بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده کشاورزی
رساله دکتری مهندسی زراعت

تاثیر محلول پاشی اکسید روی و قارچ میکوریزا بر عملکرد کمی و صفات فیزیولوژیکی دو رقم جو

نگارنده: **نرجس مشفقی**

استاد راهنما:
دکتر مصطفی حیدری

اساتید مشاور:
دکتر مهدی برادران فیروزآبادی
دکتر حمیدرضا اصغری

آذر ۱۳۹۸

شماره: ۲۴۱۴
تاریخ: ۱۳۹۸/۹/۲۰

باسمه‌تعالی

دانشگاه صنعتی شاهرود
مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از رساله دکتری

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از رساله دکتری خانم نرجس مشفقی با شماره دانشجویی ۹۲۴۶۴۵۵ رشته: **زراعت** گرایش: **فیزیولوژی گیاهان زراعی** تحت عنوان **"تاثیر محلول پاشی اکسید روی و قارچ میکوریزا بر عملکرد کمی و صفات فیزیولوژیکی دو رقم جو"** که در تاریخ ۱۳۹۸/۹/۲۶ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می‌گردد:

قبول (با درجه: عالی) ☑ **مردود** ☐

نوع تحقیق: نظری ☐ **عملی** ■

عضو هیأت داوران	نام ونام خانوادگی	مرتبهٔ علمی	امضاء
۱ـ استاد راهنما	دکتر مصطفی حیدری	دانشیار	
۲- استاد مشاور	دکتر مهدی برادران فیروزآبادی	دانشیار	
۳- استاد مشاور	دکتر حمید رضا اصغری	دانشیار	
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر خلیل اژدری	دانشیار	
۵- استاد ممتحن اول	دکتر محمدرضا عامریان	دانشیار	
۶ـ استاد ممتحن دوم	دکتر احمد غلامی	دانشیار	
۷ـ استاد ممتحن دوم	دکتر همت الله پیردشتی	دانشیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر محمدرضا عامریان

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

تبصره: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در مدت مجاز تحصیل) می تواند از رساله خود دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).

۳

تقدیم به پدر و مادر عزیزم:

خدای را بسی شاکرم که از روی کرم، پدر و مادری فداکار نصیبم ساخته تا در سایه درخت پربار وجودشان بیاسایم و از ریشه آن ها شاخ و برگ گیرم و از سایه وجودشان در راه کسب علم و دانش بهره گیرم. والدینی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نامشان دلیلی است بر بودنم. تقدیم به وجود با ارزشتان....

و تقدیم به همسرم:

او که مثل هیچ کس نیست.

او که اسوه صبر و تحمل بوده و مشکلات مسیر را برایم تسهیل نمود. سپاس از او که سایه مهربانیش سایه سار زندگیم است.

و به خواهرم:

به همسفر مهربان زندگیم، که با هم آغاز کردیم، در کنار هم آموختیم و به امید هم به آینده چشم دوختیم. نجمه عزیزم قلبم لبریز از عشق به توست و خوشبختی ات منتهای آرزویم.

تشکر و قدردانی

اکنون که به یاری پروردگار و یاری و راهنمایی اساتید بزرگ موفق به پایان این رساله شده‌ام وظیفه خود دانشته که نهایت سپاسگزاری را از تمامی عزیزانی که در این راه به من کمک کرده‌اند را به عمل آورم:

در آغاز از استاد مهربانم جناب آقای دکتر مصطفی حیدری که راهنمایی این رساله را به عهده داشته‌اند کمال تشکر را دارم.

از اساتید محترم جناب آقایان دکتر حمید رضا اصغری و دکتر مهدی برادران فیروزآبادی که اساتید مشاور این رساله بوده‌اند صمیمانه قدردانی می‌نمایم.

از داوران گرامی جناب آقایان دکتر محمد رضا عامریان، دکتر احمد غلامی و دکتر همت الله پیردشتی که زحمت داوری و تصحیح این رساله را به عهده داشتند کمال سپاس را دارم.

از مدیریت محترم گروه زراعت جناب اقای دکتر مکاریان و ریاست محترم دانشکده کشاورزی جناب آقای دکتر عامریان صمیمانه سپاسگزارم.

خالصانه از تمامی اساتید و معلمان و مدرسانی که در مقاطع مختلف تحصیلی به من علم آموخته و مرا از سرچشمه دانایی سیراب کرده‌اند متشکرم.

و در انتها از همراهی دوستان عزیزم در این مسیر نهایت تشکر را دارم.

تعهدنامه

اینجانب نرجس مشفقی دانشجوی دوره دکتری رشته مهندسی کشاورزی – فیزیولوژی گیاهان زراعی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده رساله **تاثیر محلول پاشی اکسید روی و قارچ میکوریزا بر عملکرد کمی و صفات فیزیولوژیکی دو رقم جو** تحت راهنمایی جناب آقای دکتر مصطفی حیدری متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این رساله توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در رساله تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک با امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی رساله تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از رساله رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این رساله، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت های آن‌ها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این رساله، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی‌ی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاقی انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در رساله بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

در اکثر خاک‌های ایران، کمبود روی یکی از عوامل اصلی کاهش دهنده رشد و عملکرد در گیاهان زراعی محسوب می شود. تلقیح میکوریزایی با بر هم زدن اثر آنتاگونیستی فسفر و روی در ریزوسفر و همچنین روش محلولپاشی برگی روی نقش موثری در تامین این عنصر حیاتی برای گیاه دارند. از این رو، این مطالعه با هدف بررسی اثر میکوریزا و محلولپاشی روی بر صفات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و عملکرد دو رقم جو در قالب دو آزمایش مزرعه‌ای و گلدانی صورت پذیرفت. آزمایش مزرعه به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی شهرستان چناران و آزمایش گلدان نیز همزمان به صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی در شرایط کاملا مشابه مزرعه و در همان محل مزرعه انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل رقم یوسف و جلگه به عنوان فاکتور اول، قارچ میکوریزا فاکتور دوم و در سه سطح شاهد، گونه میکوریزای *Glomus mosseae* و *Glomus intraradices* و محلولپاشی روی به عنوان فاکتور سوم و در چهار سطح شاهد، محلولپاشی نانو اکسید روی، اکسید روی معمولی به میزان ۲ در هزار و مخلوط نانو و اکسید روی معمولی هر کدام به میزان ۱ در هزار بودند. نتایج نشان داد که محلولپاشی روی به صورت مخلوط نانو و معمولی در آزمایش مزرعه و به صورت نانو اکسید روی به تنهایی در آزمایش گلدانی سبب افزایش معنی‌دار اکثر صفات بیوشیمیایی و عملکرد در هر دو رقم جو گردید. در هر دو آزمایش میزان رنگیزه های فتوسنتزی، عناصر بافت‌های گیاهی و همچنین عملکرد و صفات وابسته به عملکرد در رقم جلگه در تلقیح میکوریزای *G. mosseae* از رقم یوسف بیشتر بود در حالیکه رقم یوسف در صفات تعداد پنجه، ارتفاع بوته و عملکرد بیولوژیک در تلقیح با *G. intraradices* برتری داشت. بررسی خصوصیات ریشه در آزمایش گلدانی نشان داد که در صفات مجموع طول ریشه، سطح ریشه و وزن خشک ریشه یوسف در تیمار *G. interaradices* برتری داشت درحالیکه جلگه پتانسیل بیشتری در افزایش قطر و حجم ریشه در تلقیح با *G. mosseae* را نشان داد.

کلمات کلیدی: جو، عنصر روی و میکوریزا

لیست مقالات مستخرج شده از پایان نامه:

۱- مشفقی ن، حیدری م، اصغری ح ر، برادران فیروزآبادی م. (۱۳۹۸)" بررسی اثر محلول‌پاشی روی و همزیستی میکوریزایی بر برخی صفات فیزیولوژکی و عملکرد جو" **چهارمین کنگره سالانه بین المللی توسعه کشاورزی، منابع طبیعی، محیط زیست و گردشگری ایران**، تبریز.

۲- مشفقی ن، حیدری م، اصغری ح ر، برادران فیروزآبادی م. (۱۳۹۸)" تاثیر محلولپاشی روی و قارچ میکوریزا بر صفات مورفولوژیکی ریشه رقم جو" **چهارمین کنگره سالانه بین المللی توسعه کشاورزی، منابع طبیعی، محیط زیست و گردشگری ایران**، تبریز.

3- Moshfeghi N, Heidari M, Asghari H.M, Baradaran Firoz Abadi M, Abbott K.L and ChenY. (2019) "Effect of zinc foliar application and mycorrhizal inoculation on morpho-physiological traits and yield parameters of two barley cultivars" **Italian Journal of Agronomy, 14**(1354), pp 67-77.

4- Moshfeghi N, Heidari M, Asghari H.M, Baradaran Firoz Abadi M, Abbott K.L and ChenY. (2019) "Foliar application of nano-Zn and mycorrhizal inoculation enhanced Zn in grain and yield of two barley (*Hordeum vulgare*) cultivars under field conditions" **Australian Journal of Crop Science, 14** (03), pp 475- 484.

فهرست مطالب

فصل اول ۱
مقدمه ۱
۱-۱- مقدمه: ۲
فصل دوم ۱۳
بررسی منابع ۱۳
۲-۱- کشاورزی پایدار: ۱۴
۲-۲- برخی از تاثیرات میکوریزای آرباسکولار بر گیاه و خاک: ۱۵
۲-۲-۱- جذب عناصر غذایی: ۱۵
۲-۲-۲- بهبود جذب آب و ایجاد توازن آبی: ۱۶
۲-۲-۳- افزایش مقاومت گیاه در برابر آفات و بیماریها: ۱۷
۲-۲-۴- تاثیر بر ساختمان خاک: ۱۷
۲-۲-۵- رشد بهتر گیاه: ۱۸
۲-۲-۶- تاثیر مثبت همزیستی میکوریزایی در ارتقای کیفیت حیات گیاهان: ۱۸
۲-۳- همزیستی غلات (با تاکید بر جو) با میکوریزا: ۲۰
۲-۴- اهمیت و نقش عنصر روی در گیاه ۲۳
فصل سوم ۲۷
مواد و روشها ۲۷
۳-۱- آزمایش مزرعهای ۲۸
۳-۱-۱ مشخصات محل اجرای آزمایش ۲۸
۳-۱-۲- طرح آزمایشی ۲۸
۳-۱-۳- عملیات آمادهسازی زمین و کاشت ۲۸
۳-۱-۴- عملیات داشت ۳۱
۳-۱-۵- نمونهبرداری و اندازهگیری صفات ۳۲
۳-۲ آزمایش گلدانی ۳۵
۳-۲-۱- مشخصات محل اجرای آزمایش ۳۵
۳-۲-۲- طرح آزمایشی ۳۵
۳-۲-۳- عملیات کاشت ۳۶

۳-۲-۴- عملیات داشت ۳۶
۳-۲-۵- نمونهبرداری و اندازهگیری صفات ۳۷
۳-۳- نرم افزارهای مورد استفاده جهت تجزیه و تحلیل دادهها ۳۷
فصل چهارم ۳۹
نتایج و بحث ۳۹
۴-۱- صفات مورفولوژیک ۴۰
۴-۲- خصوصیات ریشه ۵۰
۴-۳- صفات فیزیولوژیک ۵۷
۴-۴- صفات مرتبط با عملکرد ۱۰۲
۴-۵- بررسی مراحل فنولوژی ۱۲۰
۴-۶- همبستگی بین عملکرد دانه و صفات مرتبط با عملکرد ۱۲۲
۴-۷- نتیجه گیری ۱۲۷
۴-۸- پیشنهادات ۱۲۹
منابع و مآخذ ۱۳۱

فهرست اشکال

شکل ۱-۱. هیف بدون دیواره عرضی. ۷
شکل۱-۲. هیف دارای دیواره عرضی. ۷
شکل ۱-۳. ساختار قارچ آرباسکولار میکوریزا در ریشه گیاه میزبان. ۹
شکل ۱-۴. نمایی از ساختار آرباسکول در ریشه گیاه میزبان. ۹
شکل ۱-۵ نمایی از ساختار وزیکول در سلولهای ریشه گیاه میزبان. ۱۰
شکل ۴-۱. همبستگی عملکرد دانه با صفات مرتبط با عملکرد. ۱۲۳
شکل ۴-۲. همبستگی عملکرد بیولوژیک با صفات مرتبط با عملکرد. ۱۲۶
شکل ۴-۳. همبستگی عملکرد دانه با رنگیزههای برگ و مساحت برگ پرچم. ۱۲۷

فهرست جداول

جدول ۳-۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در عمق ۳۰-۰ سانتی متری ۲۸
جدول ۴-۱. تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک جو در مزرعه. ۴۰
جدول ۴-۲. اثر متقابل رقم جو و سطوح میکوریزا بر صفات مورفولوژیک در مزرعه. ۴۱
جدول ۴-۳. اثر متقابل سطوح میکوریزا و اکسید روی بر ارتفاع بوته جو در مزرعه. ۴۲
جدول ۴-۴. تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک جو در گلدان. ۴۳
جدول ۴-۵. اثر متقابل رقم جو، سطوح میکوریزا و اکسید روی بر ارتفاع بوته و مساحت برگ پرچم در گلدان. ۴۴
جدول ۴-۶. اثر اکسید روی بر مساحت برگ پرچم در مزرعه. ۴۶
جدول ۴-۷. تجزیه واریانس سطح و وزن خشک برگ و وزن خشک اندام هوایی جو در بخش گلدانی. ۴۷
جدول ۴-۸. اثرمتقابل رقم جو، سطوح میکوریزا و اکسید روی بر سطح و وزن خشک برگ و وزن خشک اندام هوایی جو در بخش گلدانی. ۴۸
جدول ۴-۹. تجزیه واریانس خصوصیات ریشه جو در بخش گلدانی. ۵۰
جدول ۴-۱۱. اثر متقابل رقم جو و سطوح میکوریزا بر سطح ریشه جو در بخش گلدانی. ۵۴
جدول ۴-۱۲. اثر متقابل سطوح میکوریزا و اکسید روی بر سطح ریشه جو در بخش گلدانی. ۵۶
جدول ۴-۱۳. تجزیه واریانس رنگیزههای برگ جو در بخش مزرعه. ۵۷
جدول ۴-۱۴. اثرمتقابل رقم جو، سطوح میکوریزا و اکسید روی برمیزان کلروفیلهای b و کل برگ جو دربخش مزرعه. ۵۸
جدول ۴-۱۵. اثر متقابل رقم جو و سطوح میکوریزا بر میزان کلروفیل a و آنتوسیانین برگ جو در بخش مزرعه. ۵۹
جدول ۴-۱۶. اثر متقابل رقم جو و اکسید روی بر میزان کلروفیل a برگ جو در بخش مزرعه. ۶۰
جدول ۴-۱۷. اثر متقابل سطوح میکوریزا و اکسید روی بر میزان کلروفیل a برگ جو در بخش مزرعه. ۶۱
جدول ۴-۱۸. تجزیه واریانس رنگیزههای برگ جو در بخش گلدانی. ۶۲
جدول ۴-۱۹. اثرمتقابل رقم جو، سطوح میکوریزا و اکسید روی بر رنگیزه های برگ جو در بخش گلدانی. ۶۳
جدول ۴-۲۰. تجزیه واریانس عناصر برگ جو در بخش مزرعه. ۶۴

جدول ۴-۲۱. اثرمتقابل رقم جو، سطوح میکوریزا و اکسید روی برمیزان عناصر فسفر و روی برگ جو دربخش مزرعه. ۶۵
جدول ۴-۲۲. اثر متقابل رقم جو و سطوح میکوریزا بر میزان عناصر نیتروژن و پتاسیم برگ جو در بخش مزرعه. ۶۶
جدول ۴-۲۳. اثر اکسید روی بر میزان عناصر نیتروژن و پتاسیم برگ جو در بخش مزرعه. ۶۷
جدول ۴-۲۴. تجزیه واریانس عناصر برگ جو در بخش گلدانی. ۶۸
جدول ۴-۲۵. اثرمتقابل رقم جو، سطوح میکوریزا و اکسید روی بر میزان عنصر فسفر برگ جو در بخش گلدانی. ۶۹
جدول ۴-۲۶. اثر متقابل رقم جو و سطوح میکوریزا بر میزان عناصر نیتروژن و روی برگ جو در بخش گلدانی. ۷۰
جدول ۴-۲۷. اثر متقابل رقم جو و اکسید روی بر میزان عناصر پتاسیم و روی برگ جو در بخش گلدانی. ۷۱
جدول ۴-۲۸. اثر متقابل سطوح میکوریزا و اکسید روی بر میزان عنصر روی برگ جو در بخش گلدانی. ۷۱
جدول ۴-۲۹. اثر اکسید روی بر میزان عنصر نیتروژن برگ جو در بخش گلدانی. ۷۲
جدول ۴-۳۰. تجزیه واریانس آنزیم کربونیک انهیدراز برگ جو در بخش مزرعه. ۷۳
جدول ۴-۳۱. تجزیه واریانس آنزیم کربونیک انهیدراز برگ جو در بخش گلدانی. ۷۳
جدول ۴-۳۲. اثر متقابل رقم جو و سطوح میکوریزا بر فعالیت آنزیم کربونیک انهیدراز برگ جو در مزرعه وگلدان. ۷۴
جدول ۴-۳۳. اثر متقابل رقم جو و اکسید روی بر فعالیت آنزیم کربونیک انهیدراز برگ جو در بخش مزرعه و گلدان. ۷۵
جدول ۴-۳۴. اثر متقابل سطوح میکوریزا و اکسید روی بر فعالیت آنزیم کربونیک انهیدراز برگ جو در مزرعه و گلدان. ۷۶
جدول ۴-۳۵. تجزیه واریانس آنزیم فیتاز برگ جو در بخش مزرعه. ۷۷
جدول ۴-۳۶. تجزیه واریانس آنزیم فیتاز برگ جو در بخش گلدانی. ۷۸
جدول ۴-۳۷. اثر متقابل رقم جو، سطوح میکوریزا و اکسید روی بر میزان آنزیم فیتاز برگ جو در مزرعه و گلدان. ۷۹
جدول ۴-۳۸. تجزیه واریانس آنزیمهای آنتی اکسیدان گیاه جو در بخش مزرعه. ۸۰

جدول ۴-۳۹. تجزیه واریانس آنزیمهای آنتی اکسیدان گیاه جو در بخش گلدانی. ۸۱
جدول ۴-۴۰. اثر متقابل رقم جو، سطوح میکوریزا و اکسید روی بر میزان فعالیت آنزیمهای سوپر اکسید دیسموتاز و پراکسیداز جو دربخش مزرعه و گلدانی..... ۸۲
جدول ۴-۴۱. اثر اکسید روی بر فعالیت آنزیم کاتالاز در بخش مزرعه و گلدان. ۸۳
جدول ۴-۴۲. تجزیه واریانس قندهای محلول گیاه جو در بخش مزرعه. ۸۴
جدول ۴-۴۳. اثر متقابل رقم جو، سطوح میکوریزا و اکسید روی بر میزان قندهای محلول جو دربخش مزرعه و گلدان..... ۸۵
جدول ۴-۴۴. تجزیه واریانس قندهای محلول گیاه جو در بخش گلدانی. ۸۶
جدول ۴-۴۵. تجزیه واریانس عناصر دانه جو در بخش مزرعه. ۸۷
جدول ۴-۴۶. تجزیه واریانس عناصر دانه جو در بخش گلدانی..... ۸۸
جدول ۴-۴۷. اثر متقابل رقم جو و سطوح میکوریزا بر میزان عناصر فسفر، پتاسیم و روی دانه جو در بخش مزرعه. ۸۹
جدول ۴-۴۸. اثر متقابل رقم جو و اکسید روی بر میزان عناصر پتاسیم و روی دانه جو در بخش مزرعه..... ۹۰
جدول ۴-۴۹. اثر متقابل سطوح میکوریزا و اکسید روی بر میزان عنصر روی دانه جو در بخش مزرعه. ۹۱
جدول ۴-۵۰. اثر اکسید روی بر میزان عناصر نیتروژن و فسفر دانه جو در بخش مزرعه..... ۹۱
جدول ۴-۵۱. اثر میکوریزا بر میزان عنصر نیتروژن دانه جو در بخش مزرعه. ۹۲
جدول ۴-۵۲. اثر متقابل رقم جو، سطوح میکوریزا و اکسید روی بر میزان عنصر روی دانه جو در بخش گلدانی. ۹۳
جدول ۴-۵۳. اثرمتقابل رقم جو و سطوح میکوریزا برمیزان عناصر فسفر، پتاسیم و نیتروژن دانه جو دربخش گلدانی..... ۹۴
جدول ۴-۵۴. اثر متقابل سطوح میکوریزا و اکسید روی بر میزان عنصر فسفر دانه جو در بخش گلدانی..... ۹۵
جدول ۴-۵۵. اثر اکسید روی بر میزان عناصر نیتروژن و پتاسیم دانه جو در بخش گلدانی. ۹۵
جدول ۴-۵۶. تجزیه واریانس آنزیم فیتاز دانه جو در بخش مزرعه. ۹۸
جدول ۴-۵۷. اثر متقابل رقم جو و سطوح میکوریزا بر میزان آنزیم فیتاز دانه جو در بخش مزرعه. . ۹۹
جدول ۴-۵۸. اثر اکسید روی بر میزان آنزیم فیتاز دانه جو در بخش مزرعه. ۹۹

جدول ۴-۵۹. تجزیه واریانس آنزیم فیتاز دانه جو در بخش گلدانی. ۱۰۰
جدول ۴-۶۰. اثر متقابل رقم جو و سطوح میکوریزا بر میزان آنزیم فیتاز دانه جو در بخش گلدانی.
..... ۱۰۱
جدول ۴-۶۱. اثر متقابل رقم جو و اکسید روی بر میزان آنزیم فیتاز دانه جو در بخش گلدانی..... ۱۰۱
جدول ۴-۶۲. تجزیه واریانس صفات مرتبط با عملکرد جو در بخش مزرعه..... ۱۰۲
جدول ۴-۶۳. اثر متقابل رقم جو و سطوح میکوریزا بر تعداد پنجه ، تعداد سنبله و وزن هزار دانه جو
در بخش مزرعه..... ۱۰۳
جدول ۴-۶۴. اثر متقابل رقم جو و اکسید روی بر تعداد پنجه و تعداد سنبله جو در بخش مزرعه. ۱۰۴
جدول ۴-۶۵. تجزیه واریانس صفات مرتبط با عملکرد جو در بخش گلدانی..... ۱۰۴
جدول ۴-۶۶. اثر متقابل رقم جو و سطوح میکوریزا بر تعداد پنجه در گیاه در بخش گلدانی. ۱۰۵
جدول ۴-۶۷. اثر اکسید روی بر تعداد پنجه در گیاه جو در بخش گلدانی..... ۱۰۶
جدول ۴-۶۸. اثر متقابل سطوح میکوریزا و اکسید روی بر تعداد سنبله جو در بخش مزرعه. ۱۰۷
جدول ۴-۶۹. اثر متقابل رقم جو، سطوح میکوریزا و اکسید روی بر تعداد سنبله در گیاه و وزن هزار
دانه جو در بخش گلدانی. ۱۰۸
جدول ۴-۷۰. اثر اکسید روی بر وزن هزار دانه جو در بخش مزرعه. ۱۱۰
جدول ۴-۷۱. تجزیه واریانس عملکردهای دانه و بیولوژیک و شاخص برداشت جو در بخش مزرعه.
..... ۱۱۱
جدول ۴-۷۲. اثر متقابل رقم جو، سطوح میکوریزا و اکسید روی بر عملکردهای دانه و بیولوژیک و
شاخص برداشت جو در بخش مزرعه..... ۱۱۳
جدول ۴-۷۳. تجزیه واریانس وزن دانه و وزن کاه و کلش و شاخص برداشت جو در بخش گلدانی.۱۱۵
جدول ۴-۷۴. اثر متقابل رقم جو و سطوح میکوریزا بر وزن دانه جو در بخش گلدانی..... ۱۱۶
جدول ۴-۷۵. اثر اکسید روی بر وزن دانه جو در بخش گلدانی. ۱۱۷
جدول ۴-۷۶. اثر متقابل رقم جو، سطوح میکوریزا و اکسید روی بر وزن کاه و کلش و شاخص برداشت
جو در بخش گلدانی. ۱۱۹
جدول ۴-۷۷. مراحل فنولوژی ارقام مورد مطالعه جو در بخش مزرعه. ۱۲۱

فهرست علائم و اختصارها

علامت اختصاری	معادل انگلیسی	معادل فارسی
VAM	Vesicular Arbuscular Mycorrhiza	میکوریزای وزیکولار - آرباسکولار
AFM	Arbuscular Mycorrhiza Fungi	قارچ میکوریزای آرباسکولار
pH	Potential of Hydrogen	اسیدیته
IAA	Indole-3-Acetic Acid	ایندول استیک اسید
CO_2	Carbon Dioxide	دی اکسید کربن
ROS	Reactive Oxygen Species	گونه‌های فعال اکسیژن
EC	Electrical conductivity	هدایت الکتریکی
G.	*Glomus*	جنس گلوموس
FC	Field Capacity	ظرفیت مزرعه
CA	Carbonic Anhydrase	کربونیک انهیدراز
SOD	Superoxide Dismutase	سوپر اکسید دیسموتاز
CAT	Catalase	کاتالاز
POX	Peroxidase	پراکسیداز
DNA	Deoxy ribonucleic acid	دئواکسی ریبو نوکلئیک اسید
RNA	Ribonucleic acid	ریبو نوکلئیک اسید

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه:

اکثر خـاک هـای زراعـی ایران با کمبود مـواد آلـی و عناصـر غذایـی مواجه بـوده و در تمـام مناطـق خشـک و نیمـه خشـک این کمبود عناصر ریز مغذی یکی از عوامل کاهش دهنده رشد و عملکرد در گیاهان زراعی به شمار می‌رود. از این رو، یکی از اهداف مصرف عناصر ریز مغذی، رشـد مطلـوب گیـاه، بهبود خصوصیات کمی و کیفی محصولات کشاورزی و افزایـش عملکـرد در این مناطق است (ملکوتی و تهرانی، ۱۳۸۷). از آنجا که تغذیه انسان بطور مستقیم به گیاهان وابسته است، تولید مواد غذایی مغذی به محتوی متعادلی از عناصر ضروری برای بدن نیاز دارد. یکی از این عناصر ضروری، عنصر روی (Zn) است که کمبود آن در انسان می‌تواند باعث اختلال در رشد مغز و همچنین اختلال در التیام و بهبود زخم و افزایش ابتلا به بیماری‌های عفونی شود (بلک و همکاران، ۲۰۰۸).

بیش از ۳۰۰ آنزیم درگیر در فرآیندهای کلیدی متابولیکی بدن انسان تحت تاثیر حضور روی هستند (ولش، ۲۰۰۱). سازمان بهداشت جهانی کمبود روی را در رژیم غذایی یک سوم جمعیت جهان تخمین زده است که میزان این کمبود بین ۴ تا ۷۳ درصد در مناطق مختلف جهان متفاوت است (هو، ۲۰۰۲). علاوه بر این، کمبود روی یکی از کمبودهای رایج عناصر ریز مغذی در اکثر اراضی کشاورزی دنیاست که عامل اصلی کاهش عملکرد و کاهش ارزش غذایی محصولات زراعی می شود. لذا غذاهای گیاهی از جهت تامین منابع روی برای انسان قابل توجه هستند (ولش و گراهام، ۲۰۰۴). این عنصر در فرآیندهای حیاتی گیاهان از جمله سنتز اکسین‌ها، فعالیت آنزیم‌ها، متابولیسم پروتئین و تقسیمات سلولی نقش داشته (آلوی، ۲۰۰۴) و از طریق تاثیری که بر فرآیند فتوسنتز و تولید قند دارد عنصر ضروری در متابولیسم کربوهیدرات‌ها محسوب می‌شود. تحت تاثیر کمبود روی، ظرفیت فتوسنتزی گیاه کاهش یافته که البته می‌تواند ناشی از کاهش فعالیت آنزیم کربونیک آنهیدراز (CA)، کاهش فعالیت‌های فتوشیمیایی کلروپلاست و نیز کاهش محتوی کلروفیل و تغییر در ساختار کلروپلاست‌ها باشد (رومهلد و مارچنر، ۱۹۹۱).

محققین کلروفیل برگ را یک عامل مهم در تعیین میزان فتوسنتز و تولید ماده خشک معرفی کردند (کافی و همکاران، ۱۳۸۹؛ گرگ و سینگلا، ۲۰۰۹). مشخص شده است که فراهمی عنصر روی، می-تواند محتوی کلروفیل برگ را افزایش دهد (سینگ و اسوالت، ۱۹۹۵). عنصر روی در سنتز پروتئین‌ها، ساختار کروماتین و متابولیسم DNA و RNA و بیان ژن‌ها نقش داشته و کمبود آن سبب تخریب RNA، کاهش فعالیت RNA پلیمراز، تغییر شکل و کاهش تعداد ریبوزوم‌ها می‌شود. از آنجا که روی یکی از اجزای ضروری آنزیم RNA پلیمراز بوده و در هر مولکول این آنزیم دو اتم روی وجود دارد، لذا در صورت کمبود روی احتمال کاهش فعالیت و حتی غیرفعال شدن این آنزیم وجود دارد (مارشنر ، ۱۹۹۵). ککمک و همکاران (۱۹۹۹) اعلام نمودند که کمبود روی سبب اختلال در متابولیسم بافت سلولی شده و باعث خسارت به پروتئین‌های غشا، کلروفیل، اسیدهای نوکلئیک، آنزیم‌ها و ایندول استیک اسید می‌گردد و در نهایت سبب ممانعت از رشد گیاه می‌شود.

مشکل کمبود روی عموماً در خاک‌هایی که حاوی فسفر بالایی هستند و به دلیل اثر آنتاگونیستی بین فسفر و روی مشاهده می شود (بوگدانویک و همکاران، ۱۹۹۹). در مطالعه‌ای روی رقم مختلف گندم مشخص شد که با افزایش غلظت فسفر در محیط ریزوسفر، غلظت عنصر روی در ریشه آنها کاهش یافت (یانگ و همکاران، ۲۰۱۱).

مصرف خاکی عناصر ریزمغذی، علاوه بر پایین بودن کارایی جذب توسط گیاه، از لحاظ اقتصادی نیز بسیار پرهزینه است. از این رو، می‌توان از روش‌های جایگزین مانند محلول پاشی بهره گرفت. استفاده از محلول پاشی برگی، روشی است که در آن عناصر غذایی جذب شده توسط برگ‌ها به قسمت‌های مختلف گیاه منتقل می‌شوند و به نقاط هدف می‌رسند.

ککمک و همکاران (۱۹۹۶) گزارش کردند که کمبود روی در گیاهان مناطق خشک و نیمه خشک به ویژه در خاک‌هایی که دارای pH قلیایی هستند اتفاق می‌افتد. در نتیجه تغذیه برگی یکی از راه‌های مؤثر در رفع نیاز غذایی گیاهان به عناصر کم مصرف است. ککمک (۲۰۰۹) گزارش کرد که محلول پاشی برگی عناصر، روش مناسبی برای افزایش غلظت روی در دانه گیاهان زراعی است. جذب عنصر

روی توسط گیاه عموماً با دو ساز و کار فعال و غیرفعال صورت می‌گیرد. جذب غیرفعال آن از طریق جذب الکتروستاتیکی یون‌های روی دیواره سلولی سلول‌های ریشه صورت گرفته و جذب فعال روی بیشتر تحت تاثیر دما و تهویه محیط ریشه است و به نظر می رسد که ساز و کار جذب فعال روی تامین کننده بخش عمده روی مورد احتیاج گیاه باشد. با توجه به جذب کند عنصر روی و سایر عناصر مشابه توسط ریشه بهتر است این عناصر از طریق اندام‌های هوایی در اختیار گیاهان قرار داده شوند (سیاوشی و همکاران، ۱۳۸۳).

از آنجا که کودهای شیمیایی پتانسیل بالایی برای آلوده سازی خاک، آب و هوا دارند، در سال‌های اخیر تلاش‌های بسیاری برای به حداقل رساندن این مشکلات توسط سازمان‌های مربوطه در بخش کشاورزی صورت گرفته است (نادری و دانش شهرکی، ۲۰۱۳). یکی از مواردی که اخیراً در کشاورزی کاربرد پیدا کرده است، استفاده از نانو ذرات می‌باشد. از آنجایی که دیواره سلول گیاهی به عنوان یک مانع برای ورود آسان هر عامل خارجی به داخل سلول‌های گیاهی عمل می‌کند، نانو ذرات که قطر منفذ کمتری (بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر) نسبت به قطر منفذ دیواره سلولی دارند به راحتی می‌توانند از منافذ روی دیواره عبور کنند. نانو ذرات در سطح برگ از طریق منافذ روزنه‌ای و یا پایه‌ای کرک وارد گیاه شده و سپس به بافت‌های مختلف منتقل می‌گردند (نیر و همکاران، ۲۰۱۰). بالا بودن کارایی جذب و سطح مخصوص ذرات نانو در مقایسه با ذرات معمولی، اثرگذاری بیشتر این ذرات را می‌تواند توجیه کند (مونیکا و کرمونینی، ۲۰۰۹).

یک دلیل مهم برای کاهش کارایی مصرف عناصر میکرو، عدم هماهنگی بین انتشار کودهای میکرو و تقاضای محصول به آنها در طول فصل رشد است. متاسفانه فناوری‌های معمولی فعلی قادر به هماهنگ سازی انتشار عناصر غذایی از بستر کود با توجه به نیاز محصول نمی‌باشند. در همین راستا، تلاش‌های تحقیقاتی مدرن با کمک‌های بالقوه از فناوری نانو و نانوبیوتکنولوژی برای افزایش کارایی مصرف عناصر میکرو با هدف بهره‌گیری به موقع از عناصر غذایی و همزمان با نیاز غذایی گیاهان انجام شده است.

بطور مثال در کانادا، پژوهشگران همگام سازی انتشار نیتروژن را با توجه به تقاضای محصول، مورد آزمایش قرار داده و کارایی مصرف نیتروژن را در گیاه افزایش دادند. این رویکرد با بهره‌گیری از دانش بوم‌شناسی خاک، گیاه، و با ابزارها، دستگاه‌ها و کاربرد فناوری نانو و نانوبیوتکنولوژی در تولید مواد به صورت کود نانو برای تحویل به موقع عناصر غذایی، کارآمد می‌باشد. کاربرد چنین کودهایی با تکنولوژی نانو ممکن است باعث افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی از ۵ درصد به بیش از ۵۰ درصد شود و در نهایت در بهبود عملکرد محصول و افزایش کیفیت مواد غذایی، سلامت انسان و دستاوردهای مطلوب زیست محیطی و اقتصادی نقش بسزایی داشته باشد (مونرال و همکاران، ۲۰۱۵). تولید و استفاده از نانوکودها باعث افزایش بهره‌وری کود و کاهش سمیت خاک و به حداقل رساندن اثرات منفی مرتبط با غلظت بیش از حد و کاهش حجم استفاده از کودها شده است. بدیهی است فناوری نانو به وسیله کودها تاثیر قابل توجهی روی انرژی، اقتصاد و محیط زیست دارد. از این رو، فناوری نانو توانایی بالایی برای رسیدن به کشاورزی پایدار به خصوص در کشورهای در حال توسعه دارد (نادری و دانش شهرکی، ۲۰۱۳). ثمن و همکاران (۱۳۹۰) در توجیه کارایی بهتر ذرات نانو اکسید روی نسبت به اکسید معمولی به خود ساختار ذرات نانو اشاره کرده و بیان نمودند از آنجایی که ذرات نانو دارای ابعاد بسیار ریزی هستند، لذا سطح ویژه بالایی دارند. این امر واکنش پذیری و تحرک بالاتری در گیاه ایجاد کرده و باعث می‌شود تا جذب با سرعت بالاتری صورت گیرد. مجموعه این دلایل افزایش پارامترهای موثر در اجزای عملکرد را به دنبال دارد و بطور ویژه در شرایط وقوع تنش از گیاه در برابر آسیب‌های جدی محافظت می‌کند. اکسید روی در مقیاس نانو ویژگی‌های ضد میکروبی داشته و پایداری بیشتری در دما و فشار بالا از خود نشان می‌دهد (ساوای، ۲۰۰۳).

کاربرد منابع و نهاده‌های تجدید پذیر، یکی از اصول کشاورزی پایدار است که موجب بهره‌وری زراعی بیشتر و خطرات زیست محیطی کمتری می شود. علاوه بر این، دسترسی به عملکرد مطلوب محصول، از مسائل مهم در کشت و کار گیاهان زراعی است. تحقق این اهداف مستلزم بکارگیری راهکارهای

نوین زراعی است که از این میان می‌توان به کاربرد کودهای زیستی اشاره کرد (هجد و همکاران، ۱۹۹۹).

کودهای زیستی امروزه قادرند در برخی موارد به عنوان جایگزین و در اکثر موارد به عنوان مکمل کودهای شیمیایی، پایداری تولید را در نظام‌های کشاورزی تضمین کنند (وسی، ۲۰۰۳). در حال حاضر مصرف کودهای زیستی همانند قارچ میکوریزا در یک سیستم مبتنی بر کشاورزی پایدار، موجب افزایش کیفیت و ثبات عملکرد گیاهان زراعی می شود. این قارچ‌ها با ایجاد ارتباط همزیستی با گیاهان بر کارکردهای مختلف فیزیولوژیک گیاه میزبان تاثیر گذاشته و موجب بهبود رشد و نمو آن می‌شوند (نادیان، ۱۳۷۷). این رابطه بین قارچ و گیاه، گسترده‌ترین رابطه همزیستی در طبیعت بوده که طی این همزیستی، قارچ کربوهیدرات، ویتامین‌ها و ماده مترشحه از ریشه گیاه را برای رشد و تحریک جوانه‌زنی اسپور مصرف می‌کند و در عوض قارچ در جذب عناصری مانند فسفر، پتاسیم و نیتروژن و همچنین آب به گیاه کمک می‌کند. این قارچ‌ها تا ۲۰ درصد کربن تثبیت شده میزبان را مصرف می‌کنند و در عوض تا ۸۰ درصد فسفر و ۲۵ درصد نیتروژن مورد نیاز گیاه را برای آن تامین می‌نمایند (کوچکی و همکاران، ۱۳۸۴). وابستگی تعدادی از گونه‌های گیاهی به قارچ‌های میکوریزا به حدی زیاد است که بدون وجود این همزیستی، این گیاهان نمی‌توانند به خوبی رشد کنند (شریفی و همکاران، ۱۳۸۹).

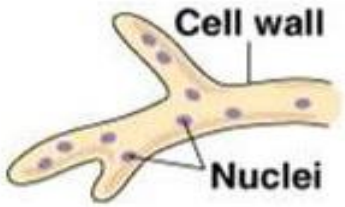
گزارشات علمی بازگوکنندهٔ این مطلب‌اند که سویه‌های متعلق به یک گونه که از نقاط جغرافیایی متفاوتی جداسازی گردیده‌اند، از لحاظ فیزیولوژیکی دارای تفاوت‌هایی با یکدیگر می‌باشند. به عنوان مثال سویه‌های گونهٔ *Glomus mosseae* جداسازی شده از مناطق خشک، نسبت به سویه‌های همین گونه که از مناطق مرطوب جداسازی شده‌اند، کارایی مصرف آب گیاه سویا را بیشتر افزایش دادند.

حتی نتایجی مبتنی بر پاسخ‌های متفاوت گیاه میزبان در شرایط یکسان سویه‌های مختلف یک گونه گزارش شده است (اسدی رحمانی و همکاران، ۱۳۸۶). تحقیقات نشان داده‌اند که عموماً منافع میکوریزی در خاک‌های فقیر از فسفر، بسیار بیشتر از خاک‌های غنی از این عنصر می‌باشد. بنابراین

گونه‌های گیاهی و حتی رقم متعلق به یک گونه نیز پاسخ‌های متفاوتی به قارچ های میکوریزای آرباسکولار از خود نشان می‌دهند (اسدی رحمانی و همکاران، ۱۳۸۶؛ هتریک و همکاران، ۱۹۹۶). این موضوع مبین آن است که می‌بایست میکوریزاها را به عنوان سیستم پویایی در نظر گرفت که کنترل آن توسط اثرات متقابل بین گیاهان، قارچ‌ها و سایر ریزجانداران خاک و همچنین خواص فیزیکی و شیمیایی خاک صورت می‌گیرد. بر اساس یافته‌های محققان، بیش از ۸۰ درصد کل گیاهان ساکن خشکی با میکوریزا رابطه همزیستی دارند (کوچکی و همکاران، ۱۳۹۰). بدین ترتیب که حدود ۸۳ درصد دولپه‌ای‌ها و ۷۹درصد از تک‌لپه‌ای‌ها قادر به تشکیل سیستم میکوریزایی هستند و تنها تعداد معدودی از گیاهان زراعی، میکوریزایی نمی‌شوند (آلن، ۱۹۹۱؛ دالگارد و همکاران، ۲۰۰۳).

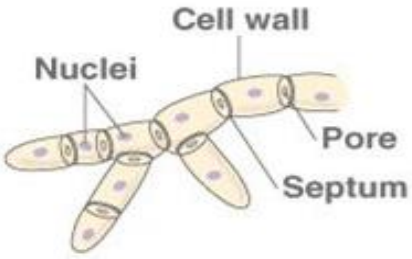
میکوریزاها براساس ویژگی‌های قارچ شرکت کننده در همزیستی به دو گروه بزرگ تقسیم‌بندی می-شوند:

۱- قارچ‌های بدون دیواره عرضی که متعلق به شاخه *Glomeromycota* بوده و هیف‌ها در این نوع قارچ فاقد دیواره عرضی می‌باشند (شکل ۲-۱).



شکل ۱-۱. هیف بدون دیواره عرضی.

۲- قارچ‌های دارای دیواره عرضی که متعلق به شاخه‌های *Ascomycetes* و *Basidiomycetes* بوده و هیف‌ها در آنها دارای دیواره عرضی هستند (شکل۲-۲).



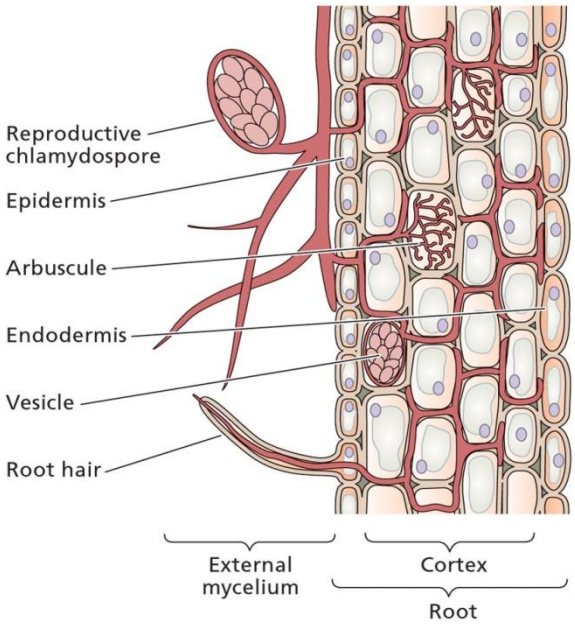
شکل۱-۲. هیف دارای دیواره عرضی.

تمامی قارچ‌های میکوریزای آرباسکولار متعلق به ردهٔ Glomeromycetes یا Zygomycetes هستند و دارای هیف‌های بدون دیواره می‌باشند و هیف‌های آنها کاملاً به داخل سلول‌های پوست ریشه گیاه میزبان نفوذ می‌کند (شریفی و همکاران، ۱۳۸۹؛ ارشدی، ۱۳۹۵). این میکوریزاها تقریباً دارای ۱۵۰ گونه هستند که قادرند در حدود ۳۰۰ هزار گونه گیاهی را آلوده کنند. آرباسکولار میکوریزاها تقریباً در ۷۰ درصد از خانواده‌های گیاهی یافت می‌شوند و ریشه بیشتر نهاندانگان که از لحاظ زراعی حائز اهمیت هستند دارای این نوع قارچ می‌باشند. این قارچ‌ها در ریشه گیاهان گلدار علفی، اغلب درختان، خزه‌ها، سرخس‌ها یافت می‌شوند (شریفی و همکاران، ۱۳۸۹).

هیف‌های این قارچ از طریق تارهای کشنده یا از طریق سلول‌های اپیدرمی ریشه ابتدا در بین سلول-های پوست ریشه وارد شده و رشد می‌کنند و سپس به داخل سلول‌های ریشه میزبان نفوذ می‌نمایند و به همین دلیل به آنها اِندومیکوریزا نیز گفته می‌شود (شکل۲-۳). ریسه‌ها (هیف‌ها) پس از ورود به سلول ریشه گیاه میزبان تولید ساختارهای درختچه مانندی بنام آرباسکول[1] می‌نمایند که تبادل متابولیت‌ها بین قارچ و گیاه میزبان از طریق آرباسکول انجام می‌شود.

آرباسکول‌ها که ۲۰ تا ۴۰ درصد حجم سلول را اشغال می‌کنند، کمتر از ۱۵ روز عمر می‌کنند و سپس از بین رفته و مورد هضم قرار می‌گیرند (شکل۲-۴). چنانچه آرباسکول مواد غذایی کافی در اختیار نداشته باشد، در این صورت قارچ تولید اسپور می‌کند. این اسپورها به منزلهٔ بذر برای قارچ بوده و سالیان طولانی زنده می‌مانند (ارشدی، ۱۳۹۵؛ کوچکی و همکاران، ۱۳۹۰).

1- Arbuscule

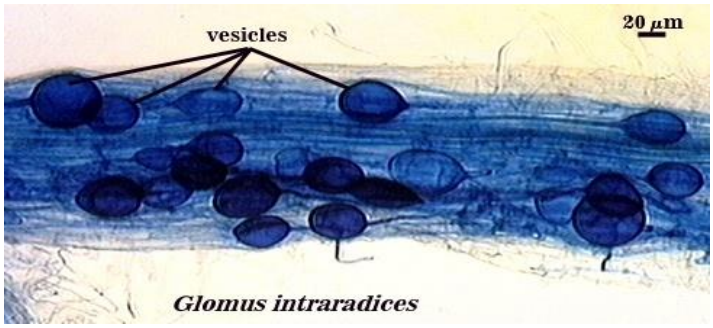


شکل ۱-۳. ساختار قارچ آرباسکولار میکوریزا در ریشه گیاه میزبان.

شکل ۱-۴. نمایی از ساختار آرباسکول در ریشه گیاه میزبان.

انشعابات هیف‌های درونی، ساختمان‌های کیسه مانندی در فضاهای بین سلول‌های پوست ریشه گیاه میزبان ایجاد می‌کنند که به آنها وزیکول[1] می‌گویند (شکل۲-۵). وزیکول‌ها اندام‌های ذخیره‌ای مواد غذایی (بخصوص لیپیدها) و همچنین در بعضی موارد به عنوان اندام تولید مثلی قارچ (حاوی اسپور) می‌باشند. وجود ساختارهای وزیکول و آرباسکول در این نوع میکوریزا سبب شده است که این ریزجانداران به میکوریزاهای داخلی (یا وزیکولار – آرباسکولارها یا به اختصار به VAM) شهرت پیدا کنند (کوچکی و همکاران، ۱۳۸۴؛ شریمنت شریدهر، ۲۰۱۲).

1- Vesicle



شکل ۱-۵ نمایی از ساختار وزیکول در سلول‌های ریشه گیاه میزبان.

در محیط‌هایی که خاک از نظر عناصر غذایی (خصوصاً فسفر) ضعیف است، گیاه موادی را از ریشه خود به بیرون ترشح می‌کند که مهمترین آنها هورمونی به نام استریگولاکتون[1] می‌باشد. مشخص شده است که استریگولاکتون‌ها نقش سیگنال را برای میکوریزا بازی می‌کنند و باعث تحریک رشد و تشکیل شاخه روی هیف می‌گردند و سبب رشد جهت‌دار میسیلیوم به سمت ریشه گیاه میزبان می‌شوند. بدین ترتیب امکان تماس هیف با ریشه گیاه میزبان برقرار می‌گردد (شریفی و همکاران، ۱۳۸۹؛ آکیاما و هایاشی، ۲۰۰۶).

پس از برقراری تماس، تغییراتی در سلول‌های ریشه بوجود می‌آید که زمینه را برای نفوذ هیف به داخل سلول‌ها و فضاهای بین سلولی پوست ریشه و برقراری رابطه همزیستی فراهم می‌کند. با وجود این، به محض اینکه تامین مواد غذایی برای قارچ کم شد و یا سیگنالهای تنش‌های محیطی (مثل نوسانات دمایی) به قارچ وارد گردید، قارچ به سیکل جوانه زنی اسپور رفته و تولید هاگ یا اسپور می‌کند تا بقای خود را تضمین نماید (هریسون، ۲۰۱۲).

یکی از گیاهان زراعی که همزیستی بالایی با انواع سویه های قارچ میکوریزایی نشان می دهد جو است. جو گیاهی است از خانواده Poaceae با نام علمی *Hordeum vulgar* L. که در حالت زراعی، دیپلوئید بوده و دارای 2n=2x=14 کروموزم می‌باشد. جو یکی از مهم‌ترین و قدیمی‌ترین گیاهان زراعی است و در بین غلات بیشترین سازش را به خشکی نشان می‌دهد (بوتمر و همکاران، ۱۹۹۵).

1- Strigolactons

جو بعد از گندم، ذرت و برنج چهارمین غله مهم دنیا است که کشت آن به حدود ده هزار سال پیش باز می‌گردد (کلوس و همکاران، ۲۰۰۶).

در حال حاضر، بزرگترین کشورهای تولید کننده جو در جهان به ترتیب کشورهای روسیه، فرانسه، آلمان، استرالیا و کانادا می باشند. ایران در سال ۲۰۱۲، از مجموع سطح زیر کشت ۱/۶۸ میلیون هکتار حدود ۳/۴ میلیون تن و در سال ۲۰۱۳ معادل ۳/۲ میلیون تن جو تولید کرده است (فائو، ۲۰۱۳). جو برای تولید محصول اقتصادی در مقایسه با گندم به آب کمتری نیاز داشته و در مناطقی با حداقل بارندگی، یعنی از ۲۰۰ تا ۲۵۰ میلیمتر به عمل می‌آید. بنابراین، جو تا حدودی مقاوم به خشکی است که نسبت به شرایط آب و هوایی مختلف سازگاری دارد (سماراه، ۲۰۰۵).

در جو بر گل آذین و در محل هر گره، ۳ سنبلچه قرار گرفته است و در هر سنبلچه نیز یک گل وجود دارد. چنانچه از بین ۶ گلچهٔ دو سنبلچه متوالی، فقط ۲ سنبلچه وسطی بارور شده باشد، در این صورت به آن جو دو ردیفه می گویند و چنانچه از بین ۶ گلچهٔ دو سنبلچه متوالی، هر ۶ سنبلچه بارور باشند در این صورت به آن جوی شش ردیفه می گویند. چنانچه برخی از سنبلچه ها بصورت نامنظم بارور بوده و برخی دیگر بارور نباشند، به آن جوی نامنظم می‌گویند. شایان ذکر است که اغلب جوهای پاییزه از نوع شش ردیفه می‌باشند (زند و لعلی نیا، ۱۳۸۹).

