



## اثر مصرف ریزمغذی‌های روی و آهن بر عملکرد و خصوصیات مورفولوژیک ریشه جو (*Hordeum vulgare* L.) مایکوریزایی

شهاب خاقانی\*

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۲/۱۹

تاریخ بازنگری: ۱۳۹۴/۸/۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۱/۱۹

### چکیده

امروزه کمبود عناصر ریزمغذی در تغذیه انسان سبب بروز مشکلات فراوان از جمله سو تغذیه می‌شود. یکی از برنامه‌های مهم متخصصان تغذیه افزایش میزان این عناصر در بخش‌های خوراکی گیاهان می‌باشد. به‌منظور تعیین تأثیر قارچ مایکوریزا و ریزمغذی‌ها بر صفات ریشه جو، تحقیقی در پاییز سال ۱۳۹۲ در شهرستان کرج به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار روی گیاه جو رقم بهمن اجرا شد. تیمارها شامل دو سطح قارچ، بدون مصرف، و خاک مصرف گونه *Glomus intraradices* به میزان ۱۰ کیلوگرم در هکتار به صورت در کنار بذر، سه سطح آهن، بدون مصرف، مصرف ۲/۵ و ۵ کیلوگرم در هکتار از منبع آهن سکوسترین ۱۳۸ با بنیان Fe-EDDHA و سه سطح روی شاهد، مصرف ۲۵ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی بودند. مقایسه میانگین‌های اثر ساده قارچ مایکوریزا روی صفات‌های طول کل ریشه، تراکم طول ریشه‌ها، طول مخصوص ریشه، درصد کلونیزاسیون ریشه و عملکرد دانه نشان داد که این صفات تحت تیمار قارچ به‌ترتیب به میزان ۹۰۰/۶ سانتی‌متر، ۰/۵۲ سانتی‌متر بر سانتی‌متر مکعب، ۱۷۳۸/۱ سانتی‌متر بر گرم، ۵/۴۱ درصد و ۱ تن در هکتار افزایش نشان داده‌اند. مقایسه میانگین‌های اثر متقابل سه گانه قارچ مایکوریزا، روی و آهن نشان داد که تیمار مصرف قارچ مایکوریزا، ۵ کیلوگرم آهن و عدم مصرف روی بالاترین میزان وزن خشک ریشه را به میزان ۲/۸۱ گرم دارا می‌باشد.

**واژگان کلیدی:** آهن، جو، روی، صفات ریشه، غنی‌سازی، قارچ مایکوریزا.

## مقدمه

جو به عنوان گیاهی که عملکرد آن تحت تاثیر عناصر غذایی ریزمغذی قرار می‌گیرد در طول دوره کشت به عناصری مانند روی و آهن احتیاج دارد. چگونگی جذب این عناصر در این گیاه به ساختار ریشه آن بر می‌گردد که این مهم بستگی به حضور یا عدم حضور عامل یا عواملی دارد که سرعت جذب این دو عنصر و سایر عناصر ریزمغذی را افزایش می‌دهند (Hezave and Ardakani, 2012).

کمبود روی یکی از متداول‌ترین کمبود ریزمغذی‌ها در محصولات زراعی مخصوصاً غلات و گیاهان مرتعی در سراسر جهان است که نتیجه آن کاهش شدید عملکرد و کیفیت غذایی محصولات می‌باشد. بیش از ۶۰ درصد خاک‌های زراعی ایران دچار کمبود روی هستند که این باعث کاهش ۵۰ درصدی عملکرد محصول شده است. در بیش از ۸۰ درصد خاک‌های زراعی ایران غلظت روی قابل استفاده از طریق عصاره‌گیری DPTA کمتر از یک میلی‌گرم در کیلوگرم خاک می‌باشد (Malakouti, 2007). تحقیقات نشان می‌دهند تلقیح مایکوریزایی سبب افزایش جذب آهن، روی و مس در گیاه جو شده است و در ریشه این گیاه میزان آهن و مس تفاوت معنی‌دار نسبت به تیمار مشابه بدون مصرف مایکوریزا داشته است. همچنین، غلظت روی در بافت‌های گیاهی در تیمار مصرف مایکوریزا نسبت به تیمار مشابه افزایش چشم‌گیر داشته است. مایکوریزا در شرایط کمبود مواد مغذی تاثیر به‌سزایی روی تولید گیاه دارد (Oyetunji *et al.*, 2004). ریشه‌های مایکوریزایی، در مقایسه با ریشه‌های غیرمایکوریزایی میزان روی بیشتری جذب می‌کنند (Pairunan *et al.*, 1980). غلظت زیاد فسفر و نیتروژن سبب کاهش کلونیزاسیون ریشه می‌گردد (Alloway, 2008).

