلیت- فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی شامل رژیم‌های آبیاری در سه سطح بدون تنش، تنش متوسط و تنش شدید کم‌آبی که به ترتیب در سطوح مذکور آبیاری پس از ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر انجام شد. عامل فرعی شامل کودهای نانو در چهار سطح (بدون کود، نانو کلات روی، نانو کلات آهن و کاربرد توأم نانو کلات روی و آهن) با کاربرد قارچ میکوریز آربوسکولار در دو سطح (شاهد و تلقیح با قارچ) که به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار گرفت. تجزیه آماری با نرم‌افزار SAS بررسی شد. اثر دوگانه (آبیاری× میکوریز) و اثر متقابل سه‌گانه بر عملکرد دانه معنی‌دار گردید. عملکرد دانه ماش در گیاهان منطقه ملکشاهی بیشتر از گیاهان منطقه مهران بود. کاربرد نانوکودهای آهن و روی باعث افزایش عملکرد دانه ماش در هر دو منطقه مهران و ملکشاهی گردید. بیشترین عملکرد دانه در تیمار تنش کم‌آبی متوسط و مصرف توأم نانو کود آهن و روی در منطقه ملکشاهی به مقدار ۱۱۸۴ کیلوگرم در هکتار حاصل شد. درمجموع تنش خشکی منجر به کاهش عملکرد و اجزاء عملکرد ماش شد اما مصرف نانوکودها آهن و روی و قارچ میکوریزا چه به‌صورت جداگانه و چه به شکل توأم منجر به بهبود عملکرد و اجزاء عملکرد دانه گردید.

مقدمه

امروزه با افزایش تولید کشاورزی به جهت رفع نیازمندی‌های رو به رشد جمعیت در حال گسترش، نگرانی در مورد آینده تأمین غذا برای مردم مطرح گردیده است (Skowrońska and Filipek, 2014). ماش گیاهی است گرمسیری با نام علمی *Vigna radiate* L. متعلق به تیره حبوبات که معمولاً در دمای بالاتر از ۱۶ درجه سلسیوس رشد می‌کند و در دمای کمتر از ۱- درجه سلسیوس از بین می‌رود. ماش یکی از مهم‌ترین حبوبات است که به‌طور گسترده در آسیا کشت می‌شود (Chandrasiri et al., 2016). امنیت غذای جهانی با چالش‌های رشد جمعیت و کمبود منابع آب در دهه‌های آینده مواجه است (Hamidy et al., 2016). بررسی‌ها نشان داده است که تنش کمبود آب در این گیاه ابتدا بر تعداد غلاف در بوته و سپس اندازه‌ی دانه و درنهایت تعداد دانه در نیام را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Habibzadeh et al., 2013).

کمبود عناصر غذایی یکی از علل محدودیت رشد گیاه در شرایط تنش خشکی است (Karami-Chame et al., 2016). وسعت قابل‌توجهی از زمین‌های زراعی کشور ایران به سبب آهکی بودن با کمبود عناصر غذایی مانند روی (Zn) و

* نگارنده پاسخگو: عباس ملکی. پست الکترونیک: maleki97@yahoo.com

آهن (Fe) مواجه است (Bahamin et al., 2019). آهن یکی از عناصر مهم و ضروری برای رشد و نمو گیاهان است. آهن در بسیاری از رهیافت‌های زیستی، فیزیولوژیکی و شیمیایی بوته مثل کلروفیل سازی، ایجاد فتوسنتز، عمل تنفس و فعالیت‌های آنزیمی حضور دارد (Ronaghi et al., 2002). کمبود روی نیز موجب عدم توازن عناصر تغذیه¬ای در گیاه می‌گردد، همچنین موجب کاهش کارایی مصرف آب و سپس کاهش تولید کیفیت و کمیت گیاه می‌شود. همچنین ثابت شده است که تأمین عنصر غذایی روی به‌خصوص در وضعیت تنش کم‌آبی، نقشی اساسی در حفاظت از گیاهان در این شرایط ایفا می‌کند (Cakmak, 2009).

مسائل محیط‌زیستی با دلایلی همچون مصرف بیش‌ازحد کودهای شیمیایی اعم از کودهای ماکرو (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) و ریزمغذی (آهن و روی) به مقدار کمتر از یک‌سو، هزینه‌های تولید این کودها از سوی دیگر و همچنین مشکل فراهم‌سازی نیازهای تغذیه‌ای کمی و کیفی کافی برای بشر، مطالعه درزمینه‌ی به‌کارگیری روش‌هایی که باعث کاهش مصرف کودهای شیمیایی شود را ضروری نموده است (Jahanaray et al., 2013). افزایش بهره‌برداری از عناصر ریزمغذی آهن و روی توسط فن‌آوری جدید نانو، مانند استفاده از نانو کودها و نیز بهره‌گیری از برخی میکروارگانیسم‌های خاک‌زی امکان‌پذیر شده است (Jahanaray et al., 2013). کودهای شیمیایی به‌طورمعمول از طریق محلول‌پاشی یا به‌صورت خاک کاربرد مورداستفاده قرار می‌گیرند. در این میان، به دلیل وقوع معضلاتی مانند آبشویی، رواناب و تبخیر، تنها بخش اندکی از عناصر مؤثره کود به نقطه هدف می‌رسد که بسیار کمتر از حداقل غلظت مؤثر موردنیاز گیاه است. ازاین‌رو، به‌منظور اعمال کنترل مؤثر بر وضعیت تغذیه‌ای گیاه به کاربرد مکرر کودهای شیمیایی؛ نیاز است با به‌کارگیری فناوری‌های نوین اقدام به طراحی و ساخت کودهایی کرد که از ویژگی‌هایی مانند رهاسازی کنترل‌شده عناصر در پاسخ به محرک‌های ویژه، فعالیت هدف‌گیری ارتقاءیافته، سمیت زیست‌محیطی کمتر و رسانش آسان و ایمن عناصر برخوردار باشند و بدین طریق مانع از کاربرد مکرر کودهای شیمیایی شد. فناوری نانو، به‌عنوان یک فناوری نوظهور، نقش مهمی در بهینه‌سازی تکنیک‌های مدیریتی کشاورزی مرسوم بر عهده دارد. به‌واسطه کاربرد فناوری نانو در طراحی و توسعه کلات‌ها و نانوسیستم‌های رسانش عناصر غذایی به ریشه‌های گیاهان، می‌توان از طریق افزایش کارایی مصرف کودهای شیمیایی به دستاوردهای شگرفی مانند افزایش عملکرد محصول، کاهش هزینه‌های تولید و حفاظت از محیط‌زیست نائل آمد (Naderi and Abidi, 2012). استفاده از کودهای با قابلیت رهاسازی کنترل‌شده‌ی عناصر مانند نانوکودها؛ سبب افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی کود، کاهش سمیت خاک، به حداقل رسیدن اثرات منفی بالقوه وابسته به مصرف بیش‌ازحد کودهای محلول و کاهش تعداد دفعات کاربرد کود خواهد شد. به‌علاوه، ممکن است استفاده از این نوع کودها به سبب بهبود تهویه و شکنندگی خاک و جلوگیری از فرسایش، موجب ارتقای شرایط خاک جهت کشت محصول نیز شود (Jahanaray et al., 2013). پیوندی و همکاران (Peyvandi et al., 2011) گزارش کردند که در اثر کاربرد نانو اکسید آهن میزان عملکرد دانه سویا به‌طور معنی‌داری افزایش داشت. رافیکیو همکاران (Rafique et al., 2015) در نخود و ساها و همکاران (Saha et al., 2015) در گندم نیز گزارش کردند که محلول‌پاشی با روی موجب بهبود عملکرد گیاهان مذکور گردید.

همزیستی میکوریزایی، روشی برای کاهش اثر مضر تنش-های محیطی از جمله تنش خشکی است. افزایش رشد و کیفیت محصول ازلحاظ میزان پروتئین توسط کاربرد قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در مطالعات بسیاری مشاهده شده است (Heidari and Karami, 2014). قارچ‌های میکوریز آربوسکولار با تأمین عناصر غذایی برای گیاه به-خصوص فسفر، افزایش هدایت روزنه‌ای و تعرق، اثرات هورمونی و تعادل هورمونی، افزایش جذب آب و رساندن سریع پتانسیل گیاه به حد تعادل، جذب بیشتر آب به‌واسطه هیف‌ها درنهایت تحمل به تنش‌های زیستی و غیر زیستی را برای گیاه فراهم می‌کنند (Asrar et al., 2012). اسرار و الهدینی (Asrar and Elhindi, 2011) بیان داشتند که گیاهان میکوریزایی به ازای تولید هر واحد ماده خشک، آب کمتری مصرف می‌کنند. به‌عبارت‌دیگر، کارایی مصرف آب بالاتری دارند. تأکید این محققین بر این است که کارایی مصرف آب در گیاهان میکوریزایی در شرایط تنش خشکی محسوس‌تر است. دیالو و همکاران (Diallo et al., 2011) نشان داد که میکوریزایی تلقیح شده، مقدار روی و فسفر را در گیاهان تلقیح افزایش می‌دهد. نتایج محققین بر روی گیاه نخود نشان داد محتوای فسفر گیاه و دانه در گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا بیشتر از گیاهان شاهد بود. اسرار و همکاران (Asrar

et al., 2011) بیان کردند که تلقیح میکوریز آربوسکولار همراه با ریزوبیوم یا به‌تنهایی منجر به افزایش عملکرد دانه، گسترش ریشه و مقدار فسفر دانه و ساقه شد. در تحقیق حبیب‌زاده و همکاران (Habibzadeh et al., 2013) با استفاده از گونه‌های *G. intraradices* و *G. mosseae* بیشترین میزان فسفر برگ در گیاهان ماش به ترتیب ۲۶۰/۲ و ۲۵۸/۳ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک برگ بود.

تغذیه مطلوب گیاهی به‌ویژه تأمین عنصر ریزمغذی می‌تواند به‌عنوان روشی مؤثر در تواناسازی گیاهان در برابر تنش خشکی به شمار آید (Efeoğlu et al., 2010). محلول‌پاشی روی به‌صورت نانو ذرات نسبت به اکسید معمولی تأثیر بیشتری بر کاهش اثرات تنش خشکی در گیاه ماش نشان داد (Habibzadeh et al., 2013). اسماعیل‌پور و همکاران (Esmaeilpour et al., 2013) اعلام کردند که قارچ میکوریزا باعث افزایش مقدار کلروفیل در شرایط تنش خشکی شد. همزیستی میکوریزایی با دو گونه گلوموس موسه و گلوموس اینترداریس در ماش خسارت تنش خشکی را از طریق افزایش تعداد غلاف و دانه در بوته، طول غلاف و همچنین شاخص برداشت جبران کرد (Habibzadeh et al., 2013). کیائو و همکاران (Qiao et al., 2013) در پژوهشی اثر قارچ میکوریز آربوسکولار بر مقاومت به خشکی گیاه نخود را در شرایط کمبود رطوبت خاک بررسی نموده و دریافتند که همزیستی میکوریزی به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای باعث توسعه سیستم ریشه‌ای، ارتفاع گیاه، محتوای کلروفیل برگ‌ها، شدت فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای گردید، درحالی‌که میزان پرولین و قندهای محلول پس از ۳۰ روز تنش خشکی در گیاهان میکوریزی کم‌تر بود.