تفاوت اصلی جوهای پاییزه و بهاره در آن است که جوهای پاییزه برای ورود به فاز زایشی، نیاز به درک یک دوره سرمایی در مرحله پنجه‌زنی دارند که اصطلاحاً به این فرایند ورنالیزاسیون می‌گویند. در حالی که جوهای بهاره برای ورود به فاز زایشی بی نیاز از درک دوره سرمایی هستند (امام، ۱۳۸۶).

با توجه به جایگاه ویژه غلات (از جمله جو) در تغذیه انسان و دام، انجام اقداماتی جهت بهبود عملکرد و کیفیت این محصولات امری ضروری به نظر می‌رسد. از این رو، این پژوهش، با اهداف زیر به اجرا در آمد:

۱- بررسی و مقایسه عملکرد و صفات فیزیولوژیک دو رقم جو به محلول‌پاشی اکسید روی به دو فرم نانو و معمولی.

۲- بررسی و مقایسه عکس‌العمل دو رقم جو به تلقیح دو گونه قارچ میکوریزا و بررسی روابط عناصر غذایی آنها در شرایط محلول‌پاشی اکسید روی.

۳- مطالعه و بررسی خصوصیات مورفوفیزیولوژیک ریشه جو در حضور دو گونه مختلف قارچ میکوریزا و محلول پاشی اکسید روی.

فصل دوم

بررسی منابع

۲-۱- کشاورزی پایدار[1]:

کشاورزی پایدار به مدیریت صحیح کشاورزی اطلاق می‌شود که ضمن رفع نیازهای در حال تغییر بشر، کیفیت محیط زیست و ظرفیت منابع آب و خاک را حفظ می‌کند (فیلیپ، ۲۰۰۹). کشاورزی پایدار تلفیقی از دانش و مدیریت است که می‌تواند در بلند مدت از نظر بیولوژیک، زیست محیطی و اقتصادی ارزش افزوده مطلوبی به همراه داشته باشد (دپاه و همکاران، ۲۰۰۳). یکی از نیازهای مهم در برنامه ریزی زراعی به منظور حصول عملکرد بالا و با کیفیت مطلوب ارزیابی سیستم‌های مختلف تغذیه گیاه است. با روش صحیح حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه می‌توان ضمن حفظ محیط زیست، افزایش کیفیت آب، کاهش فرسایش و حفظ تنوع زیستی، کارایی نهاده‌ها را افزایش داد. همچنین با اجتناب از کاربرد غیر ضروری و بی رویه مصرف عناصر غذایی هزینه تولید را به حداقل کاهش داد که این امر می‌تواند راهی به سوی کشاورزی پایدار باشد (حسن زاده قوت تپه و همکاران، ۱۳۸۰). بطور کلی کشاورزی پایدار نوعی کشاورزی است که در جهت منافع انسان بوده، کارایی بیشتری در استفاده از منابع داشته و با محیط در تعادل است. البته کشاورزی پایدار باید از نظر اکولوژیکی مناسب، از نظر اقتصادی توجیه پذیر، از نظر اجتماعی مطلوب و از نظر فرهنگی مورد قبول و قابل اجرا باشد (کهنسال و فیروز زارع، ۱۳۸۷).

بکارگیری روش‌های بیولوژیک مبتنی بر استفاده از ارگانیسم‌های مفید خاکزی جهت برقراری روابط همزیستی با گیاهان، ضمن کمک به تحقق اهداف کشاورزی پایدار، نقش موثری در ارتقای تولید محصولات زراعی و همچنین افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی دارند. از بین گروه‌های مختلف میکروبی خاک، باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن، میکروارگانیسم‌های حل کننده فسفات، باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه و قارچ‌های میکوریزا از اجزای اصلی و مهم سیستم پایدار خاک- میکروب- گیاه به شمار می‌روند (بوهنرت و جنسن، ۱۹۹۶). در این میان، یکی از مهمترین روابط همزیستی، همزیستی میکوریزا می باشد که در آن ریشه گیاه با قارچ بصورت یک واحد زنده

1- Sustainable agriculture

فعالیت می‌کنند و از یکدیگر سود می‌برند. مطالعات مختلف نشان می‌دهند که قارچ میکوریزا بر متابولیسم فسفر، گوگرد و نیتروژن تأثیر مستقیم داشته و فراهمی فسفر موجود در خاک را برای گیاه افزایش می‌دهد (مالا و همکاران، ۲۰۰۴).

۲-۲- برخی از تاثیرات میکوریزای آرباسکولار بر گیاه و خاک:

۲-۲-۱- جذب عناصر غذایی:

حضور قارچ میکوریزای آرباسکولار در اطراف ریشه گیاه، همانند یک سیستم ریشه‌ای اضافی برای جذب عناصر غذایی به ویژه عناصر نسبتاً کم تحرک در محلول خاک (مانند فسفر، روی و مس) عمل می‌کند. ناحیه جذب فسفر از خاک، برای ریشه گیاهان غیر میکوریزی محدود به ناحیه‌ای به طول یک تار کشنده است که در بسیاری موارد حدود ۱ تا ۲ میلیمتر می‌باشد. لکن، هیف‌های قارچ میکوریزای آرباسکولار می‌توانند تا بیش از ۱۴ سانتیمتر از ریشه فراتر روند و بدین ترتیب به نحو موثری حجم بیشتری از یک خاک را برای جذب عناصر در اختیار گیرند (مظفر و همکاران، ۲۰۰۱). لی و همکاران (۱۹۹۱) در آزمایشی بر گیاه شبدر سفید، با کار گذاشتن صفحه‌ای منفذدار در گلدان‌های مخصوص (برای ممانعت از عبور ریشه از یک بخش و امکان عبور هیف قارچ به بخش مجاور) گلدان را به دو بخش ریشه‌ای و هیفی تقسیم کردند. بطوری که بخش ریشه‌ای برای رشد ریشه و بخش هیفی برای نفوذ هیف و گسترش آن تعبیه شده بود. نتایج این آزمایش نشان داد که در گیاهان میکوریزی، فسفر از تمام بخش هیفی گلدان جذب شده و به گیاه منتقل گردیده است؛ در حالیکه در گیاهان غیر میکوریزی، از این بخش، فسفری جذب گیاه نشده بود.

قارچ‌های میکوریزای آرباسکولار این قابلیت را به گیاه می‌دهند که بتواند به نحو موثرتری از منابع فسفر آلی موجود در خاک استفاده نماید. زیرا که دیواره سلولی هیف‌های این قارچ‌ها دارای آنزیم فسفاتاز می‌باشند. در همین راستا، توانایی هیف‌های قارچ میکوریزای آرباسکولار در هیدرولیز کردن فسفر آلی و انتقال آن به ریشه، در شرایط درون شیشه‌ای به اثبات رسیده است (جونر و جانسن، ۲۰۰۰).

۲-۲-۲- بهبود جذب آب و ایجاد توازن آبی:

قارچ میکوریز تغییرات فیزیولوژیک در گیاه ایجاد میکند و سبب سازگاری بهتر گیاه با خاکهای با میزان آب پایین و افزایش رابطه آب گیاه می شود. اگرچه مکانیسمهایی که بوسیله آن قارچ میکوریز سبب افزایش مقاومت به خشکی گیاهان میزبان می شود به طور کامل شناخته نشده است، اما به طور کلی میتوان دلایلی از قبیل افزایش جذب آب بوسیله هیفهای خارجی، تنظیم روزنه ها بوسیله هورمونها، افزایش جذب عناصر غذایی و تنظیم اسمزی بیشتر در گیاهان میکوریزی را عنوان کرد (مدینا و آزکن، ۲۰۱۰). میکوریزای آرباسکولار، بواسطهٔ تحریک هورمون‌های موثر بر ریشه‌زایی، سبب توسعه سیستم ریشه‌ای گیاه می‌گردد. واضح است که حجم آب قابل دسترس برای سیستم ریشه‌ای بزرگتر، بیشتر است. از طرف دیگر هنگامی که مقادیر کافی از فسفر در برگ موجود باشد، انتقال ترکیبات کربنی حاصل از فتوسنتز در پیکره گیاه سریع‌تر صورت گرفته و روزنه‌ها مدت بیشتری می-توانند باز بمانند. بر این اساس، افزایش هدایت روزنه‌ای و متعاقب آن افزایش تعرق در گیاهان میکوریزی در مقایسه با گیاهان غیرمیکوریزی، در دو حالت فراهمی آبِ کافی و تنش رطوبتی گزارش شده است (آگ، ۲۰۰۰).

علاوه بر این، تاثیر مثبت همزیستی میکوریزایی در اصلاح توازن آبی گیاه ممکن است از طریق تاثیرات هیف‌های آن در بهبود ساختمان خاک و افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک باشد. هنگامی که خاک اطراف ریشه بواسطهٔ مصرف آب خشک می‌شود، سیگنال‌هایی از سمت ریشه به اندام هوایی ارسال می‌گردد که منجر به بسته‌تر شدن روزنه‌ها می‌شود. دیده شده است که در گیاهان میکوریزایی این سیگنال‌ها کندتر منتقل شده و حتی در مواردی که قسمتی از ریشه با خاکِ خشک مواجه می-شود، روزنه‌ها هنوز باز بوده و در تامین سوبسترای لازم برای فتوسنتز، ایفای نقش می‌کنند (اسدی رحمانی و همکاران، ۱۳۸۶؛ ارشدی، ۱۳۹۵). رضوانی و همکاران (۱۳۸۸) با بررسی اثر چهار گونهٔ میکوریزای *Glomus mossea*، *G. etanicatum*، *G. intraradices* و ترکیبی از *G. mossea*، *G. fasciculatum* و *Gigaspora hartiga* بر گیاه یونجه، نشان دادند که حضور میکوریزا بواسطه بهبود

جذب آب و مواد غذایی بر خصوصیات زراعی گیاه یونجه تاثیر مثبت داشته و در این بین، اثر گونهٔ *G. mossea* بر این خصوصیات (از جمله وزن خشک اندام هوایی) بیشتر از گونه‌های دیگر بود.

۳-۲-۲- افزایش مقاومت گیاه در برابر آفات و بیماری‌ها:

میکوریزاهای داخلی می‌توانند باعث افزایش مقاومت میزبان‌های خود در برابر انواعی از آفات و بیماری‌ها (خصوصاً آفات و بیماری‌های خاکزی) گردند. بر اساس مطالعات صورت گرفته، بخشی از مقاومت ایجاد شده در برابر عوامل بیماری‌زا، به دلیل جذب بیشتر عناصر معدنی در گیاهان میکوریزی شده می‌باشد. چرا که فراهمی بیشتر عناصر معدنی برای گیاه، استحکام بیشتر بافت‌های گیاهی در برابر نفوذ آفات و بیماری‌ها را در پی دارد (اسدی رحمانی و همکاران، ۱۳۸۶). علاوه بر این، گزارش شده است که ممکن است قارچ میکوریز آرباسکولار، به دلیل انجام اقدامات پیش کلونیزاسیون[1]، سبب ارتقای سطح سیستم دفاعی گیاه میزبان گشته و بدین ترتیب از رسیدن عوامل بیماری‌زا به منابع کربنیِ حاصله از فتوسنتز گیاه میزبان جلوگیری کند (بنهامو و همکاران، ۱۹۹۴). همچنین هیف‌های میکوریزی، سلول‌های ریشه گیاه میزبان خود را وادار به ترشح موادی به محیط ریزوسفر می‌کنند که این مواد جنبه‌های شیمیایی خاک را تحت تاثیر قرار می‌دهند. این امر سبب تشدید فعالیت قارچ‌ها و باکتری‌های خاکزی که می‌توانند آنتاگونیست عوامل بیماری‌زا باشند می‌گردد (ارشدی، ۱۳۹۵؛ لیندرمن، ۲۰۰۰). در تحقیقی مشخص گردید که همزیستی قارچ میکوریزای *Funneliformis mosseae* با ریشه چند رقم جو سبب محافظت معنی‌دار گیاه جو در برابر قارچ بیماری‌گر *Gaeumanomyces graminis* که عامل بیماری پاخوره است گردید (مورالس و همکاران، ۲۰۱۱).

۴-۲-۲- تاثیر بر ساختمان خاک:

سازمان یافتگی ذرات خاک در کنار یکدیگر و تشکیل خاکدانه‌های درشت، برای تهویه خاک، نفوذ آب در خاک و افزایش مقاومت خاک در برابر فرسایش، برای رشد گیاهان بسیار حائز اهمیت می‌باشند (اسدی رحمانی و همکاران، ۱۳۸۶). اعتقاد بر این است که قارچ‌های میکوریز آرباسکولار نقش مهمی

1- Pre-colonization

در استحکام خاکدانه‌های ریز و تبدیل آنها به خاکدانه‌های درشت ایفا می‌کنند (میلر و جاسترو، ۲۰۰۰). در همین راستا، برخی از گزارشات علمی، بازگوکنندۀ وجود همبستگی مثبت بین حضور میکوریزا در ریزوسفر و افزایش تعداد خاکدانه‌های درشت هستند. توضیح بیشتر اینکه هیف‌های میکوریزای آرباسکولار بواسطۀ تولید یک نوع گلیکوپروتئینِ ویژه به نام گلومالین[1]، سبب چسباندن فیزیکی ذرات خاک به یکدیگر و حفظ خاکدانه‌ها و در نهایت افزایش پایداری ساختمان خاک می‌شوند. مطالعات مختلف وجود همبستگی مثبت بین پایداری خاکدانه‌ها و میزان گلومالین موجود در خاک را تایید کرده‌اند (رایت و اندرسون، ۲۰۰۰).

۵-۲-۲- رشد بهتر گیاه:

با توجه به آنچه گفته شد، اثرات مثبت قارچ میکوریزای آرباسکولار بر رشد گیاهان زراعی بواسطۀ تاثیر آن بر افزایش مقاومت گیاه در برابر بیماری‌ها، بهبود روابط آبی گیاه و جذب بیشتر عناصر غذایی (خصوصاً در خاک‌های با سطح عناصر غذایی پایین) واضح و آشکار می‌باشد. البته این اثرات مفید ممکن است در مواقعی که میزان عناصر غذایی و آب کافی در اختیار گیاه قرار دارد و عوامل بیماری‌زا نیز در محیط وجود ندارند، محدود شوند. حتی ممکن است در شرایط مطلوب‌تر برای گیاه، هزینه‌های همزیستی میکوریزای آرباسکولار بیشتر از فواید آن باشد که در این صورت قارچ میکوریزای آرباسکولار باعث کاهش رشد گیاه می‌گردد (ارشدی، ۱۳۹۵؛ جانسن و همکاران، ۱۹۹۷).

۶-۲-۲- تاثیر مثبت همزیستی میکوریزایی در ارتقای کیفیت حیات گیاهان:

تحقیقات نشان داده‌اند که همزیستی قارچ میکوریزا با ریشه گیاهان زراعی، احتمالاً می‌تواند در تحریک توسعه سیستم ریشه‌ای آنها موثر باشد. راستۀ *Glomales* از قارچ‌های میکوریزا قادر است تا با دو سوم تمام گونه‌های گیاهی زندگی همزیستی تشکیل دهد (ارشدی، ۱۳۹۵؛ هج و همکاران، ۲۰۰۱) مطالعات علمی بازگوکنندۀ این مطلب‌اند که ۸۳ درصد دولپه‌ای‌ها و ۷۹ درصد از تک‌لپه‌ای‌ها قادر به تشکیل سیستم میکوریزایی هستند و تنها تعداد معدودی از گیاهان زراعی، میکوریزایی نمی‌شوند

1- Glomalin

(آلن ، ۱۹۹۱؛ دالگارد و همکاران، ۲۰۰۳). قارچ‌های میکوریزای وزیکولار- آرباسکولار، قادرند با ریشه اغلب گیاهان زراعی رابطهٔ همزیستی برقرار کنند و از طریق افزایش جذب عناصر غذایی مانند فسفر، نیتروژن و برخی عناصر ریزمغذی و همچنین افزایش جذب آب و افزایش مقاومت گیاه در برابر عوامل بیماری‌زا، سبب بهبود رشد و نمو در گیاهان زراعی گردند. افزایش سطح فعال سیستم ریشهٔ گیاه برای جذب بهتر مواد غذایی از خاک، خصوصاً در شرایط کمبود فسفر (کاپور و همکاران، ۲۰۰۷)، افزایش فتوسنتز (کوپتا و همکاران، ۲۰۰۶)، افزایش مقاومت به تنش‌های خشکی، شوری و مقاومت به آفات و بیماری‌ها (عبدالقادر و ال ماگی، ۲۰۰۷)، بهبود ساختمان خاک و تشدید فعالیت باکتری‌های ریزوبیوم (ارشدی، ۱۳۹۵) نمونه‌هایی از نقش این قارچ در بوم نظام‌های زراعی هستند.

در همین راستا، گوپتا و همکاران (۲۰۰۲) گزارش کردند که تلقیح گیاه نعناع با قارچ میکوریزا بطور قابل توجهی ارتفاع بوته و عملکرد بیولوژیکی این محصول را افزایش داد. در تحقیقی دیگر، کاپور و همکاران (۲۰۰۴) نشان دادند که همزیستی ریشهٔ رازیانه با دو گونه قارچ VAM بطور معنی‌داری سبب بهبود گلدهی (تعداد چتر)، وزن هزار دانه، بیوماس و عملکرد دانه رازیانه گردید. همچنین گزارشات علمی متعددی مبین آنند که تحت شرایط تنش خشکی، غلظت کلروفیل برگ‌ها در تیمارهای تلقیح شده با قارچ میکوریزا در مقایسه با تیمارهای عدم تلقیح بطور قابل توجهی بیشتر است (کایا و همکاران، ۲۰۰۹).

موچشی و همکاران (۲۰۱۲) در آزمایشات خود بر کاهش اثرات تنش خشکی بر گندم از طریق همزیستی آن با قارچ میکوریزاییِ VAM گزارش کردند که تحت شرایط تنش خشکی، محتوی آب بافت‌های اندام‌های هوایی در تیمارهایی که با قارچ میکوریزا تلقیح شده بودند، بطور معنی‌داری کمتر کاهش پیدا کرد. آنها همچنین اظهار داشتند که طول سنبله، تعداد سنبلچه در سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن دانه و حجم ریشه در تیمارهایی که با قارچ میکوریزا تلقیح شده بودند بطور معنی‌داری بیشتر بود.

مطالعات نشان داده‌اند که AM در بهبود گره‌بندی باکتری ریزوبیوم، جذب عناصر غـذایی و عملکـرد نخود نقش داشته‌اند (ارشدی، ۱۳۹۵). علیمددی و همکاران (۱۳۸۹) در آزمایشی تـاثیر ریزجانـداران حل کنندهٔ فسفات و میکوریزا گونه (*Glomus intraradices*) را به همـراه تیمـار پرایمینـگ بـذر بـر میزان گره‌زایی ریشهٔ نخود بررسی کردند. آنها بیان نمودند که بالاترین تعداد گره‌های کل ریشه نخـود (اعم از گره‌های فعال و غیرفعال) مربوط به تیمار میکوریزا و پرایمینگ بذر به همراه آب بود. البته این محققین گزارش کردند که میکوریزا به تنهایی اثر معنی‌داری بر تعداد گره نداشت که این موضوع می-تواند ناشی از اثرات مثبت پرایمینگ بر روی رشد اولیهٔ ریشه و همچنین همزیستی ریشه با میکـوریزا باشد.

رسایی و همکاران (۲۰۱۳) در تحقیقات خود بر کاهش اثرات تنش خشـکی در گیـاه نخـود از طریـق بکارگیری هیومیک اسید، ریزوبیوم و میکوریزا (گونهٔ *Glomus intraradices*) اظهار داشتند که کاربرد ریزوبیوم، هیومیک اسید و آبیاری تکمیلـی در بهبـود صـفات فیزیولوژیـک گیـاه نخـود (کلروفیـل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، سطح برگ و قندهای محلول) موثر بودند، اما کـاربرد میکـوریزا تـاثیری در بهبود این صفات نداشت. لکن، فرزانه و همکاران (۲۰۰۹) نتایجی مخالف گزارشات رسایی و همکـاران (۲۰۱۳) را در ارتباط با تاثیر تلقیح میکوریزا بر گیاه نخود عنوان کردند. این محققـین بهبـود رشـد و تولید ماده خشکِ بیشتر را در تیمارهـای آلـوده شـده بـه ۶ گونـهٔ میکـوریزا از جـنس *Glomus* (*G. claroideum, and G. microagregatum, G. caledonium G. etunicatum, G. mosseae, G. intraradices,*) گزارش کردند. آنها همچنین بیان نمودند که بهبود رشد و افزایش تولید ماده خشـک در گیاه نخود به مراتب بهتر از گیاه جو بود که این امر احتمالاً ناشی از اثرات متقابل بـین ریزوبیـوم و قارچ‌های AMF میباشد.

۲-۳- همزیستی غلات (با تاکید بر جو) با میکوریزا:

به دلیل جایگاه ویژه غلات در تغذیه مردم جهان و البته سازگاری بالای اعضای این خانواده به شرایط محیطی مختلف، تحقیقات علمی بسیار گسترده‌ای در راستای افزایش عملکرد محصولات این خانواده

در سرتاسر جهان صورت گرفته است. یکی از زمینه‌های رایج در انجام تحقیقات علمی بر گیاهان این خانواده، همزیستی اعضای آن با قارچ میکوریزا است. اکثر تحقیقات انجام گرفته در این زمینه، حکایت از پاسخ مثبت ریشه غلات به این قارچ‌ها و برقراری ارتباط همزیستی مسالمت آمیز با آنها دارند. در خصوص گیاه جو، از آنجا که اکثر اراضی زیر کشت این گیاه، اغلب بصورت دیمزار می‌باشد، لذا در شرایط کمبود رطوبت با تقویت سیستم ریشه‌ای، ذخایر بیشتری از رطوبت خاک در اختیار گیاه جو قرار خواهد گرفت و جذب عناصر غذایی و تغذیه آن بهبود خواهد یافت (مارچنر، ۱۹۹۵). درصد بالای کلونیزاسیون ریشه‌های جو (بالاتر از ۹۰ درصد) نشان می‌دهد که این گیاه میزبان خوبی برای قارچ میکوریزا بوده و از آنجا که برای استفاده از ظرفیت این قارچ در کشاورزی پایدار، استقرار مناسب قارچ بر روی ریشه‌های گیاه اهمیت زیادی دارد، لذا مشاهده درصد بالای کلونیزاسیون ریشه های گیاه جو فاکتور با ارزشی محسوب شده و میزان مناسب کلونیزاسیون برای برهم کنش بین قارچ و گیاه و بروز اثرات مفید قارچ بر رشد گیاه از این نظر، حائز اهمیت می‌باشد (قبولی و همکاران، ۱۳۹۰). از این رو، به نظر می‌رسد در شرایط کمبود رطوبت خاک با تحریک رشد سیستم ریشه‌ای، تا حدودی شدت بروز تنش رطوبتی تعدیل می‌یابد (مارچنر، ۱۹۹۵).

خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی ریشه مانند وزن، حجم، طول، قطر و عمق نفوذ و پراکنش ریشه در خاک، درجه انشعاب و تعداد ریشه‌های جنینی پارامترهای مهمی هستند که جنبه‌های مختلفی چون رشد، شکل و متابولیسم را تحت تاثیر قرار می‌دهند (گنجعلی، ۱۳۸۴). همچنین ریشه-های نازک و مویی در غلات که در نتیجه رشد سلول‌های اپیدرمی ریشه بوجود می‌آیند، نقش بسیار مهمی در افزایش سطح تماس ریشه‌ها با خاک داشته و موجب افزایش جذب و انتقال آب و مواد معدنی و افزایش چسبندگی ریشه‌های در حال رشد با ریزوسفر می‌شوند (بیبیکوا و گیلروی، ۲۰۰۳). به نظر می‌رسد که همزیستی این گیاهان با گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا می‌تواند در تحقق این مهم موثر باشد. به عنوان مثال افزایش وزن خشک اندام هوایی و وزن خشک ریشه جو با تلقیح قارچ *Piriformospora indica* بیانگر اهمیت ارتباط همزیستی این قارچ با ریشه جو در تحریک رشد گیاه

و در نتیجه افزایش عملکرد آن است. مقایسه وزن خشک اندام هوایی و ریشه گیاهان تلقیح شده با قارچ نسبت به گیاهان شاهد در شرایط بهینه و بدون تنش خشکی به خوبی تائید کننده اثر تحریک کنندگی رشد گیاه توسط این قارچ است، بطوری که حتی در شرایط بدون تنش هم افزایش صفات اندازه‌گیری شده مشهود بود. به نظر می‌رسد که میسیلیوم‌های قارچ با پراکنش در اطراف ریشه‌های گیاه جو سطح جذب آب بالاتری را فراهم آورده و باعث می‌شوند تا در شرایط یکسان گیاهان تلقیح شده نسبت به گیاهان شاهد آب بیشتری رادر اختیار داشته باشند (قبولی و همکاران، ۱۳۹۰).

اردکانی و همکاران (۱۳۹۲) بیان داشتند که می‌توان از تکنیک‌های هسته‌ای برای تعیین مجاورت، اندازه‌گیری میزان انتقال و تبادل عناصر بین گیاه و قارچ‌های میکوریزا و انتخاب سویه مؤثر میکوریزا برای گیاهان استفاده می شود. این محققین در قالب یک آزمایش گلدانی جهت تعیین بهترین سویه میکوریزای هم زیست با یونجه و جو از میان ۴ سویه *Glomus intraradices*،*Glomus etanicatum*، *Glomus mosseae* و ترکیب هر سه سویه از تکنیک رادیوایزوتوپی استفاده کرده و اظهار داشتند که در جو سویه *Glomus mosseae* قابلیت و توانایی جذب P^{32} بیشتری نسبت به سویه های دیگر داشت. گیاهان هم زیست با این سویه دارای اکتیویته برگ، ساقه و سنبله بیشتری بودند. همچنین این گیاهان کارایی بیشتری در تجمع ماده خشک اندام هوایی داشتند. یونجه همزیست با سویه *Glomus mosseae* نیز بیشترین میزان وزن خشک اندام هوایی، اکتیویتهP^{32} در برگ و ساقه و اکتیویته ویژه را دارا بود. در پژوهش آنها بین سویه ها در ایجاد همزیستی با یونجه و جو تفاوت داشت و کارایی سویه *Glomus mosseae* در جذبP^{32} سبب افزایش رشد و تولید ماده خشک بیشتر به وسیله جو و یونجه شد که می توان آن را به عنوان سویه برتر معرفی نمود.

گزارشات سوبرامانیان و همکاران (۲۰۱۳) نشان داد تلقیح ریشه ذرت با میکوریزا نسبت به تیمار شاهد، سبب افزایش عناصر روی، آهن، مس و منگنز در بذور ذرت گردید. این افزایش تقریباً معادل دو برابر محتوای عناصر در تیمار شاهد بود. همچنین با تلقیح ریشه ذرت با میکوریزا، محتوای آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز، سوپر اکسید دسموتاز و کربونیک انهیدراز به ترتیب به میزان ۱۴/۵، ۲۶/۳، ۳۱/۲ و

۱۲/۶ درصد نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف قارچ) افزایش نشان داد. با اندازه‌گیری محتوای کلروفیل برگی در تیمار میکوریزا و تیمار شاهد نیز مشاهده گردید که محتوای کلروفیل برگ‌ها در تیمار میکوریزا نسبت به تیمار شاهد بطور معنی‌داری افزایش داشت. بدین صورت که محتوای کلروفیل برگ در خاک تلقیح شده با میکوریزا، ۱۹ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان داد.

رضوانی و همکاران (۲۰۱۱) در بررسی کارآیی سویه های مختلف قارچ‌های میکوریزا در جذب آهن و روی در گیاه جو به این نتیجه رسیدند که سویه های ترکیبی و پس از آن سویه *Glomus mosseae* بیشترین غلظت آهن را داشتند.

۲-۴- اهمیت و نقش عنصر روی در گیاه

واضح است که تغذیه مناسب گیاهان زراعی، در بهبود خصوصیات کمی و کیفی گیاهان و همچنین در افزایش تحمل آنها در مقابل انواع تنش‌ها نقش بسزایی دارد. در این میان عنصر روی یکی از ۷ عنصر کم مصرف و ضروری در تغذیه گیاهی بوده که در فرآیندهای مختلف رشد و نمو گیاه نقش مهمی دارد. این عنصر در فرآیندهای حیاتی گیاهان از جمله سنتز اکسین‌ها، فعالیت آنزیم‌ها، متابولیسم پروتئین و تقسیمات سلولی نقش داشته (آلوی، ۲۰۰۴) و از طریق تاثیر بر فرآیند فتوسنتز، عنصر ضروری در متابولیسم کربوهیدرات‌ها محسوب می‌شود. یکی از دلایل اهمیت این عنصر ضرورت آن برای سنتز اسید آمینه تریپتوفان است که پیش ماده تولید هورمون اکسین (IAA) می‌باشد. هورمون اکسین در گیاهان نقش محوری در تنظیم فرآیندهای مختلف فیزیولوژیکی و نموی از جمله ریشه‌زایی و تولید ریشه‌های فرعی دارد (سیتبون و پاروت ریچمن، ۱۹۹۷). کمبود روی، بواسطه کاهش فعالیت آنزیم کربونیک آنهیدراز (CA) و کاهش محتوی کلروفیل و همچنین تغییر در ساختار کلروپلاست‌ها ظرفیت فتوسنتزی گیاه را کاهش می‌دهد (رومهلد و مارچنر، ۱۹۹۱). شایان ذکر است که آنزیم کربونیک آنهیدراز (CA) قادر است تا فراهمی CO_2 را برای آنزیم رابیسکو افزایش داده و کمبود یا کاهش فعالیت این آنزیم می‌تواند فعالیت کربوکسیلاسیونی رابیسکو را کاهش و فعالیت اکسیژنازی آن را افزایش دهد (مورونی و همکاران، ۲۰۰۱؛ تایز و زایگر، ۲۰۰۶). گزارشات علمی حاکی از آنند که

فراهمی عنصر روی، می‌تواند محتوی کلروفیل برگ را افزایش داده و این امر سبب افزایش ظرفیت فتوسنتزی گیاه و نهایتاً ماده خشک تولیدی می‌گردد (سینگ و اسوالت، ۱۹۹۵).

دست‌یافته‌های علمی بازگوکننده این مطلب‌اند که یکی از آنتی‌اکسیدانت‌های مهم که در زمان بروز تنش اکسیداتیو، سبب محافظت اندامک‌های درون سلولی از حملات گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) می‌شود، آنزیم سوپر اکسید دسموتاز (SOD) است. این آنزیم با غیرفعال کردن گونه‌های فعال اکسیژن، از اندامک‌های درون سلولی در زمان بروز تنش اکسیداتیو محافظت می‌کند. مشخص شده است که عنصر روی برای برخی از انواع آنزیم سوپر اکسید دسموتاز به عنوان کوفاکتور عمل کرده و فراهمی آن می‌تواند در بهبود فعالیت این آنزیم و ممانعت از بروز خسارات تنش اکسیداتیو موثر باشد (آلسچر و همکاران، ۲۰۰۲).

عموماً در گیاهانی که با کمبود روی مواجهند، سنتز پروتئین کاهش می‌یابد. این امر می‌تواند سبب انباشته شدن اسیدهای آمینه در این گیاهان گردد (ککمک و همکاران، ۱۹۸۹). علاوه بر این، عنصر روی در ساختار کروماتین و متابولیسم DNA و RNA و بیان ژن‌ها نقش داشته و کمبود آن سبب تخریب RNA، کاهش فعالیت RNA پلیمراز، تغییر شکل و کاهش تعداد ریبوزوم‌ها می‌شود. از آنجا که عنصر روی یکی از اجزای ضروری آنزیم RNA پلیمراز می باشد، در صورت کمبود روی احتمال کاهش فعالیت و حتی غیرفعال شدن این آنزیم وجود دارد (مارچنر، ۱۹۹۵). ککمک و همکاران (۱۹۹۹) بیان نمودند که کمبود روی سبب اختلال در متابولیسم بافت سلولی شده و باعث خسارت به پروتئین‌های غشا، کلروفیل، اسیدهای نوکلئیک، آنزیم‌ها و ایندول استیک اسید می‌گردد و در نهایت سبب ممانعت از رشد گیاه می‌شود.

جنک و همکاران (۲۰۰۳) گزارش کردند بیان یک ژن مغلوب در مرحله رشد گیاهچه ای جو عامل بروز علائم ظاهری کمبود روی و همچنین عامل مقاومت و تحمل جو در برابر کمبود روی بود. در گیاه آرابیدوپسیس (*Arabidopsis thaliana* L.) افزایش بیان ژن ZAT، (ژنی که عامل عبور یون روی از غشای پلاسمایی است) سبب افزایش غلظت روی در ریشه گیاه شد و زمانی که گیاه با افزایش غلظت

روی در محیط ریزوسفر مواجه گردید، بیان این ژن انتقال یون روی به غشای پلاسمایی سلول‌های ریشه را مهیا ساخت (وان در زال و همکاران، ۲۰۰۴). در گیاه جو نیز همانند آرابیدوپسیس، بیان این ژن در مدت کوتاهی باعث افزایش جذب روی گردید و تجمع آن را در بذور گیاه امکان پذیر ساخت (رامش و همکاران ، ۲۰۰۴). با توجه به اهمیت حیاتی عنصر روی در فرایندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی گیاه، افزایش کارایی مصرف روی همواره به عنوان یکی از صفات مهم مرتبط با عنصر روی در بین ژنوتیپ‌های مختلف گیاهان زراعی مطرح است. به این معنی که ژنوتیپ‌های گیاه بتوانند در محیطی با کمبود روی رشد مطلوب و عملکرد خوبی داشته باشند و در واقع به کمبود روی مقاومت بیشتری نشان دهند (ککمک و همکاران، ۱۹۹۷). به همین خاطر به نژادی و انتخاب و اصلاح رقمی که ویژگی کارایی مصرف روی بالاتری دارند برای برطرف کردن مشکل کمبود روی در گیاهان اهمیت دارد (ککمک و همکاران، ۲۰۰۱).

البته افزایش کارایی مصرف و جذب عنصر روی با روشهای به زراعی از جمله محلولپاشی نیز از روشهایی کارامد برای رسیدن به محتوای روی بالاتر و عملکرد بیشتر در گیاهان زراعی است (ککمک، ۲۰۱۰). همانطور که یادا و شارما (۲۰۱۸) بیان داشتند محلول پاشی روی، باعث افزایش پارامترهای رشد و افزایش معنی دار عملکرد گیاه جو شد. زیدان و همکاران(۲۰۱۰) نیز اظهار داشتند که محلولپاشی برگی باعث افزایش فتوسنتز و ماده خشک، بهبود فرایندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی و متعاقبا افزایش عملکرد گیاهان زراعی می شود. بانکس (۲۰۰۴) بیان کرد که محلول پاشی روی در سویا باعث افزایش عملکرد دانه، میزان پروتئین و میزان روغن دانه شد. همچنین محلول پاشی روی، در مرحله هشت برگی بر بوته های سویا سبب افزایش سطح برگ، وزن خشک برگ، طول دوره گلدهی و افزایش تعداد دانه در غلاف گردید. در تحقیقی دیگر، مشخص گردید که تغذیه گیاه ذرت با عنصر روی، به دلیل افزایش ذخیره هیدروکربن دانه گرده، باعث افزایش طول عمر دانه گرده شد و نهایتاً منجر به افزایش گرده افشانی و تشکیل تعداد دانه بیشتری در غلاف ذرت گردید (شارما و همکاران، ۲۰۰۴).

فصل سوم

مواد و روش‌ها

۳-۱- آزمایش مزرعه‌ای

۳-۱-۱ مشخصات محل اجرای آزمایش

آزمایش در مزرعه تحقیقاتی شرکت باغداری و زراعت مشهد وابسته به بنیاد مستضعفان واقع در شهرستان چناران در سه تکرار اجرا شد. قبل از انجام عملیات کاشت، از خاک مزرعه در عمق ۳۰ سانتیمتری، نمونه‌برداری شد و مقادیر pH، EC، عناصر ماکرو (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) و میکرو (روی، مس و آهن) همچنین بافت خاک تعیین شدند (جدول ۳-۱).

جدول ۳-۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در عمق ۳۰-۰ سانتی متری

بافت خاک	EC ($dS.m^2$)	pH	کربن عالی (%)	نیتروژن (%)	فسفر (ppm)	پتاسیم (ppm)	روی (ppm)	مس (ppm)	آهن (ppm)
لومی رسی	۲/۰۴	۷/۸۵	۵۰/۱	۰/۰۳۹	۲/۸۰	۲۶۰	۰/۱۱	۰/۵	۲/۱

۳-۱-۲- طرح آزمایشی

آزمایش بصورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به اجرا در آمد. فاکتور اول، دو رقم جو یوسف و جلگه به عنوان رقم رایج در منطقه بودند.

فاکتور دوم، قارچ میکوریزا در سه سطح شامل: شاهد (عدم مصرف قارچ)، میکوریزای آرباسکولار *Glomus mosseae* و میکوریزای آرباسکولار *Glomus intraradices* و فاکتور سوم، محلول‌پاشی اکسید روی در چهار سطح شامل: شاهد (عدم مصرف کود)، محلول پاشی نانو اکسید روی به میزان ۲ در هزار، اکسید روی معمولی به میزان ۲ در هزار و مخلوط نانو و اکسید روی هر کدام به میزان ۱ در هزار بودند.

۳-۱-۳- عملیات آماده‌سازی زمین و کاشت

بر اساس توصیه کودی آزمایشگاه خاک، ۱۰۰کیلوگرم در هکتار کود اوره در دو مرحله (در هنگام کاشت و به صورت سرک در مرحله شروع ساقه دهی)، ۵۰ کیلوگرم در هکتار P_2O_5 از منبع سوپر فسفات تریپل ۱۰۰٪ در زمان کاشت و ۴۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم به عنوان کود پایه استفاده

شد. پس از انجام عملیات آماده‌سازی زمین (شامل شخم ، دیسک، تسطیح و ایجاد جوی و پشته)، کاشت در تاریخ ۱۵ آبان ماه سال ۱۳۹۴ در وسط شیارها انجام گردید. فاصلهٔ بذور، روی ردیف ۲/۵ سانتیمتر و فاصلهٔ بین ردیف‌ها ۲۰ سانتیمتر بود و در هر کرت ده ردیف منظور شد. کرتهای هشت متر مربعی به طول ۴ و عرض ۲ متر در نظر گرفته شدند و در هر ردیف ۱۶۰ عدد بذر بصورت دستی کشت گردید. بذور ابتدا با محلول هیپوکلریت سدیمِ پنج درصد، ضد عفونی و سپس با آب مقطر شسته شدند. به منظور آلوده کردن خاک مزرعه به قارچ میکوریزا، سویه‌های مورد نظر این قارچ از شرکت زیست فناور توران شاهرود تهیه شدند. مبنای اصلی انتخاب جنس Glomus این بود که این جنس بیشترین پراکندگی را در نظامهـای زراعـی در مقایسه با سیستمهای طبیعی دارا می باشد و تشکیل اندام قارچی به نام وزیکول که اهمیت غذایی بـرای گیاه میزبان دارد، در این جنس به اثبات رسیده است. دلیل اصلی انتخاب گونه intraradices این است که این گونه در بیشتر مناطق ایران وجود داشته و مراحـل تهیه و تکثیر آن به خوبی شناخته و تشریح شده است و همینطور این گونه به سطوح زیـاد عناصـر غـذایی مقاوم است و لذا برای مطالعه حاضر گزینه مناسبی محسوب می شود (الکان و همکاران، ۲۰۰۶). نتایج مطالعات جداسازی و شناسایی قارچهای میکوریزا اربوسکولار غالب در خاکهای زراعی برخی مناطق کشور نشان داد که گونه های متعلق به دو جنس میکوریزا آربوسکولار شامل Glomus در ریزوسفر اکثر ارقام غلات از جمله گندم و جو وجود دارند که بیش از ۹۰ درصد گونه های میکوریزا متعلق به جنس Glomus بودند. و همینطور مطالعات شناسایی مورفولوژیک نشان داد که حدود ۵۰٪ اسپورهای جداسازی شده نمونه ها متعلق به جنس Glomus و از گونه mosseae بودند و گونه intraradices نیز به میزان حدود ۲۰ درصد در رتبه دوم قرار داشت و این نکته از دلایل اصلی انتخاب گونه های میکوریزا در پژوهش حاضر بودند (صالحی جوزانی و همکاران، ۱۳۹۰).

آلوده سازی خاک مطابق با روش توصیه شده توسط این شرکت انجام شد بدین صورت که پس از ایجاد شیارهایی به عمق تقریبی ۱۰سانتیمتر در کرت‌ها، بصورت دستی و با ضخامت دو سانتیمتر (بـه

مقـدار ۲۰ گـرم) از مایه تلقیح قارچ میکوریزا در شیارهای مورد نظر بر اساس نقشه طرح ریخته شد که هر گرم حاوی ۵۰ تـا ۶۵ عـدد اسـپور زنده قـارچ بود و سپس با سه سانتیمتر خاک پوشش و در نهایت بذور ضدعفونی شده جو در محل مربوطه قرار داده و روی آنها با خاک پوشانده شد. شایان ذکر است که بذور جو نیز از مرکز تحقیقات طرق مشهد و بنا به معرفی و توصیه کارشناسان مرکز تحقیقات به عنوان کشت رایج در منطقه چناران جهت کشت انتخاب شدند.

رقم جلگه با شجره ۵۱۵۱ -۸۰ /Makouee//Zarjow حاصل دو رگ بین جو رقم ماکویی به عنوان پایه مادری و لاین ۵۱۵۱ -۸۰ /Zarjow به عنوان پایه پدری است. این رقم زودرس بوده و دوره پر شدن دانه آن طولانی تر دارد و دارای وزن هزار دانه بالاتری نسبت به سایر رقم جو آبی رایج در منطقه می باشد. این رقم دارای واکنش متحمل نسبت به سرمای زمستانه بوده و با عملکرد ۷۳۶۱ کیلوگرم در هکتار مناسب کشت در اقلیم سردسیر کشور است و نسبت به سرمای زمستان و سرماهای دیررس بهاره، مقاومت نشان می دهد. از دیگر مزایای رقم جلگه پتانسیل عملکرد بالا، تحمل نسبتاً خوب آن به سرما، مقاومت بالا به بیماری زنگ زرد و سفیدک سطحی، مقاومت بالا نسبت به خوابیدگی، ریزش دانه و شکنندگی محور سنبله می باشد (علیرضا رضوی، ۱۳۹۵). صفاتی از جمله تیپ رشد زمستانی و زودرس بودن، ارتفاع ۹۰ سانتی متری بوته و کوتاهی نسبت به رقم ماکوئی، مقاومت بیشتر نسبت به خوابیدگی و ریزش دانه و دارا بودن وزن هزار دانه بالا از دلایل اصلی انتخاب این رقم در این پژوهش است. رقم یوسف با عملکرد ۷۱۵۰ کیلوگرم در هکتار به عنوان دومین رقم انتخاب شد. زودرس بودن، عدم شکنندگی محور اصلی سنبله و مقاومت بالا به کمبود آب و تنش خشکی از خصوصیات بارز رقم جو یوسف است. یوسف رقم جدید جو زودرس متحمل به خشکی آخر فصل با بهره وری بالای مصرف آب جهت کشت در مناطق معتدل کشور است. این رقم با میانگین ارتفاع بوته ۹۰ سانتی متر مقاوم نسبت به خوابیدگی، مقاوم به ریزش دانه و شکنندگی محور سنبله و نیمه حساس در برابر جمعیت های مختلف سفیدک و دیگر بیماریهای قارچی برگ می باشد.

۳-۱-۴- عملیات داشت

به منظور کنترل علف‌های هرز در طول فصل رشد، دو مرتبه سمپاشی با علفکش بوسیله سمپاش پشتی-موتوری صورت گرفت. بدین ترتیب که جهت کنترل علف‌های هرز باریک برگ در مرحله سه برگی جو از علفکش ایکوسان به میزان ۲/۵ لیتر در هکتار و جهت کنترل علف‌های هرز پهن برگ در اواخر پنجه‌زنی جو از علفکش D-–۲.۴ به میزان ۱/۵ لیتر در هکتار بطور یکسان برای کرت‌های آزمایشی استفاده گردید. با توجه به روش کشت (کشت شیاری) برای کلیهٔ تیمارها، آبیاری بطور یکسان انجام شد. همچنین ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره به عنوان کود سرک در اوایل مرحله ساقه-دهی استفاده گردید. نانواکسید روی از شرکت پیشگامان نانو مواد ایرانیان تهیه شد که خصوصیات آن شامل خلوص ۹۹٪، میانگین اندازه ذرات ۳۰- ۱۰ نانومتر و سطح ویژه ۶۰-۲۰ (m^2/g)بود. اکسید روی معمولی با خلوص۹۹٪ و میانگین اندازه ذرات ۲ (µm) از شرکت کیمیا نوین تهیه شد. .جهت تهیه غلظتهای مورد نظر، ابتدا میزان لازم از اکسید روی نانو و معمولی توزین و در آب دیونیزه قرار داده شد. به منظور تهیه سوسپانسیون یکنواخت ا ز دستگاه اولتراسوند (مدل VCX750 ساخت شرکت Sonics کشور آمریکا) با امواج ۳۰۰W و ۴۰ kHz به مدت ۳۰ دقیقه استفاده شد (بنیانیتیپونگ و همکاران، ۲۰۱۱). قبل از انجام آزمایش، ابتدا اندازه ذرات اکسید روی نانو و معمولی توسط دستگاه میکروسکوپ الکترونی نگاره (SEM)مدل (VP ۱۴۵۰ ساخت شرکت لئو آلمان) در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه فردوسی مشهد تعیین شد. جهت اعمال تیمار محلول‌پاشی، نانو ذرات اکسید روی و اکسید روی معمولی بصورت محلول‌پاشی برگی در دو مرحله ساقه دهی و شیری دانه مورد استفاده قرار گرفتند. لازم به ذکر است محلول‌پاشی در هنگام غروب آفتاب انجام شد تا از آفتاب سوختگی برگ ها ممانعت گردد.

۳-۱-۵- نمونه‌برداری و اندازه‌گیری صفات

در طول فصل رشد صفت تعداد پنجه در مترمربع و مراحل فنولوژیک جو، شامل زمان تا ظهور برگ پرچم (ظهور ۵۰ درصد برگ‌های پرچم)، ظهور گل آذین (ظهور ۵۰ درصد گل آذین‌ها) و رسیدگی فیزیولوژیک (رسیدگی فیزیولوژیک بذر) برای هر یک از رقم ثبت شدند.

جهت تعیین عناصر جذب شده توسط گیاه، دو هفته پس از دومین محلولپاشی اندام‌های هوایی سه گیاه از نزدیک سطح خاک قطع شده و به مدّت ۷۲ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتیگراد در داخل آون قرار گرفتند. سپس اندام‌های خشک شده، توسط آسیاب خرد و به قطعات کوچکتر از یک میلی‌متر تبدیل شدند. در ادامه، برای تعیین میزان نیتروژن از دستگاه کجلدال (Kjeldahl-PECO مدل psu 55) و میزان فسفر از دستگاه اسپکتروفتومتر (Spectrophotometer-JENWAY مدل ۴۵۱۰) استفاده شد. میزان پتاسیم با دستگاه فلیم فتومتر مدل(PEP7, Jenway, Dunmow, UK) و طبق روش چاپمن و پرات (۱۹۶۱) و مقدار عنصر کم مصرف روی با دستگاه جذب اتمی (AAS) مدل Varian 220اندازه گیری شدند. عصاره گیری به روش خاکستر خشک با اسید کلریدریک بدین صورت انجام شد که دو هفته پس از محلولپاشی دوم مقدار یک گرم از ماده خشک برگ بعد از ساییده شدن به مدت نیم ساعت در کوره با دمای ۲۵۰ درجه سانتی گراد و بلافاصله به مدت دو و نیم ساعت در دمای ۵۵۰ درجه سانتی گراد قرار گرفت، بعد از خروج نمونه ها از کوره، ابتدا چند قطره آب مقطر (۴-۵ قطره) به نمونه ها افزوده شد و در مرحله بعد ۵ میلی لیتر اسید کلریدریک ۲ نرمال به نمونه ها اضافه شد. در نهایت عصاره حاصله با افزودن آب مقطر به حجم ۱۰۰ میلی لیتر رسانده شد. از عصاره بدست آمده غلظت عنصر پتاسیم با دستگاه فلیم فوفتومتر و سپس مقدار عنصر روی در برگ با استفاده از روش دستگاه طیف‌سنجی جذب اتمی بر پایه محلولهای استاندارد تهیه شده، تعیین گردید. سنجش میزان کلروفیل a، b و کل برگ‌ها با استفاده از روش پورا و همکاران (۱۹۸۹) دو هفته بعد از محلولپاشی دوم با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر تعیین گردید. به این ترتیب که ۵ قطعه کوچک از برگ گیاه جو تهیه شده با کاغذ سوراخکن، در ۸ سی سی متانول به مدت ۲۴ ساعت در

تاریکی قرار گرفت. سپس، با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Spectrophotometer- JENWAY مدل۴۵۱۰) میزان جذب نوری در طول موجهای ۶۶۵/۲ نانومتر، ۶۵۲/۴ نانومتر و ۴۷۰ نانومتر اندازه گیری شد. برای سنجش مقدار آنتوسیانین، نمونه های گیاهی با آب دوبار تقطیر شستشو و بر روی کاغذ صافی خشک شدند. بعد از اندازه گیری وزن تر (تقریباً ۲۰۰ میلی گرم)، نمونه ها در داخل ورقه آلومینیومی در ازت مایع قرار گرفتند. استخراج عصاره از بافت مورد نظر با استفاده از حلال یا بافر استخراج مربوطه برروی یخ و با هاون چینی سرد انجام شد. برای سنجش آنتوسیانین، عصاره حاصل از استخراج در حلال متانول/ اسید کلریدریک ۲:۹۸ (v/v) به مدت ۲۰ دقیقه در g ۱۰۰۰ سانتریفوژ گردید. ۰/۵ میلی لیتر از محلول با ۴۹/۵ میلی لیتر از بافر یک میلی مول MES با pH ۱و ۴/۵ در بالن ژوژه های ۵۰ میلی لیتری ریخته شد و پس از ۳۰ دقیقه جذب در ۵۱۰ نانومتر اندازه گیری شد.