قارچ‌های مایکوریزایی موجب افزایش جذب عناصر غذایی توسط گیاه میزبان می‌شوند. روش‌های افزایش جذب عناصر در این قارچ‌ها تولید کلیت‌کننده‌ها و هورمون‌های محرک رشد ریشه و گیاه (Neuman and Geouge, 2004)، نفوذ بیشتر و بهتر هیف‌های قارچ در منافذ ریز خاک (Abbott and Robson, 1985)، افزایش سطح ویژه مؤثر ریشه‌ها به واسطه اشتراک هیف‌های قارچ (Bolan, 1991)، افزایش تمایل به جذب در ریشه (Cardoso and Kuypers, 2006) و ایجاد تغییرات شیمیایی در ناحیه میکوریزوسفر (Tarafdar and Marschner, 1994) می‌باشند. آهن نیز یک عنصر ضروری برای تمام موجودات زنده است. از آن‌جا که حیوانات برای جذب اولیه آن به گیاهان که از خاک آهن را جذب می‌کنند وابسته هستند، این عنصر در زندگی موجودات بسیار مهم است. میزان در دسترس بودن آهن برای رشد گیاهان اغلب محدود است به‌ویژه در خاک‌های قلیایی این محدودیت بیشتر است چون آهن در این شرایط به فرم نامحلول  $Fe(OH)_3$  است و pH نیز بالاست، و فراهمی زیستی پایینی برای گیاهان دارد. گیاهان تیره گندم (*Poaceae*) یک سیستم ریشه‌ای مجزا برای جذب آهن در مقایسه با گیاهان دیگر دارند و با سنتز و ترشح ماده‌ای به نام فیتوسیدروفور که تمایل زیاد برای جذب آهن ( ) دارد، نیاز آهن خود را تامین می‌کند. این ماده توسط تاکمتو و همکاران (۲۰۰۰) شناسایی و به نام Acid Mugineic در جو گزارش شد (Cakmack, 2002). اطلاعات در مورد ریشه و نحوه فعالیت و رشد آن محدود است. دلیل آن زیرزمینی بودن این اندام می‌باشد و مطالعه آن در مقیاس مزرعه سخت، غیرعملی و نتایج آن متغیر می‌باشد. در این ارتباط مطالعه ریشه در فضای محدود طرح‌های تحقیقاتی و شبیه‌سازی رشد ریشه به‌عنوان

در کنار بذر جو که از موسسه تحقیقات خاک و آب کشور تهیه شد (بنا بر اعلام موسسه خاک و آب کشور در هر گرم خاک ۱۲۰ اسپور فعال قارچ مایکوریزا وجود دارد). ۳ سطح آهن شامل سطح بدون مصرف، مصرف ۲/۵ و ۵ کیلوگرم در هکتار از منبع آهن سکوسترین ۱۳۸ با بنیان Fe-EDDHA و ۳ سطح روی شامل سطح بدون مصرف و مصرف ۲۵ کیلوگرم و ۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی به صورت خاک مصرف بود. کرت‌ها به ابعاد ۶×۱/۸۰ متر، فاصله خطوط ۶۰ سانتی‌متر (در هر کرت ۳ خط کاشت) فاصله میان هر تکرار ۲/۴۰ متر بود. جهت کشت بر مبنای ۳۰۰ بوته در متر مربع برای هر کرت ۲۵۰ گرم بذر در نظر گرفته شد.

نمونه‌برداری جهت بررسی صفات ریشه در هنگام رسیدگی کامل صورت گرفت. ۴ نمونه از درون و بین ردیف‌ها برداشته شد و سپس با یکدیگر مخلوط شد و پس از الک کردن و شستشوی ریشه‌ها، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای ۷۲ درجه سلسیوس قرار داده شدند، سپس وزن خشک ریشه (RDW) اندازه‌گیری شد. رطوبت ریشه با استفاده از روش تنانت (Tennat, 1975) تعیین و طول مخصوص ریشه (SLR)، تراکم ریشه (RLD) و طول کل ریشه (TRL) با استفاده از فرمول‌های زیر محاسبه شد (Borja et al., 2008). از نمونه‌های فوق برای انجام کلونیزاسیون ریشه استفاده شد. از روش فیلیپ و هایمن جهت رنگ‌آمیزی و برای تعیین درصد کلونیزاسیون ریشه از روش تقاطع خطوط شبکه استفاده گردید (به نقل از Safapour et al., 2011).