از آن‌جاکه تأمین عناصر ریزمغذی خاک مانند روی و آهن و نیز قارچ مایکوریزا که علاوه بر تأمین عناصر غذایی برای گیاه؛ در کاهش اثر مضر تنش خشکی نیز تأثیر دارند، این تحقیق جهت تعیین تأثیر همزیستی میکوریز و کودهای کلات آهن و روی بر عملکرد کمی و کیفی و جذب عناصر ماش تحت تنش خشکی ناشی از سطوح آبیاری انجام شد.

مواد و روش‌ها

زمان و موقعیت اجرای آزمایش

این آزمایش در دو مکان ملکشاهی و مهران در تاریخ هشتم و دهم تیرماه سال ۱۳۹۶ در استان ایلام اجرا گردید. مزرعه اول واقع در ۵ کیلومتری شهرستان مهران (عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۱ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۱ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۶۹۰ متر از سطح دریا) و مزرعه دوم واقع در ۶ کیلومتری شهرستان ملکشاهی (عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۱ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۱ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۶۹۰ متر از سطح دریا) قرار داشت. شهرستان مهران ازنظر اقلیمی بر اساس اقلیم نمای دومارتن جزء مناطق نیمه‌خشک و گرم، با میانگین بارندگی سالیانه ۲۴۰ میلی‌متر است. شهرستان ملکشاهی نیز دارای آب‌وهوای گرم و خشک سرد و با میانگین بارندگی ۳۰۰ میلی‌متر است.

خصوصیات خاک محل اجرای آزمایش

بافت خاک محل آزمایش در مزرعه مهران و ملکشاهی به ترتیب لومی (۱۷ درصد رس، ۴۱ درصد شن، ۴۲ درصد سیلت) و لومی‌رسی (۳۵ درصد رس، ۳۰ درصد شن، ۳۵ درصد سیلت) بود. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک آزمایش با روش ارائه‌شده توسط وریکن و همکاران (Vereecken et al., 2010) در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک)

Table 1. Physical and chemical properties of used soil (0-30 cm soil depth)

منطقه Area	بافت خاک Siol texture	هدایت الکتریکی EC	اسیدیته pH	کربن آلی OC	فسفر قابل‌جذب P available	پتاسیم قابل‌جذب K available	نیتروژن N	آهن Fe	روی Zn
		dSm^{-1}		%	------- $mg.kg^{-1}$ -------		%	------- $mg.kg^{-1}$ -------	
مهران Mehran	لومی Loam	0.38	7.51	1.16	10	380	0.06	1.7	3.7
ملکشاهی Malekshahi	لومی رسی Clay loam	0.87	7.02	1.17	12	280	0.08	1.9	4

مشخصات طرح آزمایشی و تیمارها

آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده۳ عاملی در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی رژیم آبیاری در ۳ سطح ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر (Babaei et al., 2017) و عامل فرعی عناصر غذایی روی و آهن در چهار سطح شاهد، کلات روی، کلات آهن و کاربرد توأم کلات روی و آهن و عامل فرعی‌فرعی کاربرد مایه تلقیح قارچ میکوریز آربوسکولار در دو سطح (شاهد و تلقیح با قارچ) که به‌صورت فاکتوریل اجرا شد.

تهیه قارچ میکوریزا

مایه تلقیح قارچ میکوریزا (*Glomus mosseae* و *Glomus intraradices*) به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار (Qiao et al., 2011) و به‌صورت جاگذاری در زیر و کنار بذور در زمان کاشت مورداستفاده قرار گرفت. قارچ میکوریزا می‌تواند تا دمای ۵۰ درجه خاک فعالیت کند. مایه تلقیح قارچ میکوریزا در این تحقیق با توجه به گونه‌های قارچ داخل آن در هر گرم آن، ۱۰۰ اسپور قارچ (Qiao et al., 2011) وجود دارد.

کودهای کلات

کودهای کلات آهن (Nano $[Fe_3O_4(EDTA)]$) و روی (Nano [ZnO(EDTA)]) به ترتیب شامل ۹ درصد یون آزادشده آهن و ۱۲ درصد یون آزادشده روی به همراه ازت، کلسیم، مس، منگنز، منیزیم و پتاسیم است. علاوه بر این دارای ترکیباتی برای ثبات نانو کود برای اثرگذاری بر گیاه است (Fatahi siahkamari et al., 2020). محلول‌پاشی کودهای کلات آهن و روی در دو مرحله (ساقه رفتن و شروع گلدهی) قبل از طلوع آفتاب، به ترتیب با غلظت‌های ۲ در هزار و ۲/۵ در هزار انجام گردید.

عملیات زراعی

به‌منظور آماده‌سازی بستر بذر در بهار ۱۳۹۶ زمین موردنظر توسط گاوآهن برگردان‌دار شخم زده شد. پس از خرد کردن کلوخه‌ها توسط دیسک، ردیف‌های کاشت توسط فارور مشخص شدند. هر کرت فرعی شامل شش ردیف کاشت به فاصله ۵۰ سانتی‌متر بود. کودهای موردنیاز بر اساس نتایج آزمایش خاک و توصیه کودی، به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در هر دو مکان به خاک اضافه شد. در مزرعه ملکشاهی با توجه به نتایج آزمایش خاک ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم استفاده گردید. عملیات کاشت ماش در دو مکان ملکشاهی و مهران در تاریخ هشتم و دهم تیرماه سال ۱۳۹۶ انجام گرفت. بدین‌صورت که بذور ماش با فاصله ۷ سانتی‌متر روی پشته‌ها کاشته شده تا تراکم ۳۳۰۰۰ بوته در هکتار حاصل شود.

آبیاری به‌صورت جوی و پشته‌ای (نشتی) انجام شد. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت بذور، انجام گرفت. گیاهان تا مرحله سه برگی به‌طور منظم و یکنواخت آبیاری شدند. بعدازاین مرحله اعمال تیمارهای آبیاری بر اساس تبخیر تجمعی از تشت تبخیر کلاس A و با نصب کنتور مقدار آب ورودی به هر کرت اندازه‌گیری شد. برای تشخیص زمان آبیاری، هرروز مقدار تبخیر از تشتک تبخیر اندازه‌گیری و پس از رسیدن به حد موردنظر در صبح روز بعد آبیاری صورت می‌گرفت. به‌منظور تعیین میزان تبخیر رطوبت از خاک، یک روز قبل از آبیاری، نمونه‌گیری خاک از عمق توسعه ریشه انجام شد. نمونه‌ها پس از توزین اولیه، در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد، به مدت ۲۴ ساعت خشک گردید و درصد وزنی رطوبت (SMθ) خاک با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد.

$$\theta SM=\frac{W_1-W_2}{W_2}\times 100 \qquad [۱]$$

که در آن W1: وزن نمونه خاک مرطوب و W2: وزن نمونه خاک خشک است.

برای اندازه‌گیری مقدار آب مصرفی برای هر کرت از کنتور استفاده شد. در این راستا حجم آب از رابطه زیر محاسبه گردید.

$$V=(\theta FC-\theta SM).\rho b.A.d \qquad [۲]$$

که V: حجم آب مصرفی (مترمکعب)، θFC: درصد وزنی رطوبت خاک در حد گنجایش زراعی، θSM: درصد وزنی رطوبت خاک در موقع نمونه‌گیری، ρb: وزن مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب)، A: مساحت کرت (مترمربع) و d: عمق مؤثر توسعه ریشه (متر) می‌باشند.

اندازه‌گیری صفات گیاهی

عملکرد

به‌منظور تعیین عملکرد نهایی، در مرحله رسیدگی کامل از دو ردیف میانی هر کرت آزمایشی با رعایت اثر حاشیه، یک مترمربع برداشت‌شده و عملکرد بیولوژیکی، عملکرد دانه و

اجزای عملکرد دانه شامل تعداد غلاف در بوته (شمارش)، تعداد دانه در غلاف (شمارش) و وزن صد دانه (توزین با ترازوی دیجیتالی با دقت ۱ هزارم) تعیین شد.

استخراج پروتئین کل و عملکرد پروتئین

استخراج پروتئین کل و سنجش آن بر اساس روش دیوید و همکاران (David et al., 2007) صورت گرفت. عملکرد پروتئین از حاصل‌ضرب درصد پروتئین در عملکرد دانه حاصل شد.

اندازه‌گیری کلونیزاسیون ریشه

به‌منظور تعیین درصد کلونیزاسیون ریشه در مرحله گلدهی، در تمامی کرت‌ها به‌طور تصادفی سه بوته از خاک خارج‌شده و سپس از ریشه‌های این سه بوته، اقدام به نمونه‌برداری گردید. به‌منظور تعیین کلونیزاسیون ابتدا نمونه‌های ریشه با استفاده از روش هیمن و فیلیپس (Philips and Hayman, 1970) رنگ‌آمیزی شد و برای تعیین درصد کلونیزاسیون ریشه‌ها از روش گیوانتی و موس (Giovannetti and Moss, 1980) استفاده شد.

اندازه‌گیری غلظت عناصر در دانه

غلظت عناصر نیتروژن، فسفر، آهن و روی در دانه‌ها اندازه‌گیری گردید. میزان نیتروژن دانه با روش هضم، تقطیر و تیتراسیون با استفاده از دستگاه کجلدال (Peck et al., 2008) و میزان فسفر دانه با روش رنگ‌سنجی (رنگ زرد مولیبدات وانادات) با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد (Olsen and Sommers, 1982). همچنین غلظت عناصر میکرو شامل آهن و روی با دستگاه جذب اتمی بررسی شد (David et al., 2007).

تجزیه آماری داده‌ها

قبل از انجام تجزیه آماری داده‌ها ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون‌های شاپیرو-والک و کولموگراف- اسمیرنوف با نرم‌افزار SAS بررسی شد. پس از آزمون نرمال بودن، داده‌ها با نرم‌افزار SAS تجزیه مرکب گردیدند. مقایسه میانگین‌ها با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد. رسم شکل¬ها با نرم‌افزار اکسل انجام گرفت.

نتایج و بحث

تعداد غلاف در بوته

اثر مکان، آبیاری، میکوریز، کلات و اثرات دوگانه آبیاری× کلات بر تعداد غلاف در بوته ماش معنی‌دار بود (جدول ۲). تحت شرایط عدم تنش کم‌آبی، بیشترین تعداد غلاف در بوته (۱۲/۲ غلاف در بوته) با کاربرد توأم کلات‌های آهن و روی به دست آمد اما کمترین مقدار در تیمار شاهد و تنش شدید به مقدار ۵/۸ عدد حاصل شد که اختلاف بین این دو ۱/۱ برابر بود. تحت شرایط تنش شدید کم‌آبی، کلات‌های آهن و روی به‌صورت منفرد تأثیری بر تعداد غلاف در بوته نداشتند ولی کاربرد توأم کلات‌های آهن و روی باعث افزایش تعداد غلاف در بوته ماش گردید (شکل ۱). تنش کم‌آبی در ابتدای رشد گیاه ریزش گل و غلاف را زیاد می‌کند. به همین در دسترس نبودن رطوبت مهم‌ترین علت اثرگذار بر ریزش غلاف‌ها است چراکه تأمین رطوبت موردنیاز از ایجاد تغییرات تخریب‌کننده در ناحیه‌ی ریزش دمگل‌ها جلوگیری می‌کند (Koret et al., 1983). تعداد غلاف در بوته تغییرپذیرترین ویژگی در بین اجزاء عملکرد حبوباتی چون لوبیا و ... است. توانایی حبوبات برای تشکیل گل و غلاف بسیار زیاد است، اما دستیابی به این پتانسیل به وضعیت استقرار گیاه و شرایط محیطی که گیاه در آن رشد کرده است بستگی دارد. این پدیده یکی از دلایل تغییرپذیری تعداد غلاف است. همزیستی ماش با گونه قارچ در شرایط تنش توانسته است با کاهش اثرات تنش خشکی منجر به بهبود تعداد غلاف و تعداد دانه در بوته شود که دلیل این امر به افزایش نسبی سطح ریشه نسبت داده شده است (Habibzadeh et al., 2013).