در نهایت مقدار آنتوسیانین براساس cyanidin-3-glucoside g^{-1} mg FW گزارش شد. میزان شاخص کلروفیل برگ‌ها نیز دو هفته پس از دومین محلولپاشی بوسیلهٔ دستگاه SPAD 502 ساخت شرکت Minolta ژاپن ثبت شد. بدین ترتیب که قرائت‌گیری از سه بوته در هر کرت انجام گردید و برای قرائت‌گیری با دستگاه کلروفیل‌متر، از برگچهٔ نوک در بالاترین برگ کاملاً توسعه یافته از قسمت بالای ساقه استفاده شده و به ازای هر گیاه فقط یک قرائت‌گیری انجام گردید. اندازه‌گیری‌ها در یک نقطه مرکزی روی برگچه بین رگبرگ اصلی و حاشیه برگ انجام شدند.

در همان زمان، آنزیم‌های کاتالاز، سوپر اکسید دسموتاز، پراکسیداز، کربونیک انهیدراز و کربوهیدرات-های محلول اندازه‌گیری شدند. روش عصاره گیری و استخراج آنزیم های آنتی اکسیدانتی به این صورت بود که نمونه های فریز شده (۲۰۰ میلی گرم وزن تر)، در ۳ میلی لیتر بافر تریس ۰/۱ میلی مولار (pH=۷/۵) ساییده شده و با دور۱۲۰۰۰×۲۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی گراد سانتریفیوژ شد. از عصاره حاصله برای سنجش انزیم های آنتی اکسیدانی استفاده شد. با استفاده از روش فتوشیمیایی (کاکمک و هورس، ۱۹۹۱) سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز و سوپر اکسید دیسموتاز به

ترتیب در طول موجهای ۲۴۰ و ۵۶۰ نانومتر با اسپکتروفنومتر قرائت شد. فعالیت آنزیم پراکسیداز نیز با استفاده از روش فتوشیمیایی ولیکوا و همکاران (۲۰۰۰) با جذب نوری ۴۷۰ نانومتر تعیین شد. آنزیم کربونیک انهیدراز به روش ساساکی و همکاران (۱۹۹۸) محاسبه گردید. برای این منظور نمونه های برگی به مدت یک ساعت در معرض PPFD ۱۴۰۰(میکرومول بر متر مربع بر ثانیه) قرار گرفتند و سپس با محلول بافر PH ۸/۵ که شامل ۵۰ میلی مولار barbital-H_2SO_4، ۵ میلی مولار DDT و ۰/۲ ٪PVP (w/v) بود ساییده شدند. هموژن حاصله به مدت دو دقیقه ۱۲۰۰۰ g سانتریفیوژ شد و محلول رویی برای تعیین فعالیت آنزیم کربونیک انهیدراز مورد استفاده قرار گرفت.

میزان قندهای محلول برگ نیز با استفاده از روش فنول سولفوریک اسید و استاندارد گلوکز تعیین شد. برای این منظور ۱۰۰ میلی‌گرم نمونه‌های تازه برگ با استفاده از هموژنایزر و میکروتیوب ۱/۵ میلی‌لیتری در اتانول (۷۰ درصد) هموژنایز و به مدت ۲۴ ساعت در دمای چهار درجه سانتی‌گراد نگه داشته شد. مواد جامد نامحلول با استفاده از سانتریفیوژ ۳۰۰۰ جی در پنج دقیقه دو مرتبه جدا شدند. پس از چند ثانیه تکان شدید مقدار متناسبی از محلول شفاف بالایی جدا شده و سپس به نسبت حجمی ۲ به ۱ با فنول (۴ به ۱ نسبت وزن به حجم فنول و آب مقطر) مخلوط و با اسید سولفوریک ۹۸ درصد به حجم مشخص رسانده شد. در نهایت پس از ۳۰ دقیقه در حمام آب گرم در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد میزان جذب در ۴۸۰ نانومتر قرائت شد (نورزاد و همکاران، ۱۳۹۴؛ اسکلگل، ۱۹۵۶). آنزیم فیتاز نیز به روش کیم و لی (۲۰۰۵) اندازه‌گیری شد. برای سنجش فعالیت آنزیم فیتاز ۲۰۰ میکرولیتر از محلول آنزیمی به ۸۰۰ میکرولیتر بافر استات ۰/۲ مولار با PH ۵/۵ که حاوی ۱ میلی مولار فیتات سدیم است اضافه و به مدت ۳۰ دقیقه در بن ماری در دمای ۳۷ درجه سانتی گراد گرما گذاری شد. سپس ۱ میلی لیتر تری کلرواستیک اسید ۱۰٪ جهت متوقف کردن فعالیت آنزیم به محلول اضافه گردید. در نهایت براساس جذب نوری بدست آمده حاصل از اضافه کردن معرف بارتون مقدار فسفر آزاد شده طبق منحنی استاندارد KH_2PO_4

رسم شده در بافر استات ۰/۲ مولار جهت ایجاد شرایط یکسان طبق روش سنجش آنزیم محاسبه گردید.

در انتهای دوره رشد، صفات ارتفاع بوته، طول سنبله، طول و مساحت برگ پرچم، تعداد سنبله در مترمربع، تعداد دانه در بوته، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه اندازه‌گیری شدند. در نیمه پایینی هر کرت که به ارزیابی عملکرد اختصاص یافته بود، بوته‌ها پس از حذف حاشیه برداشت شده و پس از کوبیدن و جداسازی دانه‌ها، ماده خشک بوته و عملکرد دانه به تفکیک اندازه‌گیری شده و بدین ترتیب شاخص برداشت نیز از نسبت عملکرد دانه بـه عملکـرد بیولوژیک به دست آمد. قابل ذکر است که رقم یوسف در تاریخ ۲۴ اردیبهشت ماه ۱۳۹۵ و رقم جلگه در تاریخ یکم خرداد ماه ۱۳۹۵ برداشت شدند.

۳-۲ آزمایش گلدانی

۳-۲-۱- مشخصات محل اجرای آزمایش

آزمایش گلدانی همزمان با آزمایش مزرعه و در پاییز ۱۳۹۴ و در محل مزرعه تحقیقاتی شرکت باغداری و زراعت مشهد وابسته به بنیاد مستضعفان واقع در شهرستان چناران در سه تکرار اجرا شد. کشت در گلدان‌های ده کیلوگرمی و در سه تکرار اجرا گردید. بافت خاک مورد نظر از نوع لوم شنی بود. از آنجایی که در این تحقیق بررسی برخی خصوصیات ریشه مد نظر بودند و جداسازی ریشه‌ها از خاک‌های با بافت درشت‌تر راحت‌تر است، لذا از خاکی که شامل یک دوم ماسه و یک دوم خاک مزرعه بود استفاده گردید. لازم به ذکر است نیمی از گلدانها با خاک مزرعه تحقیقاتی پر شدند و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک گلدان مشابه خاک مزرعه است (جدول ۳-۱).

۳-۲-۲- طرح آزمایشی

مشابه آزمایش مزرعه‌ای، آزمایش گلدانی نیز بصورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار به اجرا در آمد. فاکتور اول، دو رقم جو شامل: یوسف و جلگه (رقم رایج در منطقه)، فاکتور دوم، قارچ میکوریزا در سه سطح شامل: شاهد (عدم مصرف قارچ)، میکوریزای آرباسکولار *Glomus mosseae* و میکوریزای آرباسکولار *Glomus intraradices* و فاکتور سوم، محلول‌پاشی اکسید روی در

چهار سطح شامل: شاهد (عدم مصرف کود)، محلول پاشی نانو اکسید روی به میزان ۲ در هزار، اکسید روی معمولی به میزان ۲ در هزار و مخلوط نانو و اکسید روی هر کدام به میزان ۱ در هزار بودند.

۳-۲-۳- عملیات کاشت

با توجه به طرح آزمایشی، تعداد ۷۲ عدد گلدان ده کیلوگرمی تهیه شد. ابتدا گلدان‌ها و بذور با محلول هیپوکلریت سدیمِ پنج درصد، ضد عفونی و سپس با آب مقطر شسته شدند. پس از آن، تمامی گلدانها با ۵ کیلوگرم خاک مزرعه و ۵ کیلوگرم ماسه پر شدند. به این منظور از عمق ۳۰-۰ سانتیمتری خاک مزرعه و از نقاط مختلف مزرعه اقدام به نمونه برداری گردید و کل گلدانها به نسبت یک دوم از مخلوط خاک مزرعه و یک دوم ماسه پر شدند و در هر گلدان شش عدد بذر کشت گردید. سپس در مرحله دو برگی تنک شدند و سه بوته در هر گلدان باقی ماند. مشابه کشت مزرعه، ۲۰ گرم (هر گرم حاوی ۵۰ تـا ۶۵ عـدد اسـپور) از مایه تلقیح میکوریزای مورد نظر به خاک هر یک از گلدان‌هایی که دارای تیمار قارچ میکوریزا بودند اضافه گردید (در محدوده سطح خاک گلدان تا چند سانتیمتر پایین‌تر از عمق کاشت بذر).

۳-۲-۴- عملیات داشت

در این تحقیق تلاش شد تا رطوبت خاک گلدان‌ها در حد ظرفیت زراعی (۷۵٪ FC) حفظ گردد. بدین منظور ۳ عدد گلـدان بـا وزن و انـدازه مشابه کاملاً از خاک پر شدند و آب به میزانی که گلدانها کاملا اشباع شوند اضافه گردید. سپس گلدانها در زیر نایلون قرار گرفتند و اجازه داده شد تا آب فقط از نیروی ثقل کاملا از گلدانها خارج شود و هر شش ساعت یک بار وزن گلدانها بطور مرتب یادداشت شد و بعد از ثابت شدن منحنی آب با توزین گلدانها وزن نهایی گلدانها ثبت شدند. بعد گلدانها در آون تحت دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد به مدت ۲ روز قرار گرفتند تا کاملا خشک شدند و مجدادا وزن شدند. در نهایت ظرفیت زراعی از اختلاف وزن خاک در حالت اشباع و کاملا خشک شده محاسبه شد و با وزن کردن روزانه گلدانها بر اساس کمبود آب نسبت به سطح مربوطه میزان اب آبیاری تعیین شد و با انجام آبیاری، وضعیت رطوبتی گلدان‌ها در حد FC حفظ گردید (سوزا و همکاران، ۲۰۱۴). تیمار

محلول‌پاشی نانو ذرات اکسید روی و اکسید روی معمولی نیز بصورت محلول‌پاشی برگی در دو مرحله ساقه دهی و شیری دانه اعمال شد.

۳-۲-۵- نمونه‌برداری و اندازه‌گیری صفات

دو هفته پس از دومین محلولپاشی، عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم و روی و همچنین کلروفیل‌های a، b و کل و آنتوسیانین برگ‌ها، آنزیم‌های کاتالاز، سوپر اکسید دسموتاز، پراکسیداز، کربونیک انهیدراز و قندهای محلول مشابه کار مزرعه‌ای مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند.

در اواسط گلدهی سطح برگ بوته با دستگاه ارزیابی سطح برگ (مدل Li-۱۳۰۰) اندازه‌گیری شد. در انتهای دوره رشد نیز صفات ارتفاع بوته، طول سنبله، طول و مساحت برگ پرچم، تعداد سنبله در بوته، تعداد دانه در بوته، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه و همچنین آنزیم فیتاز دانه اندازه‌گیری شدند. همچنین ماده خشک بوته و وزن دانه به تفکیک اندازه‌گیری شده و بدین ترتیب شاخص برداشت از نسبت وزن دانه (گرم در گیاه) به وزن کاه و کلش(گرم در گیاه) محاسبه گردید.

علاوه بر این، بوته‌های هر گلدان از آن، خارج و تمام ریشه‌های گیاه با دقت از خاک جدا و در یک الک بسیار ریز شسته شدند تا کاملاً عاری از خاک شوند. در ادامه، حجم ریشه، سطح ریشه، میانگین قطر ریشه و مجموع طول ریشه توسط دستگاه اسکن ریشه مدل DELTA-T اندازه‌گیری شدند و وزن خشک ریشه و بخش هوایی بوته‌ها نیز پس قرار گرفتن این بخش‌ها درون آون (دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد) به مدت ۷۲ ساعت توزین شدند و از تقسیم وزن خشک ریشه به بخش هوایی، نسبت Root/Shoot مشخص شد.

۳-۳- نرم افزارهای مورد استفاده جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌ها و رسم نمودارهای مربوطه با استفاده از نرم‌افزارهای Excel و SAS 9.1 انجام شد. آنالیز واریانس (ANOVA) در سطح $p < 0.05$ برای همه داده ها انجام شد و مقایسه میانگین تیمارها به روش حداقل تفاوت معنی دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. آزمون

نرمال بودن داده ها و استاندارد کردن داده ها با استفاده از نرم افزار Excel صورت گرفت. به منظور برآورد ارتباط عملکرد، اجزای عملکرد و صفات فیزیولوژیک از ضرایب همبستگی استفاده شد. جهت تعیین ضرایب همبستگی پیرسون بین صفات مورد نظر و ترسیم نمودار همبستگی با استفاده از نرم افزار Excel استفاده شد.

فصل چهارم

نتایج و بحث

۴-۱- صفات مورفولوژیک

۴-۱-۱- ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در مزرعه نشان داد که اثر متقابل رقم جو و سطوح میکوریزا روی ارتفاع بوته جو معنی‌دار شد (جدول ۴-۱). بطوریکه بیشترین ارتفاع بوته به میزان ۱۰۱/۳سانتیمتر در رقم یوسف و گونهٔ میکوریزای *Glomus intraradices* مشاهده گردید. کمترین ارتفاع بوته هم به میزان ۶۳/۵ سانتی متر در رقم جلگه و عدم مصرف میکوریزا دیده شد (جدول ۴-۲). بطور کلی ارتفاع بوته رقم یوسف در تمامی سطوح میکوریزا از رقم جلگه در سطوح مشابه، بیشتر بود و به نظر می‌رسد که رقم یوسف نسبت به جلگه از پتانسیل بیشتری برای تولید بوته‌هایی با ارتفاع بلندتر برخوردار است. به نظر می‌رسد که حضور میکوریزا در خاک بواسطهٔ تقویت جذب آب و مواد غذایی و تحریک سنتز مواد تنظیم کننده رشد و هورمون‌های گیاهی بر جنبه های مختلف فیزیولوژی و بیوشیمی گیاه جو تاثیر گذاشته است و متعاقبا باعث رشد بهتر ریشه و اندام های هوایی شده است.

جدول ۴-۱. تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک جو در مزرعه.

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع بوته	مساحت برگ پرچم
بلوک	۲	۱۰۳**	۱۲۱**
رقم	۱	۸۴۶۷ **	۲۲ ^{ns}
میکوریزا	۲	۱۶۶۰ **	۸۳۹ **
اکسید روی	۳	۱۴۱۲ **	۱۱۰۹ **
رقم × میکوریزا	۲	۴۷۶ **	۴۱۵ **
رقم × اکسید روی	۳	۲۵/۳۵ ^{ns}	۴/۹۰ ^{ns}
میکوریزا × اکسید روی	۶	۴۳/۶۸ *	۱۹/۵۰ ^{ns}
رقم × میکوریزا × اکسید روی	۶	۲۶/۱۰ ^{ns}	۱۱/۸۱ ^{ns}
خطا	۴۶	۱۵/۳۳	۸/۴۸
ضریب تغییرات(%)	-	۴/۸۶	۱۱/۸۰

**: معنی‌دار در سطح یک درصد *: معنی‌دار در سطح پنج درصد ns: غیرمعنی‌دار

این نتایج با یافته های القمدی (۲۰۱۶) که در مطالعات مزرعه ای خود شاهد افزایش معنی دار ارتفاع بوته و طول ساقه اصلی ارقام گندم و جو در تلقیح میکوریزایی بود در تطابق است. او همچنین عنوان

کرد که تلقیح میکوریزایی باعث افزایش درصد و سرعت رشد ارقام گندم و جو شد که این افزایش رشد در ارقام جو بیشتر بود.

جدول ۴-۲. اثر متقابل رقم جو و سطوح میکوریزا بر صفات مورفولوژیک در مزرعه.

رقم	میکوریزا	ارتفاع بوته (سانتیمتر)	مساحت برگ پرچم (سانتیمتر مربع)
یوسف	شاهد	۷۸/۲۸^{c}	۱۶/۸۰^{c}
	G. mossea	۹۴/۴۳^{b}	۲۴/۰۱^{b}
	G. intraradices	۱۰۱/۳۰^{a}	۳۱/۵۰^{a}
جلگه	شاهد	۶۳/۵۰^{e}	۱۸/۹۱^{c}
	G. mossea	۷۵/۹۰^{c}	۳۲/۹۲^{a}
	G. intraradices	۶۹/۵۵^{d}	۲۳/۸۶^{b}
	LSD (۰/۰۵)	۳/۲۲	۲/۳۹

در هر ستون، بررسی اختلاف میانگین‌ها، بر اساس آزمون LSD و در سطح ۵ درصد صورت گرفته است.

جمشیدی و همکاران (۱۳۸۸) نیز در مطالعات خود بر آفتابگردان عنوان نمودند که در مقایسه با گیاهان بدون تلقیح، گیاهان تلقیح شده با میکوریزا ارتفاع بوته بیشتری داشته و بیشترین ارتفاع بوته در گیاهان تلقیح شده با گلوموس موسه بود. ایشان دلیل این اثر مثبت میکوریزا را به بهبود وضعیت جذب عناصر فسفر، نیتروژن، مس و روی و همینطور افزایش جذب آب توسط هیف های قارچی نسبت دادند و عنوان کردند که این همزیستی میکوریزایی نه تنها موجب افزایش طول و تراکم ریشه میزبان بلکه منجر به افزایش ارتفاع بوته نیز شده است.

مطابق (جدول ۴-۱) اثر متقابل سطوح میکوریزا و محلول پاشی روی بر ارتفاع بوته جو نیز در سطح پنج درصد معنی‌دار شد و بیشترین ارتفاع بوته به میزان ۹۷/۷ و ۹۶/۸ سانتیمتر به ترتیب در گونه‌های میکوریزای *G. intraradices* و *G. mossea* و در کاربرد مخلوط نانو اکسید روی و اکسید روی معمولی مشاهده گردید (جدول ۴-۳). در تمامی سطوح میکوریزا استفاده از اکسید روی موجب

افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته گردید. لکن این افزایش در ارتفاع بوته در مخلوط نانو اکسید روی و اکسید روی معمولی به مراتب بیشتر از سایر تیمارها بود (جدول ۴-۳).

جدول ۴-۳. اثر متقابل سطوح میکوریزا و اکسید روی بر ارتفاع بوته جو در مزرعه.

میکوریزا	اکسید روی	ارتفاع بوته (سانتیمتر)
شاهد	شاهد	۶۶/۲۳^{e}
	نانو اکسید روی (۲‰)	۷۱/۲۷^{d}
	اکسید روی معمولی (۲‰)	۶۵/۶۰^{e}
	مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۸۰/۴۷^{c}
G. mossea	شاهد	۷۳/۴۷^{d}
	نانو اکسید روی (۲‰)	۸۸/۵۷^{b}
	اکسید روی معمولی (۲‰)	۸۰/۸۷^{c}
	مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۹۷/۷۷^{a}
G. intraradices	شاهد	۷۴/۱۳^{d}
	نانو اکسید روی (۲‰)	۸۸/۹۷^{b}
	اکسید روی معمولی (۲‰)	۸۱/۸۰^{c}
	مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۹۶/۸۰^{a}
LSD (۰/۰۵)		۴/۵۵

بررسی اختلاف میانگین‌ها، بر اساس آزمون LSD و در سطح ۵ درصد صورت گرفته است.

به نظر می‌رسد که کاربرد همزمان میکوریزا و اکسید روی (خصوصاً مخلوط نانو اکسید روی و اکسید روی معمولی) می‌تواند در افزایش ارتفاع بوته جو موثر باشد. چرا که فراهمی عنصر روی، می‌تواند محتوی کلروفیل برگ را افزایش داده و این امر سبب افزایش ظرفیت فتوسنتزی گیاه و نهایتاً ماده خشک تولیدی می‌گردد (سینگ و اسوالت، ۱۹۹۵). عنصر روی از طرف دیگر جهت سنتز هورمون ایندول استیک اسید (IAA)، هورمون تنظیم کننده رشد گیاه مورد نیاز است که محرک تقسیم سلولها و رشد سریع بافت ها به ویژه در نواحی مریستم نوک ساقه ها است. لذا اینطور بنظر می رسد که افزایش سطوح روی با محلولپاشی برگی در هر دو آزمایش مزرعه و گلدان توانسته است با ممانعت از اختلال در سازوکار اکسین و جلوگیری از تخریب این هورمون، رشد مطلوب گیاه و افزایش ارتفاع

ساقه جو را تضمین کند. زند و همکاران (۱۳۹۳) نیز شاهد افزایش معنی دار غلظت هورمون اکسین در رشه و ساقه ارقام ذرت در تیمار محلولپاشی روی به تنهایی در مقایسه با محلولپاشی هورمون اکسین بودند و آنها اظهار داشتند که از جمله عوامل موثر بر تاثیرگذاری بهتر هورمون اکسین در رشد گیاه افزایش انتقال پذیری این هورمون است که خود تابعی از غلظت عنصر روی است. در بخش گلدان نیز اثر متقابل سه گانه رقم جو، سطوح میکوریزا و محلول‌پاشی روی بر ارتفاع بوته جو در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴-۴).

جدول ۴-۴. تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک جو در گلدان.

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع بوته	مساحت برگ پرچم
رقم	۱	۳۶۶۳ **	۱۸۸ **
میکوریزا	۲	۱۲۷۰ **	۱۲۹۲ **
اکسید روی	۳	۱۶۴۱ **	۸۶۲ **
رقم × میکوریزا	۲	۴۶۴ **	۴۷۲ **
رقم × اکسید روی	۳	۰/۰۱ ns	۱۶/۱۵ **
میکوریزا × اکسید روی	۶	۲۲/۸۹ **	۱۷/۰۰ **
رقم × میکوریزا × اکسید روی	۶	۱۱/۰۰ **	۸/۷۳**
خطا	۴۸	۰/۹۵	۲/۳۳
ضریب تغییرات(%)	-	۴/۰۱	۵/۷۹

**: معنی‌دار در سطح یک درصد *: معنی‌دار در سطح پنج درصد ns: غیرمعنی‌دار

مشابه مزرعه در گلدان نیز در رقم یوسف کاربرد میکوریزای *G. interaradices* تاثیر بهتری در افزایش ارتفاع بوته داشت در حالی که در رقم جلگه کاربرد میکوریزای *G. mossea* نتیجه بهتری در افزایش ارتفاع بوته از خود نشان داد. نامور (۱۳۹۳) نیز در آزمایشات خود، طی بررسی اثر میکوریزا بر خصوصیات رشدی گیاه ذرت، تاثیر قارچ میکوریزا را بر افزایش ارتفاع بوته ذرت گزارش کرد.

در مشاهدات گلدانی بیشترین ارتفاع بوته در رقم یوسف و در گونه میکوریزای *G. interaradices* و در کاربرد اکسید روی معمولی (به میزان ۱۲۴ سانتیمتر) مشاهده گردید. به گونه‌ای که تنها در این تیمار بود که ارتفاع بوته به بیش از ۱۲۰ سانتیمتر رسید (جدول ۴-۵).

جدول ۴-۵. اثر متقابل رقم جو، سطوح میکوریزا و اکسید روی بر ارتفاع بوته و مساحت برگ پرچم در گلدان.

رقم	میکوریزا	اکسید روی	ارتفاع بوته (سانتیمتر)	مساحت برگ پرچم (سانتیمتر مربع)
یوسف	شاهد	شاهد	۸۷/۷۰^{k}	۹/۶۶^{o}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۹۱/۳۰^{ij}	۱۱/۸۴^{o}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۱۰۵/۱۰^{e}	۲۱/۲۵^{jkl}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۹۷/۳۰^{gh}	۱۷/۳۱^{mn}
	G. mossea	شاهد	۹۲/۷۰^{i}	۱۸/۲۴^{m}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۹۸/۵۰^{g}	۲۱/۰۶^{kl}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۱۱۶/۱۰^{b}	۳۲/۸۳^{d}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۱۰۶/۹۰^{d}	۲۵/۹۰^{gh}
	G. intraradices	شاهد	۹۸/۱۰^{g}	۲۷/۵۷^{fg}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۱۱۰/۱۰ ^{c}	۳۲/۱۵^{de}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۱۲۴/۱۰ ^{a}	۴۲/۴۶^{b}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۱۱۷/۱۰ ^{b}	۳۶/۷۶^{c}
جلگه	شاهد	شاهد	۷۳/۴۳^{n}	۱۵/۱۴^{n}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۷۷/۰۳^{m}	۱۹/۲۳^{lm}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۹۰/۸۳^{j}	۲۶/۸۶^{g}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۸۳/۰۳^{l}	۲۲/۳۳^{ijk}
	G. mossea	شاهد	۸۳/۸۳^{l}	۲۳/۹۶^{hi}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۹۵/۸۳ ^{h}	۲۹/۷۱^{ef}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۱۰۹/۸۳ ^{c}	۴۷/۴۲^{a}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۱۰۲/۸۳ ^{f}	۳۸/۹۲^{c}
	G. intraradices	شاهد	۷۸/۴۳^{m}	۱۹/۴۲^{lm}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۸۴/۲۳^{l}	۲۳/۶۲^{hij}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۱۰۱/۸۳ ^{f}	۳۸/۴۴^{c}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۹۲/۶۳^{i}	۳۰/۸۰^{de}
		LSD (۰/۰۵)	۱/۶۰	۲/۵۰

در هر ستون بررسی اختلاف میانگین‌ها، بر اساس آزمون LSD و در سطح ۵ درصد صورت گرفته است.

بطور کلی در هر دو آزمایش رقم یوسف نسبت به رقم جلگه در سطوح تیماری مختلف، ارتفاع بوته بیشتری از خود نشان داد (جدول ۴-۵). با توجه به اثر معنی دار $p < ۰/۰۱$ عامل رقم بر ارتفاع بوته در هر دو آزمایش می توان به تفاوتهای ژنوتیپی بین ارقام یوسف و جو در افزایش ارتفاع بوته نیز اشاره کرد همانطورکه جعفرنژاد (۱۳۸۸) نیز در تحقیقات خود، تفاوت‌های معنی‌داری را از نظر ارتفاع بوته

بین ارقام مورد بررسی گندم مشاهده کرد و این موضوع را ناشی از وجود تفاوت‌های ژنتیکی بین ارقام دانست.

۴-۱-۲- مساحت برگ پرچم

در آزمایش مزرعه نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل رقم جو و سطوح میکوریزا بر مساحت برگ پرچم جو معنی‌دار شد (جدول ۴-۱). بطوریکه بیشترین مساحت برگ پرچم به میزان ۳۲/۹ و ۳۱/۵ سانتیمتر مربع به ترتیب در رقم یوسف - گونهٔ میکوریزای *Glomus intraradices* و رقم جلگه - گونهٔ میکوریزای *Glomus mossea* مشاهده گردید. کمترین مساحت برگ پرچم هم به میزان ۱۶/۸ در رقم یوسف و عدم مصرف میکوریزا دیده شد (جدول ۴-۲). بطور کلی در هر دو رقم یوسف و جلگه، کاربرد میکوریزا سبب افزایش معنی‌دار مساحت برگ پرچم گردید (جدول ۴-۲). اثر محلول پاشی روی بر مساحت برگ پرچم جو نیز در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴-۱). لکن این افزایش در مساحت برگ پرچم در کاربرد مخلوط نانو اکسید روی و اکسید روی معمولی به مراتب بیشتر از سایر تیمارها بود (جدول ۴-۶). بطوری که کاربرد مخلوط نانو اکسید روی و اکسید روی معمولی در مزرعه در مقایسه با شاهد سبب افزایش ۹۷/۲ درصدی مساحت برگ پرچم گردید. به نظر می‌رسد که کاربرد عنصر روی بصورت مخلوط نانو اکسید روی و اکسید روی معمولی باعث جذب بهتر این عنصر توسط گیاه گشته و همین امر در بهبود فتوسنتز گیاه و توسعه بهتر برگ پرچم موثر بوده است. با توجه به خاصیت نانو ذرات اکسید روی و حلالیت بیشتر این ذرات به نظر می رسد که شانس این ذرات در برخورد با سلولهای برگ از طریق محلولپاشی و همینطور جذب توسط سلولها و روزنه ها و متعاقبا انتقال و جابجایی از طریق دیواره سلولی بیشتر است که این عوامل باعث افزایش کارایی این ذرات نسبت به ذرات معمولی اکسید روی در افزایش سطح برگ پرچم شده است.

جدول ۴-۶. اثر اکسید روی بر مساحت برگ پرچم در مزرعه.

اکسید روی	مساحت برگ پرچم (سانتیمتر مربع)
شاهد	۱۷/۲۸^{c}
نانو اکسید روی (۲‰)	۲۸/۱۲^{b}
اکسید روی معمولی (۲‰)	۱۹/۱۹^{c}
مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۳۴/۰۷^{a}
LSD (۰/۰۵)	۱/۹۵

در هر ستون، بررسی اختلاف میانگین‌ها، بر اساس آزمون LSD و در سطح ۵ درصد صورت گرفته است.

در آزمایش گلدانی اثر متقابل سه گانهٔ رقم جو، سطوح میکوریزا و محلول‌پاشی روی بر مساحت برگ پرچم در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴-۴). بدین ترتیب که در هر دو رقم، عدم کاربرد میکوریزا و اکسید روی، سبب کاهش معنی‌دار مساحت برگ پرچم گردید و کمترین مساحت برگ پرچم در این تیمارها وجود داشت. تاثیر کاربرد گونه میکوریزای *G. mossea* و اکسید روی معمولی بر مساحت برگ پرچم در رقم جلگه از تاثیر کاربرد مشابه آنها در رقم یوسف بیشتر بود. بیشترین مساحت برگ پرچم در رقم جلگه و در میکوریزای گونه *G. mossea* و کاربرد اکسید روی معمولی (به میزان ۴۷/۴۲ سانتیمتر مربع) مشاهده گردید (جدول ۴-۵). از آنجایی که فتوسنتز برگ پرچم بیشترین تاثیر را در پر شدن دانه غلاتی همچون گندم، جو و برنج دارد (امام، ۱۳۸۶)، ارتقای ظرفیت فتوسنتزی آنها به عنوان یکی از اهداف اصلی فعالیت‌های به زراعی و به نژادی مد نظر بوده است (موچشی و همکاران، ۲۰۱۲). در تحقیق گلدانی چنین به نظر می‌رسد که کاربرد همزمان میکوریزا و عنصر روی (خصوصاً بصورت اکسید روی معمولی) می‌تواند باعث جذب بهتر عناصر غذایی توسط گیاه جو گشته و این امر نیز در بهبود فتوسنتز گیاه جو و توسعه بهتر برگ پرچم آن موثر بوده است. به عبارت دیگر، کاربرد همزمان میکوریزا و عنصر روی، می‌تواند ضمن افزایش ظرفیت فتوسنتزی گیاه، در تخصیص بیشتر فراورده‌های فتوسنتزی به برگ پرچم (موچشی و همکاران، ۲۰۱۲) و نهایتاً افزایش مساحت برگ پرچم جو موثر باشد که البته در هر دو آزمایش رقم جلگه نسبت به رقم یوسف، از این نظر پاسخ بهتری به میکوریزا و محلول‌پاشی روی از خود نشان داد. مساحت برگ پرچم یکی از پارامترهای مورد توجه محققین خصوصا متخصصان اصلاح نباتات بوده است بطوری که افزایش در

سطح برگ پرچم به واسطه افزایش میزان و سرعت فتوسنتز و طبیعتا افزایش میزان ماده خشک، مستقیما باعث افزایش عملکرد دانه و افزایش وزن هزار دانه غلات می شود (بوریل و همکاران، ۲۰۱۵). مبصر و همکاران (۱۳۹۳) نیز در بررسی اثر میکوریزا بر خصوصیات زراعی چهار رقم ذرت در منطقه سیستان، تاثیر معنی‌دار کاربرد میکوریزا را در افزایش طول و عرض برگ پرچم گزارش کردند.

۴-۱-۳- سطح برگ

در آزمایش گلدانی نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل سه گانهٔ رقم جو، سطوح میکوریزا و محلول‌پاشی روی بر سطح برگ جو معنی‌دار شد (جدول ۴-۷).

جدول ۴-۷. تجزیه واریانس سطح و وزن خشک برگ و وزن خشک اندام هوایی جو در بخش گلدانی.

منابع تغییرات	درجه آزادی	سطح برگ	وزن خشک برگ	وزن خشک اندام هوایی
رقم	۱	۳۱۰۴۲ **	۰/۳۵ **	۱/۲۷ **
میکوریزا	۲	۱۰۵۹۷ **	۰/۵۶ **	۵/۶۴ **
اکسید روی	۳	۴۹۴۶ **	۰/۲۶ **	۱/۳۲**
رقم × میکوریزا	۲	۴۵۳۹ **	۰/۳۳ **	۰/۷۴ **
رقم × اکسید روی	۳	۱۸۹ **	۰/۰۰۱ **	۰/۰۳ **
میکوریزا × اکسید روی	۶	۱۹۱ **	۰/۰۰۳ **	۰/۰۰۸ **
رقم × میکوریزا × اکسید روی	۶	۲۰۴ **	۰/۰۰۱ **	۰/۰۲ **
خطا	۴۸	۲۶/۸۸	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۱
ضریب تغییرات(%)	-	۸/۵۶	۱۱/۶۴	۱۰/۹۵

**: معنی‌دار در سطح یک درصد *: معنی‌دار در سطح پنج درصد ns: غیرمعنی‌دار

در هر دو رقم، عدم کاربرد میکوریزا و اکسید روی، سبب کاهش معنی‌دار سطح برگ جو گردید و کمترین سطح برگ جو در این تیمارها وجود داشت. در رقم یوسف گونه میکوریزای *G. interaradices* اثربخشی بهتری بر سطح برگ جو داشت، در حالی که در رقم جلگه این گونه میکوریزای *G. mossea* بود که تاثیرگذاری بهتری بر سطح برگ جو از خود نشان داد. برای رقم جلگه نسبت به رقم یوسف در سطوح مختلف تیماری، سطح برگ‌های بیشتری مشاهده گردید. همچنین در هر دو رقم، در بین سطوح محلول‌پاشی روی، کاربرد نانو اکسید روی بیشترین تاثیر را بر سطح برگ جو داشت (جدول ۴-۸). به نظر می‌رسد که امکان افزایش سطح برگ جو بواسطهٔ استفادهٔ تلفیقی

میکوریزا و اکسید روی، وجود داشته و این امر نیز می‌تواند در افزایش ظرفیت فتوسنتزی گیاه جو موثر باشد. احتمالاً این امر ناشی از بهبود جذب آب و مواد غذایی و افزایش فراهمی عناصر مورد نیاز گیاه توسط میکوریزا و محلول پاشی روی بوده است.

جدول ۴-۸. اثرمتقابل رقم جو، سطوح میکوریزا و اکسید روی بر سطح و وزن خشک برگ و وزن خشک اندام هوایی جو در بخش گلدانی.

رقم	میکوریزا	اکسید روی	سطح برگ (سانتیمتر مربع)	وزن خشک برگ (گرم)	وزن خشک اندام هوایی (گرم)
یوسف	شاهد	شاهد	۲۵۸/۳۳^{n}	۰/۴۷^{m}	۱/۰۰^{q}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۲۹۵/۳۳ ^{l}	۰/۷۶^{g}	۱/۵۱^{m}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۲۶۰/۳۳ ^{n}	۰/۵۳^{k}	۱/۲۲^{o}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۲۸۲/۳۳ ^{m}	۰/۶۳^{i}	۱/۴۰^{n}
	G. mossea	شاهد	۲۹۵/۳۳ ^{l}	۰/۶۳^{i}	۱/۷۶^{j}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۳۳۸/۳۳ ^{ghi}	۰/۸۹^{e}	۲/۴۸^{c}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۳۰۵/۳۳ ^{k}	۰/۷۷^{g}	۲/۰۲^{fg}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۳۱۶/۳۳ ^{j}	۰/۸۲^{f}	۲/۲۵^{d}
	G. intraradices	شاهد	۳۱۴/۰۰^{j}	۰/۸۳^{f}	۱/۹۸^{gh}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۳۶۸/۰۰ ^{bc}	۱/۱۵^{a}	۲/۹۰^{a}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۳۳۶/۰۰ ^{hi}	۰/۹۰^{de}	۲/۲۸^{d}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۳۴۷/۰۰ ^{ef}	۰/۹۳^{c}	۲/۶۹^{b}
جلگه	شاهد	شاهد	۳۱۹/۳۳ ^{j}	۰/۳۱^{o}	۰/۹۵^{q}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۳۶۲/۳۳ ^{cd}	۰/۶۲^{ij}	۱/۵۵^{lm}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۳۳۱/۳۳ ^{i}	۰/۴۲^{n}	۱/۱۴^{p}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۳۴۵/۳۳ ^{fg}	۰/۵۱^{l}	۱/۳۴^{n}
	G. mossea	شاهد	۳۴۴/۶۷ ^{fg}	۰/۷۴^{h}	۱/۷۶^{j}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۶۷ /۳۶۱^{cd}	۰/۹۹^{b}	۲/۲۷^{d}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۳۷۲/۶۷ ^{ab}	۰/۸۳^{f}	۱/۹۴^{h}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۳۶۶/۶۷^{bc}	۰/۹۱^{d}	۲/۱۶^{e}
	G. intraradices	شاهد	۳۳۶/۰۰ ^{hi}	۰/۴۳^{n}	۱/۵۹^{l}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۳۷۷/۰۰ ^{a}	۰/۷۳^{h}	۲/۰۶^{f}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۳۴۳/۰۰ ^{fgh}	۰/۵۲^{kl}	۱/۶۶^{k}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۳۵۵/۰۰ ^{de}	۰/۶۱^{j}	۱/۸۴^{i}
		LSD (۰/۰۵)	۸/۵۱	۰/۰۲	۰/۰۶

در هر ستون بررسی اختلاف میانگین‌ها، بر اساس آزمون LSD و در سطح ۵ درصد صورت گرفته است.

۴-۱-۴- وزن خشک برگ و اندام هوایی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل سه گانهٔ رقم جو، سطوح میکوریزا و محلول‌پاشی روی بر وزن خشک برگ و اندام هوایی جو معنی‌دار شد (جدول ۴-۷). در هر دو رقم، عدم کاربرد میکوریزا و اکسید روی، سبب کاهش معنی‌دار وزن خشک برگ و اندام هوایی جو گردید و کمترین وزن خشک برگ و اندام هوایی جو در این تیمارها وجود داشت. در رقم یوسف گونه میکوریزای *G. interaradices* اثربخشی بهتری بر وزن خشک برگ و اندام هوایی جو داشت، در حالی که در رقم جلگه این گونه میکوریزای *G. mossea* بود که تاثیرگذاری بهتری بر وزن خشک برگ و اندام هوایی جو از خود نشان داد. برای رقم یوسف نسبت به رقم جلگه در سطوح مختلف تیماری، وزن خشک برگ و اندام هوایی بیشتری مشاهده گردید. به عبارت دیگر، هرچند رقم جلگه در بین سطوح مختلف تیماری سطح برگ بیشتری داشت، اما این رقم یوسف بود که در بین سطوح مختلف تیماری، وزن خشک برگ و اندام هوایی بیشتری از خود نشان داد. همچنین در هر دو رقم، در بین سطوح محلول-پاشی روی، کاربرد نانو اکسید روی بیشترین تاثیر را بر وزن خشک برگ و اندام هوایی جو داشت (جدول ۴-۸). چنین به نظر می‌رسد که امکان افزایش وزن خشک برگ و اندام هوایی جو بواسطهٔ استفادهٔ تلفیقی میکوریزا و اکسید روی، وجود داشته باشد و این امر نیز احتمالاً ناشی از بهبود جذب آب و مواد غذایی و افزایش فراهمی عناصر مورد نیاز گیاه توسط میکوریزا و محلول پاشی باشد. رضوانی و همکاران (۱۳۸۸) نیز با بررسی اثر چهار گونهٔ میکوریزای *Glomus mossea*، *G. etanicatum*، *G. intraradices* و ترکیبی از *G. mossea*، *G. fasciculatum* و *Gigaspora hartiga* بر گیاه یونجه، نشان دادند که حضور میکوریزا بر خصوصیات زراعی گیاه یونجه تاثیر مثبت داشته و در این بین، اثر گونهٔ *G. mossea* بر این خصوصیات (از جمله وزن خشک اندام هوایی) بیشتر از گونه‌های دیگر بود. رابینسون و همکاران (۲۰۱۴) نیز در مطالعات خود شاهد افزایش معنی دار وزن تر و خشک اندام های هوایی در ارقام کنجد تلقیح شده با قارچ میکوریزا بودند و این افزایش را به قابلیت بالای این

قارچ ها در جذب بیشتر عناصری مانند پتاسیم ، نیتروژن، روی، کلسیم و گوگرد از بستر خاک نسبت دادند.

۴-۲- خصوصیات ریشه

اثر متقابل سه گانه رقم جو، سطوح میکوریزا و محلول‌پاشی روی بر مجموع طول ریشه، میانگین قطر ریشه و حجم ریشه در سطح یک درصد و بر صفات وزن خشک ریشه و نسبت ریشه به اندام هوایی جو در سطح پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۴-۹). همچنین اثر متقابل رقم جو و سطوح میکوریزا و نیز اثر متقابل سطوح میکوریزا و محلول‌پاشی روی بر سطح ریشه جو معنی‌دار شد (جدول ۴-۹). بدین ترتیب که در هر دو رقم، عدم کاربرد میکوریزا و اکسید روی، سبب کاهش معنی‌دار صفات مجموع طول ریشه، قطر، حجم، و وزن خشک ریشه گردید.

جدول ۴-۹. تجزیه واریانس خصوصیات ریشه جو در بخش گلدانی.

منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع طول ریشه	میانگین قطر ریشه	سطح ریشه	حجم ریشه	وزن خشک ریشه	نسبت ریشه به اندام هوایی
رقم	۱	۳۳۴۲۸۹۳۸ **	۱/۳۶ **	۵۸۹۳۸ **	۵/۴۰ **	۰/۷۴ **	۰/۰۵ **
میکوریزا	۲	۵۴۵۴۹۵۰ **	۰/۴۸ **	۸۳۰۵ **	۰/۶۵ **	۰/۶۷ **	۰/۰۹ **
اکسید روی	۳	۶۷۲۰۶۴ **	۰/۳۱ **	۱۰۴۱ **	۰/۲۰ **	۰/۰۸ **	۰/۰۴ **
رقم × میکوریزا	۲	۳۴۳۲۰۸۳ **	۰/۳۰ **	۴۴۹۰ **	۰/۷۲ **	۰/۳۱ **	۰/۰۲ **
رقم × اکسید روی	۳	۲۲۱۸۸۷ **	۰/۰۰۱ ns	۷/۷۷ ns	۰/۰۰۸ **	۰/۰۰۰۱ ns	۰/۰۰۲ ns
میکوریزا × اکسید روی	۶	۴۲۹۲۰ **	۰/۰۰۲ *	۱۰/۷۵ *	۰/۰۰۹ **	۰/۰۰۷ *	۰/۰۰۷ **
رقم × میکوریزا × اکسید روی	۶	۵۲۲۳۱ **	۰/۰۰۵ **	۹/۶۱ ns	۰/۰۰۴ **	۰/۰۰۹ *	۰/۰۰۲ *
خطا	۴۸	۱۸۸۸	۰/۰۰۱	۴/۲۷	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱
ضریب تغییرات(%)	-	۹/۵۲	۳/۴۰	۷/۹۳	۲/۱۳	۵/۸۶	۶/ ۳۹

**: معنی‌دار در سطح یک درصد *: معنی‌دار در سطح پنج درصد ns: غیرمعنی‌دار

در صفات مجموع طول ریشه و وزن خشک ریشه، رقم یوسف در تیمار میکوریزای *G. interaradices* و سطوح مختلف اکسید روی نسبت به سایر تیمارها برتری داشت و بیشترین میزان مجموع طول ریشه و وزن خشک ریشه به ترتیب با مقادیر ۵۰۶۰/۳۳ میلیمتر و ۱/۳۱ گرم در رقم یوسف و در گونه میکوریزای *G. interaradices* و در کاربرد نانو اکسید روی مشاهده گردید (جدول ۴-۱۰). به گفته محقیقین ارقام جو حساستر به کمبود روی در مقایسه با ارقام مقاومتر میزان رشد ریشه و اندام های

زیرزمینی بیشتری دارند و ماده خشک بیشتری به این بخش اختصاص می دهند تیونگ و همکاران (۲۰۱۵). در مقابل رقم جلگه که طبق این تعریف به نظر می رسد نسبت به یوسف مقاومتر به کمبود روی است تمایل بیشتری به افزایش اندام های هوایی خود و سرمایه گذاری بر عملکرد و اجزای عملکرد دارد.

جدول ۴-۱۰. اثر متقابل رقم جو، سطوح میکوریزا و اکسید روی بر برخی خصوصیات ریشه جو در بخش گلدانی.

رقم	میکوریزا	اکسید روی	مجموع طول ریشه (میلیمتر)	میانگین قطر ریشه (میلیمتر)	حجم ریشه (میلیمتر مکعب)	وزن خشک ریشه (گرم)	نسبت ریشه به اندام هوایی
یوسف	شاهد	شاهد	۲۵۹۳/۳۳^{l}	۰/۶۱^{k}	۰/۷۲^{q}	۰/۷۴^{lmn}	۰/۷۴^{a}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۲۹۴۶/۶۷^{i}	۰/۹۲^{hi}	۰/۹۸^{k}	۰/۸۶^{jk}	۰/۵۷^{de}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۲۶۷۳/۳۳^{k}	۰/۶۴^{k}	۰/۸۵^{no}	۰/۷۸^{klm}	۰/۶۴^{bc}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۲۸۰۶/۶۷^{j}	۰/۷۷^{j}	۰/۹۲^{lm}	۰/۸۳^{jkl}	۰/۵۹^{cd}
	G. mossea	شاهد	۳۱۳۳/۳۳^{h}	۰/۶۶^{k}	۰/۷۷^{p}	۱/۰۰^{gh}	۰/۵۷^{de}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۳۷۴۰/۰۰^{e}	۱/۰۱^{f}	۰/۹۷^{k}	۱/۱۴^{cde}	۰/۴۶^{ijk}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۳۳۰۶/۶۷^{g}	۰/۸۰^{j}	۰/۸۲^{o}	۱/۰۱^{gh}	۰/۵۰^{ghi}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۳۵۲۶/۶۷^{f}	۰/۹۱^{hi}	۰/۹۰^{m}	۱/۰۲^{fgh}	۰/۴۵^{ijk}
	G. intraradices	شاهد	۳۹۰۶/۶۷^{d}	۰/۸۱^{j}	۰/۸۳^{o}	۱/۱۱^{def}	۰/۵۶^{def}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۵۰۶۰/۰۰^{a}	۱/۰۲^{f}	۰/۹۷^{k}	۱/۳۱^{a}	۰/۴۵^{ijk}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۴۱۶۰/۰۰^{c}	۰/۸۹^{i}	۰/۸۹^{mn}	۱/۱۹^{bcd}	۰/۵۲^{efgh}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۴۴۵۳/۳۳^{b}	۰/۹۵^{gh}	۰/۹۱^{lm}	۱/۲۶^{ab}	۰/۴۷^{hijk}
جلگه	شاهد	شاهد	۱۷۹۳/۳۳^{u}	۰/۷۶^{j}	۰/۹۵^{kl}	۰/۶۳^{o}	۰/۶۶^{b}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۲۰۲۶/۶۷^{s}	۱/۰۷^{e}	۱/۳۱^{g}	۰/۶۹^{no}	۰/۴۴^{jkl}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۱۸۸۶/۶۷^{t}	۰/۸۷^{i}	۱/۲۰^{i}	۰/۶۴^{o}	۰/۵۶^{de}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۱۹۵۳/۳۳^{t}	۰/۹۹^{fg}	۱/۲۲^{hi}	۰/۶۵^{o}	۰/۴۸^{hij}
	G. mossea	شاهد	۲۳۲۰/۰۰^{op}	۱/۲۱^{d}	۱/۷۳^{c}	۰/۸۹^{ij}	۰/۵۰^{fghi}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۲۴۹۳/۳۳^{m}	۱/۵۳^{a}	۱/۹۶^{a}	۱/۲۳^{abc}	۰/۵۴^{defg}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۲۳۸۰/۰۰^{no}	۱/۳۲^{c}	۱/۶۸^{d}	۰/۹۵^{hi}	۰/۴۹^{ghij}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۲۴۴۰/۰۰^{mn}	۱/۴۴^{b}	۱/۸۶^{b}	۱/۰۸^{efg}	۰/۵۰^{ghi}
	G. intraradices	شاهد	۲۰۸۰/۰۰^{rs}	۰/۸۹^{i}	۱/۱۴^{j}	۰/۷۲^{mno}	۰/۴۵^{ijk}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۲۲۵۳/۳۳^{pq}	۱/۲۳^{d}	۱/۴۳^{e}	۰/۸۱^{jkl}	۰/۳۹^{l}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۲۱۲۶/۶۷^{r}	۰/۹۲^{hi}	۱/۲۵^{h}	۰/۷۵^{lmn}	۰/۴۵^{ijk}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۲۲۰۰/۰۰^{q}	۱/۰۳^{ef}	۱/۳۷^{f}	۰/۷۷^{lmn}	۰/۴۲^{kl}
		LSD (۰/۰۵)	۷۱/۳۴	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۸	۰/۰۵

در هر ستون بررسی اختلاف میانگین‌ها، بر اساس آزمون LSD و در سطح ۵ درصد صورت گرفته است.

با این وجود در دو صفت میانگین قطر ریشه و حجم ریشه، این رقم جلگه بود که در تیمار میکوریزای *G. mossea* و سطوح مختلف اکسید روی نسبت به سایر تیمارها برتری داشت و بیشترین میزان قطر و حجم ریشه با مقدار ۱/۵۳ میلیمتر و ۱/۹۶ میلیمتر مکعب در رقم جلگه و در گونه میکوریزای *G. mossea* و در کاربرد نانو اکسید روی مشاهده گردید (جدول ۴-۱۰).

این نتایج موید اثربخشی بیشتر نانو اکسید روی نسبت به فرم معمولی آن است و استدلال پتانسیل بالاتر نانو ذرات را در بهبود صفات مورفولوژیک ریشه نسبت به ابعاد درشتر ملکولهای روی تقویت میکند. مهاجان و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعه ای بر گیاهچه های نخود فرنگی عنوان کردند که محلولپاشی نانو اکسید روی با قطر ذرات ۲۰ نانومتر باعث افزایش وزن خشک ریشه به میزان ۴۲٪ و همینطور اندام های هوایی به میزان ۹۸٪ شده است. در ارزن هم محلولپاشی نانو ذرات روی باعث افزایش معنی دار سطح ریشه شده است (طرفدار و همکاران، ۲۰۱۴). در صفت نسبت ریشه به اندام هوایی، بالاترین نسبت‌ها در تیمارهای شاهد وجود داشت. بطوری که هم در رقم یوسف و هم در رقم جلگه، بالاترین نسبت ریشه به اندام هوایی در تیمارهای عدم کاربرد میکوریزا و عدم محلول‌پاشی روی ملاحظه گردید و فقط در این تیمارها بود که نسبت ریشه به اندام هوایی به بیش از ۰/۶۵رسید (جدول ۴-۱۰).