نمونه‌برداری به منظور سنجش میزان روی و آهن در هنگام رسیدگی کامل انجام شد. پس از نمونه برداری، دانه‌ها در دمای ۶۰ درجه سلسیوس خشک و کوبیده شدند. سپس خاکستر در دمای ۵۵ درجه سلسیوس به مدت ۸ ساعت قرار داده شد. بعد از آن

یک راه‌حل برای ارزیابی تفاوت‌های ژنوتیپی و بررسی واکنش آنها به شرایط متغیر محیطی مطرح است، موفقیت این مدل‌ها به چگونگی شناخت دقیق روابط موجود بین صفات مربوط به ریشه وابسته است (Varnord wijk and Willigen, 1987). برای بررسی تاثیر ریزمغذی‌ها روی ریشه می‌توان صفات مرتبط با ریشه از جمله وزن خشک ریشه (Root Dry Weight Specific Root Length) که نشان‌دهنده طول ریشه در واحد وزن ریشه است و به عبارت دیگر به صورت غیرمستقیم نشان‌دهنده قطر ریشه است و با افزایش آن قطر ریشه کاهش و با کاهش آن قطر ریشه افزایش می‌یابد، تراکم ریشه (Root Length Density) و طول کل ریشه (Total Root Length) را اندازه‌گیری کرد (Borja et al., 2008).

هدف این تحقیق بررسی امکان غنی‌سازی دانه‌های جو با روی و آهن در شرایطی می‌باشد که مایکوریزا به عنوان یک افزایش‌دهنده سطح جذب ریشه سبب افزایش این دو عنصر در گیاه می‌شود.

### مواد و روش‌ها

به منظور تعیین تأثیر کودهای زیستی میکروبی و ریزمغذی‌ها بر صفات مرتبط با ریشه جو تحقیقی در پاییز سال ۱۳۹۲ در شهرستان کرج به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در گیاه جو رقم بهمن (ضد عفونی نشده) اجرا شد.

قبل از کاشت یک نمونه خاک (از هفت قسمت زمین به عمق ۳۰ سانتی‌متر) تهیه و به آزمایشگاه خاک ارسال شد و آزمایش خاک کامل جهت تشخیص میزان عناصر ماکرو و میکرو روی آن صورت گرفت (جدول ۱). سطح قارچ مایکوریزا شامل سطح صفر (بدون مصرف)، گونه *Glomus intraradices* به میزان ۱۰ کیلوگرم در هکتار به صورت خاک مصرف

ریشه گیاهان تاثیرگذار است و تحریک رشد گیاه به وسیله تولید سیدروفورها و هورمون‌های رشد گیاهی می‌تواند عامل مؤثری در افزایش طول ریشه به حساب آید. به‌طور کلی، می‌توان بیان کرد قارچ مایکوریزا رشد ریشه را افزایش می‌دهد و به دنبال آن یک نظام گسترده از ریشه را برای جذب فسفر، ریزمغذی‌ها و آب ایجاد می‌کند (Safapour *et al.*, 2011). افزایش طول ریشه شاخصی از افزایش رشد ریشه است و با افزایش آن توانایی نفوذ ریشه به حجم بیشتر خاک را ممکن می‌کند. دلیل افزایش طول ریشه را می‌توان به کاهش هورمون اتیلن نیز مرتبط دانست. برخی گزارش‌ها حاکی از آن است که مایکوریزا طی فرآیندی سبب تولید ACC دآمیناز می‌شود که این آنزیم از تولید ACC به عنوان پیش‌ساز تولید اتیلن جلوگیری می‌کند و کاهش تولید اتیلن می‌تواند دلیلی بر افزایش طول ریشه باشد. گلیک (Glick, 2012) در آزمایش خود انجام چنین فرآیندی را اثبات کردند. همچنین، شهزاد و همکاران (Shahzad *et al.*, 2010) افزایش طول ریشه را به کاهش میزان اتیلن و تولید ACC دآمیناز نسبت دادند. زراموس و همکاران (Zramos *et al.*, 2009) اعلام کردند کاربرد قارچ مایکوریزا افزایش طول ریشه ذرت را نسبت به تیمار شاهد سبب شده است. اردکانی و همکاران (Ardakani *et al.*, 2009) افزایش طول ریشه یونجه در تیمار مایکوریزا را گزارش کردند. نتایج بررسی محققین روی ۶ گونه مایکوریزا حاکی از تاثیر مثبت همزیستی مایکوریزایی در افزایش SLR می‌باشد (Wenke, 2009). نتایج ویلسون و همکاران (Wilson *et al.*, 1977) نیز تاثیر مثبت مایکوریزا روی افزایش قطر ریشه را تایید می‌کند. با توجه به معنی‌دار نبودن تاثیر آهن و روی بر این صفت نمی‌توان به‌طور کلی در مورد تاثیرات این دو عنصر روی طول ریشه بحث کرد.