تعداد دانه در غلاف

اثر آبیاری، کلات، اثر دوگانه آبیاری× میکوریز و اثر سه‌گانه مکان× آبیاری× کلات بر تعداد دانه در غلاف معنی‌دار بود (جدول ۲). تحت شرایط تنش شدید کم‌آبی باعث افزایش تعداد دانه در غلاف ماش به میزان ۱۲/۷۸ درصد گردید.

بیشترین تعداد دانه در غلاف در تیمار عدم تنش و مصرف میکوریزا به مقدار ۱۱/۷ عدد حاصل شد و کمترین مقدار نیز در تیمار تنش شدید و عدم مصرف کلات‌ها به دست آمد (شکل ۲). در گیاهان منطقه مهران، تحت شرایط عدم تنش و تنش متوسط کم‌آبی کاربرد کلات‌های آهن و روی تعداد دانه در غلاف ماش (۱۳/۱ عدد) را افزایش داد (شکل ۳).

تعداد دانه در غلاف در گیاهان منطقه ملکشاهی بیشتر از گیاهان منطقه مهران بود. خاک منطقه ملکشاهی دارای بافت لومی-رسی و مهران نیز دارای بافت رسی بود و شاید دلیل بالا بودن تعداد دانه در غلاف در ملکشاهی همین نوع خاک باشد که باعث فراهمی بهتر عناصر غذایی و درنهایت افزایش تعداد دانه در غلاف شده است.

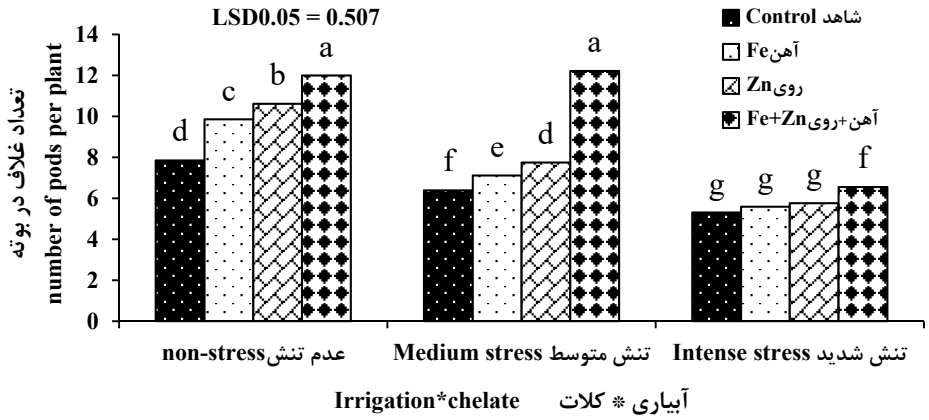
جدول ۲. تجزیه واریانس مرکب اثر آبیاری، قارچ میکوریز و کلات‌ها بر اجزای عملکرد دانه ماش

Table 2. Combined analysis of variance of the effect of irrigation, mycorrhizal fungi and chelate on mung bean grain yield components

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	دانه در غلاف seeds per pod	وزن هزار دانه 1000 seed weight	عملکرد بیولوژیکی Biologic yeild	عملکرد دانه Seed yeild
مکان Place (P)	1	7.66 *	42.88 ns	248.1*	559911 ns	29578 ns
مکان (تکرار) Place (Rep)	4	0.90	40.99	29.7	1331267	5314
آبیاری Irigation (I)	2	222.1 **	246.1**	1165.8**	16639197**	396648**
مکان× آبیاری P × I	2	1.35 ns	2.59 ns	3.69 ns	115 ns	201 ns
خطای اصلی Main error	8	3.30	3.92	95.46	782325	1658
میکوریزا Mycorrhiza (M)	1	1.638 *	0.31 ns	127.3*	630532*	12243*
کلات Chelate (C)	3	89.93 **	33.22**	267.7**	1768910**	306793**
آبیاری× میکوریزا M × I	2	0.03 ns	5.11 *	0.05 ns	17327 ns	9052*
آبیاری× کلات C × I	6	16.07**	3.04 ns	11.3 ns	995585**	7313 *
میکوریزا× کلات M × C	3	0.025 ns	3.40 ns	9.56 ns	19085 ns	3018 ns
مکان× میکوریزا P × M	1	0.0002 ns	3.09 ns	0.01 ns	252 ns	5.123 ns
مکان× کلات P × C	3	0.038 ns	3.66 ns	5.18 ns	1502 ns	1.14 ns
آبیاری×میکوریز×کلات I × M × Ce	6	0.016 ns	2.87 ns	0.09 ns	10146 ns	7537*
مکان× آبیاری× میکوریزا P × I × M	2	0.0006 ns	3.27	0.03 ns	1183 ns	3.12ns
مکان× آبیاری× کلات P × I × C	6	0.609 ns	3.31 *	3.22 ns	1974 ns	2.12 ns
مکان× میکوریزا× کلات P × M × C	3	0.0016 ns	3.09 ns	0.15 ns	114 ns	2.10 ns
مکان×آبیاری×میکوریز×کلات P × I × M × C	6	0.0004 ns	3.12 ns	0.15 ns	783 ns	5.56 ns
خطای فرعی Sub-error	84	0.390	1.46	29.93	137948	2873
ضریب تغییرات CV (%)	-	*7.73*	*12.93*	*10.49*	*8.82*	*5.62*

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد؛ ns: غیرمعنی‌دار

* and **: significantly at the level of five and one percent probability, respectively; ns: non- significant



شکل ۱. تأثیر کلات‌ها بر تعداد غلاف در بوته ماش در مهران و ملکشاهی. ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک ازلحاظ آماری اختلاف معنی‌داری از طریق آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ با هم ندارند.

Fig. 1. The effect of chelate on the number of pods per mung bean plant in Mehran and Malekshahi. Columns with similar letters in each, show non- significant difference according to Duncan multiple range tests at 5% level

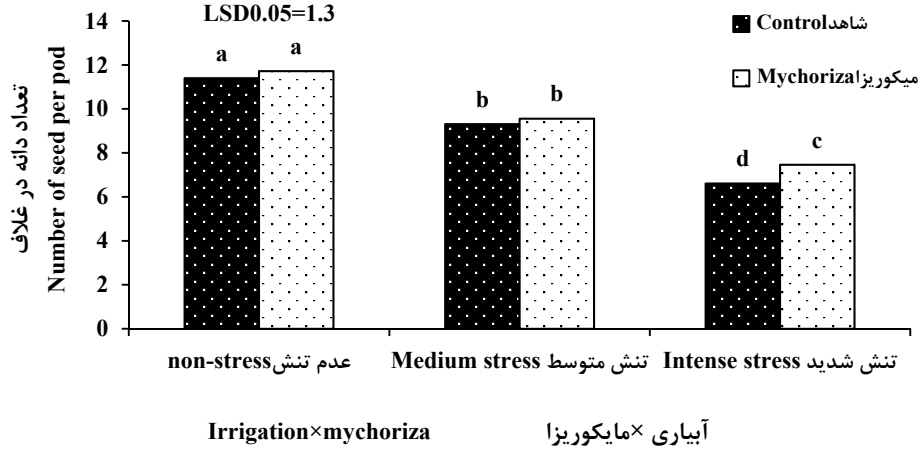
جدول ۳. مقایسه میانگین اثر مکان، آبیاری، قارچ میکوریز و کلات بر عملکرد و اجزای عملکرد ماش

Table 3. Comparison of the mean effect of location, irrigation, mycorrhizal fungus and chelate on yield and yield components of mung bean

		تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	وزن هزار دانه 1000 seed weight	عملکرد بیولوژیکی Biological yield
Place	**مکان**		g	kg/ha
Malekshahi	**ملکشاهی**	8.31 a	53.47 a	4271 a
Mehran	**مهران**	7.85 b	50.85 b	4146 a
LSD (0.05)		*0.4392*	*2.5228*	*534*
Irrigation	**آبیاری**			
Non-stress	**عدم تنش**	10.07 a	57.06 a	4541 a
Medium stress	**تنش متوسط**	8.37 b	52.23 b	4556 a
Severe stress	**تنش شدید**	5.80 c	47.20 c	3528 b
LSD (0.05)		*0.856*	*4.599*	*416*
Mychoriza fungi	**قارچ میکوریزا**			
Control	**شاهد**	7.97 b	51.22 b	4142 b
Mychoriza	**میکوریزا**	8.18 a	53.10 a	4274 a
LSD (0.05)		*0.207*	*1.8133*	*123*
Chelate	**کلات**			
Control	**شاهد**	6.52 d	48.91 c	4490 a
Fe	**آهن**	7.52 c	51.64 b	4044 c
Zn	**روی**	8.04 b	52.58 b	4279 b
Fe+Zn	**آهن+روی**	10.25 a	55.52 a	4019 c
LSD (0.05)		*0.2927*	*2.5643*	*174*

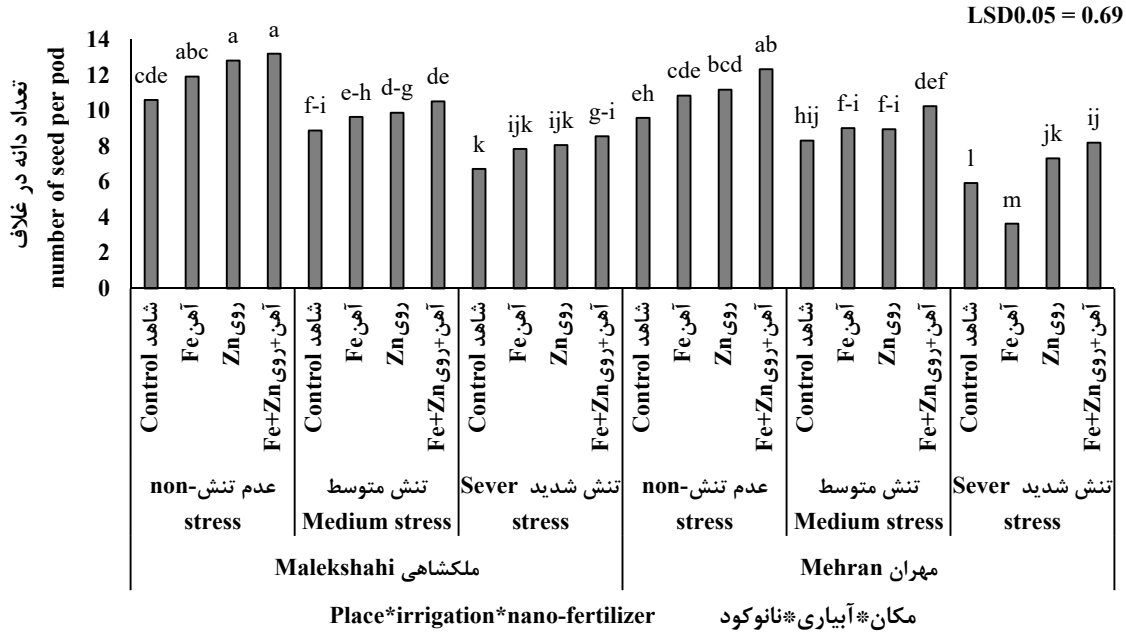
میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، اختلاف معنی‌داری ندارند.