احتمالاً تاثیر کاربرد میکوریزا و محلول‌پاشی روی بر رشد اندام هوایی جو بیش از اثربخشی آنها بر ریشه جو بوده و همین امر سبب کاهش نسبت ریشه به اندام هوایی در شرایط کاربرد میکوریزا و محلول‌پاشی روی شده است. در بررسی اثر متقابل رقم جو و سطوح میکوریزا بر سطح ریشه جو مشخص گردید که در هر دو رقم با کاربرد میکوریزا، سطح ریشه افزایش یافت. لکن در کلیه سطوح میکوریزا سطح ریشهٔ رقم یوسف از جلگه بیشتر بود. همچنین در رقم یوسف، گونه میکوریزای *G. interaradices* و در رقم جلگه گونه میکوریزای *G. mossea* اثر بخشی بهتری بر سطح ریشه داشتند. بیشترین سطح ریشه نیز در رقم یوسف و گونه میکوریزای *G. interaradices* مشاهده گردید (جدول ۴-۱۱).

جدول ۴-۱۱. اثر متقابل رقم جو و سطوح میکوریزا بر سطح ریشه جو در بخش گلدانی.

رقم	میکوریزا	سطح ریشه (میلیمتر مربع)
یوسف	شاهد	۲۲۴/۶۷^{c}
	G. mossea	۲۴۹/۰۰^{b}
	G. intraradices	۲۷۷/۵۰^{a}
جلگه	شاهد	۱۷۶/۰۰^{f}
	G. mossea	۲۱۳/۸۳^{d}
	G. intraradices	۱۸۹/۶۷^{e}
	LSD (۰/۰۵)	۱/۶۹

در هر ستون بررسی اختلاف میانگین‌ها، بر اساس آزمون LSD و در سطح ۵ درصد صورت گرفته است.

به گفته محققین بیشترین اثربخشی قارچ میکوریزا بر گیاه میزبان به دلیل افزایشی است که در سطح ریشه و پراکنش ریشه در خاک ایجاد میکند و در واقع هیف های قارچ گسترش بیشتر ریشه ها در ریزوسفر و تماس بالاتر آن را با کلوئیدهای خاک و در نهایت جذب بیشتر عناصر غذایی و آب را برای گیاه فراهم می آورند (بونفانت و ژنر، ۲۰۱۰). مطالعات انجام شده بر غلات بخصوص گندم و جو نشان می دهد که سیگنالهای شیمیایی مترشحه از قارچ های میکوریزایی باعث اصلاح ساختار ریشه گیاه میزبان، افزایش کلونیزاسیون، افزایش رشد و پراکندگی ریشه در بستر خاک و در نهایت افزایش رشد گیاه میزبان می شود (میلت و همکاران، ۲۰۱۱). پیشتر نیز افزایش رشد ریشه و اندام های هوایی گندم توسط زانگ و همکاران (۲۰۱۶) گزارش شده است. با توجه به نتایج بدست آمده از این تحقیق به نظر می‌رسد که فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، خصوصاً نیتروژن و فسفر توسط ریزجاندارانی همچون میکوریزا برای گیاه جو و همچنین برقراری تعادل هورمونی در ریشهٔ این گیاه در بهبود خصوصیات حجم، مجموع طول ریشه، سطح، طول ریشه، قطر و وزن خشک ریشه آن موثر بوده است. زند و ارشدی (۱۳۹۵) نیز در آزمایشی به بررسی اثر میکوریزای آرباسکولار بر گیاه نخود در شرایط تنش خشکی پرداخت. وی ضمن بررسی اثر میکوریزای *G. mossea* بر خصوصیات ریشه نخود، گزارش کرد که کاربرد این ریزجانداران باعث افزایش معنی‌دار خصوصیات قطر، طول، سطح و میزان کلونیزاسیون ریشه نخود گردید. مطالعات سیگل و همکاران (۲۰۱۵) نشان می دهد که همزیستی

میکوریزایی باعث افزایش بیش از ۹۰ درصدی مجموع طول ریشه گیاه جو شده است و این افزایش طول ریشه بر رشد گیاه و عملکرد آن اثر مثبت و معنی داری داشته است. توسعه و پراکنش طولی و عرضی ریشه ها در ریزوسفر و همینطور افزایش حجم ریشه های ذرت تلقیح شده با قارچ میکوریزا توسط سابرامانیان و همکاران (۲۰۰۹) گزارش شده است و عنوان شده که این افزایش رشد ریشه گیاه میزبان با اضافه کردن کود سولفات روی به بستر خاک دو برابر شده است. افزایش رشد ریشه ها با افزودن عنصر روی احتمالا به دلیل اثر حیاتی است که این عنصر به عنوان متالوآنزیم در ساختار تریپتوفان که پیش ماده هورمون رشد اکسین است برعهده دارد چرا که با کاهش عنصر روی و متعاقبا کاهش هورمون اکسین صفات مورفوفیزیولوژیکی و رشد ریشه های گیاهچه های برنج کاملا مختل شد (بگوم و همکاران، ۲۰۱۶). در مطالعه حاضر نیز افزایش معنی دار در صفات مجموع طول ریشه، سطح ریشه، طول ریشه در گلدان، وزن خشک ریشه به ترتیب به میزان ۹۵٪، ۳۴٪، ۶۱٪ و ۷۷٪ در رقم یوسف در تلقیح میکوریزای *G. intraradices* مشاهده شد (جدول۴-۱۰). البته بهبود رشد ریشه در هر دو رقم جو نه تنها در تلقیح میکوریزایی بلکه با محلولپاشی به موقع عنصر روی و در دو مرحله رشد رویشی و رشد زایشی گیاه جو حاصل شده است چرا که طبق مطالعات انجام شده، کمبود اکسین ناشی از فقر روی در ریشه‌ها موجب کاهش رشد طولی ریشه گیاه میزبان می‌گردد (خورمیزی و همکاران، ۱۳۹۰).

اثر متقابل سطوح میکوریزا و محلول پاشی روی بر سطح ریشه جو نشان داد که با کاربرد میکوریزا و محلول پاشی روی، سطح ریشه جو افزایش یافت. لکن در هر دو گونه میکوریزای *G. interaradices* و *G. mossea* بیشترین سطح ریشه در کاربرد نانو اکسید روی (به میزان ۲۴۱ میلیمتر مربع) ملاحظه شد و از این نظر، بین این دو تیمار اختلافی وجود نداشت (جدول ۴-۱۲). افزایش رشد ریشه به واسطه افزایش عنصر روی پیشتر هم توسط زند و همکاران (۱۳۹۳) گزارش شده است. بطوری که ایشان در مطالعات خود بر گیاه ذرت تحت تیمار محلولپاشی عنصر روی شاهد افزایش هورمون اکسین در اندام های هوایی و همچنین ریشه ها بودند و عنوان کردند تیمارهایی که بیشترین غلظت اکسین را

در برگها ایجاد کردند، بیشترین غلظت این هورمون را در ریشه ها نیز نشان دادند. استدلال ایشان این بود که اکسین ساخته شده در اندام های هوایی به واسطه محلولپاشی برگی روی از طریق انتقال غیر فعال و غیر قطبی و از مسیر آوندهای آبکش به سیستم های زیرزمینی نفوذ کرده و با بهبود صفات ریشه از جمله طول ریشه و وزن خشک ریشه، رشد این بخش از گیاه را هم علاوه بر افزایش اندام های هوایی تضمین نموده است.

جدول ۴-۱۲. اثر متقابل سطوح میکوریزا و اکسید روی بر سطح ریشه جو در بخش گلدانی.

میکوریزا	اکسید روی	سطح ریشه (میلیمتر مربع)
شاهد	شاهد	۱۹۱/۰۰ j
	نانو اکسید روی (۲‰)	۲۰۷/۰۰ g
	اکسید روی معمولی (۲‰)	۱۹۹/۰۰ i
	مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۲۰۴/۳۳ h
G. mossea	شاهد	۲۲۰/۳۳ f
	نانو اکسید روی (۲‰)	۲۴۱/۳۳ a
	اکسید روی معمولی (۲‰)	۲۲۹/۳۳d
	مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۲۳۴/۶۷b
G. intraradices	شاهد	۲۲۵/۰۰e
	نانو اکسید روی (۲‰)	۲۴۱/۶۷a
	اکسید روی معمولی (۲‰)	۲۳۲/۰۰c
	مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۲۳۵/۶۷b
LSD (۰/۰۵)		۲/۴۰

بررسی اختلاف میانگین‌ها، بر اساس آزمون LSD و در سطح ۵ درصد صورت گرفته است.

با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق و با توجه به تفاوتهای ساختاری ریشه دو رقم جلگه و یوسف میتوان اینطور نتیجه گیری کرد که رقم یوسف با قابلیت بالا در افزایش رشد طولی ریشه ها و نفوذ عمیقتر در ریزوسفر مناسب کشت دیم است که فراهمی آب و عناصر غذایی در لایه های عمیقتر خاکهای زراعی است و در مقابل رقم جلگه با پراکنش سطحی تر و رشد عرضی، مناسب کشت آبی است که نیازهای آبی و عناصر معدنی از لایه های سطحی تر خاک زراعی قابل تامین است.

۴-۳- صفات فیزیولوژیک

۴-۳-۱- رنگیزه‌های برگ

نتایج تجزیه واریانس داده ها در آزمایش مزرعه نشان داد که اثر متقابل سه گانهٔ رقم جو، سطوح میکوریزا و محلول‌پاشی روی بر میزان کلروفیل b و کلروفیل کل برگ جو و همچنین اثر متقابل رقم جو و سطوح میکوریزا بر میزان کلروفیل a و آنتوسیانین برگ معنی‌دار شد. علاوه بر این، اثر متقابل رقم جو و محلول پاشی روی و اثر متقابل سطوح میکوریزا و محلول پاشی روی بر میزان کلروفیل a برگ جو معنی‌دار گردید(جدول ۴-۱۳).

جدول ۴-۱۳. تجزیه واریانس رنگیزه‌های برگ جو در بخش مزرعه.

منابع تغییرات	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	آنتوسیانین
بلوک	۲	۰/۸۷**	۰/۰۶**	۱/۳۴**	۱۶۳*
رقم	۱	۲۱/۹۶**	۲۲/۹۲**	۸۹/۷۸**	۲۰۶۵**
میکوریزا	۲	۲/۱۲**	۱/۹۹**	۸/۱۱**	۲۹۸**
اکسید روی	۳	۶/۳۹**	۳/۳۶**	۱۸/۸۷**	۵۵۴**
رقم × میکوریزا	۲	۱/۸۴**	۱/۸۲**	۷/۳۳**	۹۹/۳۵**
رقم × اکسید روی	۳	۰/۰۸**	۰/۰۳^{ns}	۰/۰۶^{ns}	۱۵/۴۵^{ns}
میکوریزا × اکسید روی	۶	۰/۰۸**	۰/۱۰*	۰/۱۷*	۳/۸۰^{ns}
رقم × میکوریزا × اکسید روی	۶	۰/۰۴^{ns}	۰/۱۲*	۰/۱۷*	۰/۸۷^{ns}
خطا	۴۶	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۷	۸/۳۲
ضریب تغییرات(%)	-	۴/۶۰	۱۰/۶۹	۵/۴۱	۱۰/۲۶

**: معنی‌دار در سطح یک درصد *: معنی‌دار در سطح پنج درصد ns: غیرمعنی‌دار

در هر دو رقم، عدم کاربرد میکوریزا و اکسید روی، نسبت به شرایط کاربرد این تیمارها سبب کاهش معنی‌دار میزان کلروفیل‌های b و کل گردید و کمترین میزان کلروفیل‌های b و کل در این تیمارها وجود داشت. تاثیر کاربرد میکوریزای *G. mossea* و اکسید روی در رقم جلگه از تاثیر کاربرد مشابه آنها در رقم یوسف به مراتب بیشتر بود. بیشترین میزان کلروفیل‌های b و کل در رقم جلگه و در گونه میکوریزای *G. mossea* و در کاربرد مخلوط نانو اکسید روی و اکسید روی معمولی مشاهده گردید (جدول ۴-۱۴).

جدول ۴-۱۴. اثرمتقابل رقم جو، سطوح میکوریزا و اکسید روی برمیزان کلروفیل‌های b و کل برگ جو دربخش مزرعه.

رقم	میکوریزا	اکسید روی	کلروفیل b (میکروگرم بر گرم)	کلروفیل کل (میکروگرم بر گرم)
یوسف	شاهد	شاهد	۰/۷۵^{n}	۲/۱۹^{o}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۱/۳۱^{kl}	۳/۸۹^{kl}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۱/۱۸^{mn}	۳/۳۳^{mn}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۱/۵۳^{hijk}	۴/۶۲^{ij}
	G. mossea	شاهد	۰/۹۰^{mn}	۲/۴۹^{o}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۱/۴۸^{ijkl}	۴/۱۶^{k}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۱/۳۰^{kl}	۳/۶۶^{lm}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۱/۷۸^{fghi}	۵/۱۶^{fgh}
	G. intraradices	شاهد	۰/۸۴^{mn}	۲/۹۷^{n}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۱/۸۳^{fgh}	۴/۷۳^{hij}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۱/۳۸^{jkl}	۳/۹۳^{kl}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۲/۰۱^{efg}	۵/۴۴^{ef}
جلگه	شاهد	شاهد	۱/۷۹^{fghi}	۴/۳۰^{jk}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۲/۲۸^{cde}	۵/۷۴^{de}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۲/۰۸^{def}	۴/۹۹^{ghi}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۲/۴۸^{c}	۶/۵۲^{c}
	G. mossea	شاهد	۲/۰۴^{ef}	۵/۵۵^{def}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۳/۴۵^{ab}	۷/۹۴^{ab}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۳/۲۸^{b}	۷/۵۳^{b}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۳/۶۶^{a}	۸/۳۵^{a}
	G. intraradices	شاهد	۱/۶۹^{ghij}	۴/۶۳^{ij}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۲/۴۰^{cd}	۵/۹۱^{d}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۲/۰۸^{def}	۵/۳۷^{efg}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۲/۵۸^{c}	۶/۵۵^{c}
		LSD (۰۵/۰)	۰/۳۴	۰/۴۴

در هر ستون بررسی اختلاف میانگین‌ها، بر اساس آزمون LSD و در سطح ۵ درصد صورت گرفته است.

نقش کلروفیل b وآنتوسیانین در قالب رنگریزهٔ آنتنی و پدیدهٔ قیف انرژی دیر زمانی است که شناخته شده است (تایز و زایگر، ۲۰۰۶) و به نظر می رسد که افزایش مقادیر آنها بواسطهٔ استفادهٔ تلفیقی میکوریزا و اکسید روی در این پژوهش، در افزایش سرعت و میزان فتوسنتز و به دنبال آن ارتقای ظرفیت فتوسنتزی گیاه تاثیر گذار بوده است.

با توجه به اینکه میزان آنتوسیانین و کلروفیل a برگ رقم جلگه در تمامی سطوح میکوریزا از رقم یوسف در سطوح مشابه، بیشتر بود، به نظر می‌رسد که رقم جلگه نسبت به یوسف از پتانسیل بیشتری برای تولید این رنگیزه‌ها برخوردار است. همچنین در هر دو رقم یوسف و جلگه، کاربرد میکوریزا سبب افزایش معنی‌دار این رنگیزه‌ها گردید (جدول ۴-۱۵). پیشتر افزایش محتوای کلروفیل برگ ها و افزایش میزان و سرعت فتوسنتز گیاه ذرت تلقیح شده با قارچ میکوریزا توسط سابرامانیان و همکاران (۲۰۰۹) عنوان شده است و همچنین گزارش شده که این افزایش میزان کلروفیل گیاه میزبان با اضافه کردن کود سولفات روی به بستر خاک دو برابر شده است.

جدول ۴-۱۵. اثر متقابل رقم جو و سطوح میکوریزا بر میزان کلروفیل a و آنتوسیانین برگ جو در بخش مزرعه.

رقم	میکوریزا	کلروفیل a (میکروگرم بر گرم)	آنتوسیانین (میکروگرم بر گرم)
یوسف	شاهد	۲/۳۲^{f}	۱۷/۸۸^{e}
	G. mossea	۲/۵۰^{e}	۲۳/۸۴^{d}
	G. intraradices	۲/۷۵^{d}	۲۶/۵۵^{c}
جلگه	شاهد	۳/۲۳^{c}	۳۰/۳۰^{b}
	G. mossea	۴/۲۳^{a}	۳۷/۴۹^{a}
	G. intraradices	۳/۴۲^{b}	۳۲/۶۲^{b}
	LSD (۰/۰۵)	۰/۱۱	۲/۳۷

در هر ستون، بررسی اختلاف میانگین‌ها، بر اساس آزمون LSD و در سطح ۵ درصد صورت گرفته است.

در هر دو رقم جو، کاربرد عنصر روی نیز سبب افزایش کلروفیل a گردید که این افزایش در تیمار کاربرد مخلوط نانو اکسید روی و اکسید معمولی، برای هر دو رقم بطور معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارها بود (جدول ۴-۱۶). تاثیر کلروفیل a به عنوان فاکتور اصلی مراکز واکنش، یکی از فاکتورهای مهم و تعیین کننده در ظرفیت فتوسنتزی گیاه بوده (ارشدی، ۱۳۹۵؛ تایز و زایگر، ۲۰۰۶) و افزایش مقدار آن بواسطهٔ استفادهٔ عنصر روی، در افزایش میزان فتوسنتز گیاه موثر است. به عبارت دیگر، کمبود روی، بواسطه کاهش محتوی کلروفیل و همچنین تغییر در ساختار کلروپلاست‌ها ظرفیت فتوسنتزی گیاه را کاهش می‌دهد (رومهلد و مارچنر، ۱۹۹۱). افزایش محتوی کلروفیل برگ به واسطه

کاربر عنصر روی نه تنها سبب افزایش ظرفیت فتوسنتزی گیاه می‌گردد بلکه سرعت فتوسنتز را نیز افزایش می دهد (سینگ و اسوالت، ۱۹۹۵).

جدول ۴-۱۶. اثر متقابل رقم جو و اکسید روی بر میزان کلروفیل a برگ جو در بخش مزرعه.

رقم	اکسید روی	کلروفیل a (میکروگرم بر گرم)
یوسف	شاهد	۱/۷۲^{h}
	نانو اکسید روی (۲‰)	۲/۷۲^{f}
	اکسید روی معمولی (۲‰)	۲/۳۵^{g}
	مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۳/۳۰^{d}
جلگه	شاهد	۲/۹۸^{e}
	نانو اکسید روی (۲‰)	۳/۸۲^{b}
	اکسید روی معمولی (۲‰)	۳/۴۸^{c}
	مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۴/۲۳ ^{a}
	LSD (۰/۰۵)	۰/۱۳

بررسی اختلاف میانگین‌ها، بر اساس آزمون LSD و در سطح ۵ درصد صورت گرفته است.

بررسی اثر متقابل سطوح میکوریزا و محلول پاشی روی بر میزان کلروفیل a برگ جو نشان داد که در تمامی سطوح میکوریزا کاربرد عنصر روی باعث افزایش معنی‌دار میزان کلروفیل a گردید. با این وجود، بیشترین میزان کلروفیل a در کاربرد میکوریزای *G. mossea* و مخلوط نانو اکسید روی با اکسید روی معمولی ملاحظه شد. بطوری که تنها در این تیمار بود که میزان کلروفیل a به بیش از ۴ میکروگرم بر گرم رسید (جدول ۴-۱۷).

جدول ۴-۱۷. اثر متقابل سطوح میکوریزا و اکسید روی بر میزان کلروفیل a برگ جو در بخش مزرعه.

میکوریزا	اکسید روی	کلروفیل a (میکروگرم بر گرم)
شاهد	شاهد	۱/۹۷^{f}
	نانو اکسید روی (۲‰)	۳/۰۲^{d}
	اکسید روی معمولی (۲‰)	۲/۵۳^{e}
	مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۳/۵۷^{b}
G. mossea	شاهد	۲/۵۵^{e}
	نانو اکسید روی (۲‰)	۳/۵۹^{b}
	اکسید روی معمولی (۲‰)	۳/۳۱^{c}
	مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۴/۰۳^{a}
G. intraradices	شاهد	۲/۵۳^{e}
	نانو اکسید روی (۲‰)	۳/۲۰^{c}
	اکسید روی معمولی (۲‰)	۲/۹۲^{d}
	مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۳/۷۰^{b}
LSD (۰/۰۵)		۰/۱۶

بررسی اختلاف میانگین‌ها، بر اساس آزمون LSD و در سطح ۵درصد صورت گرفته است.

در آزمایش گلدان نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل سه گانهٔ رقم جو، سطوح میکوریزا و محلول‌پاشی روی بر میزان کلروفیل‌های a و b و کلروفیل کل و آنتوسیانین برگ جو در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴-۱۸). در هر دو رقم، عدم کاربرد میکوریزا و اکسید روی، سبب کاهش معنی‌دار میزان کلروفیل‌های a، b، کل و آنتوسیانین گردید و کمترین میزان کلروفیل-های a، b، کل و آنتوسیانین در این تیمارها وجود داشت. مشابه نتایج بخش مزرعه‌ای، تاثیر کاربرد میکوریزای *G. mossea* و اکسید روی در رقم جلگه از تاثیر کاربرد مشابه آنها در رقم یوسف به مراتب بیشتر بود. بیشترین میزان کلروفیل‌های a، b و کل و آنتوسیانین در رقم جلگه و در گونه میکوریزای *G. mossea* و در کاربرد نانو اکسید روی مشاهده گردید (جدول ۴-۱۹). این نتایج با یافته های بسلام و همکاران (۲۰۱۱) مبنی بر افزایش محتوای آنتوسیانین، کلروفیل و کاروانتوئیدها و انواع عناصر ماکرو و میکرو در گیاهان تلقیح شده با میکوریزا همخوانی دارد.

جدول ۴-۱۸. تجزیه واریانس رنگیزه‌های برگ جو در بخش گلدانی.

منابع تغییرات	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	آنتوسیانین
رقم	۱	۱۰/۷۰ **	۹/۸۴ **	۴۱/۰۸ **	۲۱۳۹ **
میکوریزا	۲	۳/۴۳ **	۱/۶۹ **	۹/۹۴ **	۴۱۷ **
اکسید روی	۳	۶/۲۱ **	۳/۰۷ **	۱۸/۰۱ **	۷۷۲ **
رقم × میکوریزا	۲	۱/۷۳ **	۰/۴۲ **	۳/۷۷ **	۹۳/۳۱ **
رقم × اکسید روی	۳	۰/۰۴ **	۰/۰۶ **	۰/۰۵ **	۳۵/۹۷ **
میکوریزا × اکسید روی	۶	۰/۰۲**	۰/۰۱ **	۰/۰۱ **	۲/۰۰ **
رقم * میکوریزا × اکسید روی	۶	۰/۰۵**	۰/۰۱ **	۰/۱۱ **	۶/۷۲ **
خطا	۴۸	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۲۴
ضریب تغییرات(%)	-	۵/۱۷	۳/۰۰	۲/۹۷	۳/۹۸

**:معنی‌دار در سطح یک درصد *: معنی‌دار در سطح پنج درصد ns: غیرمعنی‌دار

جدول ۴-۱۹. اثرمتقابل رقم جو، سطوح میکوریزا و اکسید روی بر رنگیزه های برگ جو در بخش گلدانی.

رقم	میکوریزا	اکسید روی	کلروفیلa (میکروگرم برگرم)	کلروفیلb (میکروگرم بر گرم)	کلروفیل کل (میکروگرم برگرم)	آنتوسیانین (میکروگرم برگرم)
یوسف	شاهد	شاهد	۱/۰۴^{q}	۰/۴۸^{t}	۱/۵۲^{r}	۸/۷۲^{q}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۲/۵۵^{j}	۱/۳۴^{m}	۳/۸۹^{k}	۲۱/۸۲^{k}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۱/۶۶^{o}	۰/۸۵^{r}	۲/۵۱^{p}	۱۴/۰۲^{p}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۲/۲۲^{m}	۱/۱۴^{p}	۳/۳۶^{m}	۱۷/۶۲^{m}
	G. mossea	شاهد	۱/۳۵^{p}	۰/۷۵^{s}	۲/۱۰^{q}	۱۵/۳۹^{o}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۲/۸۶^{g}	۱/۶۷^{i}	۴/۵۳^{g}	۲۶/۰۹^{h}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۱/۶۴^{o}	۱/۲۱^{o}	۲/۸۵^{o}	۱۷/۷۹^{m}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۲/۴۶^{k}	۱/۴۴^{l}	۳/۹۰^{jk}	۲۲/۳۹^{k}
	G. intraradices	شاهد	۱/۹۶^{n}	۰/۹۳^{q}	۲/۸۹^{no}	۱۶/۵۹^{n}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۳/۲۶^{e}	۱/۹۸^{f}	۵/۲۴^{e}	۲۸/۳۹^{fg}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۲/۴۰^{l}	۱/۴۹^{k}	۳/۸۹^{jk}	۱۹/۹۹^{l}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۲/۷۳^{h}	۱/۷۱^{h}	۴/۴۴^{h}	۲۴/۹۹^{i}
جلگه	شاهد	شاهد	۱/۶۶^{o}	۱/۲۸^{n}	۲/۹۴^{n}	۱۶/۶۵^{n}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۲/۹۹^{f}	۲/۲۷^{d}	۵/۲۶^{e}	۳۲/۳۵^{e}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۲/۲۶^{m}	۱/۴۵^{l}	۳/۷۱^{l}	۲۱/۷۵^{k}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۲/۶۵^{i}	۱/۶۹^{hi}	۴/۳۴^{i}	۲۸/۷۵^{f}
	G. mossea	شاهد	۲/۸۲^{g}	۱/۷۸^{g}	۴/۶۰^{f}	۲۳/۸۳^{j}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۴/۰۰^{a}	۲/۷۵^{a}	۶/۷۵^{a}	۴۶/۰۳^{a}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۳/۳۰^{e}	۲/۱۶^{e}	۵/۴۶^{d}	۳۲/۶۳^{e}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۳/۷۳^{b}	۲/۴۴^{c}	۶/۱۷^{b}	۴۰/۷۳^{b}
	G. intraradices	شاهد	۲/۴۱^{l}	۱/۵۵^{j}	۳/۹۶^{j}	۲۱/۹۳^{k}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۳/۵۶^{c}	۲/۵۵^{b}	۶/۱۱^{b}	۳۸/۴۳^{c}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۲/۶۲^{i}	۱/۶۹^{hi}	۴/۳۱^{i}	۲۷/۹۳^{g}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۳/۳۷^{d}	۲/۲۷^{d}	۵/۶۴^{c}	۳۳/۶۳^{d}
		LSD (۰/۰۵)	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۸۱

در هر ستون بررسی اختلاف میانگین‌ها، بر اساس آزمون LSD و در سطح ۵ درصد صورت گرفته است.

۴-۳-۲ - عناصر برگ

اثر متقابل سه گانهٔ رقم جو، سطوح میکوریزا و محلول‌پاشی روی بر میزان عناصر فسفر و روی برگ جو در سطح یک درصد معنی‌دار شد. علاوه بر این، اثر متقابل رقم جو و سطوح میکوریزا و همچنین اثر ساده محلول پاشی روی بر میزان عناصر پتاسیم و نیتروژن برگ جو معنی‌دار گردید (جدول ۴-۲۰).

جدول ۴-۲۰. تجزیه واریانس عناصر برگ جو در بخش مزرعه.

منابع تغییرات	درجه آزادی	فسفر	روی	نیتروژن	پتاسیم
بلوک	۲	۰/۰۶ **	۲۶/۸۰ **	۰/۲۲ *	۳/۷۵ *
رقم	۱	۸/۵۰ **	۱۰۹۲ **	۹/۵۷ **	۱۷۳ **
میکوریزا	۲	۳۲/۰۹ **	۵۸۶ **	۱۹/۰۴ **	۴۴/۱۰ **
اکسید روی	۳	۱/۳۳ **	۶۲۷ **	۲/۵۲ **	۴/۶۰ **
رقم × میکوریزا	۲	۷/۶۳ **	۳۳۵ **	۲/۹۸ **	۲۷/۲۷ **
رقم × اکسید روی	۳	۰/۰۱ **	۹/۶۳ **	۰/۰۳ ns	۰/۰۵ ns
میکوریزا × اکسید روی	۶	۰/۱۶ **	۶/۷۳ **	۰/۰۲ ns	۰/۱۶ ns
رقم × میکوریزا × اکسید روی	۶	۰/۱۵ **	۱۰/۱۳ **	۰/۰۴ ns	۰/۱۳ ns
خطا	۴۶	۰/۰۰۰۷	۰/۵۱	۰/۰۹	۰/۲۶
ضریب تغییرات(%)	-	۶/۱۲	۲/۱۹	۸/۰۰	۵/۵۹

**: معنی‌دار در سطح یک درصد *: معنی‌دار در سطح پنج درصد ns: غیرمعنی‌دار

در هر دو رقم، عدم کاربرد میکوریزا و اکسید روی، سبب کاهش معنی‌دار میزان عناصر فسفر و روی برگ گردید و کمترین میزان عناصر فسفر و روی برگ در این تیمارها وجود داشت. بیشترین میزان فسفر و روی برگ به ترتیب به میزان ۶/۶۹ میلی گرم بر گرم و ۴۹/۱ میکروگرم بر گرم در رقم جلگه، در گونه میکوریزای *G. mossea* و کاربرد نانو اکسید روی (به تنهایی) مشاهده گردید. هرچند که برای عنصر فسفر، این تیمار با تیمار کاربرد مخلوط نانو اکسید روی و اکسید روی معمولی در رقم جلگه و میکوریزای *G. mossea* اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۴-۲۱). بطور کلی تاثیر کاربرد میکوریزای *G. mossea* و اکسید روی در رقم جلگه از تاثیر کاربرد مشابه آنها در رقم یوسف بر میزان فسفر و

روی برگ به مراتب بیشتر بود. بطوری که در کاربرد انواع اکسید روی در میکوریزای *G. mossea* در رقم جلگه میزان فسفر و روی برگ به ترتیب به بیش از ۶/۵ میلی گرم و ۴۹ میکروگرم بر گرم رسید، در حالی که در تیمارهای مشابه در رقم یوسف میزان فسفر و روی برگ به ترتیب کمتر از ۴/۷ میلی گرم و ۳۷ میکروگرم برگرم بود (جدول ۴-۲۱).

جدول ۴-۲۱. اثرمتقابل رقم جو، سطوح میکوریزا و اکسید روی برمیزان عناصر فسفر و روی برگ جو دربخش مزرعه.

رقم	میکوریزا	اکسید روی	فسفر (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک برگ)	روی (میکروگرم بر گرم وزن خشک برگ)
یوسف	شاهد	شاهد	۲/۸۶^{s}	۱۷/۰۱^{n}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۳/۰۳^{q}	۲۹/۱۱^{ij}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۲/۹۲^{r}	۲۲/۲۱^{l}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۲/۹۶^{r}	۲۴/۶۱^{k}
	G. mossea	شاهد	۴/۰۹^{m}	۲۰/۵۱^{m}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۴/۶۳^{i}	۳۳/۷۱^{fg}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۴/۲۳^{l}	۲۸/۱۱^{j}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۴/۵۲^{j}	۳۰/۲۱^{i}
	G. intraradices	شاهد	۴/۲۲^{l}	۲۳/۸۱^{k}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۵/۳۳^{d}	۴۲/۳۱^{c}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۴/۹۳^{g}	۳۴/۶۱^{f}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۵/۱۲^{e}	۳۹/۵۱^{d}
جلگه	شاهد	شاهد	۳/۱۷^{p}	۲۲/۴۳^{l}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۳/۴۲^{n}	۳۸/۴۳^{de}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۳/۲۹^{o}	۲۹/۶۳^{i}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۳/۳۲^{o}	۳۲/۶۳^{gh}
	G. mossea	شاهد	۵/۵۳^{c}	۳۷/۸۰^{e}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۶/۶۹^{a}	۴۹/۱۰^{a}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۶/۵۵^{b}	۴۱/۹۰^{c}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۶/۵۱^{b}	۴۵/۳۰^{b}
	G. intraradices	شاهد	۴/۴۰^{k}	۲۹/۸۳^{i}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۴/۹۹^{f}	۴۱/۸۳^{c}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۴/۵۳^{j}	۳۱/۵۳^{h}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۴/۷۷^{h}	۳۸/۸۳^{de}
		LSD (۰/۰۵)	۰/۰۴	۱/۱۸

در هر ستون بررسی اختلاف میانگین‌ها، بر اساس آزمون LSD و در سطح ۵ درصد صورت گرفته است.

در بررسی اثر متقابل رقم و میکوریزا بر میزان عناصر نیتروژن و پتاسیم برگ مشخص گردید که میزان این عناصر در رقم جلگه در تمامی سطوح میکوریزا از رقم یوسف در سطوح مشابه، بیشتر بود و رقم جلگه در مقایسه با رقم یوسف، پاسخ بهتری به کاربرد میکوریزا نشان داد. بطوری که میزان عنصر نیتروژن برگ در رقم جلگه در سطوح میکوریزای *G. mossea* و *G. interaradices* به ترتیب به ۱۳/۰۵ و ۱۰/۶۲ میلی گرم بر گرم و میزان عنصر پتاسیم برگ در رقم جلگه در سطوح میکوریزای *G. mossea* و *G. interaradices* به ترتیب به ۵/۴۴ و ۴/۳۰ میلی گرم بر گرم رسید. در حالی که در رقم یوسف، میزان عنصر نیتروژن برگ در سطوح میکوریزای *G. mossea* و *G. interaradices* به ترتیب به ۷/۵۰ و ۸/۹۷ میلی گرم بر گرم و میزان عنصر پتاسیم برگ در سطوح میکوریزای *G. mossea* و *G. interaradices* به ترتیب به ۳/۹۱ و ۴/۰۸ میلی گرم بر گرم بود (جدول ۴-۲۲). مطالعات نشان می دهد که هیف های قارچی باعث افزایش سطح پراکنش ریشه های میزبان در بستر خاک شده و بدین وسیله در افزایش معنی دار جذب عناصر غذایی از بستر خاک و فراهمی زیستی عناصر غذایی برای میزبان نقش بسزایی ایفا می کند (بولز و همکاران، ۲۰۱۶).

جدول ۴-۲۲. اثر متقابل رقم جو و سطوح میکوریزا بر میزان عناصر نیتروژن و پتاسیم برگ جو در بخش مزرعه.

رقم	میکوریزا	نیتروژن (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک برگ)	پتاسیم (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک برگ)
یوسف	شاهد	۶/۶۶^{e}	۲/۷۳^{e}
	G. mossea	۷/۵۰^{d}	۳/۹۱^{c}
	G. intraradices	۸/۹۷^{c}	۴/۰۸^{bc}
جلگه	شاهد	۸/۷۸^{c}	۳/۱۶^{d}
	G. mossea	۱۳/۰۵^{a}	۵/۴۴^{a}
	G. intraradices	۱۰/۶۲^{b}	۴/۳۰^{b}
	LSD (۰/۰۵)	۰/۴۲	۰/۲۵

در هر ستون بررسی اختلاف میانگین‌ها، بر اساس آزمون LSD و در سطح ۵ درصد صورت گرفته است.

بررسی اثر محلول پاشی روی بر میزان عناصر نیتروژن و پتاسیم برگ جو نیز نشان داد که کاربرد عنصر روی باعث افزایش معنی‌دار این عناصر گردید. لکن در بین تیمارهای مورد بررسی، کاربرد نانو اکسید روی (به تنهایی) و مخلوط نانو اکسید روی با اکسید روی معمولی بیشترین میزان عناصر نیتروژن و پتاسیم برگ جو را از خود نشان دادند (جدول ۴-۲۳).

جدول ۴-۲۳. اثر اکسید روی بر میزان عناصر نیتروژن و پتاسیم برگ جو در بخش مزرعه.

اکسید روی	نیتروژن (میلی‌گرم بر گرم)	پتاسیم (میلی گرم بر گرم)
شاهد	۸/۵۸^{c}	۳/۴۶^{c}
نانو اکسید روی (۲‰)	۹/۷۶^{a}	۴/۳۱^{a}
اکسید روی معمولی (۲‰)	۹/۲۱^{b}	۳/۸۳^{b}
مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۹/۵۱^{ab}	۴/۱۵^{a}
LSD (۰/۰۵)	۰/۳۵	۰/۲۱

در هر ستون بررسی اختلاف میانگین‌ها، بر اساس آزمون LSD و در سطح ۵ درصد صورت گرفته است.

چنین استنباط می‌شود که تلقیح میکوریزا و گیاه جو می‌تواند جذب عناصر ماکرو و عنصر روی را برای این گیاه ارتقاء بخشد. مطالعات بر گیاه نخود نیز نشان داد که محتویات فسفر در برگها و دانه در گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا تا ۳۰ درصد بیشتر از گیاهان بدون تلقیح میکوریزا بود (ارمن و همکاران، ۲۰۱۱). مظفر و همکاران (۲۰۰۱) بیان نمودند که حضور قارچ میکوریزای آرباسکولار در اطراف ریشه گیاه، همانند یک سیستم ریشه‌ای اضافی برای جذب عناصر غذایی به ویژه عناصر نسبتاً کم تحرک در محلول خاک (مانند فسفر، روی و مس) عمل می‌کند. این محققین اظهار داشتند که هیف‌های قارچ میکوریزای آرباسکولار می‌توانند تا بیش از ۱۴ سانتیمتر از ریشه فراتر روند و بدین ترتیب به نحو موثری حجم بیشتری از خاک را برای جذب عناصر (خصوصاً فسفر) در اختیار گیاه قرار دهند.

در آزمایش گلدان نیز اثر متقابل سه گانهٔ رقم جو، سطوح میکوریزا و محلول‌پاشی روی بر میزان فسفر برگ جو معنی‌دار شد. علاوه بر این، اثر متقابل رقم جو و سطوح میکوریزا بر میزان عناصر روی و نیتروژن برگ جو و همینطور اثر متقابل رقم جو و محلول پاشی روی بر میزان عناصر روی و پتاسیم

برگ جو معنی‌دار گردید (جدول ۴-۲۴). در هر دو رقم، عدم کاربرد میکوریزا و اکسید روی، سبب کاهش معنی‌دار میزان فسفر برگ گردید و کمترین میزان فسفر برگ در این تیمارها (به ترتیب به میزان ۹۸/۳۳ و ۱۰۸ میلی گرم بر گرم برای رقم یوسف و جلگه) وجود داشت. بیشترین میزان فسفر برگ (به میزان ۴۶۱ میلی گرم بر گرم) در رقم جلگه، در گونه میکوریزای *G. mossea* و کاربرد نانو اکسید روی (به تنهایی) مشاهده گردید (جدول ۴-۶۱).

جدول ۴-۲۴. تجزیه واریانس عناصر برگ جو در بخش گلدانی.

منابع تغییرات	درجه آزادی	روی	پتاسیم	نیتروژن	فسفر
رقم	۱	۱۳۷۸ **	۱۰۷۰۳۰ **	۲۵۹۲ ns	۴۵۵۰۱ **
میکوریزا	۲	۱۲۲۳ **	۱۴۱۹۵ **	۲۸۰۷۸۶ **	۳۱۶۷۸۱ **
اکسید روی	۳	۱۵۱۷ **	۲۹۸۳۲ **	۲۷۴۲۷ **	۴۰۲۱۴ **
رقم × میکوریزا	۲	۲۸۷ **	۲۵۰ ns	۲۶۷۳۸ **	۶۶۲۱ **
رقم × اکسید روی	۳	۴۰/۹۷ **	۱۰۱۳ **	۶۰۴ ns	۱۶۱۱ **
میکوریزا × اکسید روی	۶	۷۸/۶۶ **	۱۴۱ ns	۱۴۰۷ ns	۲۶۴۶ **
رقم × میکوریزا × اکسید روی	۶	۱/۵۶ns	۲۰۴ ns	۸۳/۱۱ ns	۴۹۳ **
خطا	۴۸	۶/۵۸	۲۰۱	۹۱۰	۶/۱۶
ضریب تغییرات(%)	-	۶/۶۴	۵/۲۱	۸/۷۶	۷/۸۸

**: معنی‌دار در سطح یک درصد *: معنی‌دار در سطح پنج درصد ns: غیرمعنی‌دار

بطور کلی تاثیر کاربرد میکوریزای *G. mossea* و اکسید روی در رقم جلگه از تاثیر کاربرد مشابه آنها در رقم یوسف بر میزان فسفر برگ به مراتب بیشتر بود. بطوری که در کاربرد انواع اکسید روی در میکوریزای *G. mossea* در رقم جلگه میزان فسفر برگ به بیش از ۳۷۰ میلی گرم بر گرم رسید، در حالی که در تیمارهای مشابه در رقم یوسف میزان فسفر برگ کمتر از ۲۸۷ میلی گرم بر گرم بود (جدول ۴-۲۵). در بررسی اثر متقابل رقم و میکوریزا بر میزان عناصر نیتروژن و روی برگ مشخص گردید که میزان این عناصر در رقم جلگه در سطوح میکوریزا از رقم یوسف در سطوح مشابه، بیشتر بود و رقم جلگه در مقایسه با رقم یوسف، پاسخ بهتری به کاربرد میکوریزا نشان داد. البته برای عنصر

نیتروژن، در رقم یوسف و گونه میکوریزای *G. interaradices* نسبت به تیمار مشابه در رقم جلگه میزان نیتروژن بیشتری مشاهده گردید.

جدول ۴-۲۵. اثرمتقابل رقم جو، سطوح میکوریزا و اکسید روی بر میزان عنصر فسفر برگ جو در بخش گلدانی.

رقم	میکوریزا	اکسید روی	فسفر (میلی گرم بر گرم)
یوسف	شاهد	شاهد	۹۸/۳۳ t
		نانو اکسید روی (۲‰)	۱۷۰/۳۳ o
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۱۲۳/۳۳ r
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۱۵۱/۳۳ q
	G. mossea	شاهد	۲۵۹/۶۷ l
		نانو اکسید روی (۲‰)	۳۴۹/۶۷ e
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۲۸۶/۶۷ j
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۳۳۲/۶۷ g
	G. intraradices	شاهد	۲۸۱/۰۰ k
		نانو اکسید روی (۲‰)	۳۹۸/۰۰ c
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۲۳۷/۰۰ m
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۳۷۰/۰۰ d
جلگه	شاهد	شاهد	۱۰۸/۰۰ s
		نانو اکسید روی (۲‰)	۲۰۱/۰۰ n
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۱۵۹/۰۰ p
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۱۶۸/۰۰ o
	G. mossea	شاهد	۳۴۳/۰۰ f
		نانو اکسید روی (۲‰)	۴۶۱/۰۰ a
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۳۷۳/۰۰ d
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۴۰۱/۰۰ c
	G. intraradices	شاهد	۳۰۹/۳۳ i
		نانو اکسید روی (۲‰)	۴۴۳/۳۳ f
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۳۲۳/۳۳ g
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۳۷۱/۳۳ d
		LSD (۰/۰۵)	۴/۰۷

بررسی اختلاف میانگین‌ها، بر اساس آزمون LSD و در سطح ۵ درصد صورت گرفته است.

با این وجود، در سایر سطوح تیماری برای عنصر نیتروژن و در تمامی سطوح تیماری برای عنصر روی میزان این عناصر در رقم جلگه در سطوح میکوریزا از رقم یوسف در سطوح مشابه، بیشتر بود. بطوری که میزان عنصر نیتروژن برگ در رقم جلگه در سطوح میکوریزای *G. mossea* و *G. interaradices*

به ترتیب به ۴۵۹/۱۷ و ۳۶۳/۲۵ میلی گرم بر گرم و میزان عنصر روی برگ در رقم جلگه در سطوح میکوریزای *G. mossea* و *G. interaradices* به ترتیب به ۵۲/۷۲ و ۴۲/۵۳ میکروگرم بر گرم رسید. در حالی که در رقم یوسف، میزان عنصر نیتروژن برگ در سطوح میکوریزای *G. mossea* و *G. interaradices* به ترتیب به ۳۸۲/۵۰ و ۴۱۹/۹۲ میلی گرم بر گرم و میزان عنصر روی برگ در سطوح میکوریزای *G. mossea* و *G. interaradices* به ترتیب به ۳۶/۱۵ و ۳۹/۱۶ میکروگرم بر گرم بود (جدول ۴-۲۶).

جدول ۴-۲۶. اثر متقابل رقم جو و سطوح میکوریزا بر میزان عناصر نیتروژن و روی برگ جو در بخش گلدانی.

رقم	میکوریزا	روی (میکروگرم بر گرم)	نیتروژن (میلی‌گرم بر گرم)
یوسف	شاهد	۲۷/۵۲^{f}	۲۱۲/۵۸^{d}
	G. mossea	۳۶/۱۵^{d}	۳۸۲/۵۰^{c}
	G. intraradices	۳۹/۱۶^{c}	۴۱۹/۹۲^{b}
جلگه	شاهد	۳۳/۸۳^{e}	۲۲۸/۵۸^{d}
	G. mossea	۵۲/۷۲^{a}	۴۵۹/۱۷^{a}
	G. intraradices	۴۲/۵۳^{b}	۳۶۳/۲۵^{c}
	LSD (۰/۰۵)	۲/۱۰	۲۴/۷۶

در هر ستون بررسی اختلاف میانگین‌ها، بر اساس آزمون LSD و در سطح ۵ درصد صورت گرفته است.

در بررسی اثر متقابل رقم و محلولپاشی روی بر میزان عناصر پتاسیم و روی برگ مشخص گردید که در هر دو رقم، کاربرد روی باعث افزایش معنی‌دار این عناصر گردید و این افزایش در رقم جلگه در تمامی سطوح محلول پاشی روی از رقم یوسف در سطوح مشابه، بیشتر بود (جدول ۴-۲۷).

بررسی اثر متقابل سطوح میکوریزا و محلول پاشی روی بر میزان عنصر روی برگ جو نشان داد که با کاربرد میکوریزا و محلول پاشی روی، میزان عنصر روی برگ جو افزایش یافت. لکن در هر دو گونه میکوریزای *G. interaradices* و *G. mossea* بیشترین میزان عنصر روی در کاربرد نانو اکسید روی

(به میزان ۵۱/۷۰ و ۵۰/۰۵ میکروگرم بر گرم) ملاحظه شد و از این نظر، بین این دو تیمار اختلافی وجود نداشت (جدول ۴-۲۸).

جدول ۴-۲۷. اثر متقابل رقم جو و اکسید روی بر میزان عناصر پتاسیم و روی برگ جو در بخش گلدانی.

رقم	اکسید روی	پتاسیم (میلی گرم بر گرم)	روی (میکروگرم بر گرم)
یوسف	شاهد	۱۸۸/۴۴^{g}	۲۱/۷۳^{g}
	نانو اکسید روی (۲‰)	۲۶۵/۶۷^{d}	۴۲/۲۳^{c}
	اکسید روی معمولی (۲‰)	۲۳۰/۵۶^{f}	۳۴/۹۱^{e}
	مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۲۴۹/۰۰^{e}	۳۸/۲۲^{d}
جلگه	شاهد	۲۴۵/۶۷^{e}	۳۱/۴۳^{f}
	نانو اکسید روی (۲‰)	۳۵۸/۶۷^{a}	۵۳/۶۷^{a}
	اکسید روی معمولی (۲‰)	۳۰۶/۵۶^{c}	۳۹/۳۳^{d}
	مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۳۳۱/۲۲^{b}	۴۷/۶۷^{b}
	LSD (۰/۰۵)	۱۳/۴۵	۲/۴۳

در هر ستون بررسی اختلاف میانگین‌ها، بر اساس آزمون LSD و در سطح ۵ درصد صورت گرفته است.

جدول ۴-۲۸. اثر متقابل سطوح میکوریزا و اکسید روی بر میزان عنصر روی برگ جو در بخش گلدانی.

میکوریزا	اکسید روی	روی (میکروگرم بر گرم)
شاهد	شاهد	۱۲/۴۸^{f}
	نانو اکسید روی (۲‰)	۴۲/۱۰^{c}
	اکسید روی معمولی (۲‰)	۳۱/۶۲^{e}
	مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۳۶/۴۸^{d}
G. mossea	شاهد	۳۵/۶۳^{d}
	نانو اکسید روی (۲‰)	۵۱/۷۰^{a}
	اکسید روی معمولی (۲‰)	۴۲/۴۰^{c}
	مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۴۸/۰۰^{b}
G. intraradices	شاهد	۳۱/۶۳^{e}
	نانو اکسید روی (۲‰)	۵۰/۰۵^{ab}
	اکسید روی معمولی (۲‰)	۳۷/۳۵^{d}
	مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۴۴/۳۵^{c}
	LSD (۰/۰۵)	۲/۹۷

بررسی اختلاف میانگین‌ها، بر اساس آزمون LSD و در سطح ۵ درصد صورت گرفته است.

بررسی اثر محلول پاشی روی بر میزان نیتروژن برگ جو نیز نشان داد که کاربرد عنصر روی باعث افزایش معنی‌دار این عنصر گردید. لکن در بین تیمارهای مورد بررسی، کاربرد نانو اکسید روی (به تنهایی) بیشترین میزان عنصر نیتروژن برگ جو را از خود نشان داد (جدول ۴-۲۹).

جدول ۴-۲۹. اثر اکسید روی بر میزان عنصر نیتروژن برگ جو در بخش گلدانی.

اکسید روی	نیتروژن (میلی‌گرم بر گرم)
شاهد	۲۹۷/۷۸^{d}
نانو اکسید روی (۲‰)	۳۸۹/۷۸^{a}
اکسید روی معمولی (۲‰)	۳۳۱/۸۹^{c}
مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۳۵۷/۸۹^{b}
LSD (۰/۰۵)	۲۰/۲۲

بررسی اختلاف میانگین‌ها، بر اساس آزمون LSD و در سطح ۵ درصد صورت گرفته است.

سوبرامانیان و همکاران (۲۰۱۳) بیان نمودند که قارچ میکوریزای آرباسکولار (AMF) بواسطه افزایش حجم خاک قرار گرفته در تماس با ریشه، می‌تواند در بهبود جذب عناصر غذایی برای گیاه موثر باشد. علاوه بر این، میکوریزا در افزایش حلالیت عناصر ماکرو تاثیرگذار می‌باشد. چرا که جذب این عناصر به حضور فعال آنها در اطراف ریشه بستگی داشته و این امر نیز به میزان حلالیت عناصر وابسته است که این مهم در مورد نیتروژن زیاد و در مورد فسفر کم می‌باشد و قارچ‌های میکوریزا این خصوصیت را افزایش می‌دهند (احمدی و همکاران، ۱۳۸۳). در مقایسه دو رقم مورد بررسی در هر دو آزمایش نیز مشخص گردید که در اکثر تیمارها رقم جلگه نسبت به یوسف، جذب بهتری برای عناصر اعم از عناصر ماکرو شامل فسفر، نیتروژن و پتاسیم و همینطور میکرو المنت روی از خود نشان داد و به نظر می‌رسد که این رقم از پتانسیل بیشتری برای جذب و انتقال این عناصر برخوردار است.