خاکستر در محلول ۳/۳ اسید کلریدریک قرار داده شد. میزان روی و آهن به روش جذب اتمی به وسیله اسپکتروفتومتر تعیین شد (Safapour *et al.*, 2011).

$$SRL = \frac{Z \times \text{mesh (cm)} \times 11.14}{X \text{ (g)}}$$

Z: تعداد کل تقاطع، X: وزن خشک نمونه

محاسبه شده

$$TRL = SLR \times Y \text{ (g)}$$

Y: وزن خشک نمونه به‌دست آمده

$$RLD = \frac{TRL \text{ (cm)}}{\text{Soil Volume (cm}^3\text{)}}$$

داده‌های به دست آمده با استفاده از نرم‌افزار SAS (SAS, 2004) تجزیه واریانس گردید، مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن و شکل‌ها با نرم‌افزار Excel رسم شدند.

## نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر ساده قارچ مایکوریزا روی صفات طول مخصوص ریشه (SLR)، تراکم طول ریشه (RLD)، طول کل ریشه (TRL) و کلونیازسیون ریشه و اثر متقابل سه گانه روی، آهن و قارچ روی صفت وزن خشک ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار می‌باشد (جدول ۲).

**طول کل ریشه (TRL) و طول مخصوص ریشه**

**(SLR)**

کاربرد قارچ توانست طول کل ریشه را نسبت به تیمار شاهد افزایش دهد (جدول ۳). طول مخصوص نشان‌دهنده طول ریشه در واحد وزن ریشه است و به عبارت دیگر به صورت غیرمستقیم نشان‌دهنده قطر ریشه است و با افزایش آن قطر ریشه کاهش می‌یابد. افزایش سطح جذب ریشه توسط افزایش هیف‌های مایکوریزا می‌تواند یکی از دلایل این اتفاق باشد. قارچ مایکوریزا به سبب توانایی در حل فسفر نامحلول که بر

### تراکم ریشه (RLD) و کلونیزاسیون ریشه

تجزیه داده‌ها نشان داد که اثر قارچ روی تراکم ریشه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است. این نشان‌دهنده تاثیر تیمار قارچ و تفاوت بین این تیمار با شاهد است. افزایش  $0.52 \text{ cm/cm}^3$  تراکم ریشه در تیمار قارچ نسبت به شاهد نشان‌دهنده تاثیر پذیری این صفت از قارچ است (جدول ۲). افزایش حجم ریشه نشان‌دهنده توسعه بیشتر آن و افزایش تارهای کشنده است که توان جذب آب و عناصر غذایی را از حجم گسترده‌تری از خاک ممکن می‌کند. افزایش سطح ریشه در تیمار قارچ را می‌توان دلیلی بر افزایش سطح جذب ریشه توسط گونه‌های مختلف میکوریزا و یک معیار رشد ریشه دانست. اوانس و میلر (Evans and Miller, 2006) افزایش تراکم ریشه ذرت در تیمار قارچ را گزارش دادند و آن را به افزایش هورمون‌های محرک رشد توسط میکوریزا مرتبط دانستند. نتایج فوق با نتایج اندرسون و همکاران (Anderson et al., 2008) تطابق دارد. اثر قارچ روی کلونیزاسیون ریشه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است. افزایش میزان کلونیزاسیون ریشه در اثر قارچ یک امر بدیهی به‌شمار می‌رود و در جایی که هیف‌های قارچ با ریشه همزیستی برقرار کرده و درون ریشه نفوذ می‌کنند میزان این صفت افزایش می‌یابد (جدول ۳).

در مطالعات مربوط به آب، خاک و گیاه، RLD به عنوان شاخصی برای کارایی گیاه از نظر جذب آب و عنصر غذایی مد نظر می‌باشد. از شاخص‌های مهم فعالیت میکوریزا، میزان کلونیزاسیون ریشه توسط این قارچ است که به عوامل مختلفی همچون خصوصیات ظاهری و ساختمانی سیستم ریشه، مقدار و کیفیت ترشحات ریشه‌ای و مصرف نهاده‌ها از جمله فسفر وابسته است. سن گیاه از عوامل مهم در میزان آلودگی گیاه به این قارچ است و میزان این آلودگی در