The means with common letters in each column, based on the test of the least significant difference at the level of five percent probability, there is no significant difference



شکل ۲. تأثیر قارچ میکوریز بر تعداد دانه در غلاف ماش در سطوح مختلف آبیاری. ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک ازلحاظ آماری اختلاف معنی‌داری از طریق آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ با هم ندارند.

Fig. 2. The effect of mycorrhizal fungus on the number of seeds in mung bean pods at different levels of irrigation. Columns with similar letters in each, show non- significant difference according to Duncan multiple range tests at 5% level



شکل ۳. تأثیر کلات‌ها بر تعداد دانه در غلاف در سطوح مختلف آبیاری در مهران و ملکشاهی. ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک ازلحاظ آماری اختلاف معنی‌داری از طریق آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ با هم ندارند.

Fig. 3. The effect of chelate on the number of grains per pod at different levels of irrigation in Mehran and Malekshahi . Columns with similar letters in each, show non- significant difference according to Duncan multiple range tests at 5% level

احتمالاً قارچ میکوریزا به دلیل انشعابات میسلیومی که از خود ساخته است یک سطح اضافه را برای جذب عناصر غذایی و آب به وجود آورده است. به همین دلیل جذب عناصر غذایی افزایش پیداکرده و درنهایت تعداد دانه‌ی بارور افزایش پیدا می‌کند (Rahimi et al., 2009). بهبود صفات رشدی گیاه درنتیجه کاربرد عناصر کم‌مصرف از جمله آهن و روی ممکن است به دلیل افزایش شدت فتوسنتز و فعالیت‌هایی باشد که منجر به افزایش تقسیم سلول و طویل شدن آن‌ها می‌شود.

این طویل شدن سلول‌ها احتمالاً می‌تواند منجر به افزایش طول غلاف و درنهایت به دلیل طول بلال بیشتر، مکان بیشتری برای افزایش تعداد دانه فراهم می‌شود (Yassen et al., 2010).

وزن هزار دانه

وزن هزار دانه تحت تأثیر معنی‌دار اثر اصلی مکان (۱ درصد)، آبیاری (۱ درصد)، میکوریزا (۵ درصد) و کلات (۱ درصد) قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین وزن هزار دانه (۵۳/۴۷ گرم) در گیاهان منطقه ملکشاهی و کمترین میزان آن (۵۰/۸۵ گرم) در گیاهان منطقه مهران مشاهده گردید که اختلاف بین این دو ۵ درصد بود (جدول ۳). تنش متوسط و تنش شدید کم‌آبی وزن هزار دانه ماش را در مقایسه با تیمار شاهد (عدم تنش) به ترتیب ۸/۴۸ و ۱۷/۲۸ درصد کاهش داد (جدول ۳). با مصرف قارچ میکوریزا، وزن هزار دانه به مقدار ۵۳/۱ گرم حاصل شد که قارچ مایکوریزا وزن هزار دانه ماش را در مقایسه با تیمار شاهد ۳/۶۷ درصد کاهش داد. کاربرد کلات‌های آهن، روی و آهن+روی (۵۵/۵۲ گرم) در مقایسه با تیمار عدم کوددهی به ترتیب ۵/۵۸، ۷/۵۰، ۱۳/۵۱ درصد افزایش داد (جدول ۳). مؤمنی (Momeni, 2011) بیان کرد که کاهش عملکرد گیاه در حالت محدود بودن رطوبت با بسته شدن روزنه‌ها و کاهش فتوسنتز و به دنبال آن کاهش وزن هزار دانه مرتبط است. قارچ‌های مایکوریزا در خاک‌های تحت تنش خشکی ممکن است موجب تحمل به تنش و افزایش رشد گیاه (Cakmak, 2009) به دلیل افزایش نسبی جذب آب که خود باعث رقیق شدن یون‌های سمی خواهد شد و نیز موجب افزایش مقدار قندهای محلول در ریشه که خود موجب کاهش پتانسیل اسمزی ریشه می‌گردد، شوند. بهره‌گیری از عناصر غذایی چون آهن و روی با توجه به اثرگذاری بر ساخت کلروفیل و افزایش مقدار هورمون‌های تنظیم‌کننده‌های رشد، موجب افزایش فتوسنتز برگ‌های جوان شده و انتقال مواد غذایی به مکان‌های ذخیره‌ای مانند پانیکول‌ها را افزایش داده که این امر موجب افزایش وزن دانه در بوته می‌گردد (Eisvand et al., 2013).

عملکرد بیولوژیکی

اثر آبیاری، کلات و اثر دوگانه آن‌ها بر عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۲). کاربرد کلات‌های آهن و روی باعث افزایش عملکرد بیولوژیکی ماش در سطوح مختلف آبیاری گردید. تحت شرایط عدم تنش کم‌آبی، بیشترین میزان عملکرد بیولوژیکی با کاربرد کلات آهن+ روی به مقدار ۴۹۲۸ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. کمترین میزان عملکرد بیولوژیکی (۴۱۴۵ کیلوگرم در هکتار) تحت شرایط تنش شدید کم‌آبی بدون کاربرد کلات به دست آمد که اختلاف بین این دو ۱۸ درصد بود. در تمامی سطوح تنش کم‌آبی، مصرف توأم آهن و روی و یا مصرف جداگانه آن‌ها موجب افزایش عملکرد بیولوژیکی شد (جدول ۴).

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر آبیاری و کلات بر عملکرد و عملکرد بیولوژیک.

Table 4. Comparison of the mean effect of irrigation and chelate on biological yield

آبیاری Irrigation	Chelate	کلات	عملکرد بیولوژیکی Biological yield (kg/ha)
عدم تنش non-stress	Control	شاهد	4634 abcd
	Fe	آهن	4688 abc
	Zn	روی	4715 ab
	Fe+Zn	آهن+روی	4928 a
تنش متوسط Medium stress	Control	شاهد	4230 e
	Fe	آهن	4430 bcde
	Zn	روی	4398 cde
	Fe+Zn	آهن+روی	4361 de
تنش شدید Sever stress	Control	شاهد	4145 e
	Fe	آهن	3342 fg
	Zn	روی	3488 f
	Fe+Zn	آهن+روی	3139 g
LSD (0.05)			301

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، اختلاف معنی‌داری ندارند.

The means with common letters in each column, based on the test of the least significant difference at the level of five percent probability, there is no significant difference

احتمالاً رشد و توسعه‌ی برگ‌ها حتی با کاهش اندک رطوبت، قبل از آنکه فتوسنتز روند کاهشی نشان دهد تحت تأثیر قرارگرفته و کاهش می‌یابد که با این کاهش عملکرد بیولوژیک نیز کاهش خواهد یافت (Moemeni, 2011). احتمالاً با استفاده از کودهای بیولوژیک از جمله قارچ‌های مایکوریزا؛ جذب و ذخیره مواد غذایی در بخش‌های مختلف گیاه از جمله برگ و ساقه افزایش می‌یابد و با ذخیره این مواد در گیاه، عملکرد بیولوژیک نیز افزایش می‌یابد. باکتری‌های تر در این کود، ریزوسفری ریشه‌ی حبوبات نیز علاوه بر تثبیت

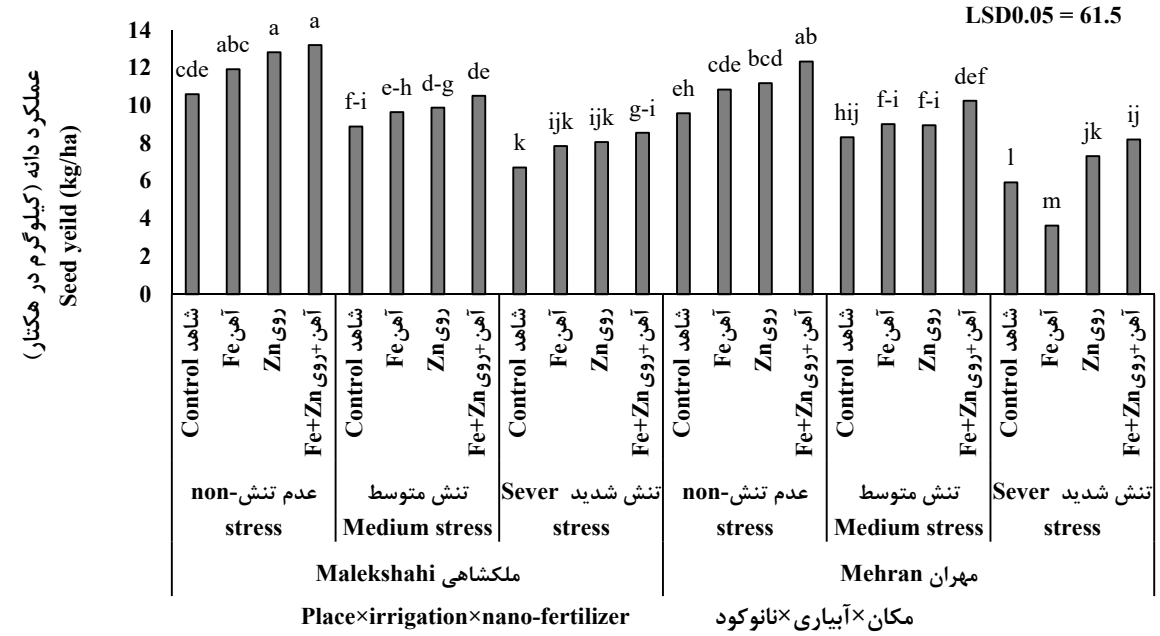
نیتروژن هوا و متعادل کردن جذب عناصر اصلی پرمصرف و ریزمغذی موردنیاز گیاه، با سنتز و ترشح مواد محرک رشد گیاه نظیر انواع هورمون‌های تنظیم‌کننده رشد مانند اکسین، ترشح اسیدهای آمینه مختلف، انواع آنتی‌بیوتیک موجب رشد قسمت‌های هوایی و درنهایت افزایش عملکرد بیولوژیک می‌شوند (Bahamin et al., 2019; Faisal et al., 2000). اختلاف در عملکرد بیولوژیک تیمارهای میکوریزا و رژیم‌های مختلف آبیاری به مقدار جذب آب و عناصر غذایی معدنی مربوط می‌شود، به‌طوری‌که گیاهان تلقیح شده با میکوریزا تعادل آبی گیاهان را در تنش خشکی تحت تأثیر قرار می‌دهند و درنتیجه به علت جذب بیشتر آب و عناصر غذایی معدنی عملکرد محصول افزایش می‌یابد (Pirzad et al., 2014; Demir, 2004). در مورد محلول‌پاشی عناصر غذایی آهن و روی گیاهانی که این عناصر را هم‌زمان دریافت نموده‌اند، بیشترین عملکرد بیولوژیک را خواهند داشت که به جهت اثر مثبت عنصر روی در بیوسنتز اکسین و اثرگذاری عنصر آهن در افزایش فتوسنتز و رشد انتظار پذیر خواهد بود (Eisvand et al., 2013).