۴-۳-۳ - آنزیم کربونیک انهیدراز

در هر دو آزمایش اثر متقابل رقم جو و سطوح میکوریزا بر فعالیت آنزیم کربونیک انهیدراز برگ معنی‌دار شد. همینطور اثر متقابل رقم جو و محلول پاشی روی و اثر متقابل میکوریزا و محلول پاشی روی بر فعالیت این آنزیم معنی‌دار گردید (جدول ۴-۳۰ و ۴-۳۱).

جدول ۴-۳۰. تجزیه واریانس آنزیم کربونیک انهیدراز برگ جو در بخش مزرعه.

منابع تغییرات	درجه آزادی	آنزیم کربونیک انهیدراز
بلوک	۲	۱۶۷۱۵**
رقم	۱	۷۹۷۳۳**
میکوریزا	۲	۱۰۴۲۷۸**
اکسید روی	۳	۴۵۴۳۱۳**
رقم × میکوریزا	۲	۱۱۰۸۰**
رقم × اکسید روی	۳	۴۹۷۵**
میکوریزا × اکسید روی	۶	۷۴۹۹**
رقم × میکوریزا × اکسید روی	۶	۱۲۹۹^{ns}
خطا	۴۶	۷۴۴
ضریب تغییرات(%)	-	۵/۲۱

**: معنی‌دار در سطح یک درصد *: معنی‌دار در سطح پنج درصد ns: غیرمعنی‌دار

جدول ۴-۳۱. تجزیه واریانس آنزیم کربونیک انهیدراز برگ جو در بخش گلدانی.

منابع تغییرات	درجه آزادی	آنزیم کربونیک انهیدراز
رقم	۱	۶۰۷۸۴**
میکوریزا	۲	۱۰۲۲۲۲**
اکسید روی	۳	۴۵۴۳۱۳**
رقم × میکوریزا	۲	۴۶۵۰*
رقم × اکسید روی	۳	۴۹۷۵*
میکوریزا × اکسید روی	۶	۶۷۰۷**
رقم × میکوریزا × اکسید روی	۶	۲۰۹۲^{ns}
خطا	۴۸	۱۳۶۷
ضریب تغییرات(%)	-	۵/۹۱

**: معنی‌دار در سطح یک درصد *: معنی‌دار در سطح پنج درصد ns: غیرمعنی‌دار

بررسی مقایسات میانگین اثر متقابل رقم جو و سطوح میکوریزا بر فعالیت آنزیم کربونیک انهیدراز برگ نشان داد که در هر دو رقم یوسف و جلگه، کاربرد میکوریزا سبب افزایش معنی‌دار فعالیت این آنزیم گردید. اما بیشترین فعالیت آنزیم کربونیک انهیدراز در در هر دو آزمایش مزرعه (به میزان ۷۲۹/۵۸ واحد بر سانتی متر مربع وزن تر برگ) و گلدان (به میزان ۷۰۲/۲۵ واحد بر سانتی متر مربع وزن تر برگ) در رقم جلگه و گونه میکوریزای *G. mossea* وجود داشت (جدول ۴-۳۲).

جدول ۴-۳۲. اثر متقابل رقم جو و سطوح میکوریزا بر فعالیت آنزیم کربونیک انهیدراز برگ جو در مزرعه وگلدان.

گلدان	مزرعه		
آنزیم کربونیک انهیدراز (واحد بر سانتی متر مربع وزن تر برگ)	آنزیم کربونیک انهیدراز (واحد بر سانتی متر مربع وزن تر برگ)	میکوریزا	رقم
۵۳۳/۰۸^{d}	۵۴۷/۴۲^{d}	شاهد	یوسف
۶۵۸/۰۸^{b}	۶۱۴/۰۰^{c}	*G. mossea*	
۵۹۷/۳۳^{c}	۶۷۸/۴۲^{b}	*G. intraradices*	
۵۷۳/۰۸^{c}	۵۹۶/۰۸^{c}	شاهد	جلگه
۷۰۲/۲۵^{a}	۷۲۹/۵۸^{a}	*G. mossea*	
۶۸۷/۵۰^{b}	۶۹۳/۸۳^{b}	*G. intraradices*	
۳۰/۳۵	۲۲/۴۱	LSD (۰/۰۵)	

بررسی اختلاف میانگین‌ها، بر اساس آزمون LSD و در سطح ۵درصد صورت گرفته است.

در بررسی اثر متقابل رقم جو و محلول پاشی روی بر فعالیت آنزیم کربونیک انهیدراز برگ جو مشخص گردید که فعالیت این آنزیم در رقم جلگه در تمامی سطوح مشابه کاربرد روی از رقم یوسف بیشتر بود. احتمالاً رقم جلگه نسبت به یوسف از پتانسیل بیشتری برای سنتز آنزیم کربونیک انهیدراز برخوردار است. همچنین در هر دو رقم یوسف و جلگه، کاربرد عنصر روی سبب افزایش معنی‌دار فعالیت این آنزیم گردید. البته بیشترین میزان فعالیت آنزیم در مزرعه در رقم جلگه و محلولپاشی مخلوط نانو اکسید روی و اکسید معمولی و در گلدان در رقم جلگه و محلولپاشی نانو اکسید (به تنهایی) مشاهده گردید (جدول ۴-۳۳).

جدول ۴-۳۳. اثر متقابل رقم جو و اکسید روی بر فعالیت آنزیم کربونیک انهیدراز برگ جو در بخش مزرعه و گلدان.

		مزرعه	گلدان
رقم	اکسید روی	آنزیم کربونیک انهیدراز (واحد بر سانتی متر مربع وزن تر برگ)	آنزیم کربونیک انهیدراز (واحد بر سانتی متر مربع وزن تر برگ)
یوسف	شاهد	۴۳۱/۴۴^{g}	۴۱۴/۳۳^{f}
	نانو اکسید روی (۲‰)	۶۹۵/۷۸^{c}	۷۶۲/۰۰^{b}
	اکسید روی معمولی (۲‰)	۵۴۶/۷۸^{e}	۵۲۹/۶۷^{e}
	مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۷۷۹/۱۱^{b}	۶۷۸/۶۷^{c}
جلگه	شاهد	۴۶۰/۱۱^{f}	۴۳۴/۵۶^{f}
	نانو اکسید روی (۲‰)	۷۶۳/۶۷^{b}	۸۱۳/۷۸^{a}
	اکسید روی معمولی (۲‰)	۶۵۶/۲۲^{d}	۶۳۰/۶۷^{d}
	مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۸۳۹/۳۳^{a}	۷۳۸/۱۱^{b}
	LSD (۰/۰۵)	۲۵/۸۸	۳۵/۰۴

بررسی اختلاف میانگین‌ها، بر اساس آزمون LSD و در سطح ۵ درصد صورت گرفته است.

علاوه بر این، بررسی مقایسات میانگین اثر متقابل سطوح میکوریزا و محلول پاشی روی بر فعالیت آنزیم کربونیک انهیدراز نشان داد که بیشترین فعالیت آنزیم در تیمارهای میکوریزا مشاهده شد با این تفاوت که در مزرعه مخلوط نانو اکسید روی و اکسید روی معمولی و در گلدان نانو اکسید به تنهایی موفقتر عمل کردند(جدول ۴-۳۴). به نظر می رسد که افزایش اثربخشی نانو اکسید روی چه بصورت مخلوط یا به تنهایی به این دلیل است که همواره تبدیل مواد به مقیاس نانو، ویژگیهای فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیک و فعالیتهای کاتالیزوری آنها را تغییر می دهد و این خاصیت به گفته مظاهریان و همکاران(۲۰۱۰) به دلیل افزایش انحلالپذیری، فعالیتهای شیمیایی و قابلیت نفوذ در غشای سلولی نانو ذرات است. بطور محققین دریافتند که کمبود روی، بواسطه کاهش فعالیت آنزیم کربونیک آنهیدراز و تغییر در ساختار کلروپلاست‌ها ظرفیت فتوسنتزی گیاه را کاهش می‌دهد (رومهلد و مارچنر، ۱۹۹۱). توضیح اینکه در گیاهان C_3 (مانند جو) عمده فعالیت آنزیم کربونیک آنهیدراز در استرومای کلروپلاست‌ها بوده و وظیفه تسهیل انتشار CO_2 به داخل کلروپلاست را بر عهده دارد (کامرر و همکاران، ۲۰۰۴). این آنزیم قادر است تا فراهمی CO_2 را برای آنزیم رابیسکو افزایش داده و کاهش

فعالیت آن می‌تواند فعالیت کربوکسیلاسیونی رابیسکو را کاهش دهد (مورونی و همکاران، ۲۰۰۱؛ تایز و زایگر، ۲۰۰۶). لذا افزایش فعالیت آن می‌تواند در بهبود ظرفیت فتوسنتزی گیاه موثر بوده و به نظر می‌رسد که کاربرد میکوریزا و محلول پاشی روی می‌تواند در تحقق این مهم در گیاه جو تاثیرگذار باشد.

جدول ۴-۳۴. اثر متقابل سطوح میکوریزا و اکسید روی بر فعالیت آنزیم کربونیک انهیدراز برگ جو در مزرعه و گلدان.

میکوریزا	اکسید روی	آنزیم کربونیک انهیدراز (واحد بر سانتی متر مربع وزن تر برگ)	آنزیم کربونیک انهیدراز (واحد بر سانتی متر مربع وزن تر برگ)
شاهد	شاهد	۳۹۵/۰۰^{h}	۳۷۶/۳۳^{h}
	نانو اکسید روی (۲‰)	۶۳۳/۱۷^{e}	۶۷۵/۵۰^{d}
	اکسید روی معمولی (۲‰)	۵۶۴/۶۷^{f}	۵۴۶/۰۰^{f}
	مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۶۹۴/۱۷^{d}	۶۱۴/۵۰^{e}
G. mossea	شاهد	۴۶۶/۳۳^{g}	۴۶۳/۳۳^{g}
	نانو اکسید روی (۲‰)	۷۴۳/۵۰^{c}	۸۵۳/۰۰^{a}
	اکسید روی معمولی (۲‰)	۶۱۵/۸۳^{e}	۶۱۷/۸۳^{e}
	مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۸۶۱/۵۰^{a}	۷۸۶/۵۰^{b}
G. intraradices	شاهد	۴۷۶/۰۰^{g}	۴۳۳/۶۷^{g}
	نانو اکسید روی (۲‰)	۸۱۲/۵۰^{b}	۸۳۵/۱۷^{a}
	اکسید روی معمولی (۲‰)	۶۲۴/۰۰^{e}	۵۷۶/۶۷^{ef}
	مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۸۷۲/۰۰^{a}	۷۲۴/۱۷^{c}
LSD (۰/۰۵)		۳۱/۷۰	۴۲/۹۲

بررسی اختلاف میانگین‌ها، بر اساس آزمون LSD و در سطح ۵ درصد صورت گرفته است.

پیشتر سلاما و همکاران (۲۰۰۶) عنوان کردند که در شرایط کمبود روی در دو گیاه ذرت و نخود فعالیت آنزیم کربوکسیلاسیونی کربنیک انیدراز متوقف شد و در نهایت میزان کلروفیل، سرعت فتوسنتز در فتوسیستم II و همچنین میزان پروتئین کل محدود گردید. محققین دریافتند که کمبود روی، بواسطه کاهش فعالیت آنزیم کربونیک آنهیدراز و تغییر در ساختار کلروپلاست‌ها ظرفیت فتوسنتزی گیاه را کاهش می‌دهد (رومهلد و مارچنر، ۱۹۹۱). لذا افزایش فعالیت آن می‌تواند در بهبود ظرفیت فتوسنتزی گیاه موثر بوده و با استناد به نتایج این آزمایش به نظر می‌رسد که کاربرد میکوریزا

و محلول پاشی روی می‌تواند در تحقق این مهم در گیاه جو تاثیرگذار باشد. سوبرامانیان و همکاران (۲۰۱۳) نیز در بررسی اثر محلول پاشی سولفات روی و کاربرد گونه میکوریزای *G. intraradices* بر برخی از خصوصیات فیزیولوژیک گیاه ذرت، افزایش فعالیت آنزیم کربونیک انهیدراز را تحت تیمارهای میکوریزا و سولفات روی گزارش کردند.

۴-۳-۴ - آنزیم فیتاز برگ

در هر دو آزمایش اثر متقابل سه گانه رقم جو، سطوح میکوریزا و محلول‌پاشی روی بر فعالیت آنزیم فیتاز برگ در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جداول ۴-۳۵ و ۴-۳۶). بدین ترتیب که در هر دو رقم، عدم کاربرد میکوریزا و اکسید روی، سبب کاهش معنی‌دار میزان فعالیت آنزیم فیتاز گردید و کمترین فعالیت آنزیم فیتاز در این تیمارها وجود داشت.

کاربرد میکوریزای *G. mossea* و اکسید روی بر فعالیت آنزیم فیتاز در رقم جلگه از کاربرد مشابه آنها در رقم یوسف به مراتب بیشتر بود بطوریکه بیشترین میزان فعالیت آنزیم فیتاز در رقم جلگه و در گونه میکوریزای *G. mossea* و در محلولپاشی نانو اکسید روی (به میزان ۴/۸۴ واحد بر میلی گرم وزن تر برگ) در مزرعه و (۱۷/۴۴ واحد بر میلی گرم وزن تر برگ) در گلدان مشاهده گردید (جدول ۴-۳۷).

جدول ۴-۳۵. تجزیه واریانس آنزیم فیتاز برگ جو در بخش مزرعه.

منابع تغییرات	درجه آزادی	آنزیم فیتاز
بلوک	۲	۰/۴۰ *
رقم	۱	۲۳/۸۵ **
میکوریزا	۲	۸/۳۶ **
اکسید روی	۳	۵/۵۰ **
رقم × میکوریزا	۲	۳/۶۱ **
رقم × اکسید روی	۳	۰/۰۶ **
میکوریزا × اکسید روی	۶	۰/۰۴ **
رقم × میکوریزا × اکسید روی	۶	۰/۰۶ **
خطا	۴۶	۰/۰۰۲
ضریب تغییرات(%)	-	۸/۷۳

**: معنی‌دار در سطح یک درصد *: معنی‌دار در سطح پنج درصد ns: غیرمعنی‌دار

جدول ۴-۳۶. تجزیه واریانس آنزیم فیتاز برگ جو در بخش گلدانی.

منابع تغییرات	درجه آزادی	آنزیم فیتاز
رقم	۱	۴۲۵ **
میکوریزا	۲	۸۰/۴۶ **
اکسید روی	۳	۵۸/۸۲ **
رقم × میکوریزا	۲	۲۲/۳۹ **
رقم × اکسید روی	۳	۰/۱۲ **
میکوریزا × اکسید روی	۶	۲/۱۵ **
رقم × میکوریزا × اکسید روی	۶	۰/۵۵ **
خطا	۴۸	۰/۰۰۶
ضریب تغییرات(%)	-	۸/۷۲

**: معنی‌دار در سطح یک درصد *: معنی‌دار در سطح پنج درصد ns: غیرمعنی‌دار

آنزیم فتیاز، از این جهت که برخی از شکل‌های فسفر غیر قابل جذب برای دام و طیور را به فرم قابل جذب در می‌آورد حائز اهمیت می‌باشد. توضیح اینکه بخش عمده فسفر موجود در اقلام گیاهی جیره دام و طیور (مانند جو) به شکل فیتاتی یا متصل به اسید فیتیک می‌باشد که از قابلیت دسترسی پائینی جهت حیوانات تک معده‌ای مانند خوک و طیور برخوردار است (حقیقیان رودسری و همکاران، ۱۳۸۹).

جدول ۴-۳۷. اثر متقابل رقم جو، سطوح میکوریزا و اکسید روی بر میزان آنزیم فیتاز برگ جو در مزرعه و گلدان.

			مزرعه	گلدان
رقم	میکوریزا	اکسید روی	آنزیم فیتاز (واحد بر میلی گرم وزن تر برگ)	آنزیم فیتاز (واحد بر میلی گرم وزن تر برگ)
یوسف	شاهد	شاهد	۱/۱۹^{r}	۵/۳۳^{r}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۲/۱۷^{n}	۸/۵۲^{m}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۱/۳۶^{q}	۶/۵۴^{q}
		مخلوط نانو (۱‰) و معمولی (۱‰)	۱/۸۴^{p}	۷/۲۳^{o}
	G. mossea	شاهد	۱/۹۸^{o}	۶/۷۵^{p}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۳/۳۰^{hi}	۱۰/۳۰^{j}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۲/۶۵^{k}	۸/۶۶^{l}
		مخلوط نانو (۱‰) و معمولی (۱‰)	۳/۰۸^{j}	۹/۸۳^{k}
	G. intraradices	شاهد	۲/۱۰^{n}	۸/۲۴^{n}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۳/۵۰^{ef}	۱۴/۵۴^{e}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۳/۰۸^{j}	۱۰/۳۴^{j}
		مخلوط نانو (۱‰) و معمولی (۱‰)	۳/۳۸^{gh}	۱۲/۷۴^{h}
جلگه	شاهد	شاهد	۲/۲۹^{m}	۱۰/۲۸^{j}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۳/۷۰^{d}	۱۳/۶۸^{g}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۳/۲۸^{i}	۱۱/۲۵^{i}
		مخلوط نانو (۱‰) و معمولی (۱‰)	۳/۴۷^{fg}	۱۲/۶۹^{h}
	G. mossea	شاهد	۳/۷۱^{d}	۱۳/۸۴^{f}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۴/۸۴^{a}	۱۷/۴۴^{a}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۴/۳۸^{c}	۱۵/۰۴^{d}
		مخلوط نانو (۱‰) و معمولی (۱‰)	۴/۷۰^{b}	۱۵/۹۴^{c}
	G. intraradices	شاهد	۲/۴۱^{l}	۱۱/۳۸^{i}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۳/۷۳^{d}	۱۶/۶۸^{b}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۳/۳۸^{gh}	۱۳/۹۸
		مخلوط نانو (۱‰) و معمولی (۱‰)	۳/۵۶^{e}	۱۵/۱۸^{d}
		LSD (۰/۰۵)	۰/۰۸	۰/۱۴

بررسی اختلاف میانگین‌ها، بر اساس آزمون LSD و در سطح ۵ درصد صورت گرفته است.

۴-۳-۵ - آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی

در آزمایش مزرعه اثر متقابل رقم جو و سطوح میکوریزا و همچنین اثر ساده محلول‌پاشی روی بر فعالیت آنزیم‌های سوپر اکسید دیسموتاز و کاتالاز و همچنین اثرات ساده رقم جو، میکوریزا و محلول-پاشی روی بر فعالیت آنزیم پراکسیداز گیاه جو معنی‌دار گردید (جدول ۴-۳۸).

جدول ۴-۳۸. تجزیه واریانس آنزیم‌های آنتی اکسیدان گیاه جو در بخش مزرعه.

منابع تغییرات	درجه آزادی	آنزیم کاتالاز	آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز	آنزیم پراکسیداز
بلوک	۲	۳/۹۵*	۰/۱۴**	۰/۱۵*
رقم	۱	۱۱۷ **	۲/۹۸ **	۱/۳۴ **
میکوریزا	۲	۱۰۲ **	۱/۲۵ **	۲/۹۸ **
اکسید روی	۳	۷۵/۳۰ **	۴/۴۵ **	۲/۰۰ **
رقم × میکوریزا	۲	۱۹/۲۱ **	۱/۴۲ **	۰/۰۰۹ ns
رقم × اکسید روی	۳	۰/۷۳ ns	۰/۱۰ ns	۰/۰۱ ns
میکوریزا × اکسید روی	۶	۲/۸۹ ns	۰/۰۶ ns	۰/۰۴ns
رقم × میکوریزا × اکسید روی	۶	۱/۶۸ ns	۰/۱۰ ns	۰/۰۲ ns
خطا	۴۶	۳/۵۱	۰/۰۵	۰/۰۲
ضریب تغییرات(%)	-	۸/۶۴	۸/۴۷	۶/۷۱

**: معنی‌دار در سطح یک درصد *: معنی‌دار در سطح پنج درصد ns: غیرمعنی‌دار

در آزمایش گلدان نیز اثر متقابل سه گانه رقم جو، سطوح میکوریزا و محلول‌پاشی روی بر فعالیت آنزیم‌های سوپر اکسید دیسموتاز و پراکسیداز گیاه جو معنی‌دار شد (۴-۳۹). بررسی اثر متقابل رقم جو و سطوح میکوریزا بر فعالیت آنزیم‌های سوپر اکسید دیسموتاز و کاتالاز در آزمایش مزرعه نشان داد که در هر دو رقم یوسف و جلگه، کاربرد میکوریزا سبب افزایش معنی‌دار فعالیت این آنزیم‌ها گردید. اما در آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز بیشترین فعالیت در رقم یوسف و گونه میکوریزای *G. interaradices* و در آنزیم کاتالاز بیشترین فعالیت در رقم جلگه و گونه میکوریزای *G. interaradices* وجود داشت (جدول ۴-۷۴). به نظر می‌رسد که گونه *G. interaradices* در افزایش فعالیت آنزیم‌های سوپر اکسید دیسموتاز و کاتالاز موفق‌تر عمل کرده است. بررسی اثر محلول‌پاشی روی بر فعالیت آنزیم‌های سوپر اکسید دیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز گیاه جو نیز نشان داد که کاربرد عنصر روی باعث افزایش معنی‌دار فعالیت این آنزیم‌ها گردید. لکن برای آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز در بین تیمارهای مورد بررسی، کاربرد مخلوط نانو اکسید روی با اکسید روی معمولی و برای آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز، کاربرد اکسید روی معمولی (به تنهایی) بیشترین تاثیر را از خود نشان دادند (جدول ۴-۷۴).

جدول ۴-۳۹. تجزیه واریانس آنزیم‌های آنتی اکسیدان گیاه جو در بخش گلدانی.

منابع تغییرات	درجه آزادی	آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز	آنزیم پراکسیداز	آنزیم کاتالاز
رقم	۱	۱/۷۲ **	۱/۲۶ **	۱۳۶ **
میکوریزا	۲	۱/۰۳ **	۳/۷۰ **	۹۸/۱۶ **
اکسید روی	۳	۲۰/۰۳ **	۱/۹۶ **	۵۲/۱۴ **
رقم × میکوریزا	۲	۱/۱۹ **	۰/۰۱ ns	۱۳/۱۸ *
رقم × اکسید روی	۳	۰/۱۰ **	۰/۰۵ **	۱/۲۲ ns
میکوریزا × اکسید روی	۶	۰/۱۲ **	۰/۰۲ **	۰/۴۹ ns
رقم × میکوریزا × اکسید روی	۶	۰/۱۳ **	۰/۰۳ **	۱/۲۴ ns
خطا	۴۸	۰/۰۱	۰/۰۰۸	۲/۶۶
ضریب تغییرات(%)	-	۵/۰۸	۶/۱۴	۷/۷۴

**: معنی‌دار در سطح یک درصد *: معنی‌دار در سطح پنج درصد ns: غیرمعنی‌دار

در آزمایش گلدانی کاربرد میکوریزا و اکسید روی بر فعالیت آنزیم‌های سوپر اکسید دیسموتاز و پراکسیداز در رقم جلگه از کاربرد مشابه آنها در رقم یوسف به مراتب بیشتر بود. لکن، برای آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز بیشترین میزان فعالیت در رقم جلگه و در گونه میکوریزای *G. mossea* و کاربرد مخلوط نانو اکسید روی و اکسید روی معمولی مشاهده گردید (جدول ۴-۷۴). در حالی که برای آنزیم پراکسیداز بیشترین میزان فعالیت در رقم جلگه و در گونه میکوریزای *G. interaradices* و کاربرد مخلوط نانو اکسید روی و اکسید روی معمولی وجود داشت (جدول ۴-۷۴). رقم جلگه بطور معنی-داری و به میزان ۳/۱ (واحد بر میلیگرم پروتئین) در مزرعه و و ۳/۰۳ (واحد بر میلیگرم پروتئین) در گلدان فعالیت آنزیم پراکسیداز بیشتری نسبت به رقم یوسف از خود نشان داد. به نظر می‌رسد که رقم جلگه می‌تواند سطح بالاتری از فعالیت آنزیم پراکسیداز را در بافت‌های خود ایجاد کند.

جدول ۴-۴۰. اثر متقابل رقم جو، سطوح میکوریزا و اکسید روی بر میزان فعالیت آنزیم‌های سوپر اکسید دیسموتاز و پراکسیداز جو دربخش مزرعه و گلدانی.

			مزرعه		گلدان	
رقم	میکوریزا	اکسید روی	SOD (واحد بر میلیگرم پروتئین)	POX (واحد بر میلیگرم پروتئین)	SOD (واحد بر میلیگرم پروتئین)	POX (واحد بر میلیگرم پروتئین)
یوسف	شاهد	شاهد	$۲/۱^{lm}$	$۱/۴^{l}$	$۱/۰۷^{lm}$	$۱/۲۹^{j}$
		نانو اکسید روی (۲‰)	$۲/۵^{hi}$	$۱/۸^{jk}$	$۲/۶۷^{j}$	$۱/۶۰^{i}$
		اکسید روی معمولی (۲‰)	$۲/۱^{jk}$	$۱/۸^{ijk}$	$۲/۹۱^{hi}$	$۱/۶۷^{i}$
		مخلوط نانو (۱‰) و معمولی (۱‰)	$۳/۰۹^{ef}$	$۱/۹^{ij}$	$۲/۷۸^{ij}$	$۱/۹۸^{gh}$
	G. mossea	شاهد	$۱/۵^{l}$	$۱/۸^{ijk}$	$۱/۱۲^{l}$	$۱/۹۸^{gh}$
		نانو اکسید روی (۲‰)	$۲/۶^{gh}$	$۲/۲^{fgh}$	$۳/۱۶^{efg}$	$۲/۱۰^{g}$
		اکسید روی معمولی (۲‰)	$۲/۳^{ij}$	$۲/۳^{ef}$	$۳/۴۴^{cd}$	$۲/۱۲^{fg}$
		مخلوط نانو (۱‰) و معمولی (۱‰)	$۳/۳^{d}$	$۲/۷^{bcd}$	$۳/۲۸^{def}$	$۲/۸۶^{b}$
	G. intraradices	شاهد	$۲/۱^{k}$	$۲/۰۸^{ghi}$	$۱/۰۴^{lm}$	$۲/۰۴^{g}$
		نانو اکسید روی (۲‰)	$۲/۸^{fg}$	$۲/۲^{fgh}$	$۳/۵۵^{bc}$	$۲/۲۷^{ef}$
		اکسید روی معمولی (۲‰)	$۲/۵^{hi}$	$۲/۳^{fg}$	$۳/۹۰^{a}$	$۲/۳۴^{e}$
		مخلوط نانو (۱‰) معمولی (۱‰)	$۳/۴^{d}$	$۲/۹^{bc}$	$۳/۶۶^{b}$	$۳/۰۲^{a}$
جلگه	شاهد	شاهد	$۲/۵^{hi}$	$۱/۷^{k}$	$۰/۹۵^{lm}$	$۱/۶۸^{i}$
		نانو اکسید روی (۲‰)	$۳/۴^{d}$	$۱/۸^{ijk}$	$۲/۴۰^{k}$	$۱/۸۶^{h}$
		اکسید روی معمولی (۲‰)	$۲/۹^{fg}$	$۲/۰۸^{ghi}$	$۳/۱۴^{fg}$	$۲/۰۰^{gh}$
		مخلوط نانو (۱‰) و معمولی (۱‰)	$۴/۰^{bc}$	$۲/۴^{ef}$	$۲/۷۱^{ij}$	$۲/۲۷^{ef}$
	G. mossea	شاهد	$۳/۵^{d}$	$۲/۰۳^{hij}$	$۰/۹۵^{lm}$	$۱/۹۹^{gh}$
		نانو اکسید روی (۲‰)	$۴/۴^{a}$	$۲/۵^{de}$	$۳/۰۴^{gh}$	$۲/۵۲^{cd}$
		اکسید روی معمولی (۲‰)	$۴/۲^{b}$	$۲/۶^{cd}$	$۳/۴۸^{bcd}$	$۲/۵۹^{cd}$
		مخلوط نانو (۱‰) و معمولی (۱‰)	$۴/۶^{a}$	$۳/۰۲^{ab}$	$۳/۳۶^{cde}$	$۲/۹۳^{ab}$
	G. intraradices	شاهد	$۲/۹^{f}$	$۲/۲^{fgh}$	$۰/۸۶^{m}$	$۲/۳۴^{e}$
		نانو اکسید روی (۲‰)	$۳/۵^{d}$	$۲/۶^{cd}$	$۲/۳۵^{k}$	$۲/۵۸^{cd}$
		اکسید روی معمولی (۲‰)	$۳/۲^{de}$	$۲/۷^{cd}$	$۲/۸۶^{hij}$	$۲/۶۸^{c}$
		مخلوط نانو (۱‰) و معمولی (۱‰)	$۳/۹^{c}$	$۳/۱^{a}$	$۲/۷۷^{ij}$	$۳/۰۳^{a}$
		LSD (۰/۰۵)	۰/۳۹	۰/۲۵	۰/۲۱	۰/۱۵

در هر ستون بررسی اختلاف میانگین‌ها، بر اساس آزمون LSD و در سطح ۵ درصد صورت گرفته است.

بررسی اثر محلول‌پاشی روی بر فعالیت آنزیم کاتالاز گیاه جو نیز نشان داد که بیشترین میزان این آنزیم در کاربرد عنصر روی به صورت مخلوط نانو اکسید روی با اکسید روی معمولی در هر دو

آزمایش مزرعه و گلدان به ترتیب به میزان (۲۴/۲۵ و ۲۳/۳۳ واحد بر میلی گرم پروتئین) بود (جدول ۴-۲۶).

جدول ۴-۴۱. اثر اکسید روی بر فعالیت آنزیم کاتالاز در بخش مزرعه و گلدان.

	مزرعه	گلدان
اکسید روی	آنزیم کاتالاز (واحد بر میلیگرم پروتئین)	آنزیم کاتالاز (واحد بر میلیگرم پروتئین)
شاهد	۱۹/۳۷^{c}	۱۹/۳۰^{c}
نانو اکسید روی (۲‰)	۲۱/۰۰^{b}	۲۰/۴۲^{b}
اکسید روی معمولی (۲‰)	۲۲/۰۴^{b}	۲۱/۲۴^{b}
مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۲۴/۲۵^{a}	۲۳/۳۳^{a}
LSD (۰/۰۵)	۱/۲۵	۱/۰۹

در هر ستون بررسی اختلاف میانگین‌ها، بر اساس آزمون LSD و در سطح ۵ درصد صورت گرفته است.

گزارشات علمی حاکی از آنند که عنصر روی برای برخی از انواع آنزیم سوپر اکسید دسموتاز به عنوان کوفاکتور عمل کرده و فراهمی آن می‌تواند در بهبود فعالیت این آنزیم و ممانعت از بروز خسارات تنش اکسیداتیو موثر باشد (آلسچر و همکاران، ۲۰۰۲). بر اساس نتایج تحقیق حاضر و مطالعات سایر محققین، به نظر می‌رسد که کاربرد میکوریزا می‌تواند بواسطهٔ تامین سوبسترای لازم برای سنتز آنتی-اکسیدان‌ها در افزایش فعالیت این ترکیبات در بافت‌های گیاهی موثر باشد (ارشدی، ۱۳۹۵).

علاوه بر این، بر اساس نتایج تحقیق حاضر و مطالعات سایر محققین، به نظر می‌رسد که کاربرد میکوریزا می‌تواند بواسطهٔ تامین سوبسترای لازم برای سنتز آنتی‌اکسیدان‌ها در افزایش فعالیت این ترکیبات در بافت‌های گیاه موثر باشد (ارشدی، ۱۳۹۵).

۴-۳-۶ - قندهای محلول

در بخش مزرعه اثر متقابل سه گانهٔ رقم جو، سطوح میکوریزا و محلول‌پاشی روی بر میزان قندهای محلول گیاه جو در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴-۴۲).

بدین ترتیب که در هر دو رقم، عدم کاربرد میکوریزا و اکسید روی، سبب کاهش معنی‌دار میزان قندهای محلول گردید و کمترین قندهای محلول در این تیمارها وجود داشت. تاثیر کاربرد میکوریزای *G. mossea* و اکسید روی بر میزان قندهای محلول در رقم جلگه از تاثیر کاربرد مشابه آنها در رقم

یوسف بیشتر بود. بیشترین میزان قندهای محلول در رقم جلگه و در گونه میکوریزای *G. mossea* و در کاربرد مخلوط نانو اکسید روی و اکسید معمولی مشاهده گردید. هرچند که این تیمار با گونه میکوریزای *G. interaradices* در سطوح مشابه رقم جلگه و کاربرد روی در یک گروه آماری قرار گرفت. به عبارت دیگر تنها در این دو تیمار بود که میزان قندهای محلول به بیش از ۵۰ میکروگرم بر گرم رسید (جدول ۴-۴۳). به نظر می‌رسد که کاربرد همزمان میکوریزا و عنصر روی (خصوصاً بصورت مخلوط نانو اکسید روی و اکسید معمولی) می‌تواند در افزایش میزان قندهای محلول جو موثر باشد که البته رقم جلگه نسبت به رقم یوسف، از این نظر پاسخ بهتری به این تیمارها از خود نشان داد.

جدول ۴-۴۲. تجزیه واریانس قندهای محلول گیاه جو در بخش مزرعه.

منابع تغییرات	درجه آزادی	قندهای محلول
بلوک	۲	۶/۲۱*
رقم	۱	۴۹۵۶**
میکوریزا	۲	۴۷۰**
اکسید روی	۳	۱۱۷۲**
رقم × میکوریزا	۲	۸۳/۷۴**
رقم × اکسید روی	۳	۱۱/۴۸**
میکوریزا × اکسید روی	۶	۱۹/۱۹**
رقم × میکوریزا × اکسید روی	۶	۵۲/۷۵**
خطا	۴۶	۰/۸۵
ضریب تغییرات(%)	-	۷/۸۸

**: معنی‌دار در سطح یک درصد *: معنی‌دار در سطح پنج درصد ns: غیرمعنی‌دار

جدول ۴-۴۳. اثر متقابل رقم جو، سطوح میکوریزا و اکسید روی بر میزان قندهای محلول جو دربخش مزرعه و گلدان.

			مزرعه	گلدان
رقم	میکوریزا	اکسید روی	قندهای محلول (میکروگرم بر گرم)	قندهای محلول (میکروگرم بر گرم)
یوسف	شاهد	شاهد	۱۴/۳۷^{o}	۱۳/۸۳^{p}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۱۹/۷۳^{m}	۲۹/۱۰^{j}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۱۴/۸۷^{no}	۱۴/۳۳^{op}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۲۹/۶۳^{j}	۱۹/۲۰^{n}
	G. mossea	شاهد	۱۴/۸۰^{o}	۱۹/۰۷^{n}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۲۴/۷۳^{k}	۳۶/۰۰^{gh}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۲۱/۵۳^{l}	۲۳/۱۰^{l}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۳۵/۰۳^{hi}	۲۷/۱۰^{k}
	G. intraradices	شاهد	۲۰/۱۰^{lm}	۱۳/۹۷^{p}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۲۸/۱۳^{j}	۳۴/۲۰^{i}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۲۴/۱۳^{k}	۲۰/۷۰^{m}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۳۷/۰۳^{fg}	۲۳/۹۰^{l}
جلگه	شاهد	شاهد	۱۶/۳۷^{n}	۱۵/۷۰^{o}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۳۷/۹۳^{f}	۴۷/۲۰^{b}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۳۴/۱۷^{i}	۳۳/۵۳^{i}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۴۷/۸۳^{b}	۳۷/۳۰^{fg}
	G. mossea	شاهد	۳۹/۵۷^{e}	۳۸/۶۰^{ef}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۴۵/۵۳^{c}	۵۲/۶۷^{a}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۴۰/۸۳^{de}	۳۹/۷۰^{de}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۵۳/۸۰^{a}	۴۴/۴۰^{c}
	G. intraradices	شاهد	۳۵/۹۳^{gh}	۳۵/۰۰^{hi}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۴۱/۴۳^{d}	۵۱/۴۳^{a}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۳۷/۴۷^{f}	۳۶/۵۳^{g}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۵۲/۳۷^{a}	۴۰/۵۰^{d}
		LSD (۰/۰۵)	۱/۵۱	۱/۴۸

بررسی اختلاف میانگین‌ها، بر اساس آزمون LSD و در سطح ۵ درصد صورت گرفته است.

در آزمایش گلدانی اثر متقابل سه گانهٔ رقم جو، سطوح میکوریزا و محلول‌پاشی روی بر میزان قندهای محلول گیاه جو معنی‌دار شد (جدول ۴-۴۴). در هر دو رقم، عدم کاربرد میکوریزا و اکسید روی، سبب کاهش معنی‌دار میزان قندهای محلول گردید و کمترین قندهای محلول در این تیمارها وجود داشت.

تاثیر کاربرد میکوریزای *G. mossea* و اکسید روی بر میزان قندهای محلول در رقم جلگه از تاثیر کاربرد مشابه آنها در رقم یوسف بیشتر بود. بیشترین میزان قندهای محلول در رقم جلگه و در گونه میکوریزای *G. mossea* و کاربرد نانو اکسید روی مشاهده گردید. هرچند که این تیمار با گونه میکوریزای *G. interaradices* در سطوح مشابه رقم جلگه و کاربرد روی در یک گروه آماری قرار گرفت. به عبارت دیگر تنها در این دو تیمار بود که میزان قندهای محلول به بیش از ۵۰ میکروگرم بر گرم رسید (جدول ۴-۴۳). به نظر می‌رسد که کاربرد همزمان میکوریزا و عنصر روی می‌تواند در افزایش میزان قندهای محلول جو موثر باشد که البته رقم جلگه نسبت به رقم یوسف، از این نظر پاسخ بهتری به این تیمارها از خود نشان داد.

جدول ۴-۴۴. تجزیه واریانس قندهای محلول گیاه جو در بخش گلدانی.

منابع تغییرات	درجه آزادی	قندهای محلول
رقم	۱	۴۹۰۳ **
میکوریزا	۲	۴۷۹ **
اکسید روی	۳	۱۱۷۰ **
رقم × میکوریزا	۲	۲۱/۵۹ **
رقم × اکسید روی	۳	۱۱/۱۶ **
میکوریزا × اکسید روی	۶	۲۱/۲۳ **
رقم × میکوریزا × اکسید روی	۶	۵۱/۷۱ **
خطا	۴۸	۰/۸۱
ضریب تغییرات(%)	-	۱۱/۸۹

**: معنی‌دار در سطح یک درصد *: معنی‌دار در سطح پنج درصد ns: غیرمعنی‌دار

بطور کلی افزایش تجمع قندهای محلول در برگهای گیاهان و در شرایط تنش و به منظور کاهش پتانسیل اسمزی و حفظ محتوی آب سلول‌ها صورت می‌پذیرد (کافی و همکاران، ۱۳۸۸) اگرچه در این پژوهش، اثر تنش‌های محیطی بر گیاه جو بررسی نشد، اما گزارشات علمی حکایت از آن دارند که گیاهان و یا رقمی که از قندهای محلول بیشتری برخوردار باشند و همچنین انجام اقداماتی جهت

افزایش میزان قندهای محلول گیاه، می‌تواند در افزایش تحمل و یا تطابق و سازگاری گیاه به شرایط نامساعد محیطی موثر باشد (ارشدی، ۱۳۹۵). لذا به نظر می‌رسد که کاربرد میکوریزا و محلول‌پاشی روی می‌تواند در تحقق این مهم برای گیاه جو تاثیرگذار باشد. این نتایج با یافته های میترا و همکاران (۲۰۱۹) مبنی بر بهبود جذب عناصر ماکرو و میکرو از ریزوسفر و افزایش معنی دار محتوای این عناصر و متعاقبا افزایش میزان فتوسنتز و تولید ماده خشک و همچنین افزایش میزان کربوهیدراتها و قندهای محلول در گیاهان میزبان تلقیح شده با میکوریزا مطابقت دارد.

۴-۳-۷ - عناصر دانه

در آزمایش مزرعه اثر متقابل رقم جو و سطوح میکوریزا بر میزان عناصر فسفر، پتاسیم و روی دانه جو معنی‌دار شد. علاوه بر این، اثر متقابل رقم جو و محلول‌پاشی روی بر میزان عناصر پتاسیم و روی دانه جو معنی‌دار گردید. همچنین اثر متقابل سطوح میکوریزا و محلول پاشی روی بر میزان روی دانه جو معنی‌دار گردید (جدول ۴-۴۵).

جدول ۴-۴۵. تجزیه واریانس عناصر دانه جو در بخش مزرعه.

منابع تغییرات	درجه آزادی	فسفر	پتاسیم	روی	نیتروژن
بلوک	۲	۴۶۱۴*	۵۳۲*	۳۲/۶۳**	۱۹۶۴*
رقم	۱	۴۵۴۳۱ **	۱۲۳۳۳۸ **	۱۵۶۶ **	۱۳۲۱۱ **
میکوریزا	۲	۲۳۸۹۱۹ **	۱۴۲۸۹ **	۱۳۷۰ **	۲۹۵۶۰۱ **
اکسید روی	۳	۲۹۹۴۹ **	۲۹۸۳۲ **	۱۴۰۵ **	۲۲۹۶۰ **
رقم × میکوریزا	۲	۶۲۹۲ **	۲۸۲۳ **	۱۳۸ **	۱۳۱۳ ns
رقم × اکسید روی	۳	۶۳۵ ns	۱۰۱۳ **	۳۹/۲۴ **	۱۲۲۴ ns
میکوریزا × اکسید روی	۶	۵۷۸ ns	۲۱۵ ns	۵۰/۴۲ **	۷۶۲ ns
رقم × میکوریزا × اکسید روی	۶	۱۲۲ ns	۱۳۰ ns	۴/۶۰ ns	۲۵۶ ns
خطا	۴۶	۲۹۹	۱۹۲	۷/۹۷	۹۷۵
ضریب تغییرات(%)	-	۵/۴۹	۴/۸۷	۶/۸۳	۸/۹۳

**: معنی‌دار در سطح یک درصد *: معنی‌دار در سطح پنج درصد ns: غیرمعنی‌دار

در آزمایش گلدانی اثر متقابل سه گانهٔ رقم جو، سطوح میکوریزا و محلول‌پاشی روی بر میزان عنصر روی دانه جو معنی‌دار شد (جدول ۴-۴۶). همچنین اثر متقابل رقم جو و سطوح میکوریزا بر میزان عناصر فسفر، پتاسیم و نیتروژن دانه جو معنی‌دار شد. همچنین اثر متقابل سطوح میکوریزا و محلول-پاشی روی بر میزان عنصر فسفر دانه جو معنی‌دار شد. علاوه بر این، اثر ساده محلول‌پاشی روی بر میزان عناصر پتاسیم و نیتروژن دانه جو معنی‌دار گردید (جدول ۴-۴۶).

جدول ۴-۴۶. تجزیه واریانس عناصر دانه جو در بخش گلدانی.

منابع تغییرات	درجه آزادی	فسفر	پتاسیم	نیتروژن	روی
رقم	۱	۲۲/۰۶ **	۱۰/۸۱ **	۱۳۶ **	۲۹۷ **
میکوریزا	۲	۳۷/۴۰ **	۱۶/۳۶ **	۴۷/۰۰ **	۷۰۰ **
اکسید روی	۳	۶/۲۴ **	۵/۸۳ **	۷/۰۰ **	۶۴۴ **
رقم × میکوریزا	۲	۱/۱۷ **	۲/۵۵ **	۱۸/۰۱ **	۰/۸۷ *
رقم × اکسید روی	۳	۰/۰۳ ns	۰/۰۰۲ ns	۰/۱۱ ns	۱۳/۹۴ **
میکوریزا × اکسید روی	۶	۰/۲۷ **	۰/۰۶ ns	۰/۲۶ ns	۲/۶۴ **
رقم × میکوریزا × اکسید روی	۶	۰/۰۶ ns	۰/۰۲ ns	۰/۱۲ ns	۱۲/۲۱ **
خطا	۴۸	۰/۰۳	۰/۰۹	۰/۵۲	۰/۲۱
ضریب تغییرات(%)	-	۱۱/۶۲	۷/۶۰	۸/۲۴	۱۰/۴۳

**: معنی‌دار در سطح یک درصد *: معنی‌دار در سطح پنج درصد ns: غیرمعنی‌دار

در مزرعه بررسی اثر متقابل رقم و میکوریزا بر میزان عناصر فسفر، پتاسیم و روی دانه جو مشخص گردید که میزان این عناصر در رقم جلگه در تمامی سطوح میکوریزا از رقم یوسف در سطوح مشابه، بیشتر بود و رقم جلگه در مقایسه با رقم یوسف، پاسخ بهتری به کاربرد میکوریزا نشان داد. بطوری که میزان عنصر فسفر دانه در رقم جلگه در سطوح میکوریزای *G. mossea* و *G. interaradices* به ترتیب به ۴/۱۷ و ۳/۸۷ میلی گرم بر گرم، میزان عنصر پتاسیم دانه در رقم جلگه در سطوح میکوریزای *G. mossea* و *G. interaradices* به ترتیب به ۳/۵۲و ۳/۲۹ میلی گرم بر گرم و میزان عنصر روی دانه در رقم جلگه در سطوح میکوریزای *G. mossea* و *G. interaradices* به ترتیب به ۵۵/۸۸ و ۴۵/۴۵ میکروگرم بر گرم رسید. در حالی که در رقم یوسف، میزان عنصر فسفر دانه در

سطوح میکوریزای *G. mossea* و *G. interaradices* به ترتیب به ۳/۲۹ و ۳/۵۶ میلی گرم بر گرم، میزان عنصر پتاسیم دانه در سطوح میکوریزای *G. mossea* و *G. interaradices* به ترتیب به ۲/۴۶ و ۲/۶۴ میلی گرم بر گرم و میزان عنصر روی دانه در سطوح میکوریزای *G. mossea* و *G. interaradices* به ترتیب به ۴۱/۰۱ و ۳۸/۶۲ میکروگرم بر گرم بود (جدول ۴-۴۷).

جدول ۴-۴۷. اثر متقابل رقم جو و سطوح میکوریزا بر میزان عناصر فسفر، پتاسیم و روی دانه جو در بخش مزرعه.

رقم	میکوریزا	فسفر (میلی‌گرم بر گرم)	پتاسیم (میلی گرم بر گرم)	روی (میکروگرم بر گرم)
یوسف	شاهد	۱/۸۴^{f}	۲/۱۷^{f}	۳۰/۲۵^{e}
	G. mossea	۳/۲۹^{d}	۲/۴۶^{e}	۴۱/۰۱^{c}
	G. intraradices	۳/۵۶^{c}	۲/۶۴^{d}	۳۸/۶۲^{d}
جلگه	شاهد	۲/۱۶^{e}	۲/۹۴^{c}	۳۶/۵۳^{d}
	G. mossea	۴/۱۷^{a}	۳/۵۲^{a}	۵۵/۸۸^{a}
	G. intraradices	۳/۸۷^{b}	۳/۲۹^{b}	۴۵/۴۵^{b}
	LSD (۰/۰۵)	۱۴/۲۲	۱۱/۳۸	۲/۳۲

در هر ستون بررسی اختلاف میانگین‌ها، بر اساس آزمون LSD و در سطح ۵ درصد صورت گرفته است.

طی بررسی اثر متقابل رقم و محلول‌پاشی روی معلوم شد که میزان عناصر پتاسیم و روی دانه رقم جلگه در تمامی سطوح مشابه کاربرد روی از رقم یوسف بیشتر بود. احتمالاً رقم جلگه به دلیل تفاوتهای ژنوتیپی نسبت به یوسف از پتانسیل بیشتری برای جذب و ذخیره این عناصر برخوردار است. همانطور که پینکرا و همکاران (۲۰۱۵) نیز در مطالعات خود شاهد اثر متقابل مثبت و معنی دار ژنوتیپ و کاربرد روی بر محتوای این عنصر در بذور برنج بودند. همچنین در هر دو رقم یوسف و جلگه، کاربرد عنصر روی سبب افزایش معنی‌دار میزان عناصر پتاسیم و روی دانه گردید. البته این افزایش در تیمار کاربرد مخلوط نانو اکسید روی و اکسید معمولی، برای هر دو رقم بطور معنی‌داری بیشتر بود. لکن بیشترین میزان این عناصر در رقم جلگه و کاربرد مخلوط نانو اکسید روی و اکسید معمولی مشاهده گردید (جدول ۴-۴۸).

جدول ۴-۴۸. اثر متقابل رقم جو و اکسید روی بر میزان عناصر پتاسیم و روی دانه جو در بخش مزرعه.

رقم	اکسید روی	پتاسیم (میلی‌گرم بر گرم)	روی (میکروگرم بر گرم)
یوسف	شاهد	۱/۹۷^{g}	۲۵/۲۵^{f}
	نانو اکسید روی (۲‰)	۲/۵۸^{e}	۴۰/۱۸^{d}
	اکسید روی معمولی (۲‰)	۲/۳۹^{f}	۳۶/۸۷^{e}
	مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۲/۷۵^{d}	۴۴/۱۹^{c}
جلگه	شاهد	۲/۶۰^{e}	۳۴/۳۸^{e}
	نانو اکسید روی (۲‰)	۳/۴۶^{b}	۵۰/۵۹^{b}
	اکسید روی معمولی (۲‰)	۳/۲۱^{c}	۴۲/۲۶^{cd}
	مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۳/۷۳^{a}	۵۶/۵۹^{a}
	LSD (۰/۰۵)	۱۳/۱۵	۱/۰۹

در هر ستون بررسی اختلاف میانگین‌ها، بر اساس آزمون LSD و در سطح ۵ درصد صورت گرفته است.

نتایج نشان می دهد که عدم کاربرد میکوریزا و محلول‌پاشی روی سبب کاهش معنی‌دار میزان عنصر روی دانه گردید و کمترین میزان روی دانه در تیمار عدم کاربرد میکوریزا و عدم محلول‌پاشی روی وجود داشت. بیشترین میزان روی دانه نیز (به میزان ۵۶/۶۶ میکروگرم بر گرم) در گونه میکوریزای *G. mossea* و کاربرد مخلوط نانو اکسید روی و اکسید روی معمولی مشاهده گردید (جدول ۴-۴۹). بطور کلی تاثیر کاربرد عنصر روی در میکوریزای *G. mossea* از تاثیر کاربرد مشابه آن در میکوریزای *G. interaradices* به مراتب بیشتر بود. بررسی اثر محلول‌پاشی روی بر میزان عناصر نیتروژن و فسفر دانه جو نیز نشان داد که کاربرد عنصر روی باعث افزایش معنی‌دار این عناصر گردید. لکن در بین تیمارهای مورد بررسی، مخلوط نانو اکسید روی با اکسید روی معمولی بیشترین تاثیر را در افزایش میزان عناصر نیتروژن و فسفر دانه جو داشت (جدول ۴-۵۰).