دما و رطوبت‌های مختلف متفاوت است. در دمای پایین خاک میزان آلودگی کمتر و در دماهای بالاتر افزایش می‌یابد. به‌طور کلی، می‌توان عنوان کرد با افزایش کلونیزاسیون ریشه، تراکم ریشه گیاه نیز به سبب همزیستی با ریشه‌های میکوریزیایی افزایش می‌یابد که این افزایش تراکم منتج به افزایش جذب آب و املاح از خاک و در نهایت افزایش رشد می‌شود (Hezave and Ardakani, 2012). صفاپور و همکاران (Safapour et al., 2011) افزایش درصد کلونیزاسیون ریشه و تفاوت معنی‌دار این تیمار با شاهد را در میزان روی و آهن در تیمار قارچ گزارش و اعلام کردند کلونیزاسیون ریشه همبستگی مثبت و معنی‌دار با جذب فسفر، روی و آهن داشته است. امیرآبادی و همکاران (Amirabadi et al., 2010) در بررسی خود اعلام کردند تیمار تلفیقی قارچ میکوریزا و کود شیمیایی فسفر درصد کلونیزاسیون بالاتری نسبت به تیمار شاهد داشتند. استانچوا و همکاران (Stancheva et al., 2006) گزارش نمودند تیمار نخود با قارچ سبب افزایش درصد کلونیزاسیون ریشه می‌شود.

### وزن خشک ریشه (RDW)

اثر متقابل سه گانه قارچ، روی و آهن بر وزن خشک ریشه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار گردید. معنی‌دار بودن اثر متقابل روی این صفت نشان‌دهنده تاثیر پذیری فراوان آن از هر سه عامل است (شکل ۱). قارچ‌های میکوریزیایی علاوه بر افزایش سطح جذب، توان جذب یونی بیشتر نسبت به سیستم جذب ریشه، انتقال سریع‌تر عناصر از طریق هیف‌ها به ریشه نسبت به مسیر خاک به ریشه و امکان استفاده این قارچ‌ها از منابع غذایی نامحلول و یا کم محلول موجب افزایش جذب مؤثر می‌شوند. علاوه بر فسفر، افزایش جذب عناصر دیگر، به خصوص روی، مس، گوگرد، پتاسیم، نیتروژن، کلسیم و نیز گزارش شده است (Salehrastin, 1998).

(جدول ۳). آهن با تاثیر مثبت بر فتوسنتز و مشارکت در تولید اندام‌های زایشی به‌ویژه تعداد دانه در سنبله و افزایش وزن دانه امکان دستیابی به عملکرد دانه بیشتر را در جو فراهم می‌کند. آهن در جو فضای مناسبی جهت تولید تعداد مناسب‌تری سنبله و در نتیجه تعداد بیشتری دانه در سنبله را فراهم می‌کند. از طرفی با حضور در ساختمان کلروفیل، فتوسنتز را افزایش می‌دهد و به این طریق بر عملکرد مؤثر خواهد بود (Fathi and Enayatgholizadeh, 2009).

### عملکرد بیولوژیک

نتایج تجزیه واریانس حاکی از آن است که اثر ساده قارچ، آهن و روی (در سطح احتمال ۱ درصد) روی عملکرد بیولوژیک معنی‌دار است (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر ساده قارچ مایکوریزا، آهن و روی نشان داد بالاترین عملکرد بیولوژیک به‌ترتیب به میزان ۶/۹۱، ۶/۷۰ و ۶/۴۹ تن در هکتار از تیمارهای مصرف قارچ مایکوریزا ( $M_2$ )، مصرف ۵ کیلوگرم در هکتار آهن ( $F_3$ ) و ۵۰ کیلوگرم روی در هکتار ( $Z_3$ ) به‌دست آمد (جدول ۳). افزایش فتوسنتز همچنین، افزایش هورمون‌های رشد ناشی از مصرف قارچ و از سوی دیگر افزایش مواد مغذی در بافت‌های گیاهی سبب افزایش عملکرد بیولوژیک گیاه می‌شود. گزارش اردکانی و همکاران (Ardakani *et al.*, 2000) نتایج فوق را تایید می‌کند. در آزمایش مانسکم و همکاران (Manskem *et al.*, 2000) کاربرد توأم قارچ و ازتوباکتر باعث افزایش عملکرد بیولوژیک در گندم شد. کاتلین و همکاران (Kathleen *et al.*, 2006) اعلام کردند عملکرد بیولوژیک (وزن خشک گیاه) بسیاری از گیاهان که با مایکوریزا همزیستی دارند نسبت به گیاهانی که در محیط رشدشان قارچ وجود ندارد بالاتر است. محمد و همکاران (Mohammad *et al.*, 2010) گزارش کردند که کودهای زیستی تأثیر معنی‌دار در وزن خشک کل لوبیا داشته‌اند. این نتایج