عملکرد دانه

اثر میکوریزا، اثر دوگانه آبیاری× میکوریز و اثر سه‌گانه آبیاری× میکوریزا× کلات بر عملکرد دانه ماش در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج نشان داد که عملکرد دانه ماش در گیاهان منطقه ملکشاهی بیشتر از گیاهان منطقه مهران بود. کاربرد کلات‌های آهن و روی باعث افزایش عملکرد دانه ماش در هر دو گیاهان منطقه مهران و ملکشاهی گردید. در گیاهان منطقه ملکشاهی، کلات‌های آهن و روی به‌صورت توأم و منفرد باعث افزایش عملکرد دانه ماش در سطوح مختلف آبیاری گردید. در گیاهان منطقه مهران تحت شرایط تنش شدید کم‌آبی، کلات روی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه ماش نداشت. بیشترین عملکرد دانه در تیمار تنش کم‌آبی متوسط و مصرف توأم کلات آهن و روی در منطقه ملکشاهی به مقدار ۱۱۸۴ کیلوگرم در هکتار حاصل شد که اختلاف معنی‌داری با حالت عدم تنش نداشت. کمترین عملکرد دانه نیز در تیمار منطقه مهران و در حالت تنش متوسط و عدم مصرف هر نوع کود به مقدار ۷۶۰ کیلوگرم در هکتار حاصل شد (شکل ۴). تفاوت عملکرد دانه در تیمارهای مایکوریزایی به جذب آب و عناصر معدنی نسبت داده شده است (Faisal et al., 2000). احتمالاً افزایش عملکرد دانه تحت تأثیر مایکوریزا به‌عنوان کود زیستی می‌تواند به‌وسیله ایجاد چرخه مواد غذایی و قابل‌دسترس ساختن و افزایش جذب مواد غذایی به دست آمده باشد (Ahmad et al., 2010). اختلاف در عملکرد تیمارهای میکوریزا و رژیم‌های مختلف آبیاری به مقدار جذب آب و عناصر غذایی معدنی مربوط می‌شود، به‌طوری‌که گیاهان تلقیح شده با میکوریزا تعادل آبی گیاهان را در تنش خشکی تحت تأثیر قرار می‌دهند و درنتیجه به علت جذب بیشتر آب و عناصر غذایی معدنی عملکرد محصول افزایش می‌یابد که با برخی گزارش‌ها (AL-Karaki et al., 2004; Atayese,, 2007) مطابقت دارد. در این آزمایش به نظر می‌رسد که افزایش عملکرد دانه تیمارهای میکوریزا نسبت به شاهد به علت افزایش ماده خشک و جریان مواد فتوسنتزی به اندام‌های مولد عملکرد اقتصادی باشد که نتایج با گزارش (Pirzad et al., 2014) در گیاه ماش مطابق است. عنصر روی به‌عنوان اجزای فلزی آنزیم‌های مختلف عمل می‌کند و همچنین به‌عنوان یک کوفاکتور عملکردی، ساختاری و تنظیمی در ارتباط با متابولیسم ساکارید، فتوسنتز و ساخت پروتئین نقش دارد ازاین‌رو عنصر روی احتمالاً عملکرد محصول را افزایش می‌دهد (Yassen et al., 2010). عنصر روی به دلیل نقش مهمی که در متابولیسم پروتئین‌ها و آنزیم‌ها و همچنین رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی دارد می‌تواند باعث افزایش توان فتوسنتزی و تولید محصول شود (Moradi Telavat et al., 2015).

پروتئین دانه

اثر آبیاری و نانو کود بر میزان پروتئین و عملکرد پروتئین دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). کمترین میزان پروتئین دانه (۲۳/۵۹ درصد) در تیمار عدم تنش و بیشترین میزان آن (۳۰/۰۷ درصد) در تیمار تنش شدید کم‌آبی به دست آمد که اختلاف بین این دو ۲۷ درصد بود (جدول ۶). کاربرد کلات روی و نانودکود آهن+روی باعث افزایش میزان پروتئین دانه ماش (۲۷/۳۸ درصد) گردید (جدول ۶). کاهش درصد پروتئین در شرایط تنش کم‌آبی در گیاهان علوفه‌ای مختلف توسط پژوهشگران (Reddy et al., 2004; Bahamin et al., 2019) گزارش گردیده است. علت کاهش درصد پروتئین خام را می‌توان به تجزیه پروتئین‌ها در شرایط تنش کم‌آبی و عدم سنتز مجدد آن‌ها در این شرایط نسبت داد.



شکل ۴. تأثیر کلات‌ها و قارچ میکوریزا بر عملکرد دانه ماش در سطوح مختلف آبیاری ($LSD_{0.05}$=61.54). ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک ازلحاظ آماری اختلاف معنی‌داری از طریق آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ با هم ندارند.

Fig. 4. The effect of chelate and mycorrhizal fungi on mung bean grain yield at different levels of irrigation. Columns with similar letters in each, show non- significant difference according to Duncan multiple range tests at 5% level

جدول ۵. تجزیه واریانس مرکب اثر آبیاری، میکوریزا و کلات‌ها بر پروتئین و کلونیزاسیون

Table 5. Combined analysis of variance of the effect of irrigation, mycorrhiza and chelate on protein and colonization

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	پروتئین دانه Seed protein	عملکرد پروتئین Protein yeild	کلونیزاسیون ریشه Root colonization
Place (P)	مکان	1	11.639 ^{ns}	9.73 ^{ns}	82.53 ^{ns}
Place (Rep)	مکان (تکرار)	4	103.1 **	100.8	20.86
Irigation (I)	آبیاری	2	504.2	41.3 **	2276.8 **
P × I	مکان× آبیاری	2	10.19 ^{ns}	70.8 ^{ns}	37.66 ^{ns}
Main error	خطای اصلی	8	10.37	3.04	6.78
Mycorrhiza (M)	میکوریزا	1	6.059 ^{ns}	10.4 ^{ns}	107.1 **
Chelate (C)	کلات	3	61.07 *	424.7 **	81.27 **
M × I	آبیاری× میکوریزا	2	1.575 ^{ns}	5.04 ^{ns}	2.59 ^{ns}
C × I	آبیاری× کلات	6	2.746 ^{ns}	5.58 ^{ns}	2.78 ^{ns}
M × C	میکوریزا× کلات	3	2.041 ^{ns}	2.82 ^{ns}	4.07 ^{ns}
P × M	مکان× میکوریزا	1	0.352 ^{ns}	0.01 ^{ns}	114.8 **
P × C	مکان× کلات	3	0.355 ^{ns}	0.02 ^{ns}	33.44 *
I × M × C	آبیاری×میکوریز×کلات	6	2.435 ^{ns}	5.22 ^{ns}	1.82 ^{ns}
P × I × M	مکان× آبیاری× میکوریزا	2	0.045 ^{ns}	0.02 ^{ns}	27.91 ^{ns}
P × I × C	مکان× آبیاری× کلات	6	0.081 ^{ns}	0.03 ^{ns}	4.06 ^{ns}
P × M × C	مکان× میکوریزا× کلات	3	0.129 ^{ns}	0.03 ^{ns}	4.14 ^{ns}
P × I × M × C	مکان×آبیاری×میکوریز×کلات	6	0.148 ^{ns}	0.026 ^{ns}	3.52 ^{ns}
Sub-error	خطای فرعی	84	18.913	16.95	11.79
CV (%)	ضریب تغییرات (٪)	-	*11.8*	*9.6*	*8.9*

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد؛ ^{ns}: غیرمعنی‌دار

*And **: significantly at the level of five and one percent probability, respectively; ns: non- significant

عملکرد پروتئین دانه

بیشترین پروتئین دانه به مقدار ۲۵/۸۶ کیلوگرم در هکتار و کمترین آن به میزان ۲۴/۰۱ کیلوگرم در هکتار به ترتیب تحت شرایط آبیاری ۶۰ و تنش ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر به دست آمد (جدول ۶). کاربرد کلات آهن؛ روی و آهن+روی عملکرد پروتئین دانه ماش به ترتیب در مقایسه با تیمار شاهد ۲۴/۱۱، ۲۶/۵۹ و ۳۷/۰۷ درصد افزایش داد. کاهش میزان پروتئین یک امر عادی در حالت اعمال تنش‌های محیطی بخصوص تنش خشکی و کم‌آبی است. تنش کم‌آبی موجب سرکوب تولید اکثر پروتئین‌ها و جلوگیری از القای سنتز پروتئین‌های جدید می‌گردد. سرکوب سنتز پروتئین از طریق تأثیر بر پلی‌ریزوبیوم‌ها و افزایش تجزیه پروتئین‌ها پروتئولیز، کاهش کارایی مکانیسم‌های دخیل در ترمیم و بازسازی پروتئین‌ها، افزایش پروتئین‌های اکسیدشده و کاهش فعالیت آنزیم نیترات رداکتاز از عوامل کاهش میزان پروتئین در حالت اعمال تنش کم‌آبی بیان شده است (Kabiri, 2011). کمبود آهن گرهک‌ها نقش مهمی در احیا آهن فریک دارند و جذب آهن را افزایش می‌دهند. مقدار بالای آهن در گرهک سبب فعالیت نیتروژناز می‌شود، آمونیوم تولیدشده برای ساخت اسکلت کربنی و سنتز اسیدهای آمینه استفاده می‌شود که درنهایت احتمالاً باعث افزایش میزان پروتئین می‌شود (Slatni et al., 2011).

جدول ۶. مقایسه میانگین اثرات مکان، آبیاری، قارچ میکوریز و کلات بر پروتئین دانه ماش

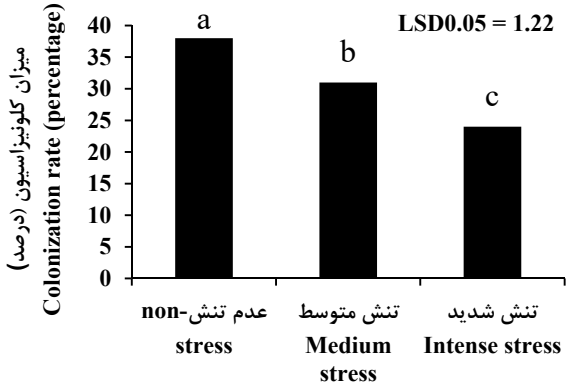
Table 6. Comparison of mean effects of location, irrigation, mycorrhizal fungus and chelate on mung bean seed protein

		پروتئین دانه Seed protein (%)	عملکرد پروتئین protein yield (kg/ha)
Irrigation	**آبیاری**		
Non-stress	**عدم تنش**	23.59 ^{c}	25.86 ^{a}
Medium stress	**تنش متوسط**	26.48 ^{b}	24.86 ^{b}
Sever stress	**تنش شدید**	30.07 ^{a}	24.01 ^{c}
LSD (0.05)		*1.516*	*0.8212*
Chelate	**کلات**		
Control	**شاهد**	25.30 ^{b}	20.98 ^{d}
Fe	**آهن**	26.19 ^{b}	23.34 ^{c}
Zn	**روی**	27.01 ^{ab}	26.56 ^{b}
Fe+Zn	**آهن+روی**	28.37 ^{a}	28.75 ^{a}
LSD (0.05)		*2.0385*	*1.9298*

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، اختلاف معنی‌داری ندارند.
The means with common letters in each column, based on the test of the least significant difference at the level of five percent probability, there is no significant difference