جدول ۴-۴۹. اثر متقابل سطوح میکوریزا و اکسید روی بر میزان عنصر روی دانه جو در بخش مزرعه.

میکوریزا	اکسید روی	روی (میکروگرم بر گرم)
شاهد	شاهد	۱۶/۹۵^{f}
	نانو اکسید روی (۲‰)	۳۸/۶۲^{d}
	اکسید روی معمولی (۲‰)	۳۳/۷۵^{e}
	مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۴۴/۲۳^{c}
G. mossea	شاهد	۳۹/۱۶^{d}
	نانو اکسید روی (۲‰)	۵۱/۹۱^{b}
	اکسید روی معمولی (۲‰)	۴۶/۰۶^{c}
	مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۵۶/۶۶^{a}
G. intraradices	شاهد	۳۳/۳۳^{e}
	نانو اکسید روی (۲‰)	۴۵/۶۳^{c}
	اکسید روی معمولی (۲‰)	۳۸/۸۸^{d}
	مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۵۰/۲۸^{b}
LSD (۰/۰۵)		۳/۲۸

بررسی اختلاف میانگین‌ها، بر اساس آزمون LSD و در سطح ۵ درصد صورت گرفته است.

جدول ۴-۵۰. اثر اکسید روی بر میزان عناصر نیتروژن و فسفر دانه جو در بخش مزرعه.

اکسید روی	نیتروژن (میلی گرم بر گرم)	فسفر (میلی گرم بر گرم)
شاهد	۳/۰۸^{d}	۲/۶۸^{d}
نانو اکسید روی (۲‰)	۳/۶۱^{b}	۳/۲۸^{b}
اکسید روی معمولی (۲‰)	۳/۳۶^{c}	۳/۰۰^{c}
مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۳/۹۱^{a}	۳/۶۳^{a}
LSD (۰/۰۵)	۲۰/۹۵	۱۱/۶۱

در هر ستون بررسی اختلاف میانگین‌ها، بر اساس آزمون LSD و در سطح ۵ درصد صورت گرفته است.

چنین استنباط می‌شود که استفاده از عنصر روی، اثر سینرژیستی در جذب عناصر نیتروژن و فسفر داشته و محلول‌پاشی آن سبب بهبود جذب عناصر نیتروژن و فسفر و افزایش ذخیره آنها در دانه جو شده است. همچنین کاربرد میکوریزا در مقایسه با شاهد سبب افزایش معنی‌دار عنصر نیتروژن دانه جو گردید. لکن این افزایش در میکوریزای گونه *G. mossea* از گونه *G. interaradices* به مراتب بیشتر بود (جدول ۴-۵۱). در مجموع در هر دو رقم جو بوته های تلقیح شده با میکوریزا دارای محتوای عناصر غذایی بیشتری نسبت به گیاهان تلقیح نشده بودند.

جدول ۴-۵۱. اثر میکوریزا بر میزان عنصر نیتروژن دانه جو در بخش مزرعه.

میکوریزا	نیتروژن (میلی گرم بر گرم)
شاهد	۲/۳۰^{c}
G. mossea	۴/۵۰^{a}
G. intraradices	۳/۶۷^{b}
LSD (۰/۰۵)	۱۸/۱۴

بررسی اختلاف میانگین‌ها، بر اساس آزمون LSD و در سطح ۵ درصد صورت گرفته است.

در آزمایش گلدانی نتایج به این صورت بود که در هر دو رقم، عدم کاربرد میکوریزا و اکسید روی، سبب کاهش معنی‌دار میزان عنصر روی دانه گردید و کمترین میزان عنصر روی دانه در این تیمارها وجود داشت. تاثیر کاربرد میکوریزای *G. mossea* و اکسید روی بر میزان عنصر روی دانه در رقم جلگه از تاثیر کاربرد مشابه آنها در رقم یوسف بیشتر بود. بیشترین میزان عنصر روی دانه در رقم جلگه و در گونه میکوریزای *G. mossea* و کاربرد نانو اکسید روی مشاهده گردید و تنها در این تیمار بود که میزان عنصر روی دانه به بیش از ۴۵ میکروگرم بر گرم رسید و افزایش معنی دار ۱۹۲٪ را نشان داد (جدول ۴-۵۲). در رقم یوسف تلقیح شده با *G. interaradices* نیز افزایش ۱۵۹درصدی در محتوای روی بذر جو مشاهده شد. پیشتر افزایش معنی دار محتوای عنصر روی در ذرت تلقیح شده با قارچ میکوریزا در مقایسه با تیمار شاهد نیز توسط کاتوبادی و همکاران (۲۰۱۷) گزارش شده است. در بررسی اثر متقابل رقم و میکوریزا بر میزان عناصر فسفر، پتاسیم و نیتروژن دانه جو مشخص گردید که میزان این عناصر در رقم جلگه در تمامی سطوح میکوریزا از رقم یوسف در سطوح مشابه، بیشتر بود و رقم جلگه در مقایسه با رقم یوسف، پاسخ بهتری به کاربرد میکوریزا نشان داد. با این وجود، در رقم یوسف تاثیر میکوریزای *G. interaradices* نسبت به *G. mossea* در افزایش میزان عناصر فسفر، پتاسیم و نیتروژن دانه جو بیشتر بود. در حالی که در رقم جلگه، میکوریزای *G. mossea* نسبت به *G. interaradices* تاثیر بیشتری در افزایش میزان عناصر فسفر، پتاسیم و نیتروژن دانه جو داشت. بطور کلی رقم جلگه نسبت به یوسف از پتانسیل بیشتری برای جذب و ذخیره این عناصر در دانه برخوردار بود (جدول ۴-۵۳).

جدول ۴-۵۲. اثر متقابل رقم جو، سطوح میکوریزا و اکسید روی بر میزان عنصر روی دانه جو در بخش گلدانی.

رقم	میکوریزا	اکسید روی	روی (میکروگرم بر گرم)
یوسف	شاهد	شاهد	۱۷/۷۰^{n}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۳۰/۸۰ ^{i}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۲۳/۹۰ ^{l}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۲۷/۳۰^{k}
	G. mossea	شاهد	۲۱/۲۰^{m}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۳۴/۴۰^{h}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۲۹/۸۰ ^{j}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۳۰/۹۰ ^{i}
	G. intraradices	شاهد	۲۴/۵۰^{l}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۴۳/۰۰^{b}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۳۵/۳۰ ^{g}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۴۰/۲۰^{d}
جلگه	شاهد	شاهد	۲۰/۵۰^{m}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۳۶/۵۰^{f}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۲۷/۷۰ ^{k}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۳۰/۷۰ ^{i}
	G. mossea	شاهد	۳۳/۸۰^{h}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۴۵/۱۰^{a}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۳۷/۹۰^{e}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۴۱/۳۰^{c}
	G. intraradices	شاهد	۲۷/۹۰ ^{k}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۳۹/۹۰ ^{d}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۲۹/۶۰^{j}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۳۶/۹۰ ^{f}
	LSD (۰/۰۵)		۰/۷۵

بررسی اختلاف میانگین‌ها، بر اساس آزمون LSD و در سطح ۵ درصد صورت گرفته است.

جدول ۴-۵۳. اثرمتقابل رقم جو و سطوح میکوریزا برمیزان عناصر فسفر، پتاسیم و نیتروژن دانه جو دربخش گلدانی.

رقم	میکوریزا	فسفر (میلی گرم بر گرم)	پتاسیم (میلی گرم بر گرم)	نیتروژن (میلی گرم بر گرم)
یوسف	شاهد	۲/۳۱^{f}	۲/۷۹^{e}	۵/۹۳^{f}
	G. mossea	۴/۱۵^{d}	۳/۸۶^{c}	۷/۱۹^{e}
	G. intraradices	۴/۷۱^{c}	۴/۰۸^{c}	۹/۱۲^{c}
جلگه	شاهد	۳/۳۶^{e}	۳/۲۹^{d}	۸/۴۲^{d}
	G. mossea	۵/۷۲^{a}	۵/۳۹^{a}	۱۱/۷۹^{a}
	G. intraradices	۵/۴۱^{b}	۴/۳۸^{b}	۱۰/۲۸^{b}
	LSD (۰/۰۵)	۰/۱۶	۰/۲۴	۰/۵۹

در هر ستون بررسی اختلاف میانگین‌ها، بر اساس آزمون LSD و در سطح ۵ درصد صورت گرفته است.

بررسی اثر متقابل میکوریزا و محلول‌پاشی روی بر میزان عنصر فسفر دانه جو نشان داد که عدم کاربرد میکوریزا و محلول‌پاشی روی سبب کاهش معنی‌دار میزان عنصر فسفر دانه گردید و کمترین میزان فسفر دانه در تیمار عدم کاربرد میکوریزا و عدم محلول‌پاشی روی وجود داشت. بیشترین میزان فسفر دانه نیز (به میزان ۶/۰۳ میلی گرم بر گرم) در گونه میکوریزای *G. interaradices* و کاربرد نانو اکسید روی مشاهده گردید. بطوری که تنها در این تیمار بود که میزان عنصر فسفر دانه به بیش از ۶ میلی گرم بر گرم رسید (جدول ۴-۵۴).

به نظر می رسد که با توجه به رابطه متقابلی منفی بین عنصر فسفر با اکثر عناصر میکرو از جمله روی در بستر خاک بخصوص در اراضی خشکتر با خاکهای آمونیاکی، PH بالاتر و غیرحاصلخیزتر، محلولپاشی برگی عناصر غذایی روش کارامدی جهت قابلیت افزایش محتوای عناصر غذایی در اندام های هوایی و بذور گیاهان زراعی باشد (پراساد و همکاران، ۲۰۱۲). همینطور که همزیستی میکوریزایی هم می تواند انحلال کمپلکس و کلات های نامحلول و غیر قابل استفاده فسفر با سایر عناصر از جمله روی را افزایش دهد و در نهایت افزایش حلالیت زیستی و افزایش کارایی جذب این عناصر را توسط ریشه و از محیط ریزوسفر ایجاد کند. بررسی اثر محلول‌پاشی روی بر میزان عناصر

نیتروژن و پتاسیم دانه جو نیز نشان داد که کاربرد عنصر روی باعث افزایش معنی‌دار این عناصر گردید. لکن در بین تیمارهای مورد بررسی، نانو اکسید روی بیشترین تاثیر را در افزایش میزان عناصر نیتروژن و پتاسیم دانه جو داشت (جدول ۴-۸۳). چنین استنباط می‌شود که استفاده از عنصر روی، اثر سینرژیستی در جذب عناصر نیتروژن و پتاسیم داشته و محلول‌پاشی آن سبب بهبود جذب عناصر نیتروژن و پتاسیم و افزایش ذخیره آنها در دانه جو شده است.

جدول ۴-۵۴. اثر متقابل سطوح میکوریزا و اکسید روی بر میزان عنصر فسفر دانه جو در بخش گلدانی.

میکوریزا	اکسید روی	فسفر (میلی‌گرم بر گرم)
شاهد	شاهد	۲/۵۰^{h}
	نانو اکسید روی (۲‰)	۳/۳۴^{f}
	اکسید روی معمولی (۲‰)	۲/۶۴^{gh}
	مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۲/۸۷^{g}
G. mossea	شاهد	۴/۲۵^{e}
	نانو اکسید روی (۲‰)	۵/۷۴^{b}
	اکسید روی معمولی (۲‰)	۴/۶۸^{d}
	مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۵/۰۷^{c}
G. intraradices	شاهد	۴/۱۸^{e}
	نانو اکسید روی (۲‰)	۶/۰۳^{a}
	اکسید روی معمولی (۲‰)	۴/۸۰^{d}
	مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۵/۲۲^{c}
LSD (۰/۰۵)		۰/۲۳

بررسی اختلاف میانگین‌ها، بر اساس آزمون LSD و در سطح ۵ درصد صورت گرفته است.

جدول ۴-۵۵. اثر اکسید روی بر میزان عناصر نیتروژن و پتاسیم دانه جو در بخش گلدانی.

اکسید روی	نیتروژن (میلی گرم بر گرم)	پتاسیم (میلی گرم بر گرم)
شاهد	۸/۰۷^{c}	۳/۳۱^{d}
نانو اکسید روی (۲‰)	۹/۵۶^{a}	۴/۶۷^{a}
اکسید روی معمولی (۲‰)	۸/۶۰^{b}	۳/۷۸^{c}
مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۸/۹۲^{b}	۴/۱۰^{b}
LSD (۰/۰۵)	۰/۴۸	۰/۲۰

در هر ستون بررسی اختلاف میانگین‌ها، بر اساس آزمون LSD و در سطح ۵ درصد صورت گرفته است.

بنابراین با توجه به نتایج حاصله میتوان ادعا کرد که محلولپاشی اکسید روی قابلیت افزایش رشد گیاه جو را داشته چرا که موجب افزایش پارامترهای فیزیولوژیکی از جمله محتوای کلروفیل برگ، فتوسنتز و آنزیم های رشد گیاه شده است. لذا محلولپاشی برگی عنصر حیاتی روی به عنوان روش مناسبی برای جبران فقر این عنصر در بستر خاک معرفی می گردد که نه تنها افزایش رشد و عملکرد ارقام زراعی را باعث میشود بلکه از ان بیشتر محتوای عناصر بذر را هم با فرایند انتقال مجدد این عنصر از اندامهای هوایی به بذور را تحریک میکند. این نتایج با یافته های یاگمور و همکاران (۲۰۱۷) مبنی بر افزایش انتقال مجدد عنصر روی از اندامهای هوایی بخصوص برگهای جو به بذور با اعمال محلولپاشی روی کاملا همخوانی دارد. پیشتر نیز افزایش محتوای عنصر روی در بذور ذرت توسط سوبیا و همکاران (۲۰۱۶) و در بذور گندم دوروم توسط دشپاند و همکاران (۲۰۱۸) با محلولپاشی نانو ذرات روی گزارش شده است. همچنین نتایج این تحقیق نشان می‌دهند که تلقیح میکوریزا با گیاه جو احتمالاً بتواند جذب عناصر ماکرو و عنصر روی را برای این گیاه ارتقاء بخشد. چرا که حضور قارچ میکوریزای آرباسکولار در اطراف ریشه گیاه، همانند یک سیستم ریشه‌ای اضافی برای جذب عناصر غذایی عمل کرده و هیف‌های آن حجم بیشتری از خاک را برای جذب عناصر در اختیار ریشه گیاه قرار می‌دهند (مظفر و همکاران، ۲۰۰۱). متاآنالیز پلگرینو و همکاران (۲۰۱۵) بر گندم در شرایط مزرعه نیز موید این است که محتوای عنصر فسفر در برگ و بذور گندم تلقیح شده با قارچ های میکورزا بطور معنی داری بیشتر از محتوای این عنصر در گندم تلقیح شده است. مطالعات نشان می دهد که همزیستی ریشه های ذرت با قارچ های میکوریزا سبب تسهیل در جذب و افزایش محتوای آهن و روی بذر شد. تلقیح ریشه ها با قارچ میکوریزا یکی از عوامل بالقوه ایست که باعث غنی سازی زیستی دانه ها با عناصر معدنی می شود و در واقع این نوع همزیستی قارچی عامل بالقوه ای برای دستیابی به امنیت غذایی در اراضی زراعی مناطق خشک و نیمه خشک با کمبود شدید ریز مغذی ها در نظر گرفته می شود (سابرامانیان و همکاران ، ۲۰۱۳). زانگ و همکاران (۲۰۱۶) نیز در آزمایش خود شاهد افزایش معنی دار محتوای عنصر روی در بذور گندم در تیمار تلقیح میکوریزایی بودند. ایشان همینطور افزایش

۱۷ تا ۵۶ درصدی محتوای عنصر روی بذر گندم را در تیمارهای محلولپاشی روی گزارش نمودند. این نتایج همینطور با یافته های حاصل از متاآنالیز پلگرینو و همکاران (۲۰۱۵) مبنی بر افزایش معنی دار محتوای عنصر روی و فسفر بذور گندم در تیمارهای تلقیح شده با میکوریزا و همینطور همبستگی مثبت و معنی دار بین محتوای این عناصر و کاربرد میکوریزا در تطابق است. از آنجا که کاربرد بیش از حد کودهای فسفاته و ایجاد کمپلکس نامحلول فسفات روی $ZnO3(PO4)2$ یکی از علل اصلی کاهش محتوای عنصر روی در خاکهای زراعی و متعاقبا در بافتهای گیاهی است، احتمالا کاربرد میکوریزا با افزایش انحلال فسفر و برهمزدن ترکیبات نامحلول کمپلکس فسفر میتواند در جهت افزایش محتوای روی در بافتهای گیاهی و بذور موثر واقع شود. افزایش محتوای روی بذر نه تنها باعث بهبود کیفیت غذایی این بذور در صنایع غذایی و در صنایع تغذیه دام و طیور می شود بلکه از آن بیشتر کشت بذور غنی از روی با قوه نامیه و قدرت حیات بالاتر و درصد و سرعت جوانه زنی بیشتر عامل اصلی افزایش رشد و عملکرد ارقام جو در نسل های اتی و در خاک های فقیر از روی است (صادق زاده، ۲۰۱۳). از آنجا که بخش اعظمی از افزایش عملکرد گیاهان زراعی به بنیه بذر، جوانه زنی مطلوب و استقرار موفق گیاهچه های جوان در خاک زراعی وابسته است لذا همواره توجه به بهبود جوانه زنی بذور زراعی از اهداف اصلاح گران بوده و با استناد به یافته های ککمک و همکاران (۲۰۱۰) یکی از روشهایی که تضمین کننده جوانه زنی مطلوب است افزایش محتوای روی بذر با اعمال محلولپاشی و در مرحله شیری دانه است. که ایشان در مطالعات خود شاهد افزایش ۱۷ تا ۵۶ درصدی محتوای روی بذر در ارقام زراعی گندم با اعمال تیمار محلولپاشی برگی روی در مرحله شیری دانه بودند. همانطور که مطالعات عبدلی و اسفندیاری (۱۳۹۳) بر ارقام گندم نشان داد که افزایش معنی دار شاخص های سرعت جوانه زنی، متوسط زمان جوانه زنی و شاخص بنیه بذر در بذور حاصل از تیمارهای محلولپاشی سولفات روی در مقایسه با تیمار شاهد بدست آمد.

۴-۳-۸ - فیتاز دانه

در آزمایش مزرعه اثر متقابل رقم جو و سطوح میکوریزا و همچنین اثر ساده محلول‌پاشی روی بر میزان آنزیم فیتاز دانه جو معنی‌دار شد (جدول ۴-۵۶).

جدول ۴-۵۶. تجزیه واریانس آنزیم فیتاز دانه جو در بخش مزرعه.

منابع تغییرات	درجه آزادی	آنزیم فیتاز
بلوک	۲	۷/۸۰ **
رقم	۱	۸۸/۸۸ **
میکوریزا	۲	۴۳/۸۷ **
اکسید روی	۳	۶۰/۶۴ **
رقم × میکوریزا	۲	۳۴/۱۵ **
رقم × اکسید روی	۳	۰/۷۷ ns
میکوریزا × اکسید روی	۶	۱/۱۲ ns
رقم × میکوریزا × اکسید روی	۶	۰/۵۵ ns
خطا	۴۶	۱/۳۳
ضریب تغییرات(%)	-	۹/۹۱

**: معنی‌دار در سطح یک درصد *: معنی‌دار در سطح پنج درصد ns: غیرمعنی‌دار

بررسی مقایسات میانگین اثر متقابل رقم جو و سطوح میکوریزا بر میزان آنزیم فیتاز دانه نشان داد که در هر دو رقم یوسف و جلگه، کاربرد میکوریزا سبب افزایش معنی‌دار میزان این آنزیم گردید. اما بیشترین میزان این آنزیم در رقم جلگه و گونه میکوریزای *G. mossea* (به میزان ۱۵/۲۰ واحد بر میلی گرم) وجود داشت (جدول ۴-۵۷). به نظر می‌رسد که کاربرد میکوریزا می‌تواند در افزایش میزان آنزیم فیتاز دانه جو تاثیرگذار باشد. بررسی اثر محلول‌پاشی روی بر میزان آنزیم فیتاز دانه جو نیز نشان داد که کاربرد عنصر روی باعث افزایش معنی‌دار میزان این آنزیم گردید. لکن در بین تیمارهای مورد بررسی، کاربرد مخلوط نانو اکسید روی با اکسید روی معمولی بیشترین تاثیر را در افزایش آنزیم فیتاز دانه از خود نشان داد (جدول ۴-۵۸).

جدول ۴-۵۷. اثر متقابل رقم جو و سطوح میکوریزا بر میزان آنزیم فیتاز دانه جو در بخش مزرعه.

رقم	میکوریزا	آنزیم فیتاز (واحد بر میلی گرم)
یوسف	شاهد	۹/۴۸^{d}
	G. mossea	۱۰/۲۸^{cd}
	G. intraradices	۱۱/۸۹^{b}
جلگه	شاهد	۱۰/۸۱^{c}
	G. mossea	۱۵/۲۰^{a}
	G. intraradices	۱۲/۳۰^{b}
	LSD (۰/۰۵)	۰/۹۵

بررسی اختلاف میانگین‌ها، بر اساس آزمون LSD و در سطح ۵ درصد صورت گرفته است.

جدول ۴-۵۸. اثر اکسید روی بر میزان آنزیم فیتاز دانه جو در بخش مزرعه.

اکسید روی	آنزیم فیتاز (واحد بر میلی گرم)
شاهد	۹/۵۱^{d}
نانو اکسید روی (۲‰)	۱۲/۱۶^{b}
اکسید روی معمولی (۲‰)	۱۱/۰۹^{c}
مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۱۳/۸۸^{a}
LSD (۰/۰۵)	۰/۷۷

بررسی اختلاف میانگین‌ها، بر اساس آزمون LSD و در سطح ۵ درصد صورت گرفته است.

با توجه به اینکه بخش عمده فسفر موجود در بافت‌های گیاهی مورد استفاده در جیره دام و طیور (مانند جو) به شکل فیتاتی یا متصل به اسید فیتیک می‌باشد، لذا وجود آنزیم فیتاز جهت خنثی کردن اثرات منفی فیتات بر پروتئین و مواد مغذی دیگر جیره امری ضروری به نظر می‌رسد (حقیقیان رودسری و همکاران، ۱۳۸۹) و افزایش میزان آن می‌تواند در بهبود قابلیت هضم این ترکیبات موثر باشد. لذا انجام اقداماتی جهت افزایش میزان این آنزیم در دانه جو می‌تواند مفید باشد. به نظر می‌رسد که کاربرد میکوریزا و البته محلول‌پاشی روی توانسته است در افزایش فعالیت آنزیم فیتاز دانه جو موثر باشد. **در** مطالعه گلدانی اثر متقابل رقم جو و سطوح میکوریزا و همچنین اثر متقابل رقم جو و محلول-پاشی روی بر میزان آنزیم فیتاز دانه جو معنی‌دار شد (جدول ۴-۸۴).

جدول ۴-۵۹. تجزیه واریانس آنزیم فیتاز دانه جو در بخش گلدانی.

منابع تغییرات	درجه آزادی	آنزیم فیتاز
رقم	۱	۱۱/۴۲ **
میکوریزا	۲	۵/۲۰ **
اکسید روی	۳	۵/۷۹ **
رقم × میکوریزا	۲	۰/۰۴ *
رقم × اکسید روی	۳	۰/۰۴ *
میکوریزا × اکسید روی	۶	۰/۰۱ ns
رقم × میکوریزا × اکسید روی	۶	۰/۰۲ ns
خطا	۴۸	۰/۰۱
ضریب تغییرات(%)	-	۸/۰۶

**: معنی‌دار در سطح یک درصد *: معنی‌دار در سطح پنج درصد ns: غیرمعنی‌دار

بررسی مقایسات میانگین اثر متقابل رقم جو و سطوح میکوریزا بر میزان آنزیم فیتاز دانه نشان داد که در هر دو رقم یوسف و جلگه، کاربرد میکوریزا سبب افزایش معنی‌دار میزان این آنزیم گردید. با این وجود، تاثیر میکوریزا بر رقم جلگه در افزایش آنزیم فیتاز دانه نسبت به رقم یوسف بیشتر بود و بیشترین میزان این آنزیم در رقم جلگه و گونه میکوریزای *G. interaradices* به میزان ۳/۸۱ (واحد بر میلی گرم) وجود داشت (جدول ۴-۶۰). بطور کلی به نظر می‌رسد که کاربرد میکوریزا می‌تواند در افزایش میزان آنزیم فیتاز دانه جو تاثیرگذار باشد. بررسی اثر متقابل رقم جو و محلول‌پاشی روی بر میزان آنزیم فیتاز دانه جو نیز نشان داد که در هر دو رقم، کاربرد عنصر روی باعث افزایش معنی‌دار میزان این آنزیم گردید. با این وجود، تاثیر محلول پاشی روی بر رقم جلگه در افزایش آنزیم فیتاز دانه نسبت به رقم یوسف بیشتر بود. همچنین در بین تیمارهای مورد بررسی، کاربرد نانو اکسید روی بیشترین تاثیر را در افزایش آنزیم فیتاز دانه از خود نشان داد (جدول ۴-۶۱). به نظر می رسد که برتری نانو اکسید روی با سایز کوچکتر، وزن و قطر کمتر، حلالیت بالاتر در آب و سطح ویژه بیشتر (فدرنکو و همکاران، ۲۰۱۵) در مقابل فرم معمولی آن کارایی بیشتری در افزایش محتوای آنزیم فیتاز برگ و همینطور دانه جو داشته است.

جدول ۴-۶۰. اثر متقابل رقم جو و سطوح میکوریزا بر میزان آنزیم فیتاز دانه جو در بخش گلدانی.

رقم	میکوریزا	آنزیم فیتاز (واحد بر میلی گرم)
یوسف	شاهد	۲/۱۶^{f}
	G. mossea	۲/۸۴^{e}
	G. intraradices	۳/۱۲^{c}
جلگه	شاهد	۳/۰۰^{d}
	G. mossea	۳/۶۹^{b}
	G. intraradices	۳/۸۱^{a}
	LSD (۰/۰۵)	۰/۱۰

بررسی اختلاف میانگین‌ها، بر اساس آزمون LSD و در سطح ۵ درصد صورت گرفته است.

جدول ۴-۶۱. اثر متقابل رقم جو و اکسید روی بر میزان آنزیم فیتاز دانه جو در بخش گلدانی.

رقم	اکسید روی	آنزیم فیتاز (واحد بر میلی گرم)
یوسف	شاهد	۲/۱۰^{g}
	نانو اکسید روی (۲‰)	۳/۳۹^{c}
	اکسید روی معمولی (۲‰)	۲/۵۳^{f}
	مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۲/۸۱^{e}
جلگه	شاهد	۲/۹۲^{e}
	نانو اکسید روی (۲‰)	۴/۲۸^{a}
	اکسید روی معمولی (۲‰)	۳/۱۷^{d}
	مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۳/۶۴^{b}
	LSD (۰/۰۵)	۰/۱۲

بررسی اختلاف میانگین‌ها، بر اساس آزمون LSD و در سطح ۵ درصد صورت گرفته است.

از آنجایی که بخش عمده فسفر موجود در بافت‌های گیاهی مورد استفاده در جیره دام و طیور (مانند جو) به شکل فیتاتی یا متصل به اسید فیتیک می‌باشد، لذا وجود آنزیم فیتاز جهت خنثی کردن اثرات منفی فیتات بر پروتئین و مواد مغذی دیگر جیره امری ضروری بوده (حقیقیان رودسری و همکاران، ۱۳۸۹) و افزایش میزان آن می‌تواند در بهبود قابلیت هضم این ترکیبات موثر باشد. لذا انجام اقداماتی جهت افزایش میزان این آنزیم در دانه جو می‌تواند مفید باشد. به نظر می‌رسد که کاربرد میکوریزا و محلول‌پاشی روی توانسته است در افزایش فعالیت آنزیم فیتاز دانه جو موثر باشد که البته رقم جلگه

نسبت به یوسف از این نظر اثربخشی بهتری از خود نشان داد. سوبرامانیان و همکاران (۲۰۱۳) نیز طی تحقیق بر اثر محلول پاشی سولفات روی و کاربرد گونه میکوریزای *G. intraradices* بر برخی ترکیبات بیوشیمیایی دانه گیاه ذرت، عنوان کردند که اعمال قارچ میکوریزا می‌تواند بواسطه افزایش میزان آنزیم فیتاز در دانه ذرت سبب بهبود کیفیت دانه آن گردد. آنها همچنین بیان نمودند که می-بایست مطالعات بیشتری جهت شناسایی مسیرهای بیوسنتز آنزیم فیتاز و مکانیسم‌های منتج شده به تولید این آنزیم صورت گیرد تا از این طریق گامی در راستای افزایش کیفیت دانه ذرت برداشته شود.

۴-۴- صفات مرتبط با عملکرد

۴-۴-۱-تعداد پنجه

در مزرعه اثرات متقابل رقم جو و سطوح میکوریزا و همچنین رقم جو و محلول‌پاشی روی بر تعداد پنجه در مترمربع جو معنی‌دار شد (جدول ۴-۶۲).

جدول ۴-۶۲. تجزیه واریانس صفات مرتبط با عملکرد جو در بخش مزرعه.

منابع تغییرات	درجه آزادی	تعداد پنجه در متر مربع	تعداد سنبله در متر مربع	تعداد دانه در سنبله	وزن هزار دانه
بلوک	۲	۳۳۲**	۳۷۲**	۰/۶۸**	۲۷/۹۴**
رقم	۱	۳۲۴۲۷**	۹۳۹۶۱**	۳۲۵۳ **	۴۰۲ **
میکوریزا	۲	۲۷۲۳۷**	۹۸۴۷**	۱۲۸۹ **	۲۲۵ **
اکسید روی	۳	۴۶۰۹**	۲۴۶۷**	۱۳۷ **	۱۱۹ **
رقم × میکوریزا	۲	۱۰۳۹۸**	۴۸۲۷**	۶۶۲ **	۶۵/۷۳ **
رقم × اکسید روی	۳	۵۶۶**	۱۰۶*	۱/۶۶ ^{ns}	۰/۶۵ ^{ns}
میکوریزا × اکسید روی	۶	۶۸ ^{ns}	۱۵۴**	۰/۹۵ ^{ns}	۴/۰۹ ^{ns}
رقم × میکوریزا × اکسید روی	۶	۵۱ ^{ns}	۵۰ ^{ns}	۳/۴۵*	۱/۱۳ ^{ns}
خطا	۴۶	۲۶۷۰	۳۴	۱/۲۳	۴/۳۶
ضریب تغییرات (%)	-	۲/۳۷	۱/۸۳	۲/۳۶	۵/۴۹

**: معنی‌دار در سطح یک درصد *: معنی‌دار در سطح پنج درصد ns: غیرمعنی‌دار

بدین ترتیب که در هر دو رقم یوسف و جلگه، کاربرد میکوریزا سبب افزایش معنی‌دار تعداد پنجه در مترمربع گردید. اما بیشترین تعداد پنجه در مترمربع در رقم یوسف و گونه میکوریزای *G. interaradices* (با ۳۸۰/۵۸ پنجه در مترمربع) وجود داشت (جدول ۴-۶۳).

جدول ۴-۶۳. اثر متقابل رقم جو و سطوح میکوریزا بر تعداد پنجه ، تعداد سنبله و وزن هزار دانه جو در بخش مزرعه.

رقم	میکوریزا	تعداد پنجه در متر مربع	تعداد سنبله در متر مربع	وزن هزار دانه (گرم)
یوسف	شاهد	۲۹۴/۶۷^{d}	۲۲۱/۶۷^{f}	۳۲/۷۱^{d}
	G. mossea	۳۵۲/۴۲^{b}	۲۴۳/۷۵^{e}	۳۶/۷۲^{c}
	G. intraradices	۳۸۰/۵۸^{a}	۲۷۱/۸۳^{c}	۳۷/۶۲^{c}
جلگه	شاهد	۲۷۱/۰۸^{e}	۲۶۶/۶۷^{d}	۳۶/۸۵^{c}
	G. mossea	۳۳۸/۸۳^{c}	۳۱۶/۲۵^{a}	۴۵/۰۱^{a}
	G. intraradices	۲۹۰/۴۲^{d}	۲۸۳/۰۸^{b}	۳۹/۳۷^{b}
	LSD (۰/۰۵)	۶/۲۶	۴/۸۲	۱/۷۱

در هر ستون بررسی اختلاف میانگین‌ها، بر اساس آزمون LSD و در سطح ۵ درصد صورت گرفته است.

بطور کلی در سطوح مختلف میکوریزا تعداد پنجه در مترمربع رقم یوسف از جلگه بیشتر بود. بررسی نتایج مقایسات میانگین اثر متقابل رقم جو و محلول‌پاشی روی بر تعداد پنجه در متر مربع جو نشان داد که در هر دو رقم یوسف و جلگه، محلول پاشی روی سبب افزایش معنی‌دار تعداد پنجه در مترمربع گردید. با این وجود بیشترین تعداد پنجه در مترمربع در رقم یوسف و کاربرد مخلوط نانو اکسید روی و اکسید روی معمولی ۳۶۵پنجه در متر مربع مشاهده گردید. در حالی که در رقم جلگه و در سطوح مختلف محلول پاشی روی، تعداد پنجه در مترمربع کمتری ثبت گردید (جدول ۴-۶۴). چنین به نظر می‌رسد که رقم یوسف نسبت به رقم جلگه از پتانسیل بیشتری برای تولید تعداد پنجه در مترمربع برخوردار است. با توجه به اینکه محلولپاشی روی در دو مرحله ساقه دهی و مرحله شیری دانه صورت گرفت و پنجه زنی در مراحلی قبل از اعمال تیمار محلولپاشی صورت گرفته است می توان اینطور نتیجه گرفت که محلولپاشی روی با اثر مثبتی که بر دوام و بقای پنجه ها داشته توانسته موجب افزایش این پارامتر شود و به همین علت تیمارهای محلولپاشی روی نسبت به شاهد تعداد

پنجه در متر مربع بیشتری نشان دادند. از آنجا که روی از یک طرف نقش حیاتی در ساختار کلروفیلها و فرایند فتوسنتز و از طرف دیگر اثر مثبتی بر تولید هورمون اکسین و فرایند رشد ایفا میکند لذا اینطور به نظر میرسد که در در تیمارهای بدون محلولپاشی، رشد پنجه ها متوقف شده و در نتیجه پنجه ها بقای خود را از دست داده اند و حذف شده اند.

جدول ۴-۶۴. اثر متقابل رقم جو و اکسید روی بر تعداد پنجه و تعداد سنبله جو در بخش مزرعه.

رقم	اکسید روی	تعداد پنجه در متر مربع	تعداد سنبله در متر مربع
یوسف	شاهد	۳۱۵/۶۷^{d}	۲۱۰/۷۸^{h}
	نانو اکسید روی (۲‰)	۳۵۲/۸۹^{b}	۲۴۵/۱۱^{e}
	اکسید روی معمولی (۲‰)	۳۳۶/۳۳^{c}	۲۳۱/۴۴^{f}
	مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۳۶۵/۳۳^{a}	۲۵۹/۶۷^{d}
جلگه	شاهد	۲۸۸/۳۳^{g}	۲۲۱/۵۶^{g}
	نانو اکسید روی (۲‰)	۳۰۳/۳۳^{e}	۲۷۸/۲۲^{b}
	اکسید روی معمولی (۲‰)	۲۹۵/۶۷^{f}	۲۶۶/۵۶^{c}
	مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۳۱۳/۱۱^{d}	۲۸۷/۶۷^{a}
	LSD (۰/۰۵)	۷/۲۳	۵/۵۷

در هر ستون بررسی اختلاف میانگین‌ها، بر اساس آزمون LSD و در سطح ۵ درصد صورت گرفته است.

در بخش گلدان نیز اثر متقابل رقم جو و سطوح میکوریزا و همچنین اثر ساده محلول‌پاشی روی بر تعداد پنجه در گیاه جو معنی‌دار شد (جدول ۴-۶۵).

جدول ۴-۶۵. تجزیه واریانس صفات مرتبط با عملکرد جو در بخش گلدانی.

منابع تغییرات	درجه آزادی	تعداد پنجه در گیاه	تعداد سنبله در گیاه	وزن هزار دانه
رقم	۱	۱۲۸ **	۲۴/۵۰ **	۵۲۶ **
میکوریزا	۲	۳۹/۵۰ **	۳۳/۵۰ **	۴۲۵ **
اکسید روی	۳	۵۹/۵۰ **	۶۶/۳۰ **	۴۶۶ **
رقم × میکوریزا	۲	۱۹/۵۰ **	۸/۰۰ **	۱۱۴ **
رقم × اکسید روی	۳	۱/۶۶ ^{ns}	۳/۵۰ **	۱/۶۸ ^{ns}
میکوریزا × اکسید روی	۶	۰/۵۰ ^{ns}	۶/۳۳ **	۳/۹۱**
رقم × میکوریزا × اکسید روی	۶	۰/۱۶ ^{ns}	۵/۵۰ **	۱/۸۹*
خطا	۴۸	۰/۶۶	۰/۶۶	۰/۶۸
ضریب تغییرات(%)	-	۹/۳۳	۸/۹۰	۷/۰۴

**: معنی‌دار در سطح یک درصد *: معنی‌دار در سطح پنج درصد ns: غیرمعنی‌دار

بدین ترتیب که در هر دو رقم یوسف و جلگه، کاربرد میکوریزا سبب افزایش معنی‌دار تعداد پنجه در گیاه گردید. اما بیشترین تعداد پنجه در گیاه در رقم یوسف و گونه میکوریزای *G. interaradices* (با ۱۱/۱۷ پنجه در گیاه) وجود داشت (جدول ۴-۶۶). بطور کلی در سطوح مختلف میکوریزا تعداد پنجه در گیاه در رقم یوسف از جلگه بیشتر بود. چنین به نظر می‌رسد که رقم یوسف نسبت به رقم جلگه از پتانسیل بیشتری برای تولید تعداد پنجه در گیاه برخوردار است.

جدول ۴-۶۶. اثر متقابل رقم جو و سطوح میکوریزا بر تعداد پنجه در گیاه در بخش گلدانی.

رقم	میکوریزا	تعداد پنجه در گیاه
یوسف	شاهد	۸/۹۲^{c}
	G. mossea	۱۰/۱۷^{b}
	G. intraradices	۱۱/۱۷^{a}
جلگه	شاهد	۵/۷۵^{e}
	G. mossea	۹/۵۰^{bc}
	G. intraradices	۷/۰۰^{d}
	LSD (۰/۰۵)	۰/۶۷

در هر ستون بررسی اختلاف میانگین‌ها، بر اساس آزمون LSD و در سطح ۵ درصد صورت گرفته است.

عبدالرحمانی (۱۳۹۵) نیز در تحقیقات خود به بررسی تفاوت‌های عملکرد و اجزای عملکرد شش ژنوتیپ گندم پرداخت و گزارش کرد که بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، تفاوت‌های معنی‌داری از از نظر تعداد پنجه وجود داشت. وی بیان کرد که بین شش ژنوتیپ آذر ۲، قزاقستان ۹۸-۹۹، کرج ۸۷-ژانگ ۲۹۱، رصد، ام-ال-تی ۳ و کارل-گان ۹۱، بیشترین تعداد پنجه متعلق به ژنوتیپ رصد بود. وی همچنین اظهار داشت که رقمی که از توان پنجه‌زنی بالایی برخوردارند در تراکم‌های پایین عملکرد بالایی تولید می‌کنند و این امر باعث صرفه جویی در میزان بذر مصرفی می‌شود. علاوه بر این، بر اساس نتایج حاصله، به نظر می‌رسد که قارچ میکوریزا بواسطه بهبود جذب آب و مواد غذایی و افزایش فراهمی عناصر مورد نیاز گیاه سبب افزایش تعداد پنجه در گیاه شده است. بررسی اثر محلول‌پاشی روی بر تعداد پنجه در گیاه جو نیز نشان داد که کاربرد عنصر روی باعث افزایش معنی‌دار تعداد پنجه در گیاه گردید. لکن در بین تیمارهای مورد بررسی، اکسید روی معمولی بیشترین تاثیر را در افزایش

تعداد پنجه در گیاه جو داشت. بطوری که تنها در این تیمار بود که تعداد ۱۱ پنجه در گیاه تولید شد و در سایر سطوح محلول پاشی روی، تعداد پنجه در گیاه، حتی به ۱۰ هم نرسید (جدول ۴-۶۷).

جدول ۴-۶۷. اثر اکسید روی بر تعداد پنجه در گیاه جو در بخش گلدانی.

اکسید روی	تعداد پنجه در گیاه
شاهد	۶/۶۷^{d}
نانو اکسید روی (۲‰)	۸/۱۷^{c}
اکسید روی معمولی (۲‰)	۱۱/۰۰^{a}
مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۹/۱۷^{b}
LSD (۰/۰۵)	۰/۵۴

بررسی اختلاف میانگین‌ها، بر اساس آزمون LSD و در سطح ۵ درصد صورت گرفته است.

۴-۴-۲- تعداد سنبله

اثرات متقابل رقم جو و سطوح میکوریزا و همچنین رقم جو و محلول‌پاشی روی و نیز سطوح میکوریزا و محلول‌پاشی روی بر تعداد سنبله در مترمربع جو معنی‌دار شد (جدول ۴-۶۲). بدین ترتیب که در هر دو رقم یوسف و جلگه، کاربرد میکوریزا سبب افزایش معنی‌دار تعداد سنبله در مترمربع گردید. اما بیشترین تعداد سنبله در مترمربع در رقم جلگه و گونه میکوریزای *G. mossea* (با ۳۱۶/۲۵ سنبله در مترمربع) وجود داشت (جدول ۴-۶۳). بطور کلی در سطوح مختلف میکوریزا تعداد سنبله در مترمربع رقم جلگه از یوسف بیشتر بود. بررسی نتایج مقایسات میانگین اثر متقابل رقم جو و محلول‌پاشی روی بر تعداد سنبله در مترمربع جو نشان داد که در هر دو رقم یوسف و جلگه، محلول پاشی روی سبب افزایش معنی‌دار تعداد سنبله در مترمربع گردید. با این وجود، بیشترین تعداد سنبله در مترمربع در رقم جلگه و کاربرد مخلوط نانو اکسید روی و اکسید روی معمولی مشاهده گردید و در مقایسه با تیمار بدون محلول‌پاشی ۸ درصد افزایش تعداد سنبله داشت (جدول ۴-۶۴). چنین به نظر می‌رسد که رقم جلگه نسبت به رقم یوسف از پتانسیل بیشتری برای تولید تعداد سنبله در مترمربع برخوردار است. بررسی اثر متقابل میکوریزا و محلول‌پاشی روی بر تعداد سنبله در مترمربع جو نشان داد که عدم کاربرد میکوریزا و محلول‌پاشی روی سبب کاهش معنی‌دار تعداد سنبله در مترمربع گردید و

کمترین تعداد سنبله در مترمربع در تیمار عدم کاربرد میکوریزا و عدم محلول‌پاشی روی وجود داشت. بیشترین تعداد سنبله در مترمربع نیز (با ۳۴۶/۵۰ عدد سنبله در مترمربع) در گونه میکوریزای *G. interaradices* و کاربرد مخلوط نانو اکسید روی و اکسید روی معمولی مشاهده گردید که البته با میکوریزای *G. mossea* در سطح مشابه کاربرد روی در یک گروه آماری قرار گرفت (جدول ۴-۶۸). بطور کلی کاربرد میکوریزای *G. mossea* و *G. interaradices* سبب افزایش تعداد سنبله در مترمربع گردید. اما در این دو سطح میکوریزا بین سطوح مختلف محلول‌پاشی روی در کاربردهای مشابه، اختلاف معنی‌داری وجود نداشت.

جدول ۴-۶۸. اثر متقابل سطوح میکوریزا و اکسید روی بر تعداد سنبله جو در بخش مزرعه.

میکوریزا	اکسید روی	تعداد سنبله در متر مربع
شاهد	شاهد	۱۷۹/۱۷^{l}
	نانو اکسید روی (۲‰)	۲۰۶/۵۰^{j}
	اکسید روی معمولی (۲‰)	۲۰۱/۰۰^{k}
	مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۲۱۰/۰۰^{hi}
G. mossea	شاهد	۳۲۶/۵۰^{g}
	نانو اکسید روی (۲‰)	۲۷۷/۱۷^{b}
	اکسید روی معمولی (۲‰)	۲۶۱/۸۳^{c}
	مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۲۸۴/۵۰^{a}
G. intraradices	شاهد	۲۱۵/۸۳^{h}
	نانو اکسید روی (۲‰)	۲۴۳/۳۳^{e}
	اکسید روی معمولی (۲‰)	۲۳۶/۱۷^{f}
	مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۲۵۶/۵۰^{d}
LSD (۰/۰۵)		۶/۸۲

بررسی اختلاف میانگین‌ها، بر اساس آزمون LSD و در سطح ۵ درصد صورت گرفته است.

در آزمایش گلدان اثر متقابل سه گانهٔ رقم جو، سطوح میکوریزا و محلول‌پاشی روی بر تعداد سنبله در گیاه جو معنی‌دار شد (جدول ۴-۶۵). بدین ترتیب که در هر دو رقم، عدم کاربرد میکوریزا و اکسید روی، سبب کاهش معنی‌دار تعداد سنبله در گیاه گردید و کمترین تعداد سنبله در گیاه در این تیمارها وجود داشت. تاثیر کاربرد گونه میکوریزای *G. mossea* و اکسید روی بر تعداد سنبله در گیاه

در رقم جلگه از تاثیر کاربرد مشابه آنها در رقم یوسف بیشتر بود. بیشترین تعداد سنبله در گیاه در رقم جلگه و در میکوریزای گونه *G. mossea* و در سطوح مختلف کاربرد روی مشاهده گردید (جدول ۴-۶۹). هر چند بیشترین تعداد سنبله در گیاه در کاربرد روی بصورت نانو اکسید روی برای رقم جلگه و در میکوریزای گونه *G. mossea* مشاهده گردید، اما در اکثر سطوح قارچ میکوریزا و در هر دو رقم، اکسید روی معمولی اثر بخشی بهتری برای افزایش تعداد سنبله در گیاه از خود نشان داد. با این وجود، با توجه به نتایج بدست آمده، به نظر می‌رسد که کاربرد همزمان میکوریزا و عنصر روی می‌تواند در افزایش تعداد سنبله در گیاه جو موثر باشد که البته رقم جلگه نسبت به رقم یوسف، از این نظر پاسخ بهتری به میکوریزا و محلول‌پاشی روی از خود نشان داد. چنین به نظر می‌رسد که رقم جلگه نسبت به رقم یوسف از پتانسیل بیشتری برای تولید تعداد سنبله در گیاه برخوردار است.

جدول ۴-۶۹. اثر متقابل رقم جو، سطوح میکوریزا و اکسید روی بر تعداد سنبله در گیاه و وزن هزار دانه جو در بخش گلدانی.

رقم	میکوریزا	اکسید روی	تعداد سنبله در گیاه	وزن هزار دانه (گرم)
یوسف	شاهد	شاهد	۴/۱۷ ^{i}	۲۷/۳۳^{m}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۵/۸۲ ^{hi}	۳۳/۱۰^{k}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۹/۳۴ ^{de}	۳۸/۱۰^{hi}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۷/۴۱^{fg}	۳۵/۷۰^{j}
	G. mossea	شاهد	۶/۶۷^{gh}	۳۱/۷۰^{l}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۸/۵۳^{ef}	۳۷/۶۳^{i}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۱۱/۷۱^{bc}	۴۲/۶۳^{e}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۹/۴۷ ^{de}	۴۰/۰۳^{fg}
	G. intraradices	شاهد	۷/۲۷^{fg}	۳۴/۸۷^{j}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۸/۶۴ ^{ef}	۴۲/۴۳^{e}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۱۱/۳۱^{bc}	۴۷/۳۳^{c}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۱۰/۷۱^{cd}	۴۴/۱۳^{d}
جلگه	شاهد	شاهد	۶/۰۰^{hi}	۳۲/۸۳^{kl}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۸/۰۰ ^{fg}	۳۷/۳۷^{i}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۱۱/۰۰^{cd}	۴۲/۳۷^{e}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۱۰/۰۰^{de}	۳۹/۲۷^{gh}
	G. mossea	شاهد	۸/۰۰ ^{fg}	۴۰/۸۳^{f}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۱۴/۰۰^{a}	۴۷/۶۳ ^{c}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۱۰/۰۰^{de}	۵۳/۶۳ ^{a}

	مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۱۲/۰۰^{bc}	۵۰/۶۳^{b}
G. intraradices	شاهد	۷/۰۰^{gh}	۳۵/۳۳^{j}
	نانو اکسید روی (۲‰)	۸/۰۰^{fg}	۴۲/۶۷^{e}
	اکسید روی معمولی (۲‰)	۱۳/۰۰^{ab}	۵۰/۶۷^{b}
	مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۱۰/۰۰^{de}	۴۶/۶۷^{c}
	LSD (۰/۰۵)	۱/۳۴	۱/۳۶

در هر ستون، بررسی اختلاف میانگین‌ها، بر اساس آزمون LSD و در سطح ۵ درصد صورت گرفته است.

۴-۴-۳- وزن هزار دانه

اثر متقابل رقم جو و سطوح میکوریزا و همچنین اثر ساده محلول‌پاشی روی بر وزن هزار دانه جو معنی‌دار شد (جدول ۴-۶۲). بررسی مقایسات میانگین اثر متقابل رقم جو و سطوح میکوریزا بر وزن هزار دانه نشان داد که در هر دو رقم یوسف و جلگه، کاربرد میکوریزا سبب افزایش معنی‌دار وزن هزار گردید. اما بیشترین وزن هزار دانه در رقم جلگه و گونه میکوریزای *G. mossea* (به میزان ۴۵/۰۱ گرم) مشاهده شد. بطوری که تنها در این تیمار بود که وزن هزار دانه به بیش از ۴۵ گرم رسید و در سایر تیمارهای مورد بررسی، وزن هزار دانه کمتر از ۴۰ گرم بود (جدول ۴-۶۳).