تلقیح قارچ مایکوریزایی باعث تغییرات مورفولوژیکی، افزایش تراکم و وزن خشک و CEC ریشه می‌شود. می‌توان بیان کرد که با توجه به این‌که مایکوریزا سبب جذب ریزمغذی‌ها می‌شود و در این تیمار، قارچ جذب آهن و روی را افزایش داده و وزن خشک ریشه نیز به دنبال آن افزایش داشته است. تاثیر آهن بر وزن خشک ریشه نشان‌دهنده این است که غلات سیستم مجزای ریشه‌ای برای جذب آهن دارند که با سنتز فیتوسیدروفور از کلات آهن همراه بوده و تمایل زیادی برای جذب آهن دارند. افزایش وزن خشک ریشه به سبب تیمار با آهن می‌تواند مؤید این مطلب باشد (Cakmack, 2002).

### عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد در میان اثرات ساده و متقابل، تنها اثر ساده قارچ و آهن در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار می‌باشد (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر ساده قارچ و آهن نشان داد بالاترین عملکرد دانه به‌ترتیب به میزان ۳/۴۶ و ۳/۳۲ تن در هکتار از تیمارهای *G. intraradices* و ۵ کیلوگرم آهن در هکتار به‌دست آمد (شکل ۱). صفاپور و همکاران (Safapour *et al.*, 2012) افزایش عملکرد لوبیا را در تیمار تلقیح دوگانه مایکوریزا و ریزوبیوم اعلام کردند، همچنین افزایش عملکرد در اثرات ساده مایکوریزا مشهود بود. حمزه‌پور و همکاران (Hamzehpour *et al.*, 2010) تاثیر مصرف ۸۰ میلی-گرم در کیلوگرم روی را بر عملکرد دانه گندم مثبت ارزیابی کردند.

عرضه مواد غذایی به لحاظ اثری که در گسترش و توسعه اندام‌های رویشی دارند یکی از عوامل مهم در تعیین عملکرد دانه می‌باشد. استفاده از آهن باعث افزایش عملکرد دانه به میزان ۸۳۰ و ۹۴۰ کیلوگرم در تیمار مصرف ۵ کیلوگرم آهن به ترتیب نسبت به تیمار شاهد و مصرف ۲/۵ کیلوگرم آهن شده است

را در افزایش عملکرد بیولوژیک اعلام کردند. حمزه پور و همکاران (Hamzhepour *et al.*, 2010) تاثیر مصرف ۸۰ میلی گرم در کیلوگرم روی را بر عملکرد بیولوژیک گندم مثبت ارزیابی کردند.

### تشکر و قدردانی

نگارنده بر خود واجب می داند از حمایت‌های دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک بدین وسیله تشکر نماید. لازم به ذکر است این طرح پژوهشی به طور کامل با حمایت مالی دانشگاه آزاد اسلامی اراک و معاونت پژوهشی این واحد انجام شده است.

با یافته‌های کوهن و همکاران (Cohen *et al.*, 2007) مطابقت دارد. آنها تأثیر دو نوع کود زیستی را بر روی عملکرد لوبیا معمولی مورد مطالعه قرار دادند و نتیجه گرفتند که صفت وزن خشک کل در تیمارهای کودی نسبت به تیمار شاهد (بدون مصرف کود) افزایش نشان داده است. کاظمی پشت مساری و همکاران (Kazemi poshtmasari *et al.*, 2007) گزارش کردند که کود فسفردار زیستی تأثیر معنی دار روی عملکرد بیولوژیک باقلا داشت. پهلوان راد و همکاران (Pahlevan Rad *et al.*, 2008) تأثیر کلات آهن

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل انجام آزمایش

Table 1- Physical and chemical properties of the experimental site

رس Clay %	شن Sand %	پتاسیم K	فسفر P	نیتروژن N mg.kg <sup>-1</sup>	آهن Fe	روی Zn	pH	E.C. ds.m <sup>-1</sup>	درصد اشباع Saturation	عمق نمونه برداری depth (cm)
35	21	305	8.30	0.1	2.48	4.28	7.1	1.4	37.5	0-30

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر سطوح قارچ به آهن و روی بر صفات مورد مطالعه  
**Table 2-** Analysis of variance for fungi, iron and zink on studied traits