کلونیزاسیون ریشه

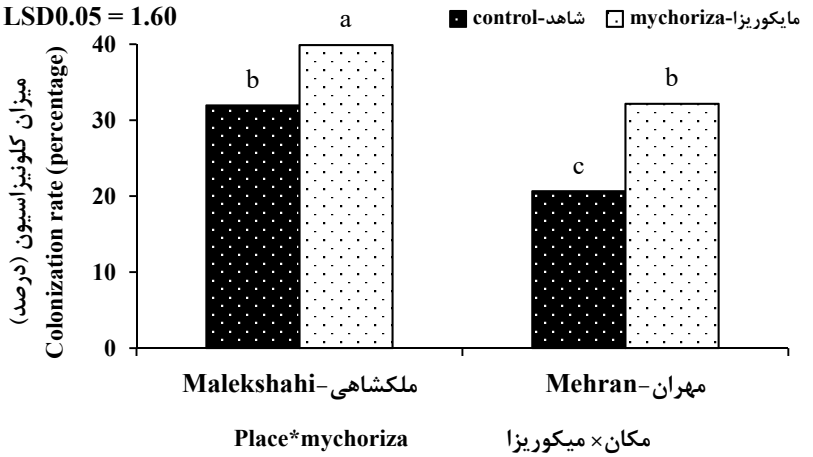
میزان کلونیزاسیون ریشه تحت تأثیر آبیاری، میکوریزا، کلات، اثر متقابل دوگانه مکان× میکوریزا و اثر متقابل دوگانه مکان× کلات قرار گرفت (جدول ۵). با اعمال تنش کم‌آبی، میزان کلونیزاسیون ریشه ماش کاهش یافت (شکل ۵). قارچ میکوریزا باعث افزایش میزان همزیستی ریشه در هر دو گیاهان منطقه ملکشاهی و مهران گردید. کاربرد کلات‌های آهن و روی به‌صورت توأم باعث افزایش میزان کلونیزاسیون ریشه (۳۲/۳ درصد) در گیاهان منطقه ملکشاهی شد؛ اما در گیاهان منطقه مهران کاربرد کلات آهن بیشترین تأثیر مثبت بر میزان کلونیزاسیون ریشه ماش داشت. به‌طورکلی مصرف آهن و یا روی و یا مصرف توأم آن‌ها موجب افزایش کلونیزاسیون ریشه نسبت به تیمار شاهد شد (شکل ۷). کاهش درصد کلونیزاسیون با افزایش شدت تنش آبی که در این تحقیق مشاهده گردید با نتایج الکراکی و همکاران (Al-karaki et al., 2004) مطابق است.



شکل ۵. تأثیر آبیاری بر میزان کلونیزاسیون ریشه ماش. ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک ازلحاظ آماری اختلاف معنی‌داری از طریق آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ با هم ندارند.

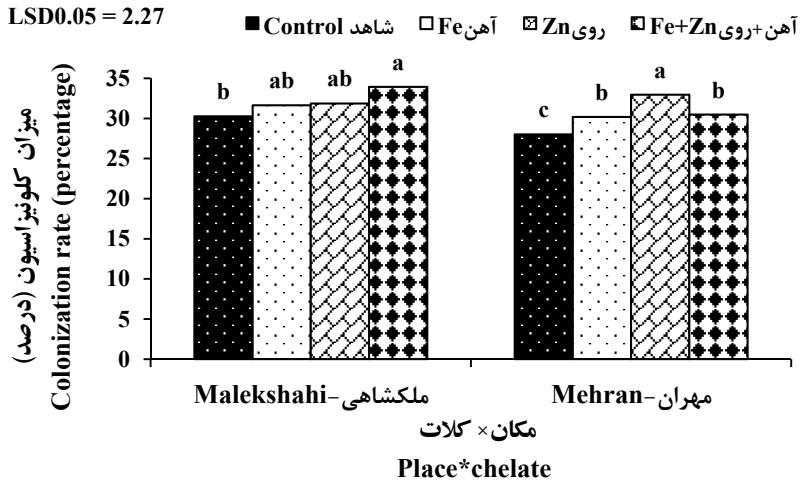
Fig. 5. The effect of irrigation on the rate of mung bean root colonization. Columns with similar letters in each, show non- significant difference according to Duncan multiple range tests at 5%

کاهش معنی‌دار درصد کلونیزاسیون با افزایش سطح تنش، احتمالاً به علت کاهش در تنش و رشد هیف‌ها است. در بررسی حاضر میزان کلونیزاسیون با مصرف قارچ افزایش یافت. افزایش درصد کلونیزاسیون در یک گونه قارچی نسبت به گونه دیگر، به گونه گیاهی و نوع قارچ بستگی دارد و حتی ایزوله‌های یک گونه که از مناطق مختلف جمع‌آوری‌شده باشند ازنظر درصد کلونیزاسیون اختلاف دارند (Asrar et al., 2012)، اما به نظر می‌رسد در بررسی حاضر قارچ مایکوریزا متناسب با خاک مزرعه بوده است. افزایش درصد کلونیزاسیون ریشه به‌واسطه کاربرد قارچ مایکوریزا را می‌توان به اثر مثبت کاربرد مایکوریزا در کاهش اثرات منفی تنش نسبت داد (Essahibi et al., 2017). پاسخ مثبت کلونیزاسیون گیاهان میکوریزایی علاوه بر شرایط خاک و شده تنش خشکی به مؤلفه‌های فیزیولوژیکی گیاه مانند پتانسیل آب برگ و میزان انباشت تنظیم‌کننده‌هایی همچون پرولین مربوط باشد (Essahibi et al., 2017).



شکل ۶. تأثیر قارچ میکوریز بر میزان کلونیزاسیون ریشه ماش در ملکشاهی و مهران. ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک ازلحاظ آماری اختلاف معنی‌داری از طریق آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ با هم ندارند.

Fig. 6. Effect of mycorrhizal fungus on the rate of mung bean root colonization in Malekshahi and Mehran. Columns with similar letters in each, show non- significant difference according to Duncan multiple range tests at 5% level



شکل ۷. تأثیر کلات‌ها بر میزان کلونیزاسیون ریشه ماش در ملکشاهی و مهران. ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک ازلحاظ آماری اختلاف معنی‌داری از طریق آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ با هم ندارند.

Fig. 7. The effect of chelate on the rate of mung bean root colonization in Malekshahi and Mehran. Columns with similar letters in each, show non- significant difference according to Duncan multiple range tests at 5% level.

غلظت عناصر دانه

آبیاری و نانو کود تأثیر معنی‌داری بر غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم دانه ماش داشتند. میکوریزا تأثیر معنی‌داری بر غلظت فسفر و پتاسیم دانه ماش داشت. اثر متقابل آبیاری× کلات بر غلظت پتاسیم دانه ماش در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۷). تنش کم‌آبی باعث افزایش غلظت نیتروژن دانه ماش شد (جدول ۷).

تنش شدید و متوسط کم‌آبی غلظت فسفر و پتاسیم دانه ماش را کاهش داد (جدول ۸). قارچ میکوریز غلظت فسفر و پتاسیم دانه ماش را در مقایسه با گیاهان شاهد به ترتیب ۹/۱۱ و ۳/۴۹ درصد افزایش داد (جدول ۸). بیشترین غلظت نیتروژن و فسفر با کاربرد توأم کلات‌های آهن و روی مشاهده گردید و کمترین میزان آن‌ها بدون کاربرد کودهای نانو به دست آمد (جدول ۸). تحت شرایط تنش متوسط کم‌آبی، کلات‌های آهن و روی به‌صورت توأم و جداگانه باعث افزایش غلظت پتاسیم دانه ماش شدند. تحت شرایط تنش شدید کم‌آبی، کلات آهن و کلات آهن+روی باعث افزایش غلظت پتاسیم دانه ماش گردید (شکل ۸).

تحت تنش شدید کم‌آبی، غلظت آهن، روی و منگنز در مقایسه با عدم تنش کم‌آبی ۲۸/۳۹، ۱۳/۴۷ و ۳۲/۰۸ درصد کاهش یافت (جدول ۹). کاربرد کلات آهن، روی و آهن+روی به ترتیب میزان آهن در مقایسه با تیمار عدم کوددهی ۵/۱۹، ۱۷/۹۳ و ۱۲/۳۱ درصد افزایش داد (جدول ۹). غلظت روی در دانه ماش با کاربرد نانو کود آهن و آهن+روی در مقایسه تیمار عدم کوددهی به ترتیب ۳۸/۲۹، ۴۲/۲۷ درصد افزایش یافت (جدول ۹). کاربرد کلات آهن، روی و آهن+روی به ترتیب غلظت منگنز در مقایسه با تیمار عدم کوددهی ۱۰/۳۴، ۱۹/۹۳ و ۲۵/۶۸ درصد افزایش داد (جدول ۹).

جدول ۷. تجزیه واریانس مرکب اثرات آبیاری، قارچ میکوریز و کلاته بر غلظت عناصر

Table 7. Combined analysis of variance of the effects of irrigation, mycorrhizal fungi and chelate on the concentration of elements

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K	آهن Fe	روی Zn	منگنز Mn
Place (P)	مکان	1	0.11 ^{ns}	10.4 ^{ns}	6.912 ^{ns}	6.938 ^{ns}	0.561 ^{ns}	0.195 ^{ns}
Place (Rep)	مکان (تکرار)	4	1.907	27.1**	22.46	38.8 **	31.90	46.202
Irigation (I)	آبیاری	2	3.92 **	767.1	632.4 **	5512^{ns}	226.9 *	369.3**
P × I	مکان× آبیاری	2	0.12 ^{ns}	0.33 ^{ns}	0.082 ^{ns}	0.130 ^{ns}	0.031 ^{ns}	0.0091 ^{ns}
Main error	خطای اصلی	8	2.41	22.9 ^{ns}	1.529	64.6	39.405	16.1002
Mycorrhiza (M)	میکوریزا	1	0.005 ^{ns}	5.43 *	7.053 *	4.12 ^{ns}	0.995 ^{ns}	3.29 ^{ns}
Chelate (C)	کلات	3	4.61**	61.9 **	95.35 **	770.1 **	1453**	66.12**
M × I	آبیاری× میکوریزا	2	0.22 ^{ns}	0.20 ^{ns}	3.987 ^{ns}	0.419 ^{ns}	0.150 ^{ns}	0.1677 ^{ns}
C × I	آبیاری× کلات	6	0.19 ^{ns}	1.55 ^{ns}	28.69 **	11.35 ^{ns}	0.992 ^{ns}	1.855 ^{ns}
M × C	میکوریزا× کلات	3	0.61 ^{ns}	0.68 ^{ns}	1.292 ^{ns}	0.504 ^{ns}	0.079 ^{ns}	0.183 ^{ns}
P × M	مکان× میکوریزا	1	0.006^{ns}	0.06 ^{ns}	0.421 ^{ns}	0.512 ^{ns}	0.034 ^{ns}	0.010 ^{ns}
P × C	مکان× کلات	3	0.16 ^{ns}	0.005 ^{ns}	0.421 ^{ns}	4.002 ^{ns}	0.026 ^{ns}	0.201 ^{ns}
I × M × C	آبیاری×میکوریز×کلات	6	0.15 ^{ns}	0.19 ^{ns}	0.987 ^{ns}	0.183 ^{ns}	0.065 ^{ns}	0.010 ^{ns}
P × I × M	مکان× آبیاری× میکوریزا	2	0.001 ^{ns}	0.003 ^{ns}	0.031 ^{ns}	0.497 ^{ns}	0.028 ^{ns}	0.0004 ^{ns}
P × I × C	مکان× آبیاری× کلات	6	0.14 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.031 ^{ns}	1.289 ^{ns}	0.025 ^{ns}	0.0731 ^{ns}
P × M × C	مکان× میکوریزا× کلات	3	0.14 ^{ns}	0.004 ^{ns}	0.421 ^{ns}	0.185 ^{ns}	0.027 ^{ns}	0.0005 ^{ns}
P × I × M × C	مکان×آبیاری×میکوریز×کلات	6	0.115 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.031 ^{ns}	0.174 ^{ns}	0.026 ^{ns}	0.0002 ^{ns}
Sub-error	خطای فرعی	84	0.435	1.338	1.750	43.59	10.338	2.3774
CV (%)	ضریب تغییرات (٪)	-	16.42	10.18	10.70	10.33	10.67	11.28