به نظر می‌رسد که کاربرد میکوریزا می‌تواند در جذب بهتر آب و مواد غذایی و تخصیص بیشتر فراورده‌های فتوسنتزی به دانه‌ها و به دنبال آن، افزایش وزن هزار دانه جو تاثیرگذار باشد. حسن پور و زند (۱۳۹۳) نیز در مطالعه تاثیر کودهای زیستی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم، افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه را در شرایط کاربرد میکوریزا در مقایسه با شاهد گزارش کردند. جمشیدی و همکاران (۱۳۸۸) نیز در بررسی اثر میکوریزا بر عملکرد آفتابگردان شاهد افزایش وزن هزار دانه، تعداد دانه در طبق و کاهش میزان پوکی دانه در تیمارهای تلقیح شده بودند. بررسی اثر محلول‌پاشی روی بر وزن هزار دانه جو نیز نشان داد که کاربرد عنصر روی باعث افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه گردید. لکن در بین تیمارهای مورد بررسی، کاربرد مخلوط نانو اکسید روی با اکسید روی معمولی بیشترین تاثیر را در افزایش وزن هزار دانه از خود نشان داد. بطوری که تنها در این تیمار بود که وزن هزار دانه به بیش از ۴۱ گرم رسید (جدول ۴-۷۰). مرادی تلاوت و همکاران (۱۳۹۴) در بررسی اثر محلول‌پاشی سولفات روی بر محتوی عناصر معدنی، عملکرد دانه و روغن دو رقم گلرنگ، افزایش وزن هزار دانه را تحت

تاثیر محلول‌پاشی سولفات روی گزارش کردند. این محققان عقیده دارند که افزایش وزن هزاردانه در اثر مصرف روی به دلیل افزایش مواد ذخیره شده و کاهش محدودیت منبع بوده که باعث سرازیر شدن مواد پرورده به سمت دانه شده است (مرادی تلاوت و همکاران، ۱۳۹۴).

جدول ۴-۷۰. اثر اکسید روی بر وزن هزار دانه جو در بخش مزرعه.

اکسید روی	وزن هزار دانه (گرم)
شاهد	۳۵/۳۷^{c}
نانو اکسید روی (۲‰)	۳۸/۸۹^{b}
اکسید روی معمولی (۲‰)	۳۶/۶۸^{c}
مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۴۱/۲۴^{a}
LSD (۰/۰۵)	۱/۴۰

بررسی اختلاف میانگین‌ها، بر اساس آزمون LSD و در سطح ۵ درصد صورت گرفته است.

اثر متقابل سه گانهٔ رقم جو، سطوح میکوریزا و محلول‌پاشی روی بر وزن هزار دانه جو معنی‌دار شد (جدول ۴-۶۵). بدین ترتیب که در رقم جلگه محلولپاشی روی و تلقیح قارچ میکوریزای G. mossea باعث افزایش معنی دار وزن هزار دانه به میزان ۶۳ ٪ نسبت به تیمار شاهد شد در حالیکه عدم کاربرد میکوریزا و اکسید روی، سبب کاهش معنی‌دار وزن هزار دانه گردید. تاثیر کاربرد گونه میکوریزای *G. mossea* و اکسید روی بر وزن هزار دانه در رقم جلگه از تاثیر کاربرد مشابه آنها در رقم یوسف بیشتر بود. گونه میکوریزای *G. mossea* در رقم جلگه و گونه میکوریزای *G. interaradices* در رقم یوسف اثربخشی بهتری بر افزایش وزن هزار دانه داشتند. اما بیشترین وزن هزار دانه در رقم جلگه و در میکوریزای گونه *G. mossea* و در کاربرد روی بصورت اکسید روی معمولی مشاهده گردید (جدول ۴-۶۹). در تمامی سطوح میکوریزا و در هر دو رقم مورد مطالعه، اکسید روی معمولی اثر بخشی بهتری در افزایش وزن هزار دانه از خود نشان داد. با توجه به نتایج بدست آمده، به نظر می‌رسد که کاربرد همزمان میکوریزا و عنصر روی می‌تواند در افزایش وزن هزار دانه گیاه جو موثر باشد که البته رقم جلگه نسبت به رقم یوسف، از این نظر پاسخ بهتری به میکوریزا و محلول‌پاشی روی از خود نشان داد. چنین به نظر می‌رسد که رقم جلگه نسبت به رقم یوسف از پتانسیل بالاتری برای تولید دانه‌هایی با

وزن بیشتر برخوردار است. جعفرنژاد (۱۳۸۸) نیز در مطالعات خود بین رقم مورد بررسی گندم از نظر وزن هزار دانه، تفاوت‌های معنی‌داری را ملاحظه کرد. وی بیشترین (۴۱ گرم) و کمترین (۳۵ گرم) وزن هزار دانه را به ترتیب در رقم پیشتاز و الموت مشاهده نمود. در تحقیقی دیگر، مرادی تلاوت و همکاران (۱۳۹۴) در بررسی اثر محلول‌پاشی سولفات روی بر محتوی عناصر معدنی، عملکرد دانه و روغن دو رقم گلرنگ، افزایش وزن هزار دانه گلرنگ را تحت تاثیر محلول‌پاشی سولفات روی عنوان کردند.

۴-۴-۴ - عملکردهای دانه و بیولوژیک و شاخص برداشت

اثر متقابل سه گانه رقم جو، سطوح میکوریزا و محلول‌پاشی روی بر عملکردهای دانه و بیولوژیک و شاخص برداشت جو معنی‌دار شد (جدول ۴-۷۱).

جدول ۴-۷۱. تجزیه واریانس عملکردهای دانه و بیولوژیک و شاخص برداشت جو در بخش مزرعه.

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	شاخص برداشت
بلوک	۲	۲۲۸**	۹۸/۰۰**	۶/۳۹**
رقم	۱	۷۹۱۶۲**	۷۱۸۷۷**	۳۸۶۴**
میکوریزا	۲	۳۴۸۰۶**	۱۲۶۲۷**	۴۵۷**
اکسید روی	۳	۸۸۶۹**	۸۷۷۰**	۵۵/۱۵**
رقم × میکوریزا	۲	۱۰۳۸۹**	۱۶۸۱۳**	۱۹۷**
رقم × اکسید روی	۳	۱۲۷**	۶۲/۹۶^{ns}	۶/۹۵**
میکوریزا × اکسید روی	۶	۷۷/۶۱**	۲۱۳**	۵/۴۵**
رقم × میکوریزا×اکسید روی	۶	۵/۱۸**	۱۸۲**	۱/۳۸**
خطا	۴۶	۰/۲۴	۵۰/۳۴	۰/۳۶
ضریب تغییرات(%)	-	۵/۱۵	۶/۰۷	۴/۲۵

**: معنی‌دار در سطح یک درصد *: معنی‌دار در سطح پنج درصد ns: غیرمعنی‌دار

تاثیر کاربرد میکوریزای *G. mossea* و اکسید روی بر عملکرد دانه و شاخص برداشت در رقم جلگه از تاثیر کاربرد مشابه آنها در رقم یوسف بطور قابل توجهی بیشتر بود. بیشترین عملکرد دانه در رقم جلگه و در گونه میکوریزای *G. mossea* و در کاربرد مخلوط نانو اکسید روی و اکسید روی معمولی مشاهده گردید. به گونه‌ای که تنها در این تیمار بود که عملکرد دانهٔ بیش از ۴۲۰ گرم در متر مربع تولید شد (جدول ۴-۴۶). طرفدار و همکاران (۲۰۱۴) نیز شاهد افزایش عملکرد دانه و همینطور

محتوای عنصر روی بذر در تیمار محلولپاشی نانو ذرات اکسید روی در گیاه ارزن در شرایط مزرعه بودند. یک فرضیه برای برتری مخلوط نانو اکسید روی و اکسید روی معمولی نسبت به تیمار محلولپاشی نانو اکسید روی به تنهایی میتواند این باشد که احتمالا دوز مصرفی نانو اکسید روی به تنهایی جهت افزایش عملکرد و پارامترهای وابسته به عملکرد در ارقام جو کافی نبوده و لذا افزایش دوز مصرفی نانو اکسید روی به تنهایی به بیش از ۲ در هزار بتواند نسبت به مخلوط نانو و معمولی پیشی بگیرد. همانطور که سینگ و همکاران (۲۰۱۷) نیز عنوان کردند که با وجود برتری نانو ذرات در مقایسه با مولکولهای معمولی، کاربرد نانو اکسید روی کمتر از حد اوپتیموم ممکن است پتانسیل افزایش عملکرد و اجزای عملکرد ارقام زراعی را در مقایسه با فرم معمولی نداشته باشد. با این وجود، بیشترین عملکرد بیولوژیک در رقم یوسف و در گونه میکوریزای *G. interaradices* و در کاربرد مخلوط نانو اکسید روی و اکسید روی معمولی مشاهده گردید. بطوری که فقط عملکرد بیولوژیک این تیمار به بیش از ۷۵۰ گرم در متر مربع رسید (جدول ۴-۴۶). بطور کلی عملکردهای دانه رقم جلگه نسبت به رقم یوسف در سطوح مشابه میکوریزا و کاربرد روی بیشتر بود. این افزایش عملکرد با توجه به برتری این رقم در صفات بیوشیمیایی و فیزیولوژیک از جمله محتوای رنگیزه های برگی و آنزیم کربونیک انهیدراز که به افزایش فتوسنتز و افزایش ماده خشک گیاهی و متعاقبا افزایش رشد گیاه منجر می شود مورد انتظار بود. در حالی که عملکردهای بیولوژیک رقم یوسف نسبت به رقم جلگه در سطوح مشابه میکوریزا و کاربرد روی، بالاتر بود.

جدول ۴-۷۲. اثر متقابل رقم جو، سطوح میکوریزا و اکسید روی بر عملکردهای دانه و بیولوژیک و شاخص برداشت جو در بخش مزرعه.

رقم	میکوریزا	اکسید روی	عملکرد دانه (گرم در مترمربع)	عملکرد بیولوژیک (گرم در مترمربع)	شاخص برداشت (درصد)
یوسف	شاهد	شاهد	۲۲۶/۳۲^{w}	۶۳۳/۱۳^{ij}	۳۵/۷۵^{o}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۲۶۷/۶۲^{t}	۶۵۵/۶۳^{fg}	۴۰/۸۲^{l}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۲۴۵/۱۲^{v}	۶۳۷/۲۳^{hi}	۳۸/۴۷^{n}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۲۸۱/۵۲^{r}	۶۷۶/۶۳^{e}	۴۱/۶۰^{kl}
	G. mossea	شاهد	۲۶۰/۴۲^{u}	۶۶۱/۸۳^{f}	۳۹/۳۵^{nm}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۳۰۱/۹۲^{m}	۶۹۴/۵۳^{d}	۴۳/۴۷^{i}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۲۸۴/۱۲^{p}	۶۷۷/۱۳^{e}	۴۱/۹۶^{jk}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۳۰۸/۵۲^{l}	۷۱۴/۵۳^{c}	۴۳/۱۸^{i}
	G. intraradices	شاهد	۲۷۲/۵۲^{s}	۷۰۶/۵۳^{c}	۳۸/۵۷^{n}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۳۱۷/۹۲^{j}	۷۴۳/۷۳^{a}	۴۲/۷۵^{ij}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۲۹۰/۲۲^{o}	۷۲۹/۷۳^{b}	۳۹/۷۷^{m}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۳۳۴/۶۲^{h}	۷۵۰/۶۳^{a}	۴۴/۵۸^{h}
جلگه	شاهد	شاهد	۲۶۷/۷۷^{t}	۵۸۰/۲۳^{m}	۴۶/۱۶^{g}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۲۹۷/۷۷ ^{n}	۶۲۸/۸۳^{ij}	۴۷/۳۶^{f}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۲۸۲/۷۷ ^{q}	۵۹۸/۰۳^{kl}	۴۷/۲۹^{f}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۳۱۳/۷۷ ^{k}	۶۴۶/۷۳^{gh}	۴۸/۵۲^{e}
	G. mossea	شاهد	۳۸۱/۱۷^{e}	۶۲۵/۰۳^{j}	۶۰/۹۹^{a}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۴۱۰/۶۷^{b}	۶۶۶/۸۳^{ef}	۶۱/۵۹^{a}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۳۹۵/۵۷^{c}	۶۴۹/۱۳^{g}	۶۰/۹۴^{a}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۴۲۲/۰۷^{a}	۶۹۳/۹۳^{d}	۶۰/۸۳^{a}
	G. intraradices	شاهد	۳۳۰/۱۷^{i}	۵۹۵/۹۳^{l}	۵۵/۴۱^{d}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۳۶۰/۸۷^{f}	۶۰۸/۷۳^{k}	۵۹/۲۹^{b}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۳۴۱/۸۷^{g}	۶۰۲/۵۳^{kl}	۵۶/۷۵^{c}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۳۸۲/۱۷^{d}	۶۲۷/۰۳^{ij}	۶۰/۹۶^{a}
		LSD (۰/۰۵)	۰/۸۱۹	۱۱/۶۶	۰/۹۹

در هر ستو ن بررسی اختلاف میانگین‌ها، بر اساس آزمون LSD و در سطح ۵ درصد صورت گرفته است.

با توجه به بیشتر بودن صفت تعداد پنجه در تیمار رقم یوسف و گونه میکوریزای *G. interaradices* برتری این تیمار در عملکرد بیولوژیک منطقی بوده و با عنایت به بیشتر بودن صفت وزن هزار دانه در تیمار رقم جلگه و گونه میکوریزای *G. mossea* برتری این تیمار در عملکرد دانه منطقی به نظر می-رسد. بر اساس این نتایج، چنین استنباط می‌شود که رقم جلگه از پتانسیل بالاتری برای تولید عملکرد دانه برخوردار بوده و رقم یوسف پتانسیل بیشتری برای تولید عملکرد بیولوژیک دارد. بررسی مقایسات

میانگین شاخص برداشت نشان داد که بالاترین شاخص‌های برداشت به رقم جلگه و گونه میکوریزای *G. mossea* تعلق داشت. این نتایج با یافته های حاصل از متاآنالیز سی و هشت ساله پلگرینو و همکاران (۲۰۱۵) مبنی بر افزایش معنی دار عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت ارقام گندم در تلقیح میکوریزایی در شرایط مزرعه مطابقت دارد. اما در این تیمار بین سطوح مختلف کاربرد عنصر روی، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. بطور کلی در رقم جلگه، در اکثر سطوح میکوریزا و کاربرد روی، شاخص برداشت حدود ۶۰ درصد و بالاتر حاصل شد. در حالی که در رقم یوسف و در تیمارهای مشابه، شاخص برداشت به ۵۰ درصد هم نرسید (جدول ۴-۷۲).

لذا به نظر می‌رسد که رقم جلگه در سطوح مختلف میکوریزا و کاربرد روی، قابلیت بیشتری در ایجاد شاخص برداشت بالا دارد. با توجه به نتایج این مطالعه، چنین به نظر می‌رسد که کاربرد میکوریزا در مقایسه با شاهد در جذب آب و مواد غذایی برای گیاه جو موفق عمل کرده است که این موضوع، خود افزایش ظرفیت فتوسنتزی گیاه و تخصیص بهتر فراورده‌های فتوسنتزی به سمت دانه‌های جو را به همراه دارد. لکن به نظر می‌رسد که رقم یوسف به میکوریزای گونه *G. interaradices* و رقم جلگه به میکوریزای گونه *G. mossea* پاسخ بهتری نشان داده‌اند.

این نتایج با یافته های زانگ و همکاران (۲۰۱۹) در تطابق است که نتایج متاآنالیز آنها در غلات اثبات کرد که تلقیح میکوریزایی باعث افزایش عملکرد دانه غلات به بیش از ۱۶ درصد در مزرعه شد. همانطور که مطالعات بگوم و همکاران (۲۰۱۹) نیز نشان می دهد که همزیستی میکوریزایی سبب افزایش معنی دار سرعت تبادلات گازی در برگ، افزایش سرعت فتوسنتز و متعاقبا افزایش ماده خشک و عملکرد می شود و البته در این مرحله از همزیستی، میکوریزا به عنوان مخزن عمل کرده و باعث انتقال بخشی از اسمیلاتهای تولیدی از اندامهای هوایی به اندام های زیرزمینی و ریشه ها می شود.

به گفته چاندراسکاران و همکاران (۲۰۱۹) افزایش رشد و عملکرد گیاهان همیزیست با میکوریزا به دلیل افزایشی است که در توابع رشد از قبیل افزایش هدایت روزنه ای، پتانسیل آب برگ، محتوای نسبی آب برگ، کارایی و راندمان فتوسیستم II و در نهایت سرعت جذب co_2 به وجود می آید.

همچنین با توجه به نتایج بدست آمده از تاثیر مثبت قارچ میکوریزا بر افزایش عملکرد بیولوژیک، چنین استنباط می‌شود که تلقیح میکوریزایی تاثیر بهتری بر جذب آب و مواد غذایی و نیز فتوسنتز گیاه جو داشته و این موضوع موجب افزایش بیوماس بوته و در نهایت عملکرد بیولوژیک گیاه جو گردیده است. این نتایج با یافته‌های ارشدی (۱۳۹۵) و رضوانی و همکاران (۱۳۸۸) که به ترتیب به بررسی اثر میکوریزای آرباسکولار و شِبه میکوریزای داخلی بر گیاه نخود در پاسخ به تنش خشکی و تاثیر سویه‌های مختلف قارچ میکوریزا بر ویژگی‌های ریشه و غلظت فسفر، پتاسیم، روی و آهن یونجه پرداختند مطابقت دارد.

در بررسی اثر میکوریزا بر رشد و عملکرد آفتابگردان، گزارش شده است که همزیستی قارچ های میکوریزایی با آفتابگردان تنها بر عملکرد دانه تاثیر معنی دار داشت و تاثیر آن بر عملکرد بیولوژیکی معنی دار نبود (سلیمان زاده، ۲۰۱۰). او همچنین عنوان کرد استفاده از گونه های میکوریزایی Glomus mossea منجر به افزایش ۳/۶ درصدی وزن هزار دانه و ۸/۸ درصدی تعداد دانه در طبق گیاه میزبان نسبت به شاهد گردید. در مطالعه گلدانی اثر متقابل رقم جو و سطوح میکوریزا و اثر ساده محلول‌پاشی روی بر وزن دانه جو معنی‌دار شد. همچنین اثر متقابل سه گانه رقم جو، سطوح میکوریزا و محلول‌پاشی روی بر وزن کاه و کلش و شاخص برداشت جو معنی‌دار شد (جدول ۴-۷۳).

جدول ۴-۷۳. تجزیه واریانس وزن دانه و وزن کاه و کلش و شاخص برداشت جو در بخش گلدانی.

منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن دانه در گیاه	وزن کاه و کلش در گیاه	شاخص برداشت
رقم	۱	۱۳۴**	۹۳۵**	۵۷۱۶**
میکوریزا	۲	۷۰/۵۰**	۴۴۸**	۴۷/۰۰**
اکسید روی	۳	۹۳/۵۲**	۱۴۰**	۳۵۴**
رقم × میکوریزا	۲	۹/۴۱**	۲۳۸**	۹۸/۳۵**
رقم × اکسید روی	۳	۱/۲۹^{ns}	۳/۲۳*	۲۲/۶۰**
میکوریزا × اکسید روی	۶	۰/۰۱۰^{ns}	۱/۷۱^{ns}	۸/۳۰**
رقم × میکوریزا × اکسید روی	۶	۰/۰۶^{ns}	۲/۸۲**	۱۰/۵۷**
خطا	۴۸	۰/۵۳	۰/۸۳	۲/۵۸
ضریب تغییرات(%)	-	۶/۵۱	۹/۹۸	۴/۲۷

**: معنی‌دار در سطح یک درصد *: معنی‌دار در سطح پنج درصد ns: غیرمعنی‌دار

بدین ترتیب که در هر دو رقم یوسف و جلگه، کاربرد میکوریزا سبب افزایش معنی‌دار وزن دانه جو گردید. احتمالاً قارچ میکوریزا بواسطه بهبود جذب آب و مواد غذایی و افزایش فراهمی عناصر مورد نیاز گیاه و همچنین افزایش جذب آب به وسیله هیف سبب افزایش وزن دانه شده است. با این وجود، بیشترین وزن دانه در رقم جلگه و گونه میکوریزای *G. mossea* (با ۱۴/۳۲ گرم در گیاه) وجود داشت (جدول ۴-۹۵). کاربرد تلقیح میکوریزایی و محلولپاشی روی نسبت به تیمار شاهد باعث افزایش معنی دار ۱۲۸ درصدی وزن دانه در گیاه شد.

جدول ۴-۷۴. اثر متقابل رقم جو و سطوح میکوریزا بر وزن دانه جو در بخش گلدانی.

رقم	میکوریزا	وزن دانه (گرم در گیاه)
یوسف	شاهد	۸/۱۶^{e}
	G. mossea	۱۰/۱۶^{d}
	G. intraradices	۱۱/۳۳^{c}
جلگه	شاهد	۱۰/۳۸^{d}
	G. mossea	۱۴/۳۲^{a}
	G. intraradices	۱۳/۱۴^{b}
	LSD (۰/۰۵)	۰/۶۰

بررسی اختلاف میانگین‌ها، بر اساس آزمون LSD و در سطح ۵ درصد صورت گرفته است.

بطور کلی در سطوح مختلف میکوریزا وزن دانه در رقم جلگه از یوسف بیشتر بود. چنین به نظر می-رسد که رقم جلگه نسبت به رقم یوسف از پتانسیل بیشتری برای تولید دانه های سنگین تر و حجیم تر برخوردار است. بررسی اثر محلول‌پاشی روی بر وزن دانه جو نیز نشان داد که کاربرد عنصر روی باعث افزایش معنی‌دار وزن دانه گردید. لکن در بین تیمارهای مورد بررسی، اکسید روی معمولی بیشترین تاثیر را در افزایش وزن دانه داشت. بطوری که تنها در این تیمار بود که وزن دانه بیش از ۱۴ گرم در گیاه تولید شد و در سایر سطوح محلول پاشی روی، وزن دانه، حتی به ۱۲ گرم در گیاه هم نرسید (جدول ۴-۷۵).

جدول ۴-۷۵. اثر اکسید روی بر وزن دانه جو در بخش گلدانی.

اکسید روی	وزن دانه (گرم در گیاه)
شاهد	۸/۷۰^{d}
نانو اکسید روی (۲‰)	۱۰/۳۲^{c}
اکسید روی معمولی (۲‰)	۱۴/۰۳^{a}
مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۱۱/۹۳^{b}
LSD (۰/۰۵)	۰/۴۹

بررسی اختلاف میانگین‌ها، بر اساس آزمون LSD و در سطح ۵ درصد صورت گرفته است.

بررسی نتایج مقایسات میانگین اثر متقابل سه گانه رقم جو، سطوح میکوریزا و محلول‌پاشی روی بر وزن کاه و کلش و شاخص برداشت جو نشان داد که در هر دو رقم، عدم کاربرد میکوریزا و اکسید روی، سبب کاهش معنی‌دار وزن کاه و کلش و شاخص برداشت گردید. با این وجود، برای صفت وزن کاه و کلش، تاثیر کاربرد میکوریزای *G. interaradices* و اکسید روی در رقم یوسف از تاثیر کاربرد مشابه آنها در رقم جلگه بطور قابل توجهی بیشتر بود. بیشترین وزن کاه و کلش در رقم یوسف و در گونه میکوریزای *G. interaradices* و در کاربرد اکسید روی معمولی مشاهده گردید. به گونه‌ای که تنها در این تیمار بود که این پارامتر به بیش از ۴۴ گرم در گیاه رسید (جدول ۴-۷۶).

بطور کلی وزن دانه رقم جلگه نسبت به رقم یوسف در سطوح مشابه میکوریزا و کاربرد روی، بیشتر بود. در حالی که وزن کاه و کلش رقم یوسف نسبت به رقم جلگه در سطوح مشابه میکوریزا و کاربرد روی، بالاتر بود. با توجه به بیشتر بودن صفت تعداد پنجه در تیمار رقم یوسف و گونه میکوریزای *G. interaradices* برتری این تیمار در افزایش وزن کاه و کلش منطقی بوده و با عنایت به بیشتر بودن صفت وزن هزار دانه در رقم جلگه و گونه میکوریزای *G. mossea* برتری این رقم در افزایش وزن دانه در گیاه مورد انتظار بود همانطور که این رقم افزایش معنی دار ۶۱ درصدی شاخص برداشت را در مقایسه با تیمار شاهد به همراه داشت.

لذا، چنین استنباط می‌شود که رقم جلگه از پتانسیل بالاتری برای تولید دانه برخوردار بوده و در مقابل رقم یوسف با افزایش تعداد پنجه در گیاه، ارتفاع گیاه و میزان کاه و کلش به ترتیب به میزان

۱۰۴٪، ۴۱٪ و ۶۵٪ پتانسیل بیشتری برای افزایش عملکرد بیولوژیک و تولید کاه و کلش دارد. در صفت شاخص برداشت، نتایج مقایسات میانگین نشان داد که بالاترین شاخص‌های برداشت به رقم جلگه و گونه میکوریزای *G. interaradices* و اکسید روی معمولی تعلق داشت. اما در این تیمار بین سطوح مختلف کاربرد عنصر روی، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. بطور کلی در رقم جلگه، در تمامی سطوح میکوریزا و کاربرد روی (به غیر از تیمار شاهد)، شاخص برداشت بیش از ۴۰ درصد حاصل شد. در حالی که در رقم یوسف و در تیمارهای مشابه، شاخص برداشت به ۳۵ درصد هم نرسید (جدول ۴-۷۶).

لذا به نظر می‌رسد که رقم جلگه در سطوح مختلف میکوریزا و کاربرد روی، قابلیت بیشتری در ایجاد شاخص برداشت بالا دارد. با توجه به نتایج این مطالعه، چنین به نظر می‌رسد که کاربرد میکوریزا در مقایسه با شاهد در جذب آب و مواد غذایی برای گیاه جو موفق عمل کرده است که این موضوع، خود افزایش ظرفیت فتوسنتزی گیاه و تخصیص بهتر فراورده‌های فتوسنتزی به سمت دانه‌های جو را به همراه دارد. با توجه به نتایج بدست آمده از تاثیر مثبت قارچ میکوریزا بر افزایش وزن دانه و کاه و کلش و شاخص برداشت جو، چنین تفسیر می‌گردد که تلقیح میکوریزایی تاثیر خوبی بر جذب آب و مواد غذایی و نیز فتوسنتز گیاه جو داشته و این موضوع موجب افزایش بیوماس بوته و وزن دانه و همچنین شاخص برداشت گیاه جو گردیده است.

جدول ۴-۷۶. اثر متقابل رقم جو، سطوح میکوریزا و اکسید روی بر وزن کاه و کلش و شاخص برداشت جو در بخش گلدانی.

رقم	میکوریزا	اکسید روی	وزن کاه و کلش (گرم در گیاه)	شاخص برداشت (درصد)
یوسف	شاهد	شاهد	۲۴/۱۷^{lm}	۲۳/۷۰^{n}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۲۸/۰۷^{hi}	۲۷/۱۸^{klm}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۳۱/۱۷^{fg}	۳۴/۱۱^{h}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۲۹/۱۷^{h}	۲۹/۵۹^{jk}
	G. mossea	شاهد	۳۰/۶۷^{g}	۲۶/۱۸^{lmn}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۳۲/۵۷^{ef}	۲۸/۰۴^{kl}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۳۸/۱۷^{c}	۳۳/۱۰^{hi}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۳۵/۱۷^{d}	۳۰/۸۰^{ij}
	G. intraradices	شاهد	۳۶/۱۷ ^{d}	۲۴/۶۰^{mn}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۳۹/۱۷^{c}	۲۷/۳۱^{kl}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۴۴/۱۷ ^{a}	۳۱/۰۱^{ij}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۴۱/۱۷ ^{b}	۲۹/۱۴^{jk}
جلگه	شاهد	شاهد	۲۰/۳۷^{n}	۳۷/۷۵^{g}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۲۱/۶۷^{n}	۴۲/۸۸^{ef}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۲۵/۹۷^{jk}	۵۱/۱۹^{b}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۲۳/۸۷^{m}	۴۶/۸۹^{cd}
	G. mossea	شاهد	۲۷/۸۷^{hi}	۴۱/۴۷^{f}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۳۰/۶۷^{g}	۴۲/۵۸^{ef}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۳۵/۶۷ ^{d}	۴۹/۲۳^{bc}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۳۳/۶۷^{e}	۴۴/۷۳^{de}
	G. intraradices	شاهد	۲۳/77^{m}	۴۳/۱۷ ^{ef}
		نانو اکسید روی (۲‰)	۲۵/۵۷^{kl}	۴۷/۱۷ ^{cd}
		اکسید روی معمولی (۲‰)	۲۶/۸۷^{ijk}	۶۰/۹۰^{a}
		مخلوط نانو اکسید (۱‰) و اکسید معمولی (۱‰)	۲۷/۳۷^{ij}	۵۰/۶۵^{b}
		LSD (۰/۰۵)	۱/۴۹	۲/۶۴

بررسی اختلاف میانگین‌ها، بر اساس آزمون LSD و در سطح ۵ درصد صورت گرفته است.

. همانطور که مانجارز و همکاران (۲۰۱۰) عنوان نمودند که قارچ میکوریز آربسکولار به دلیل افزایش سطح ریشه ها از طریق نفوذ میسلیوم قارچ در خاک و در نتیجه دسترسی گیاه به حجم بیشتری از خاک سبب جذب بیشتر آب و مواد غذاییبرای میزبان که این امر موجب فتوسنتز بیشتر، بهبود رشد گیاه و در نتیجه باعث افزایش زیست توده گیاه و عملکرد دانه گیاه می گردد. این نتایج با یافته‌های

ارشدی (۱۳۹۵) که به بررسی اثر میکوریزای آرباسکولار و شِبه میکوریزای داخلی بر گیاه نخود در پاسخ به تنش خشکی پرداخته بود، مطابقت دارد. وی نیز افزایش معنی‌دار عملکردهای دانه و بیولوژیک و شاخص برداشت رقم نخود را تحت تیمار میکوریزای *G. mossea* گزارش کرد. در مجموع، نتایج این مطالعه نشان داد که برتری رقم جلگه به دلیل تعداد سنبله زیادتر در واحد سطح و همچنین تعداد بیشتر دانه در هر سنبله بود که عوامل مذکور مهمترین عوامل موثر در بهبود عملکرد این رقم در مقابل یوسف محسوب میشوند. بطور کلی رقم جلگه شاخص برداشت بالاتری نسبت به رقم یوسف داشت و به نظر می رسد که از دیگر دلایل عمده این مسئله ارتفاع کمتر رقم جلگه در مقایسه با رقم یوسف باشد. این نتایج با یافته های بوداکلی و کلیک (۲۰۱۲) مبنی بر اینکه افزایش ارتفاع در ارقام جو سبب کاهش شاخص برداشت و افزایش عملکرد بیولوژیک می شود کاملاً مطابقت دارد. همانطور که در تحقیق دیگری نورخلج و همکاران (۱۳۸۹) نیز عنوان کردند که بزرگترین اثر مستقیم و مثبت بر عملکرد دانه شاخص برداشت و بزرگترین اثر مستقیم و منفی ارتفاع گیاه است.

۴-۵- بررسی مراحل فنولوژی

بررسی مراحل فنولوژی رقم جو نشان داد که مراحل دو برگی و پنجه زنی هر دو رقم تقریباً در یک تاریخ رخ داد. اما مراحل ساقه رفتن و غلاف رفتن در رقم جلگه با سه روز تاخیر انجام شد. در رقم جلگه مرحله ظهور سنبله و گرده افشانی نیز با شش روز تاخیر نسبت به رقم یوسف به وقوع پیوست. همچنین مرحله پر شدن دانه در رقم جلگه نسبت به رقم یوسف، هشت روز بیشتر به طول انجامید. بر این اساس رقم جگله نسبت به یوسف، هشت روز دیرتر به مرحله رسیدگی دانه رسید (جدول ۴-۷۷). با توجه به آنچه گفته شد، ملاحظه می‌گردد که طول دوره رشد برای رقم یوسف، ۸ روز کمتر بوده است. از آنجایی که طول دوره رشد خصوصاً مرحله پر شدن دانه در رقم جلگه بیشتر طول کشیده است، به نظر می‌رسد که این موضوع باعث شده است تا گیاه فرصت بیشتری برای تولید ماده خشک و انتقال آنها به دانه‌ها داشته و دانه‌های درشت‌تری را تولید کند و این امر نهایتاً سبب افزایش عملکرد دانه در رقم جلگه شده است.

موید این ادعا، افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه (جدول ۴-۴۰) و به دنبال آن، افزایش عملکرد دانه و شاخص برداشت (جدول ۴-۷۲) در رقم جلگه نسبت رقم یوسف می‌باشد. ارشدی (۱۳۹۵) طی تحقیق بر اثرات ریزوبیوم و میکوریزا بر ژنوتیپ‌های نخود، در گزارشات خود بیان نمود که ژنوتیپ‌هایی که طول فصل رشد بیشتری داشته و از شرایط محیطی بهتر استفاده می‌کنند، قابلیت تولید عملکردهای بالاتر را دارند. اسلافر (۲۰۰۷) اظهار داشت که زمان وقوع آغازش اندام‌های رویشی و زایشی گندم بستگی زیادی به دما و طول روز دارد، اما رشد و اندازه بعدی این اندام‌ها به میزان فراهمی مواد پرورده وابسته است. بنابراین، داشتن فرصت بیشتر به منظور انتقال مواد پرورده به دانه‌ها در حد مطلوب، می‌تواند در افزایش عملکرد دانه موثر باشد.

جدول ۴-۷۷. مراحل فنولوژی ارقام مورد مطالعه جو در بخش مزرعه.

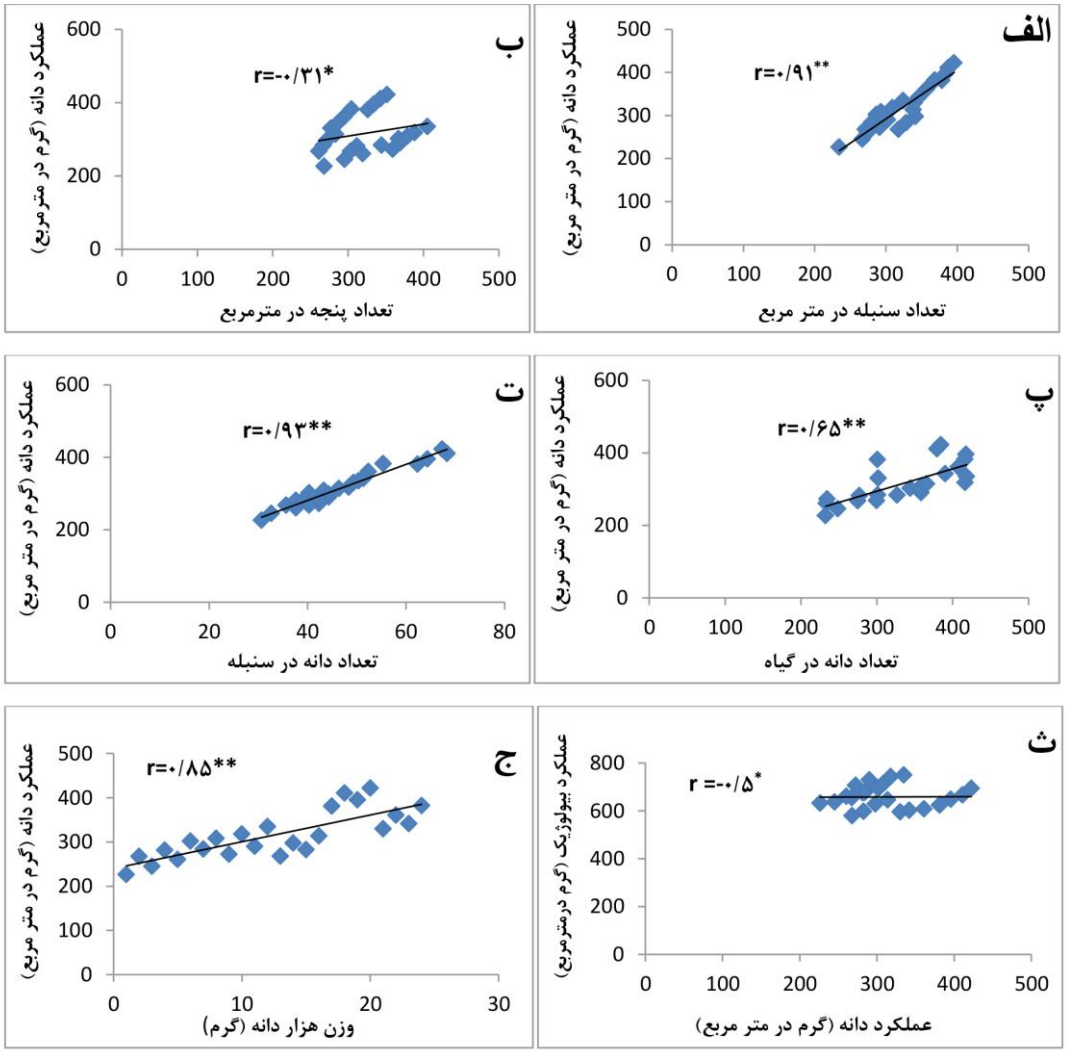
	رقم جلگه		رقم یوسف	
تاریخ وقوع مراحل فنولوژی	**تاریخ**	**تعداد روز**	**تاریخ**	**تعداد روز**
کاشت	۹۴/۸/۱۵	۱	۹۴/۸/۱۵	۱
مرحله دو برگی	۹۴/۸/۲۵	۱۰	۹۴/۸/۲۵	۱۰
مرحله پنجه زنی	۹۴/۹/۲	۱۷	۹۴/۹/۲	۱۷
مرحله ساقه رفتن	۹۴/۱/۱۲	۱۳۰	۹۴/۱/۹	۱۲۷
مرحله غلاف رفتن	۹۵/۱/۲۱	۱۴۹	۹۵/۱/۱۸	۱۴۶
مرحله ظهور سنبله	۹۵/۲/۱	۱۶۰	۹۵/۱/۲۵	۱۵۳
مرحله گرده افشانی	۹۵/۲/۱۳	۱۷۲	۹۵/۲/۷	۱۶۶
مرحله پر شدن دانه (شیری و خمیری)	۹۵/۲/۲۲	۱۸۱	۹۵/۲/۱۴	۱۷۳
مرحله رسیدگی	۹۵/۳/۱	۱۹۱	۹۵/۲/۲۴	۱۸۳

از طرف دیگر زودرسی یک صفت مهم در جو مناطق دیم است که اثر متقابل ژنوتیپ و محیط برای آن اهمیت دارد و بنابراین توسعه ارقام زودرس که تاریخ رسیدگی آنها همزمان با پایان فصل بارندگی است، یک روش اصلاحی موثر در افزایش پایداری و عملکرد جو در مناطق خشک محسوب می شود (نیستانی و همکاران، ۱۳۸۴). لذا به نظر می رسد مورفولوژی و ساختار ریشه رقم یوسف و همینطور کوتاه بودن دوره رشد و زودرسی که پیشتر شرح داده شد عامل برتری این رقم جهت کشت در مناطق

خشک تر و کشت دیم خواهد شد. همانطور که ابرناک و همکاران (۱۳۹۶) نیز در ارزیابی برخی صفات مهم زراعی و فیزیولوژیک ارقام جو در شرایط دیم اظهار داشتند که برای افزایش عملکرد دانه جو در شـرایط دیم، گیاهانی با تعداد بیشتر پنجه بیشتر در واحد سطح و عملکرد بیولوژیک بیشتر، طول دوره زایشی کوتاهتر و ارتفاع بلندتر (که با صفات رقم یوسف در این پژوهش در تطابق است) مناسبتر هستند. همینطور کووئس و همکاران (۲۰۱۶) اعلام نمودند که گیاهانی که تمایل به افزایش رشد طولی و عمیقتر ریشه ها در بستر خاک دارند و نسبت ریشه به ساقه بیشتری نشان می دهند مناسب کشت در مناطق خشکتر هستند به دلیل اینکه پتانسیل بیشتری جهت جذب آب و عناصر غذایی از لایه های عمیق تر خاک را دارند.

۴-۶- همبستگی بین عملکرد دانه و صفات مرتبط با عملکرد

در این مطالعه، همبستگی بین عملکرد دانه با صفات تعداد سنبله در مترمربع، تعداد دانه در گیاه، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه مثبت و معنی‌دار شد (شکل‌های ۴-۱ الف، پ، ت و ج). اما بین عملکرد دانه با صفات عملکرد بیولوژیک و تعداد پنجه در مترمربع همبستگی معنی‌داری وجود نداشت (شکل‌های ۴-۱ ب و ث). به نظر می‌رسد که افزایش صفات تعداد سنبله در مترمربع، تعداد دانه در سنبله، تعداد دانه در گیاه و وزن هزار دانه می‌تواند در افزایش عملکرد دانه تاثیرگذار باشد. به عبارت دیگر، با افزایش تعداد سنبله در واحد سطح، تعداد دانه در واحد سطح نیز افزایش پیدا کرده و به دنبال آن عملکرد دانه نیز افزایش می‌یابد.



شکل ۴-۱. همبستگی عملکرد دانه با صفات مرتبط با عملکرد.

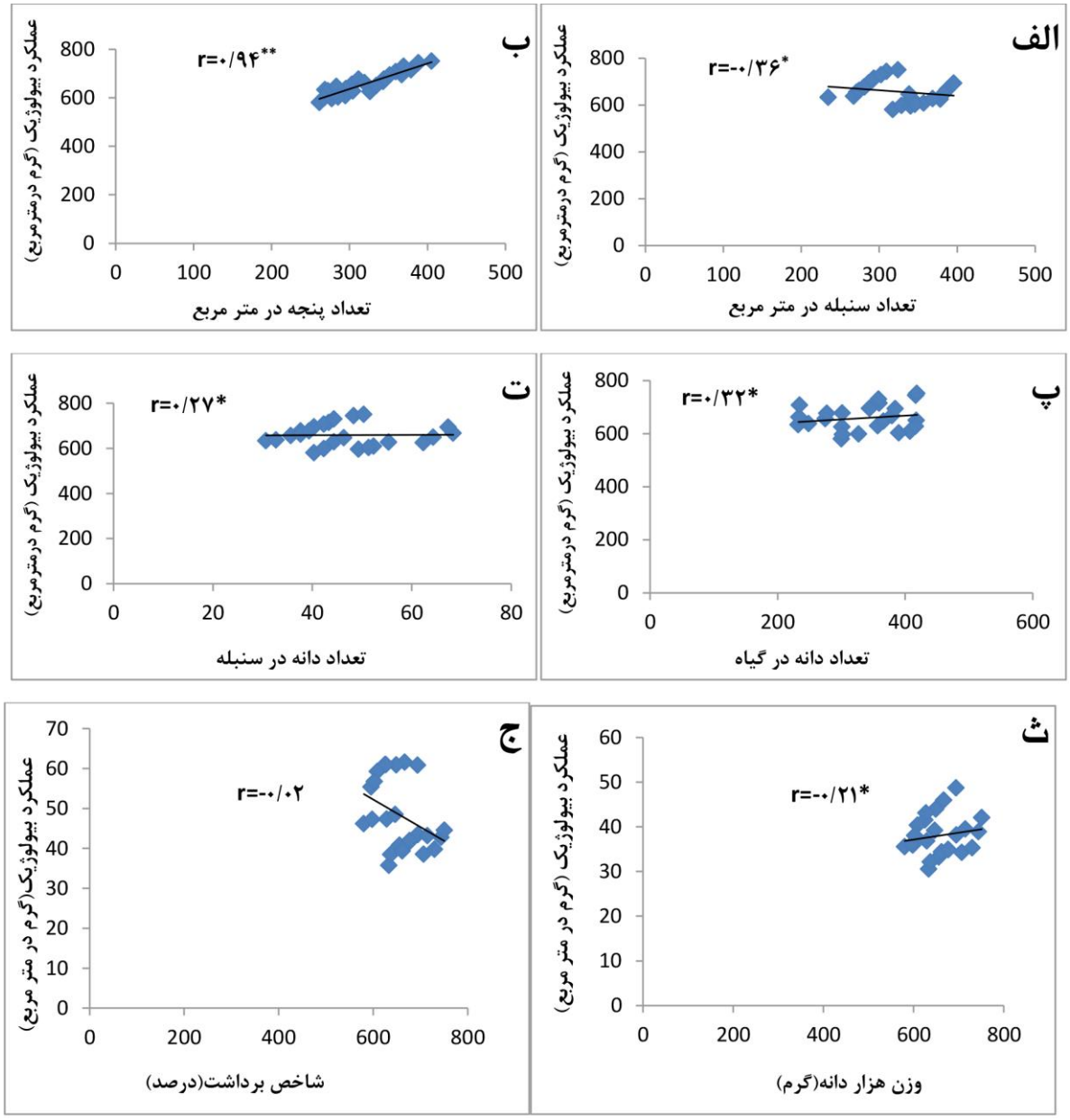
نتایج این مطالعه با یافته‌های نورخلج و همکاران (۱۳۸۹) مطابقت دارد. آنها نیز به وجود همبستگی مثبت بین برخی از اجزای عملکرد با عملکرد دانه گندم اذعان داشته و بیان نمودند که با افزایش تعداد سنبله در واحد سطح، تعداد دانه در واحد سطح نیز افزایش پیدا کرده و به دنبال آن عملکرد دانه هم افزایش می‌یابد. علاوه بر این، در پژوهش حاضر، در بین اجزای عملکرد، بالاترین همبستگی با عملکرد دانه r=۰/۹۳، متعلق به تعداد دانه در سنبله بود. لذا به نظر می‌رسد که تغییرات این جزء از عملکرد می‌تواند تاثیر بسزایی در افزایش یا کاهش عملکرد دانه جو داشته باشد. دکویاکو و آکایا (۱۹۹۹) نیز در بررسی ضرایب همبستگی عملکرد و اجزای عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم، همبستگی مثبت و معنی‌داری را بین عملکرد دانه با صفات تعداد سنبله در مترمربع، تعداد دانه در سنبله و وزن

دانه گزارش کردند. بطور کلی عملکرد دانه در جو تحت اثر مستقیم و غیر مستقیم صفات بسیار زیادی است که شناسایی ارتباط آنها با عملکرد دانه به عنوان معیار گزینش در شناسایی و گزینش ژنوتیپ های برتر ضروری است. بررسی روابط بین صفات در ارقام مختلف جزء مهمی از برنامه های اصلاحی است زیرا اطلاعاتی در مورد تنوع ژنتیکی محصولات زراعی به منظور ایجاد جمعیتهای اصلاحی مناسب در دسترس قرار می دهد. همانطور که بوداکلی و کلیک (۲۰۱۲) بیان نمودند که اطلاع از چگونگی ارتباط بین صفات مختلف در پیشرفت برنامه های به نژادی برای افزایش عملکرد دانه اهمیت زیادی دارد. زیرا انتخاب یک طرفه برای صفات زراعی بدون در نظر گرفتن صفات دیگر نتایج نا مطلوبی را باعث خواهد شد. لذا در برنامه های اصلاحی می بایستی به همبستگی بین صفات توجه شود.

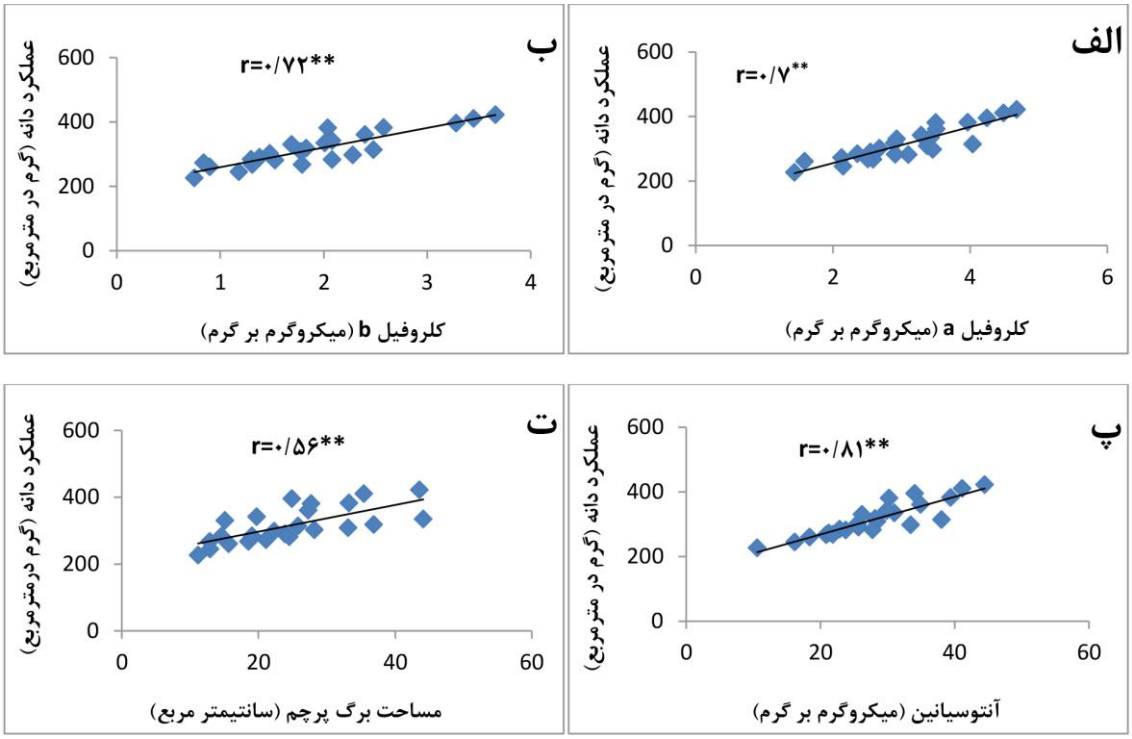
علاوه بر این در تحقیق حاضر، در بین صفات مرتبط با عملکرد، تنها تعداد پنجه در مترمربع بود که همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد بیولوژیک از خود نشان داد و همبستگی سایر صفات با عملکرد بیولوژیک، معنی‌دار نشد (شکل‌های ۴-۲). از آنجایی که همبستگی تعداد پنجه در مترمربع با عملکرد بیولوژیک مثبت و معنی‌دار و با عملکرد دانه غیر معنی‌دار گردید و همچنین با توجه به اینکه همبستگی عملکرد بیولوژیک با عملکرد دانه غیر معنی‌دار شد، لذا به نظر می‌رسد که این جزء از عملکرد تنها می‌تواند در افزایش بیوماس گیاه جو و کاربرد ماده خشک آن به عنوان علوفه تاثیرگذار باشد. پیشتر نیز نتایج تجزیه علیت احمدی و همکاران (۱۳۸۳) بر ارقام گندم دیم مشخص کرد که عملکرد بیولوژیک بوته های گندم بر شاخص برداشت اثر مستقیم منفی داشت در حالیکه رابطه عملکرد دانه با شاخص برداشت به صورت مستقیم مثبت گزارش شد.