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	Mean Squares (MS)						
		طول کل ریشه Total Root Length	تراکم ریشه Root Length Density	طول مخصوص ریشه Total Root Length	وزن خشک ریشه Root Dry Weight	کلنیزاسیون ریشه Root colonizati on	عملکرد دانه Grain Yield	عملکرد بیولوژیک Biological Yield
بلوک Replication	2	9629304.24**	11.41**	198323445.3*	2.56*	1.78 <sup>n.s</sup>	0.03 <sup>n.s</sup>	0.3*
قارچ مایکورریزا (M) Mycorrhizal	1	10949683.93*	3.72**	40782621.9**	0.29 <sup>n.s</sup>	394.79**	4.02**	12.70**
آهن Iron (Ferrum)	2	3495035.86 <sup>n.s</sup>	1.29 <sup>n.s</sup>	15462743.8 <sup>n.s</sup>	0.13 <sup>n.s</sup>	13.51 <sup>n.s</sup>	0.17**	0.68**
آهن × قارچ مایکورریزا M×F	2	1094685.81 <sup>n.s</sup>	0.29 <sup>n.s</sup>	7406174.24 <sup>n.s</sup>	1.34 <sup>n.s</sup>	13.69 <sup>n.s</sup>	0.001 <sup>n.s</sup>	0.002 <sup>n.s</sup>
روی (Z) Zinc	2	1485226.74 <sup>n.s</sup>	0.45 <sup>n.s</sup>	5454586.6 <sup>n.s</sup>	0.08 <sup>n.s</sup>	6.15 <sup>n.s</sup>	0.05 <sup>n.s</sup>	0.28*
قارچ مایکورریزا × روی Z×M	2	1906264.11 <sup>n.s</sup>	0.55 <sup>n.s</sup>	8077508.07 <sup>n.s</sup>	0.38 <sup>n.s</sup>	19.83 <sup>n.s</sup>	0.01 <sup>n.s</sup>	0.7 <sup>n.s</sup>
آهن × روی Z×F	4	1697943.82 <sup>n.s</sup>	0.56 <sup>n.s</sup>	5783064.55 <sup>n.s</sup>	0.04 <sup>n.s</sup>	13.74 <sup>n.s</sup>	0.02 <sup>n.s</sup>	0.08 <sup>n.s</sup>
قارچ مایکورریزا × آهن روی × Z×F×M	4	4047156.14 <sup>n.s</sup>	1.04 <sup>n.s</sup>	10456954.2 <sup>n.s</sup>	4.53**	1.73 <sup>n.s</sup>	0.001 <sup>n.s</sup>	0.004 <sup>n.s</sup>
خطا Error	34	1833868.5	0.61	5560684.7	0.79	7.13	0.01	0.07
ضریب تغییرات C.V (%)		17.21	18.50	18.10	19.31	14.83	3.73	3.22

ns, \*\*, \* به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱٪.

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

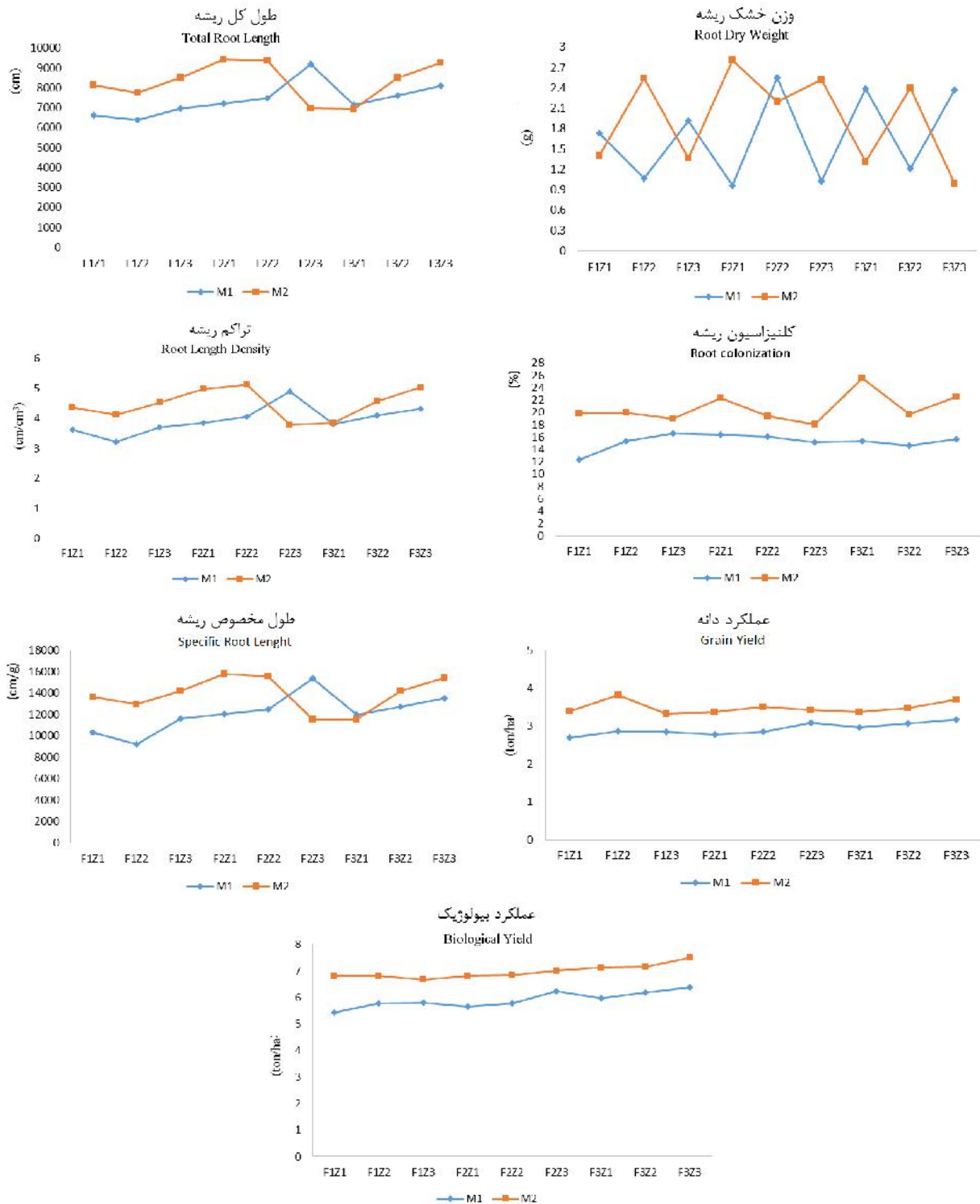
جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات قارچ، آهن و روی بر صفات مورد مطالعه  
**Table 3-** Mean comparison of zinc, fungi and iron for the studied traits