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد؛ ^{ns}: غیرمعنی‌دار

*and **: significantly at the level of five and one percent probability, respectively; ns: non- significant

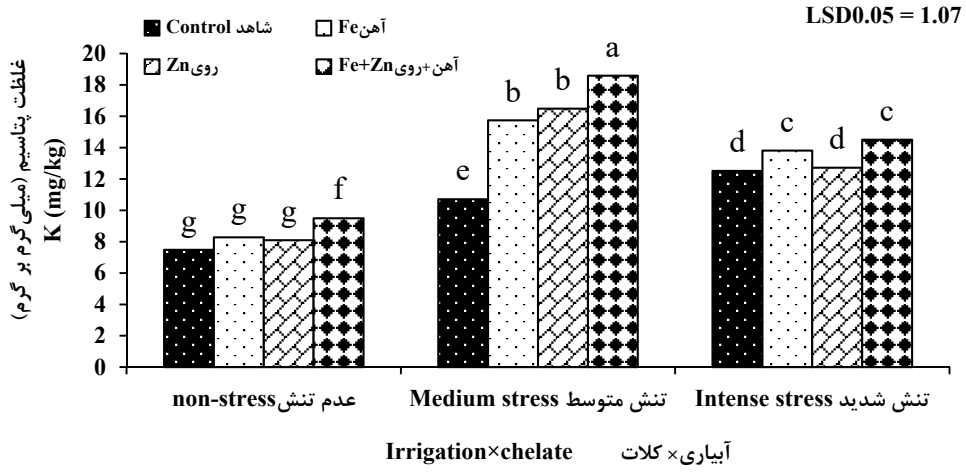
جدول ۸. مقایسه میانگین اثر مکان، آبیاری، قارچ میکوریز و کلات بر صفات زراعی ماش

Table 8. Comparison of the mean effect of location, irrigation, mycorrhizal fungus and chelate on mung bean agronomic traits

		N نیتروژن	P فسفر	K پتاسیم
Irrigation	**آبیاری**	%	----------mg/kg----------	
non-stress	**عدم تنش**	3.13 c	15.34 a	15.375 a
Medium stress	**تنش متوسط**	4.06 b	11.39 b	13.384 b
Sever stress	**تنش شدید**	5.86 a	7.35 c	8.333 c
LSD (0.05)		0.7313	2.2546	0.582
Mychoriza fungi	**قارچ میکوریزا**			
Control	**شاهد**	3.84 a	11.17 b	b12.14
Mychoriza	**میکوریزا**	3.89 a	11.56 a	a12.59
LSD (0.05)		0.2187	0.3834	0.4385
Chelate	**کلات**			
Control	**شاهد**	3.65 c	9.56 c	10.23 c
Fe	**آهن**	3.82 b	11.49 b	12.60 b
Zn	**روی**	4.14 b	11.68 b	12.43 b
Fe+Zn	**آهن+روی**	4.46 a	12.71 a	14.19 a
LSD (0.05)		0.3093	0.5422	0.6201

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، اختلاف معنی‌داری ندارند.

The means with common letters in each column, based on the test of the least significant difference at the level of five percent probability, there is no significant difference



شکل ۸. تأثیر کلات‌ها بر غلظت پتاسیم دانه ماش در سطوح مختلف آبیاری. ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک ازلحاظ آماری اختلاف معنی‌داری از طریق آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ با هم ندارند.

Fig. 8. The effect of chelate on mung bean seed potassium concentration at different irrigation levels. Columns with similar letters in each, show non- significant difference according to Duncan multiple range tests at 5% level

جریان توده‌ای آب از عوامل مؤثر بر فراهمی و جذب عناصر است و همین پدیده سبب تأثیر معنادار تنش بر جذب عناصر تغذیه‌ای خواهد شد. کاهش جریان توده‌ای آب ناشی از تنش کمبود آب موجب اخلال در جذب عناصر توسط گیاه می‌گردد که در بررسی حاضر نیز تنش خشکی منجر به کاهش جذب عناصر غذایی شد (Rafiei et al., 2004).

ازآنجاکه بیشتر پتاسیم از طریق همین لایه آب به سمت ریشه حرکت می‌کند، بنابراین تنش خشکی جذب مقدار موردنیاز پتاسیم در گیاه را دچار مشکل می‌سازد. افزایش میزان پتاسیم موجود در محلول خاک موجب تسریع حرکت پتاسیم به ریشه می‌گردد و این امر اهمیت سطوح بالای پتاسیم موجود خاک را در تنش خشکی نشان می‌دهد که در بررسی حاضر با افزایش شدت تنش میزان پتاسیم دانه کاهش یافت (Habibzadeh et al., 2013). علت کاهش انتقال منگنز در بوته‌های تنش دیده به علت نقصان رطوبت و بالطبع اختلال در جذب و انتقال است، برای اینکه مکانیسم‌های جذب و انتقال عناصر غذایی در گیاهان، نظیر جریان توده‌ای، انتشار و یا جذب و انتقال به‌وسیله پدیده اسمزی، همگی کم‌وبیش تابعی از مقدار رطوبت موجود در خاک و ریشه است و در صورت نقصان رطوبت، شدت و مقدار جذب عناصر غذایی دست‌خوش تغییر و تحول می‌گردد (Aref, 2011).

جدول ۹. مقایسه میانگین اثر آبیاری و کلات بر غلظت عناصر میکرو دانه ماش

Table 9. Comparison of the mean effect of irrigation and chelate on the concentration of mung bean micro-grain elements

آبیاری Irrigation		آهن Fe	روی Zn	منگنز Mn
		----------mg/kg----------		
non-stress	عدم تنش	75.15 a	32.28 a	16.75 a
Medium stress	تنش متوسط	b 62.74	30.20 ab	12.877 b
Sever stress	تنش شدید	53.81 c	27.93 b	11.376 b
LSD (0.05)		3.7838	2.9548	1.8887
chelate	کلات			
Control	شاهد	58.70 c	25.38 b	11.99 c
Fe	آهن	61.75 a	35.10 a	13.23 b
Zn	روی	69.23 a	23.95 b	14.38 a
Fe+Zn	آهن+روی	65.93 b	36.11 a	15.07 a
LSD (0.05)		3.0949	1.5071	0.7227

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، اختلاف معنی‌داری ندارند.

The means with common letters in each column, based on the test of the least significant difference at the level of five percent probability, there is no significant difference

برخی کودهای زیستی مانند مایکوریزا و باکتری‌های موجود در اطراف ریشه حبوبات با ترشح اسیدهای ارگانیک، پتاسیم خاک را محلول و در دسترس گیاه قرار می‌دهند (Pramanik et al., 2019; Garcia and Zimmermann, 2014). خاک‌ها معمولاً مقادیر بالای فسفر دارند اما بیشتر فسفر خاک به شکل فسفات آهن و آلومینیوم در خاک اسیدی و فسفات کلسیم در خاک قلیایی رسوب می‌کند. مایکوریزا و باکتری‌های موجود در اطراف ریشه حبوبات قادر به تشکیل کمپلکس‌های محلول فسفر هستند (Niranjana et al., 2014). اثرات سودمند تلقیح ناشی از تغییرات فیزیولوژیک و مورفولوژیک ریشه مثل افزایش تعداد تارهای کشنده و ریشه‌های جانبی گیاهان تلقیح شده است که سبب کارایی جذب آب و مواد معدنی توسط ریشه می‌شود (Khalid et al., 2015).

تیمار آهن باعث افزایش معنی‌دار میزان عناصر پتاسیم، فسفر، آهن و روی شد. مقادیر بالای آهن در ریشه ظرفیت جذب آنیون‌ها از قبیل فسفر را افزایش می‌دهد (Khalid et al., 2015). در مطالعه حاضر کمترین میزان آهن، روی، پتاسیم و فسفر در گیاهانی که هیچ آهنی دریافت نکردند، مشاهده شد. کمبود آهن باعث برهم خوردن تعادل غذایی و کمبود عناصری از جمله پتاسیم، منگنز، روی و فسفر و درنهایت اختلال در رشد گیاه می‌شود. در کمبود آهن به علت کاهش دسترسی به انرژی، جذب آنیون‌ها (انتقال فعال اولیه یا ثانویه) در سلول‌های ریشه کاهش می‌یابد. همچنین در اثر

کمبود آهن جذب کاتیون‌هایی مثل پتاسیم کم می‌شود که می‌تواند به علت نقش آهن در ساختار و فعالیت انتقال‌دهنده‌های کاتیون‌هایی مثل پتاسیم باشد (Niranjana et al., 2014). استفاده از نانو آهن در افزایش غلظت عناصر در گیاهان کارآمدتر از کودهای معمولی است. احتمالاً خصوصیت ذرات نانو، حلالیت بیشتر، سطح تماس بیشتر ذرات نانو با ریشه گیاهان علت این امر است (Khalid et al., 2015). در لگوم‌هایی مانند ماش به‌واسطه ترشح پروتون توسط پمپ پروتون و تراوش کربوکسیلیک اسیدها (مخصوصاً سیتریک اسید و مالیک اسید) در منطقه ریزوسفر، این منطقه اسیدی می‌شود بنابراین حلالیت عناصر و جذب آن‌ها افزایش می‌یابد (Khalid et al., 2015).

کمبود مواد غذایی یکی از مهم‌ترین تنش‌هایی است که به کمک همزیستی با قارچ‌های مایکوریزا می‌توان بر آن غلبه نمود. به‌طورکلی پذیرفته‌شده که قارچ‌های مایکوریزا میزان جذب فسفر توسط گیاه میزبان را بهبود می‌بخشند. افزایش جذب فسفر به‌وسیله افزایش سطح جذب ریشه‌ها، فزایش جذب رطوبت در خاک به‌وسیله هیف‌های قارچی، تسهیل انتقال فسفر از خاک به ریشه گیاهان و محلول ساختن فسفر به‌وسیله فسفاتاز صورت می‌گیرد (Asrar and Elhindi, 2011). میسلیوم‌های خارجی قارچ‌های آربوسکولار مایکوریزا عمدتاً حاوی هیف و اسپورهای قارچی هستند. هیف‌های خارجی در خاک گسترده شده و یک سطح جذب بالایی را برای فسفر، روی و یا نیتروژن فراهم می‌کنند (Asrar et al., 2012).

نتیجه‌گیری نهایی

به‌طورکلی نتایج این بررسی نشان داد که تنش خشکی منجر به کاهش عملکرد و اجزاء عملکرد ماش شد اما مصرف کلات‌ها آهن و روی و قارچ میکوریزا چه به‌صورت جداگانه و چه به شکل توأم منجر به بهبود عملکرد و اجزاء عملکرد دانه گردید. همچنین مصرف کلات‌های آهن و روی و قارچ میکوریزا منجر به بهبود کیفیت دانه و افزایش مقدار پروتئین دانه شد. نانوکودهای کلات‌کننده‌ی آهن و روی بر فتوسنتز و رشد گیاه تحت شرایط استرس، اثر مثبت دارد که کلات آهن و روی این عمل را از طریق توسعه واکنش‌های ضد تنشی، نظیر افزایش در تجمع پرولین، انجام می‌دهد.