علاوه بر همبستگی بین عملکرد و صفات مرتبط، بررسی همبستگی بین عملکرد دانه با صفات رنگیزه-های برگ و مساحت برگ پرچم رابطه مثبت و معنی‌داری را نشان داد. بطوری که با افزایش رنگیزه-های کلروفیل a، کلروفیل b، آنتوسیانین و مساحت برگ پرچم، عملکرد دانه نیز افزایش یافت (شکل-های ۴-۳ الف، ب، پ و ت). به نظر می‌رسد که افزایش رنگیزه‌های کلروفیل a، کلروفیل b و

آنتوسیانین در ارتقای میزان به دام انداختن انرژی نورانی خورشید و افزایش توان فتوسنتزی گیاه موثر بوده و همین امر سبب وجود یک رابطه رگرسیونی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد دانه با صفات رنگیزه‌های برگ شده است. همچنین از آنجایی که فتوسنتز برگ پرچم تاثیر بسزایی در شکل‌گیری سنبله و پر شدن دانه‌ها دارد (امام، ۱۳۸۶) لذا توسعه مساحت آن می‌تواند در افزایش عملکرد دانه جو موثر باشد. در همین راستا، مجتبایی زمانی و همکاران (۱۳۸۵) در بررسی روابط همبستگی بین عملکرد دانه با اجزای عملکرد، صفات فیزیولوژیک و دوره پر شدن دانه در برنج، وجود یک همبستگی مثبت و معنی‌دار را بین عملکرد دانه با سطح برگ پرچم گزارش کردند. آنها بیان نمودند که در غلات، سه برگ بالایی و خصوصاً برگ پرچم، بیشترین سهم را تولید و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها دارند و لذا هرچه سطح برگ آنها بیشتر باشد، جذب نور و به دنبال آن میزان فتوسنتز برگ افزایش یافته و در نهایت تاثیر مثبتی در افزایش عملکرد دانه می‌گذارد. البته آنها عدم وجود یک رابطه معنی‌دار را بین عملکرد دانه با میزان کلروفیل برگ گزارش کردند.



شکل ۴-۲. همبستگی عملکرد بیولوژیک با صفات مرتبط با عملکرد.



شکل ۴-۳. همبستگی عملکرد دانه با رنگیزه‌های برگ و مساحت برگ پرچم.

۴-۷- نتیجه‌گیری

در این مطالعه، در اکثر صفات فیزیولوژیک، مانند میزان کلروفیل‌های a، b و کل، شاخص کلروفیل، میزان آنتوسیانین، میزان عناصر بافت‌های گیاهی و میزان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و همچنین در اکثر اجزای عملکرد (خصوصاً وزن هزار دانه) و عملکرد دانه، رقم جلگه نسبت به یوسف برتری داشت. در مقابل در صفات ارتفاع بوته، تعداد پنجه در بوته و عملکرد بیولوژیک، این رقم یوسف بود که نسبت به رقم جلگه برتری داشت. از این رو، چنین استنباط می‌شود که رقم جلگه از پتانسیل بالاتری برای تولید عملکرد دانه برخوردار بوده و رقم یوسف پتانسیل بیشتری برای تولید عملکرد بیولوژیک دارد.

تقریباً در تمامی صفات مورد بررسی در این تحقیق و در هر دو رقم یوسف و جلگه، کاربرد میکوریزا سبب بهبود صفات مورد مطالعه گردید. این موضوع احتمالاً ناشی از بهبود جذب آب و مواد غذایی توسط میکوریزا و افزایش فراهمی عناصر مورد نیاز گیاه بوسیله این قارچ بوده است. با این وجود، به

نظر می‌رسد که گونه میکوریزای *G. mossea* در رقم جلگه و گونه میکوریزای *G. interaradices* در رقم یوسف اثربخشی بهتری بر صفات مورد مطالعه داشتند.

همچنین تقریباً در تمامی صفات مورد بررسی در این تحقیق و در هر دو رقم یوسف و جلگه، محلول-پاشی روی سبب بهبود صفات مورد مطالعه گردید. لکن در برخی از صفات مورد مطالعه در بخش مزرعه مانند میزان مخلوط نانو اکسید روی و اکسید روی معمولی اثربخشی بهتری داشت و در مطالعه گلدانی نانو اکسید روی به تنهایی موفق عمل کرد و اثر بخشی بیشتری نشان داد. تیمارهای نانوذرات اکسید روی، در مزرعه و گلدان اکثر پارامترهای اندازه گیری شده را نسبت به تیمارهای اکسید روی معمولی بهبود بخشیدند. لذا به نظر می‌رسد که محلول‌پاشی روی به صورت نانو و همچنین به صورت مخلوط نانو اکسید روی و اکسید روی معمولی، اطمینان بیشتری را از تاثیرگذاری عنصر روی ایجاد می‌کند. این برتری احتمالا به ویژگیهای کارامد و برجسته نانو ذرات اکسید روی به واسطه داشتن ابعاد بسیار ریز (۱-۱۰۰ نانومتر) و سطح ویژه بالا بر می گردد. این ذرات با جذب و انتقال سریع و کارامد از منافذ دیواره سلولی و روزنه ها واکنش پذیری و تحرک بالایی در گیاه داشته و نسبت به ذرات معمولی موفق تر عمل می کنند چرا که تبدیل مواد به مقیـاس نانو، ویژگیهای فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیـک و فعالیـت هـا ی کاتالیزوری آنها را تغییر می دهد.

بطور کلی اکسید روی نانو و معمولی و قارچ مایکوریزا تأثیر مثبتی بر عملکرد گیاه جو داشت. نتایج نشان داد که کاربرد محلولپاشی اکسید روی توانست باعث رشد کمی با افزایش عملکرد و کیفی با افزایش محوای روی بذر در هر دو رقم زراعی جو شود. بر این اساس به نظر می رسد با استفاده از محلولپاشی برگی روی بتوان عملکرد کمی و کیفی جو تولیدی در خاکهای زراعی فقیر از روی را بهبود بخشید همانطور که این روش به زراعی (محلولپاشی) این پتانسیل را دارد که به عنوان راهکار سریع و کارامد جهت رفع مشکلات تغذیه ای ناشی از کمبود روی و بهبود شاخص های امنیت غذایی مورد استفاده قرار گیرد. بر اساس نتایج حاصل، صفات تعداد پنجه بارور در واحد سطح، عملکرد بیولوژیک، زودرسی و پابلندی از جمله صفات مهم اثرگذار بر عملکرد دانه جو در شرایط دیم هستند و

اصلاح در جهت افزایش این صفات قادر است عملکرد بوته را به نحو مطلوبی افزایش دهد. معمولا در دیمزارها نبود بارندگی و درجه حرارت بالا در آخر دوره رشد، باعث افت عملکرد گیاه می شود و به نظر می رسد گیاهانی که از رشد رویشی خوبی برخوردار بوده اند و زودرسی باعث صدمه کمتر آنها در شرایط خشکی آخر فصل شده، عملکرد دانه بیشتری نیز داشته اند. این صفات را میتوان مهمترین خصوصیات رقم جو یوسف در افزایش عملکرد در شرایط دیم محسوب نمود که با تکیه بر آن بتوان گزینش مناسبی در جهت بهبود عملکرد دانه این رقم انجام داد.

۴-۸- پیشنهادات

۱- پیشنهاد می شود درصد کلونیزاسیون ریشه مشخص و اثر متقابل میکوریزا و فسفر بر کلونیزاسیون ریشه بررسی شود.

۲- پیشنهاد می‌شود که به منظور ارزیابی دقیق‌تر برهمکنش میکوریزا با سایر موجودات خاکزی، اثرات متقابل میکوریزا و جمعیت میکروبی خاک نیز مورد بررسی قرار گیرد.

۳- پیشنهاد می شود که نمونه برداری خاک و اندازه گیری جمعیت و بیومس میکروبی خاک زراعی انجام گیرد.

۴- پیشنهاد می شود که میزان دوز مصرفی اکسید روی نانو و معمولی در محلولپاشی تغییر داده شود و صفات مورفوفیزیولوژیک ارقام جو با افزودن دوز مصرفی اکسید روی بررسی شود.

۵- پیشنهاد می شود که با توجه به اثر مستقیم محتوای روی بذر بر درصد و سرعت جوانه زنی بذور، تست جوانه زنی بذور حاصله از این آزمایش ترتیب داده شود و صفات مرتبط با جوانه زنی هر دو رقم بررسی و مقایسه شود.

منابع و مآخذ

۱. ابرناک س. زارعی ل. و چقامیرزا ک، (۱۳۹۶)" ارزیابی برخی صفات مهم زراعی و فیزیولوژیک در ارقام جو در شرایط دیم" **فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی- دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز،** سال نهم، شماره سی و ششم.

۲. احمدی ع، (۱۳۹۲)" بررسی روابط عملکرد دانه ژنوتیپ های گندم و اجزای آن از طریق تجزیه علیت". **اولین همایش ملی الکترونیکی کشاورزی پایدار، مؤسسه آموزش عالی مهر تهران،** ۱۰ بهمن ۱۳۹۲.

۳. احمدی ع. احسان زاده پ. و جباری ف، (۱۳۸۳) مقدمه‌ای بر فیزیولوژی گیاهی. جلد اول، انتشارات دانشگاه تهران.

۴. اردکانی م.ر. رضوانی م. زعفرانیان ف. و رجالی ف، (۱۳۹۲) "استفاده از p^{32} برای تعیین سویه مؤثر میکوریزای همزیست با جو و یونجه" **مجله مدیریت خاک و تولید پایدار،** جلد ،۳ شماره ۱: ص ۲۳۱-۲۴۲.

۵. ارشدی م. ج، (۱۳۹۵) ، پایان نامه دکتری: "بررسی اثر تلقیح بذور نخود با میکوریزای آرباسکولار و شبه میکوریزای داخلی در پاسخ به تنش خشکی" دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

۶. اسدی رحمانی ه. اصغرزاده ا. خاوازی ک. رجالی ف. و ثوابقی غ، (۱۳۸۶). حاصلخیزی بیولوژی خاک. انتشارات جهاد دانشگاهی تهران.

۷. امام ی، (۱۳۸۶) زراعت غلات. انتشارات دانشگاه شیراز.

۸. تاج‌بخش م. و پور میرزا ع. ا، (۱۳۸۲) زراعت غلات. انتشارات جهاد دانشگاهی.

۹. ثمن م. سپهری ع. و احمدوند گ، (۱۳۹۰) "تجمع ماده خشک و تولید متابولیت های سازگار در شش ژنوتیپ نخود تحت سطوح مختلف رطوبت خاک" **مجله زیست شناسی ایران،** شماره ۲۴: ص ۳۷۳-۳۸۹.

۱۰. جعفرنژاد ا. (۱۳۸۸) "تعیین مناسب‌ترین تاریخ کاشت برای رقم گندم نان (*Triticum aestivum* L.) دارای تیپ‌های رشدی متفاوت در نیشابور" **مجله به زراعی نهال و بذر،** جلد ۲۵، شماره ۲: ص ۱۱۷-۱۳۵.

۱۱. جمشیدی ا. قلاوند ا. صالحی ا. زارع م. ج. جمشیدی ع. ر، (۱۳۸۸)" اثر میکوریزا آربوسکولار بر عملکرد، اجزای عملکرد و صفات گیاهی آفتابگردان در شرایط تنش خشکی "**مجله علوم زراعی ایران،** جلد ۱۱، شماره ۱: ص ۱۳۶-۱۵۰.

۱۲. حسن‌زاده قوت تپه ع. قلاوند ا. احمدی م. ر. و میرنیا خ، (۱۳۸۰) "بررسی تاثیر کودهای شیمیایی، آلی و تلفیقی روی خصوصیات کمی و کیفی رقم آفتابگردان در استان آذربایجان غربی" مجموعه مجلات علوم کشاورزی دانشگاه گرگان: ص ۸۵-۱۰۴.

۱۳. حسن پور ج. و زند ب، (۱۳۹۳) "نقش تلقیح بذر گندم با کودهای زیستی در کاهش خسارت ناشی از تنش خشکی" **مجله علوم و تحقیقات بذر ایران**، جلد۱، شماره ۲: ص ۱-۱۲.

۱۴. حقیقیان رودسری م. روستایی علیمهر م. طاهری تاری م، (۱۳۸۹) "اثرات آنزیم فیتاز (ناتافوس) و مخمر ساکارومایسس سرویسیه (بایوساف) بر عملکرد، کلسیم و فسفر خون جوجه های گوشتی" **مجله علوم دامی ایران**، جلد۴۱، شماره۱: ص ۴۳-۵۱.

۱۵. خورمیزی ع. ب. ابریشم‌چی پ. گنجعلی ع. و پارسا م، (۱۳۹۰) " تاثیر عصاره ورمی‌کمپوست بر رشد اولیه نشاء لوبیای قرمز رقم درخشان (*phaseolus vulgaris* L.) در شرایط تنش شوری" **نشریه پژوهش-های حبوبات ایران**، جلد ۲، شماره ۲: ص ۱۲۱-۱۳۲.

۱۶. رضوانی م. اردکانی م. ر. رجالی ف. نورمحمدی ق. زعفریان ف. و تیموری س، (۱۳۸۸) "تاثیر سویه‌های مختلف قارچ میکوریزا روی ویژگی‌های ریشه و غلظت فسفر، پتاسیم، روی و آهن یونجه (*Medicagi sativa* L.)" **مجله دانش نوین کشاورزی**، جلد ۵، شماره ۱۵: ص ۵۵-۶۷.

۱۷. رضوی س. ع، (۱۳۹۵) رقم جدید جو جلگه جایگزین رقم رایج در مناطق سرد شهرستان تربت حیدریه، سومین همایش ملی چشم انداز توسعه ی منطقه ی تربت حیدریه در افق ۱۴۰۴، تربت حیدریه، دانشگاه تربت حیدریه.

۱۸. زند ب. و لعلی نیا ع ا، (۱۳۸۹) زراعت غلات. انتشارات دانشگاه پیام نور.

۱۹. زند ب. سروشزاده ع. قناتی ف. و مرادی ف، (۱۳۹۳) "تأثیر محلولپاشی عنصر روی و هورمون اکسین بر تغییرات هورمونی و رشد گیاه ذرت" **زیست شناسی گیاهی ایران**، جلد ۶، شماره ۲۲: ص۶۳-۷۶.

۲۰. سیاوشی ک. سلیمانی ر. و ملکوتی م. ج، (۱۳۸۳) "تاثیر زمان های مختلف مصرف سولفات روی و تاریخ کاشت بر عملکرد و درصد پروتئین نخود دیم" **مجله علوم خاک وآب**، جلد ۱۸، شماره ۱:ص ۳۷-۴۳.

۲۱. شریفی م. کریمی ف. و خانپور اردستانی ن، (۱۳۸۹) میکوریزا (فیزیولوژی و بیوتکنولوژی). انتشارات خانه زیست‌شناسی.

۲۲. صالحی جوزانی غ. اکبری والا س. ثابت جهرمی م. و مرسلی ح، (۱۳۹۰) "جداسازی و شناسایی قارچهای میکوریزا آربوسکولار غالب در ریزوسفر گندم، جو و علفهای هرز برخی مناطق زراعی شور ایران" **مجله علمی پژوهشی زیست فناوری گیاهان زراعی**، شماره ۱: ص ۶۱-۷۵.

۲۳. قبولی م. شهریاری ف. ا. سپهری م. مرعشی ح. و حسینی سالکده ق، (۱۳۹۰) "تأثیر قارچ اندوفیت *Piriformospora indica* بر برخی خصوصیات جو (*Hordeum vulgar* L.) در شرایط تنش خشکی" **نشریه بوم شناسی کشاورزی**، جلد ۳، شماره ۳: ص ۳۲۸- ۳۳۶.

۲۴. عبدالرحمانی ب، (۱۳۹۵) "تعیین تراکم مناسب رقم گندم دیم در مناطق سردسیر" **نشریه تحقیقات کاربردی اکوفیزیولوژی گیاهی**، جلد ۳، شماره ۱: ص ۱۵۵-۱۷۴.

۲۵. عبدلی ع. و اسفندیاری ع .ا، (۱۳۹۳)" تاثیر محلولپاشی روی بر عملکرد کمی و کیفی و خصوصیات رشدی گیاهچه گندم نان (رقم کوهدشت)" **نشریه زراعت دیم ایران**، جلد ۲، شماره ۱: ص ۷۷-۹۰.

۲۶. علیمددی ا. جهانسوز م.ر. بشارتی ح. و توکل افشاری ر، (۱۳۸۹) "ارزیابی تأثیر ریزجانداران حل کننده فسفات، میکوریزا و پرایمینگ بذر بر گره‌زایی در گیاه نخود" **مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)**، جلد ۲۴، شماره ۱: ص ۴۳-۵۱.

۲۷. کافی م. باقری ع. نباتی ج. زارع مهرجردی م. و معصومی ع، (۱۳۸۹) "بررسی تاثیر تنش شوری بر برخی متغیرهای فیزیولوژیک ۱۱ ژنوتیپ نخود در محیط هیدروپونیک" **مجله علوم و فنون کشتهای گلخانه‌ای**. سال اول، شماره ۴: ص ۵۵-۶۹.

۲۸. کافی م. برزوئی ا. صالحی م. کمندی م. معصومی ع. و نباتی ج، (۱۳۸۸) فیزیولوژی تنش‌های محیطی در گیاهان. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

۲۹. کوچکی ع. زند ا. بنایان اول م. رضوانی مقدم پ. مهدوی دامغانی ع. جامی الاحمدی م. و وصال س، (۱۳۸۴) اکوفیزیولوژی گیاهی. جلد ۲، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

۳۰. کوچکی ع. نصیری محلاتی م. مندنی، ف. و خرم‌دل س، (۱۳۹۰) نگرشی نوین بر جنبه‌های بوم شناختی فیزیولوژیک گیاهان زراعی. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

۳۱. کهنسال م. و فیروز زارع ع، (۱۳۸۷) "تعیین الگوی بهینه کشت همسو با کشاورزی پایدار با استفاده از برنامه ریزی فازیکسری با اهداف چندگانه" مطالعه موردی استان خراسان شمالی، **فصلنامه اقتصاد کشاورزی و توسعه**، شماره ۶۲: ص ۱-۳۳.

۳۲. گنجعلی ع، (۱۳۸۴) رساله دکتری زراعت: "بررسی جنبه‌های فیزیولوژیک مقاومت به خشکی در ژنوتیپ های نخود" دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

۳۳. مبصر ح. ر. مهربان ا. کوهکن ش. و مرادقلی ا، (۱۳۹۳) "بررسی اثر مایکوریزا (*Glomus mossea*) بر صفت های زراعی و درصد پروتئین چهار رقم ذرت دانه ای در منطقه سیستان" **نشریه زراعت**، شماره ۱۰۳: ص ۱۰۵-۱۱۴.

۳۴. مجتبایی زمانی م. اصفهانی م. هنرنژاد ر. و اله قلی پور م، (۱۳۸۵) "بررسی روابط همبستگی سرعت و پر شدن دانه با اجزای عملکرد و سایر صفات فیزیولوژیک در رقم برنج" **مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی**، جلد ۱۰، شماره ۴: ص ۲۱۳-۲۱۴.

۳۵. مرادی تلاوت م. ر. روشن ف. و سیادت ع، (۱۳۹۴) "اثر محلولپاشی سولفات روی بر محتوای عناصر معدنی، عملکرد دانه و روغن دو رقم گلرنگ" **مجله علوم زراعی ایران**، جلد ۱۷، شماره ۲: ص ۱۵۳-۱۵۴.

۳۶. مقصودلو ی. کشیری م. و آقاجانی ن، (۱۳۹۱) "بررسی اثر فرایند مالت سازی بر خواص فیزیکوشیمیایی جو (رقم صحرا) و امکان استفاده از جو مالت نشده به عنوان افزودنی مکمل" **فصلنامه علوم و صنایع غذایی**، جلد ۳۶، شماره ۹: ص ۹۷-۱۰۶.

۳۷. ملکوتی م. و تهرانی م، (۱۳۷۸) نقش ریزمغذی ها در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی در عناصر خرد با تاثیر کلان. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس.

۳۸. نادیان ح. (۱۳۷۷) "نقش میکوریزا در کشاورزی پایدار" **پنجمین کنگره زراعت و اصلاح نباتات ایران**، کرج موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، ص ۳-۴.

۳۹. نامور پ، (۱۳۹۳) پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "بررسی اثر قارچ پیریفورموسپورا ایندیکا بر جذب نیتروژن و فسفر گیاه ذرت" دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

۴۰. نورخلج ک. خدارحمی م. امینی ا. اسماعیل‌زاده م. و صادق قول مقدم ر، (۱۳۸۹) "بررسی روابط همبستگی و علّی صفات مورفولوژیک در لاین‌های سینتتیک گندم" مجله زارعت و اصلاح نباتات، جلد ۶، شماره ۳: ص ۷-۱۷.

۴۱. نورزاد س. احمدیان ا. و مقدم م، (۱۳۹۴) "بررسی میزان پرولین، شاخص کلروفیل، کربوهیدرات و مقدار جذب عناصر غذایی در گیاه دارویی گشنیز تحت تاثیر تنش خشکی و تیمار کودی" نشریه پژوهش‌های زراعی ایران، جلد ۱۳، شماره ۱: ص ۱۳۱-۱۳۹.

۴۲. نیستانی ا. محمودی ع.ا. و رحیم نیا ف، (۱۳۸۴)" تجزیه علیت و برآورد وراثتپذیری عملکرد و اجزای آن در ارقام مختلف جو" مجله کشاورزی، جلد۷ شماره۲: ص ۵۵-۶۶.

43. Al-Ghamdi AAM. (2016) “Phenotypic studies on Wheat and Barley after colonization with mycorrhiza symbiosis Fungi” **Global Advanced Research Journal of Agricultural Science**, **5, 9,** pp **354-360.**
44. Alkan N. Gadkar V. Yarden O. and Yoram Kapulnik Y. (2006) ”Analysis of Quantitative Interactions between Two Species of Arbuscular Mycorrhizal Fungi, Glomus mosseae and G. intraradices, by Real-Time PCR” **Environmental Microbiology, 72, 6**, pp **4192–4199.**
45. Allen M.F. (1991) “The Ecology of Mycorrhiza” Cambridge University Press, New York.
46. Akiyama K. and Hayashi H. (2006) “Strigolactones: Chemical signals for fungal symbionts and parasitic weeds in plant roots” **Annals of Botany**, **97**, pp **925–931**.
47. Alloway B. J. (2004) “Zinc in soils and crop nutrition” **International Zinc Association**, publications, Brucsels, Belgium, p **135**.
48. Alscher R.G. Erturk N. and Heath L.S. (2002) “Role of superoxide dismutases (SOD_s) in controlling oxidative stress in plant” **Journal of Experimental Botany**, **53**, pp **1331-1341**.
49. Auge R.M. (2000) “Stomatal Behavior of Arbuscular Mycorrhizal Plants. In: Arbascular Mycorrhizas: Physiology and Function” Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands. pp **201-237**.
50. Banks L.W. (2004) “Effect of timing of foliar zinc fertilizer on yield component of soybeans” **Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry**, **22**, **116**, pp **226- 231.**
51. Baslam M.. Garmendia I. and Goicoechea N. (2011)” Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) improved growth and nutritional quality of greenhouse grown lettuce” **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, **59**, pp **5504–5515**.
52. Begum M.C. Islam M. Sarkar M.R. Azad M.A.S. Huda A.N. and Kabir A.H. (2016) “Auxin signaling is closely associated with Zn-efficiency in rice (Oryza sativa L.)” **Journal of Plant Interaction**, **11**, pp **124-9**.
53. Begum, N. Qin C. Ahanger M.A. Raza S. Khan M.I. Ahmed N. Ashraf M. and Zhang L. (2019) “Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Plant Growth Regulation: Implications in Abiotic Stress Tolerance” **Frontiers in plant science**, **10**, p.1068.

54. Benhamou N. Fortin J. A. Hamel C. St-Arnaud M. and Shatilla A. (1994) "Resistance responsese of mycorrhizal Ri T-DNA transformed carrot roots to infection by *Fusarium oxysporum* F. sp" **Chrysanthemi. Phytopathology**, **84,** pp **958-968**.
55. Bibikova T. and Gilroy S. (2003) "Root hair development" **Journal of Plant Growth Regulation**, **21,** pp **383–415**.
56. Black R.E. Lindsay H.A. Bhutta Z.A. Caulfield L.E. De Onnis M. Ezzati M. Mathers C. and Rivera J. (2008) "Maternal and child undernutrition: global and regional exposures and health consequences" **The lanset**, **371**, pp **243-260.**
57. Bogdanovic D. Ubavic M. and Cuvardic M. (1999) "Effect of phosphorusfertilization on Zn and Cd contents in soil and corn plants*"* **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, **54, 1**, pp **49−56**.
58. Bohnert H. J. and Jensen R.G. (1996) "Strategies for engineering water stress tolerance in plants" **Trends in Biotechnology**, **14**, pp **89-97**.
59. Bonfante P, and Genre A. (2010) "Mechanisms underlying beneficial plant– fungus interactions in mycorrhizal symbiosis" **Nature Communications 1,** p.48.
60. Boonyanitipong P. Kositsup B. Kumar P. Baruah S. and Dutta J. (2011) "Toxicity of ZnO and TiO2 nanoparticles on germinating rice seed Oryza sativa L" **International Journal Biosciences**, **1**, pp **282-285**.
61. Borrill P. Fahy B. Smith A.M. and Uauy C. (2015)" Wheat Grain Filling Is Limited by Grain Filling Capacity rather than the Duration of Flag Leaf Photosynthesis: A Case Study Using NAM RNAi Plants" **PLoS ONE 10**,8, e0134947.
62. Bothmer V. R. Jacobsen N. Baden C. Jrrgensen R. B. and Linde Laursen I. (1995) "An ecogeographical study of the genus Hordeum" **International Board for Plant Genetic Resources** (IBPGR), p **129**.
63. Bowles T.M. Barrios-Masias F.H. Carlisle E.A. Cavagnaro T.R. and Jackson L.E. (2016) " Effects of arbuscular mycorrhizae on tomato yield, nutrient uptake, water relations, and soil carbon dynamics under deficit irrigation in field conditions" **Science of the Total Environment, 566**, pp **1223–1234**.
64. Budakli Carpici E. and Celik N. (2012)" Correlation and path coefficient analyses of grain yield and yield components in two-rowed of Barley (Hordeum vulgare convar. distichon) Varieties" Journal of Notulae Scientia Biologicae, 4,2 , pp128-131.
65. Cakmak I. Pfeiffer W.H. and McClafferty B. (2010) "Biofortification of durum wheat with zinc and iron" **Cereal Chemistry**, **87**, **1**, pp 10-20.
66. Cakmak I. (2009) "Enrichment of fertilizers with zinc: An excellent investment forhumanity and crop production in India*"* **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology, 23,** pp **281-298.**

67. Cakmak I. Derici R. Torun B. Tolay I. Braun H. J .and Schlegel R. (1997) “Role of rye chromosome in improvement of zinc efficiency in wheat and triticale” **Plant and Soil**, **196,** pp **249-253**.
68. Cakmak I. Kalayci M. Ekiz H. Braun H. J. and Yilmaz A. (1999) “Zinc deficiency as an actual problem in plant and human nutrition in Turkey: a NATO – Science for Stability Project” **Field Crops**, **60**, pp **175–188.**
69. Cakmak I. and Horst W.J. (1991) "Effect of aluminium on lipid peroxidation, superoxide dismuatse, catalase, and peroxidase activities in root tips of soybean (*Glycine max*)" **Plant Physiology, 83,** pp **463-468**.
70. Cakmak I. Marschner H. and Bangerth F. (1989) “Effect of zinc nutritional status on growth, protein metabolism and levels of indole-3-acetic acid and other phytohormones in bean (*Phaseolus vulgaris* L.)” **Journal of Experimental Botany**, **40**, pp **405-412**.
71. Cakmak O. Ozturk L. and Karanlik S. (2001) “Tolerance of 65 durum wheat genotypes to zinc deficiency in a calcareous soil” **Journal of Plant Nutrition**, **24**,**11**, pp **1831−1847**.
72. Cakmak I. Yilmaz A. Ekiz H. Erenoglu B. and Braun H. J. (1996) “Zinc deficiency as a critical nutritional problem in wheat production in centeralanatolia” **Plant and Soil**, **180**, pp **165-172.**
73. Caemmerer S.V. Quinn V. Hancock N.C. Price D.G. Furbank R.T. and Ludwig M. (2004) “Carbonic anhydrases and C_4 photosynthesis: a transgenic analysis” **Plant, Cell and Environment, 27,** pp **697–703.**
74. Celuse I. Brijs K. and Delcour A. (2006) “The effect of malting and mashing on barley protein extractability” **Journal of Cereal Science, 44, 2,** pp **203-211.**
75. Chandrasekaran M. Chanratana M. Kim K. Seshadri S. and Sa T (2019)” Impact of arbuscular mycorrhizal fungi on photosynthesis, water status, and gas exchange of plants under salt stress—a meta-analysis” **Frontiers in Plant Science, 10**, 457.
76. Chapman H.D. and Pratt P.F.(1961) “Methods of analysis for soils, plants and waters”. Division of Agricultural Sciences, University of California, CA, USA.
77. Chattopadhyay A. Singh A. P. Rai S. Singh A. and Das A. (2017) ”Improving Acquisition of Phosphorus and Other Nutrient Elements by Baby Corn (Zea mays L.) through the Combine Use of Biochar, Phosphorus and Arbuscular Mycorrhiza” **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, **6,11**, pp **1319-1326**.
78. Copetta A. Lingua G. and Berta G. (2006) “Effects of three AM fungi on growth, distribution of glandular hairs, and essential oil production in Ocimum basilicum L. var. *Genovese”* **Mycorrhiza, 16,** pp **485-494.**

79. Deshpande P. Dapkekar A. Oak M. Paknikar K. Rajwade J.(2018) ”Nanocarrier-mediated foliar zinc fertilisation influences expression of metal homeostasis related genes in flag leaves and enhances gluten content in durum wheat”. **PLoS One**. **13,1,** p.**e0191035.**
80. Dalgaard T. Hutching N. J. and Porter J.R. (2003) “Agro-ecology, scaling and interdisciplinary of Agriculture” **Ecosystems and Environment, 100,** pp **39-51.**
81. Dapaah H. K. AsafuAgyei J. N. Ennin S. A. and Yamoah C.Y. (2003) “Yield stability of cassava-maize soybean and cowpea intercrops” **Journal of Agricuture science**, **140,** pp **73-82.**
82. Dokuyucu T. and Akkaya A. (1999) “Path coefficient analysis and correlation of grain yield and yield components of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes” **Rachis Newsletters**, **18, 2,** pp **17-20.**
83. El-Mougy, N.S. and Abdel-Kader, M. (2007). Antifungal effect of powdered spices and their extracts on growth and activity of some fungi in relation to damping-off disease control. **Journal of Plant Protection Research**, **47,3,** pp **267-278.**
84. Erman M. Demir S. Ocak E. Tufenkçi S. Oguz F. and Akkopru A. (2011). “Effects of Rhizobium, arbuscular mycorrhiza and whey applications on some properties in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under irrigated and rainfed conditions 1-Yield, yield components, nodulation and AMF colonization” **Field Crops Research, 122,** pp **14-24.**
85. FAO. **(2013)**. FAO statistical databases. Available online at http://www. Fao.org.
86. Farzaneh M. Wichmann S. Vierheilig H. and Kaul H.P. (2009) “The effects of arbuscular mycorrhiza and nitrogen nutrition on growth of chickpea and barley” **Pflanzenbauwissenschaften, 13, 1,** pp **15-22.**
87. Fedorenko V. Buklagin D. Golubev I. Nemenushchaya L. (2015) “Review of Russian nanoagents for crops treatment” **Nanotechnologies in Russia**. **10** pp **318-24**.
88. Garg N. and Singla R. (2009) “Variability in the response of chickpea cultivars to short-term salinity, in terms of water retention capacity, membrane permeability, and osmo-protection” **Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 33,** pp **57-63.**
89. Genc Y. Shepherd K.W. McDonald G.K. and Graham R.D. (2003) “Inheritance of tolerance to zin deficiency in barley” **Plant Breeding, 122,** pp **283-284.**
90. Gupta M.L. Prasad A. Ram M. and kumar S. (2002) “Effect of the vesicular-arbuscular mycorrhizal (VAM) fungus *Glomus fasiculatum* on the essential oil yield related characters and nutrient acquisition in the crops of different cultivars of menthol mint (*Mentha arvensis*) under field conditions” **Bioresource Technology, 81,** pp **77-79.**
91. Harrison M. (2012) “Cellular programs for arbuscular mycorrhizal symbiosis” **Current Opinion in Plant Biology, 15,** pp **1-8.**

92. Hegde D.M. Dwived B.S. and Sudhakara S.N. (1999) “Biofertilizers for cereal production in India-a review*”* **Indian Journal. Agri. Sci., 69,** pp **73-83**
93. Hodge A. Campbell C. D. and Fitter A.H. (2001) “An arbuscular mycorrhizal fungus accelerates decomposition and acquires nitrogen directly from organic material” **Nature, 413,** pp **297-299.**
94. Hetrick B.A.D. Wilson G.W.T. and Todd T.C. (1996) “Mycorrhizal response in wheat cultivars: relationship to phosphorus” **Canadian Journal of Botany, 74,** pp **19-25.**
95. Johnson N.C. Graham J.H. and Smith F.A. (1997) “Functioning and mycorrhizal associations along the mutualism-parasitism continuum” **New Phytologist, 135,** pp **575-586.**
96. Joner E.J. and Johansen A. (2000) “Phosphatas activity of external hyphae of two arbuscular mycorrhizal fungi” **Mycological Research, 104,** pp **81-86.**
97. Kapoor R. Chaudhary V. and Bhatnagar A.K. (2007) “Effects of arbuscular mycorrhiza and phosphorus application on artemisinin concentration in Artemisia annua L” **Mycorrhiza**, **17,** pp **581-587.**
98. Kapoor R. Giri B. and Mukerji K.G. (2004) “Improved growth and essential oil yield and quality in *foeniculum vulgare* Mill on mycorrhizal inoculation supplemented with P-fertilizer” **Bio-resource Technology, 93,** pp **307-311.**
99. Kaya C. Ashraf M. Sonmez O. Aydemir S. Tuna L. A. and Cullu A. M. (2009) “The influence of arbuscular mycorrhizal colonisation on key growth parameters and fruit yield of pepper plants grown at high salinity” **Scientia Horticultura**, **121,** pp **1-6.**
100. Kim T.W. and Lei X.G. (2005) “An improved method for a rapid determination of phytase activity in animal feed” **Journal Animal Science, 83,** pp **1062–1067.**
101. Koevoets I.T. Venema J.H. Elzenga J.T. and Testerink C. (2016)” Roots withstanding their environment: exploiting root system architecture responses to abiotic stress to improve crop tolerance” **Frontiers in Plant Science**, **7** pp **1335**.
102. Mahajan P. Dhoke S.K. and Khanna A.S. (2011) ”Effect of nano-ZnO particle suspension on growth of mung (Vigna radiata) and gram (Cicer arietinum. L) seedlings using plant agar method”. **Journal of Nanotechnology**. **2011**,7.
103. Maillet F. Poinsot V. André O. Puech-Pagès V. Haouy A. Gueunier M. (2011)” Fungal lipochitooligosaccharide symbiotic signals in arbuscular mycorrhiza” **Nature**, **469**, pp **58–63**.
104. Manjarrez M. Christophersen H. M. Smith S. E. and Smith F. A. (2010)” Cortical colonisation is not an absolute requirement for phosphorus transfer to plants in arbuscular mycorrhizas formed by Scutellospora calospora in a tomato mutant: evidence

from physiology and gene expression" **Functional Plant Biology**, **37, 12**, pp **1132-1142**.

105. Marschner, H. (1995). Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd Ed, Academic Press, London.
106. Mazaherinia S. Astaraei, A.R Fotovat A. and Monshi A. (2010)" Nano iron oxide particles efficiency on Fe, Mn, Zn and Cu concentrations in wheat plant" World Applied Sciences Journal, 7,1,pp 36-40.
107. Medina A. and Azcón R. (2010) "Effectiveness of the application of arbuscular mycorrhiza fungi and organic amendments to improve soil quality and plant performance under stress conditions". **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**. **10,** pp **354-372**.
108. Miller R.M. and Jastrow J.D. (2000) "Mycorrhizal Fungi Influence Soil Structure. In: Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, the Netherlands. pp **3-18.**
109. Mitra D. Navendra U. Panneerselvam U. Ansuman S. Ganeshamurthy A.N. and Divya J. (2019)" Role of mycorrhiza and its associated bacteria on plant growth promotion and nutrient management in sustainable agriculture" **International Journal Of Life Sciences and Applied Sciences**, **1**, pp **1–10**.
110. Moneral C.M. Derosa M. Mallubhotla S.C. Bindraban P.S. and Dimkp A.C. (2015) "The Application of Nanotechnology for Micronutrients in Soil-Plant Systems. VFRC Report 2015. Virtual Fertilizer Research Center, Washington, D.C. pp 44.
111. Monica R. C. and Cremonini R. (2009) "Nanoparticles and higher plants" **Caryologia**, **62,** pp **161-165.**
112. Morales C. V. Keiser C. Navarro C. R. Grausgruber H. Glauninger J. Garrido G. J. M. Steinkellner S. Sampedro I. Hage Ahmed K. Illana A. Ocampo J. A. and Viierheilig H. (2011) "The bioprotective effect of AM root colonization against the siol borne fungal pathogen *Gaeumanomyces graminis* var. *tritici* in barley depends on the barley variety" **Soil Biology and Biochemisrery, 43,** pp **831-834**.
113. Moroney J.V. Bartlett S.G. and Samuelsson G. (2001) "Carbonic anhydrases in plants and algae" **Plant, Cell and Environment, 24,** pp **141–153**.
114. Moucheshi A. Heidari B. and Assad M.T. (2012) "Alleviation of drought stress effects on wheat using arbuscular mycorrhizal symbiosis" **International Journal of Agri-Science, 2, 1,** pp **35-47**.
115. Mozafar A. Jansa J. Ruh R. Anken T. Sanders I. and Frossard E. (2001) "Functional diversity of AMF co-existing in agricultural soil subjected to different tillage"

Proceeding of the Third International Conference of mycorrhizas. July 8-13, Adelaide, South Australia.

116. Naderi M. R. and Danesh-Shahraki A. (2013) "Nanofertilizers and their roles in sustainable agriculture" **International Journal of Agriculture and Crop Sciences**, **5, 19,** pp **2229-2232.**
117. Nair R. Varghese S. H. Nair B.G. Maekawa T. Yoshida Y. and Sakthi Kumar D. (2010) "Review: Nanoparticulate material delivery to plants" **Plant Science, 179**, pp **154-163.**
118. Painkra B. Srivastava L.K. Chandel G. (2015) "Effect of Zn application on different rice genotypes in yield, Zn content and Zn uptake". **Eco scan journal**, **7** pp **251-8**.
119. Pellegrino E. Öpik M. Bonari E. and Ercoli L. (2015) "Responses of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi: a meta-analysis of field studies from1975 to 2013". **Soil Biology and Biochemistry**, **84**, pp **210–217**.
120. Philipp A. (2009) "What is sustainable agriculture? Empirical evidence of diverging views: Switzerland and New Zealand" **Journal of Ecologicol Economics, 68**, pp **1872-1882.**
121. Porra R. Thompson W .and Kriedemann P. (1989) "Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophylls a and b extracted with four different solvents: verification of the concentration of chlorophyll standards by atomic absorption spectroscopy" **Biochim. Biophys. Acta Bioenerg**, 975, pp **384-94.**
122. Prasad TNVKV. Sudhakar P. Sreenivasulu Y. Latha P. Munaswamy V. Raja Reddy K. Sreeprasad T.S. Sajanlal P.R. Pradeep T. (2012) " Effect of nanoscale zinc oxide particles on the germination, growth and yield of peanut". **Journal of Plant Nutrition**. **35** pp **905-27**.
123. Ramesh S. A. Choimes S. Schachtman D. P. (2004) "Over-expression of an Arabidopsis zinc transporter in Hordeum vulgare increases short-term zinc uptake after zinc deprivation and seed zinc content" **Plant Molecular Biology**, **54**, pp **373-385.**
124. Rasae B. Ghobadi M.E. Ghobadi M. and Najaphy A. (2013) "Reducing effects of drought stress by application of humic acid, Mycorrhiza and Rhizobium on chickpea" **Journal of Agriculture and Crop Sciences**, **5**, **16**, pp **1775-1778.**
125. Rezvani M. Zfryan F. Ardekani M. H. Fani Yazdi A. Rajali F. and Nour Mohamadi Gh. (2011) "The efficiency of different strains of mycorrhizal fungi in the uptake of iron and zinc in barley" **Proceedings of the Soil Science Congress of Iran**, Tabriz.
126. Robinson J.P. Nithya k. Ramya R. Karthikbalan. B. and Kripa. K. (2014)" Effect of Vesicular Arbuscular Mycorrhiza Glomus fasiculatum on the growth and Physiological

response in Sesamum indicum L" **International Letters of Natural Sciences, 23,** pp **47-62.**

127. Romheld V. and Marschner H. (1991) "Function of micronutrients in plants. In: Mortvedt, J. J. Cox, F.R. Shuman, L.M. Welch, R.M. (Eds.), Micronutrients in Agriculture" **Soil Science Society of America**, Book Series No. 4: Madison, USA, pp **297-328**.
128. Rose L. A. Feltion W. L. and Banks L.W. (2002) "Responses of four soybean variations to foliar zinc fertilizer" **Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry, 21**, pp **236-240**.
129. Sadeghzadeh B. (2013) "A review of zinc nutrition and plant breeding" **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**,**13, 4**, pp **905-927**.
130. Subramanian K.S. Tenshia J.S. Jayalakshmi K. And Ramachandran V .(2009) "Role of arbuscular mycorrhizal fungus (Glomus intraradices) in zinc nutrition of maize" **Journal of Agricultural Biotechnology and Sustainable Development**, **1**, pp **29-38**.
131. Salama Z.A .EloFouly M.M .Lazova G. and Popova L.P. (2006) "Carboxylating enzymes and carbonic anhydrase functions were suppresse by zinc deficiency in maize and chickpea plants "**Acta Physiologiae Plantarum, 28**, 5, pp **445-451**.
132. Samarah N. H. (2005) "Effects of drought stress on growth and yield of barley" **Journal of Agronomy, 25**, pp **145-149.**
133. Sasaki H. Samejima M. Ishii R. (1996)" 13C measurement on mechanism of cultivar difference in leaf photosynthesis of rice (Oryza sativa L.)" **Plant Cell Physiology**, **37**, pp**1161–1166**.
134. Sawai J. (2003) "Quantitative evaluation of antibacterial activities of metallic oxide powders. ZnO, MgO and CaO by conductimetric assay" **Journal of Microbiological Methods**, **54, 2**, pp **177–182.**
135. Schlegel H.G. (1956) "Die verwertung organischer sauren durch chlorella in lincht" **Plata**, **47**, pp **510-515.**
136. Seguel A. Barea J.M. Cornejo P. and Borie F. (2015)" Role of arbuscular mycorrhizal symbiosis in phosphorus-uptake efficiency and aluminium tolerance in barley growing in acid soils. **Crop & Pasture Science, 66**, pp **696–705**.
137. Sharma P. N. Chatterjee C. Agarwala S. C and Sharma C.P. (1990) "Zinc defficiency and pollen fertility in maize" **Plant and Soil**, **124**, pp **221-225**.
138. Shrimant Shridhar B. (2012) "Review: Nitrogen Fixing Microorganisms" **International Journal of Microbiological Research, 3, 1**, pp **46-52**.
139. Singh, F. and Oswalt D. L. (1995) "Groundnut production practices" **International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics**. pp **35**.

140. Singh, M. D. (2017)" Nano-Fertilizers is a New Way to Increase Nutrients Use Efficiency in Crop Production" **International Journal of Agriculture Sciences**, **9, 7**, pp **3831-3833**.
141. Sitbone F. and Parrot-Rechenmann C. (1997) "Expression of auxin-regulated genes" **Physiologia Plantarum**, **100**, pp **443-455.**
142. Slafer G. A. (2007) "Physiology of Determination of Major Wheat Yield Components. In: Wheat Production in Stressed Environments**" (Ed: H. Buck). Springer. The Netherlands**, pp **557-565.**
143. Sohail S. S. and Roland D. A. (1999) "Influence of supplemental phytase on performance of broilers four to six weeks of age" **Poultry Science**, **78**, pp **550-555.**
144. Soleimanzadeh H. (2010)" Effect of VA-Mycorrhiza on Growth and Yield of Sunflower (Helianthus annuus L.) at Different Phosphorus Levels" **World Academy of Science, Engineering and Technology, 71,** pp **414-417**.
145. Souza A.T. Streck N.A. Heldwein A. B. Bisognin D. A. Minussi W.J.E. Rocha T.S. and Zanon, A.J. (2014) "Transpiration and leaf growth of potato clones in response to soil water deficit" **Scientia Agricola**, **71(2)** pp **96-104**.
146. Subbaiah LV. Prasad TNVKV. Krishna T.G. Sudhakar P. Reddy B.R. and Pradeep T. (2016) "Novel effects of nanoparticulate delivery of zinc on growth, productivity, and zinc biofortification in maize (Zea mays L.)" Journal of Agricultural and Food Chemistry. 64 pp 3778-88.
147. Subramanian K. S. Balakrishnan N. and Senthil N. (2013) "Mycorrhizal symbiosis to increase the grain micronutrient content in maize**" Australian Journal of Crop Science, AJCS, 7(7)**, pp **900-910**.
148. Taiz L. and Zeiger E. (2006) "Plant Physiology**"**. Sinauer Associates. Inc. Publishers.
149. Tarafdar J.C. Raliya R. Mahawar H. and Rathore I. (2014) "Development of zinc nanofertilizer to enhance crop production in pearl millet (Pennisetum americanum)". **Agricultural Research**, **3, 3**, pp **257-262**.
150. Tiong J. McDonald G. Genc Y. Shirley N. Langridge P. Huang C.Y. (2015)" Increased expression of six ZIP family genes by zinc (Zn) deficiency is associated with enhanced uptake and rootto- shoot translocation of Zn in barley (Hordeum vulgare)". **New Phytologist**, **207**, pp**1097-109**.
151. Van der Zaal B. J. Neuteboom L.W. Pinas J. E. Chardonnens A.N. Schat H. Verkleij J. A. C. and Hooykaas P.J. (1999) "Overexpression of a novel Arabidopsis gene related to putative zinc transporter genes from animals can lead to enhanced zinc resistance and accumulation" **Plant physiology**, **119**, pp **1047-1055**.

152. Velikova V. Yordanov I. and Edreva A. (2000) “Oxidative stress and some antioxidant systems in acid raintreated bean plants. Protective role of exogenous polyamines”. **Plant Science**, **151**, pp **59-66**.
153. Vessy K. (2003) “Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizars” **Plant and Soil**, **255**, pp **571-586**.
154. Welch R. M. (2001) “Impact of mineral nutrients in plants on human nutrition on a worldwide scale” **Plant Nutrition-Food Security and Dordrecht,** pp **258-284**.
155. Welch R. M. and Graham R. D. (2004) “Breeding for micronutrients in staple food crops from a human nutrition perspective” **Journal of Experimental Botany**, **55**, pp **353-364**.
156. WHO, 2002. The World Health Report. (2002) “Reducing Risks, Promoting Healthy Life” **World Health Organization. Geneva, Switzerland**. pp **1-168.**
157. Wright S. F. and Anderson R. L. (2000) “Aggregate stability and glomalin in alternative crop rotations for the central great plains” **Biology and Fertility of soil**, **31**, pp **249-253**.
158. Yadav N. and Sharma Y.K. (2018)” Enhancement of Zn density in Barley (Hordeum vulgare) grain: A Physiological approach” **Asian Journal of Plant Science and Research**, **8**, 4, pp **13-17**.
159. Yagmur M. Arpali D. Gulser F. (2017) “Effects of zinc and urea as foliar application on nutritional properties and grain yield in barley (Hordeum vulgare) under semi-arid condition” **Fresenius Environmental Bulletin**, **26** pp **6085-92**.
160. Yang X. Tian X. Lu X. Cao Y. and Chen Z. (2011) “Impacts of phosphorus and zinc levels on phosphorus and zinc nutrition and phytic acid concentration in wheat (Triticum aestivum L.)” **Journal of the Science of Food and Agriculture**, **91**, pp **2322-2328**.
161. Zeidan M.S. Manal F. Hamouda H.A. (2010)” Effect of Foliar Fertilization of Fe, Mn and Zn on wheat Yield and quality in low sandy soils fertility”. **World Journal of Agricultural Sciences, 6,** pp **696-699.**
162. Zhang W. Liu D. Liu Y. Cui Z. Chen X. and Zou C. (2016) “Zinc uptake and accumulation in winter wheat relative to changes in root morphology and mycorrhizal colonisation following varying phosphorus application on calcareous soil” **Field Crop Research**, **197**, pp **74-82.**
163. Zhang S. Lehmann A. Zheng W. You Z. and Matthias C. R. (2019) ”Arbuscular mycorrhizal fungi increase grain yields: a meta-analysis”**New Phytologist, 222, 1,** pp **543-555.**

Abstract

In most soils of Iran, zinc deficiency is one of the factors that reduce the growth and yield of crops. Mycorrhizal inoculation plays an important role in disrupting the antagonistic effect of phosphorus and zinc in the rhizosphere and promptly zinc foliar application can contribute to the availability of zinc in the plant. Therefore, this study aimed to investigate the effect of mycorrhiza and zinc foliar application on morphological, physiological and yield traits of two barley cultivars in two pot and field experiments. Both pot and field experiments were conducted in a randomized complete block design with three replications at Chanaran Gardening and Agriculture Research in three replications and the pots were placed in the same farm conditions at the same farm location.

Experimental factors included Yusuf and Julgeh as first factor, mycorrhizal fungi as second factor in three control, Glomus mosseae and Glomus intraradices levels and zinc foliar application as third factor in four levels including control, zinc oxide nanoparticles, ordinary zinc oxide and nano mixtures with ordinary zinc oxide. Results of both experiments showed that foliar application of ZnO in mixture level in the field and nano ZnO alone in the pot experiment significantly increased most biochemical and yield traits in both barley cultivars.

In both experiments, the amount of photosynthetic pigments, content of elements in plant tissues and seeds, as well as yield and yield components were higher in Julgeh inoculation with G. mosseae than in Yousef cultivar, whereas Yousef cultivar had higher superiority in tiller number per m^2, plant height and biological yield while inoculated with G. intraradices.

Evaluation of root traits in pot experiment showed that Yousef was superior while inoculated with G. interaradices in total root length, root length and root dry weight, whereas Julgeh showed more potential to increase root diameter and volume in inoculation with G. mosseae.

Keywords: Barley, Zinc and Mycorrhiza

Faculty of Agriculture

Ph.D. Thesis in Agronomy

Effects of zinc oxide and mycorrhizal fungi on quantitative yield and physiological traits of two barley cultivars

By: Narjes Moshfeghi

Supervisor:
Dr. Mostafa Heidari

Advisors:
Dr. Mehdi Baradaran Firoz Abadi
Dr. Hamid Reza Asghari

December 2019