منابع

Ahmad, A.G., Orabi, S., Gaballah, A., 2010. Effect of Bio-N-P Fertilizer on the growth, yield and some biochemical component of two Sunflower cultivars. International Journal of Academic Research. 4, 271-277.

AL-Karaki, G., McMichael, B., Zak, J., 2004. Field response of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress. Mycorrhiza. 14, 263-269.

Aref, F., 2011. The effect of boron and zinc application on concentration and uptake of nitrogen, phosphorous and potassium in corn grain. Indian Journal Science Technology. 4, 785–791.

Asrar, A.A., Abdel-Fattah, G.M., Elhindi, K.M., 2012. Improving growth, flower yield, and water relations of snapdragon (*Antirhinum majus* L.) plants grown under well-watered and water-stress conditions using arbuscular mycorrhizal fungi. Photosynthetica. 50, 305-316.

Asrar, A.W.A., Elhindi, K.M., 2011. Alleviation of drought stress of marigold (*Tagetes erecta*) plants by using *arbuscular mycorrhizal* fungi. Saudi Journal of Biological Sciences. 18, 93-98.

Atayese, M.O., 2007. Field response of Groundnut (*Arachis hypogeal* L.) cultivars to mycorrhizal inoculation and phosphorus fertilizer in Abekuta, South West Nigeria. American-eurasian Journal Agriculture Environment Science. 2, 16-23.

Babaei, H., Sadeghipour, A., Pazaki, A., 2017. Investigation of the effect of seed pretreatment with hydrogen peroxide on physiological and yield characteristics of mung bean under drought stress conditions. Plant Ecophysiology. 9, 23-31. [In Persian with English Summary].

Bahamin, S., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Beheshti, S., 2019. Effect of biological and chemical fertilizers of nitrogen and phosphorus on quantitative and qualitative productivity of maize under drought stress conditions. Environmental Stresses in Crop Sciences. 12, 123-139. [In Persian with English Summary].

Cakmak, I., 2009. Enrichment of fertilizers with zinc: An excellent investment for humanity and crop production in India. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology. 23, 281-298.

Chandrasiri, S.D., Liyanage, R., Vidanarachchi, J.K., Weththasinghe, P., Jayawardana, B.C., 2016. Does processing have a considerable effect on the nutritional and functional properties of Mung bean (*Vigna radiata*). Procedia Food Science. 6, 352-355.

David, D., Gerald, N., Carolyn, R., Paul, R.H., 2007. Inoculation with Arbuscular mycorrhizal fungi increases the yield of potatoes in a high P soil. Biological Agricultureand Horticulture. 25, 67-78.

Demir, S., 2004. Influence of arbuscular mycorrhiza on some physiological, growth parameters of pepper. Turkish Journal Biology. 28, 85-90.

Diallo, A.T., Samb, P.I., Roy- Macauley, H., 2011. Water status and stomatal behavior of cowpea, Vigna unguiculata L. Walp, plants inoculated with two Glomus species at low soil moisture levels. European Journal Soil Biology. 37, 187-196.

Efeoğlu, B., Ekmekçi, Y., Çiçek, N., 2009. Physiological responses of three maize cultivars to drought stress and recovery. South African Journal of Botany. 75, 34-42.

Eivand, H.R., Ismaili, A., Mohammadi, M., 2014. On the authorship of Khorramabad. Journal of World Agricultural Sciences. 45, 278-29. [In Persian with English Summary].

Esmaeilpour, B., Jalilvand, P., Hadian, J., 2013. Effect of Drought stress and mycorrhiza on some morphophysiological traits and yield of Savory. Journal of agroecology. 5, 169-177. [In Persian with English Summary].

Faisal, E.A., Samia O.Y., Elsiddig, A.E.E., 2000. Effects of mycorrhizal inoculation and phosphorus application on the nodulation, mycorrhizal infection and yield components of Faba Bean grown under two different watering regimes. University of Khartoum Journal of Agricutural Sciences. 8, 107-116.

Fatahi-Siahkamari, S., Aroie, H., Azizi, M., salehi sardoei, A., 2020. Effect of nano chelates (iron and zinc) and nitrogen (biofertilizer and chemical fertilizer) on some morphophysiological characteristics and essential oil yield of two Basil populations. Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants. 8, 106-118.

Garcia, K., Zimmermann, S.D., 2014. The role of mycorrhizal associations in plant potassium nutrition. Frontiers in Plant Science. 5, 337.

Ghofrani-Maghsud, S., Mobasser, H.R., Fanaei, H.R., 2014. Effect of foliar application and time foliarapplication microelements (Zn, Fe, Mn) on safflower. Journal of Application Science. 3, 396-399.

Giovannetti, M., Moss, B., 1980. Estimiating the percentage of roof length colonized (Giridline Intersect Method). New Phytologist. 84, 489-500.

Habibzadeh, Y., Pirzad, A., Zardashti, M.R., Jalilian, J., Eini, O., 2013. Effects of *Arbuscular Mycorrhizal* Fungi on Seed and Protein Yield under Water-Deficit Stress in Mung Bean. Agronomy Jurnal. 105,79-84. [In Persian with English Summary].

Heidari, M., Karami, V., 2014. Effects of different mycorrhiza species on grain yield, nutrient uptake and oil content of sunflower under water stress. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. 13, 9-13.

Jahanarai, F, Sadeghi, S.M., Ashuri, M., 2013. Solution Description, Nanocomposite Investigation of Barakat and Components of Genotype Execution of Components of Chiti Beans Inoculated with Rhizobium Bacteria in Gilan Farm. Iranian Beans Research Journal. 4, 120-111. [In Persian with English Summary].

Kabiri, R., 2011. Explain the predictions of salicylic acid treatment for stress and support for drought in capturing Nigella sativa hydroponic. Master Thesis. Kerman Shahid Bahonar University. Iran. [In Persian with English Summary].

Karaki, G., McMichael, B., Zak, J., 2004. Field response of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress. Mycorrhiza. 14, 263-269.

Karami-Chame, S., Khalil-Tahmasbi, B., ShahMahmoodi, P., Abdollahi, A., Fathi, A., Seyed Mousavi, S.J., Bahamin, S., 2016. Effects of salinity stress, salicylic acid and Pseudomonas on the physiological characteristics and yield of seed beans (*Phaseolus vulgaris*). Scientia. 14, 234-238.

Khalid, S., Asghar, H.N., Akhtar, M.J., Aslam, A., 2015. Biofortification of iron in chickpea by

plant growth promoting rhizobacteria. Pakistan Journal Botany. 47, 1191-1194.

Koret, L.L., Williams, J.H., Specht, J.E., Sorence, R.C., 1983. Irrigation of soybean genotypes during reproductive ontogeny. I. Agronomic responses. Crop Science. 23, 521-529.

Mazaherinia, S., Astaraei, A.R., Fotovat, A., Monshi, A., 2010. Nano iron oxide particles efficiency on Fe, Mn, Zn and Cu concentrations in wheat plant. World Applied Science Journal. 7, 36- 40.

Momeni, S., 2011. Effect of Seed Priming with Salicylic Acid and Polyethylene Glycol with Plant Spraying Solution with Solid Silica Acid to Dry Corn (*Zea mays* L.). Master Thesis, Faculty of Agriculture, Birjand University. Iran. [In Persian with English Summary].

Moradi Telavat, M.R., Roshan, F., Siadat, S.A., 2015. Effect of foliar application of zinc sulfate on minerals contenet, seed and oil yields of two safflower cultivars (*Carthamus tinctorius* L.). Iranian Journal of Crop Sciences. 17, 153-164. [In Persian with English Summary].

Naderi, M.R., Abedi, A., 2012. Application of nanotechnology in agriculture and refinement of environmental pollutants. Journal Nanotechology. 11, 18-26.

Niranjana, S.R., Hariprasad, P., 2014. Understanding the mechanism involved in PGPR-mediated growth promotion and suppression of biotic and abiotic stress in plants. Springer Science, Business Media New York. 12, 59-109.

Olsen, S.R., Sommers, L.E., 1982. Phosphorus. Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy. U.S.A. 11, 403-430.

Pramanik, P., Goswami, A.J., Ghosh, S., Kalita, C., 2019. An indigenous strain of potassium-solubilizing bacteria Bacillus pseudomycoides enhanced potassium uptake in tea plants by increasing potassium availability in the mica waste-treated soil of North-east India. Journal of Applied Microbiology. 126, 215-222.

Parsa Motlagh, B., 2011. Writing on the salinity of irrigation water, mycorrhizal fungus and phosphorus child on the growth and monitoring characteristics of beans (*Phaseseolus vulgaris* L.). Master Thesis, Faculty of Agriculture, Birjand University. [In Persian with English Summary].

Peck, A.W., McDonald, G.K., Graham, R.D., 2008. Zinc nutrition influences the protein composition of flour in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal Cereal Science. 47, 266-274.

Peyvandi, M., Parande, H., Mirza, M., 2011. The comparison of iron Nano chelates effect on growth parameters and antioxidant enzymes activity of *Ocimum Basilicum*. Journal of molecular cellular biotechnology. 4, 19-31.

Philips, J.M., Hayman, D.S., 1970. Improved procedures for cleaning roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. The British Mycological Society. 55, 158-161.

Pirzad, A., Habibzadeh, Y., Jalilian, J., 2014. Seed yield variations of mungbean (*Vigna radiata* L.) at mycorrhizal symbiosis under water stress. Research in Field Crops. 2, 33-43.

Qiao, G., Wen, X.P., Yu, L.F., Ji1, X.B., 2011. The enhancement of drought tolerance for pigeon pea inoculated by arbuscular mycorrhizae fungi. Plant Soil Environment. 57, 12. 541-546.

Rafiei, M., Nadian, H., Noor Mohammadi, Gh., Karimi, M., 2004. Effects of drought stress and predominance of zinc and phosphorus on diamonds and fraud of elements in corn. Iranian Journal of Agricultural Sciences. 35, 243-235. [In Persian with English Summary].

Rafique, E., Yousera, M., Mahmood-ul-Hassan, M., Sarwar, S, Tabassam, T., Choudhary, T.K., 2015. Zinc application Affects tissue zinc concentration and seed yield of pea (*Pisum sativum* L.). Journal of Pedosphere. 25(2): 275-281.

Rahimi, L., Ardakani, M.R., Paknezhad, F., Rejali, F., 2009. Effect of mycorrhizal symbiosis on increasing of drought resistance of two grain sorghum. Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding. 5, 43-57. [In Persian with English Summary].

Reddy, A.R., Chaitanya, K.V., Vivekanandan, M., 2004. Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. Journal Plant Physiology. 161, 1189-1202.

Ronaghi, A., Chakrol-hosseini, M., Karimian, N., 2002. Growth and chemical composition of corn as affected by phosphorus and iron. Journal Science Technololgy Agriculture Natutral Resource. 6, 91-102.

Saha, S., Mandal, B, Hazra, G.C., Dey, A., Chakraborty, M., Adhikari, B., Mukhopadhyay, S.K., Sadhukhan R., 2015. Can agronomic biofortification of zinc be benign for iron in cereals?. Journal of Cereal Science. 65, 186-191.

Vereecken, H., Weynants, M., Javaux, M., Pachepsky, Y., Schaap, M.G., van Genuchten, M.Th., 2010. Using pedotransfer functions to estimate the van genuchten-mualem soil hydraulic properties: a review. Vadose Zone Journal. 9, 795-820.

Yassen, A., Abou El-Nour, E.A.A., Shedeed, S., 2010. Response of Wheat to foliar spray with urea and Micronutrients. Journal of American Science. 6, 14-22.