Treatment	طول کل ریشه Total Root Length (cm)	تراکم ریشه Root Length Density (cm/cm <sup>3</sup> )	طول مخصوص ریشه Total Root Length (cm/g)	وزن خشک ریشه Root Dry Weight (g)	کلنیزاسیون ریشه Root colonization (%)	عملکرد دانه Grain Yield (ton/ha)	عملکرد بیولوژیک Biological Yield (ton/ha)
M <sub>1</sub>	7416.9 b	3.96 b	12157.2 b	1.69 a	15.29 b	2.90 <sup>b</sup>	5.49 <sup>b</sup>
M <sub>2</sub>	8317.5 a	4.48 a	13895.3 a	1.84 a	20.70 a	3.90 <sup>a</sup>	6.91 <sup>a</sup>
F <sub>1</sub>	7396.7 a	3.93 a	12006.9 a	1.67 a	17.17a	3.16 <sup>b</sup>	6.43 <sup>b</sup>
F <sub>2</sub>	8270.3 a	4.46 a	13818.3 a	1.84 a	17.91 a	3.05 <sup>b</sup>	6.51 <sup>b</sup>
F <sub>3</sub>	7934.5 a	4.28 a	13253.6 a	1.78 a	18.90 a	3.99 <sup>a</sup>	6.70 <sup>a</sup>
Z <sub>1</sub>	7584.9 a	4.07 a	12569.6 a	1.76 a	18.64 a	3.15 <sup>b</sup>	6.30 <sup>b</sup>
Z <sub>2</sub>	7857.4 a	4.20 a	12871.7 a	1.82 a	17.51 a	3.18 <sup>ab</sup>	6.43 <sup>ab</sup>
Z <sub>3</sub>	8159.2 a	4.39 a	13637.5 a	1.70 a	17.84a	3.40 <sup>a</sup>	6.49 <sup>a</sup>

حروف متفاوت در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

Means in each column followed by similar letters(s) are not significantly different using Duncan's test at the 5% probability level.





شکل ۱- مقایسه میانگین اثر ترکیب تیماری قارچ، آهن و روی بر طول کل ریشه (الف)، وزن خشک ریشه (ب)، تراکم طول ریشه (ج)، کلونیزاسیون ریشه (د)، طول مخصوص ریشه (ه)، عملکرد دانه (و) و عملکرد بیولوژیک (ز)

**Figure 1-** Mean comparison of treatment combination of fungi, iron and zinc on total root length (a), root dry weight (b), root length density (c), root colonization (d), specific root length (e), grain yield (f) and biological yield (g)

M<sub>1</sub> و M<sub>2</sub>: عدم مصرف مایکوریزا و مصرف گونه *Glomus intraradices*, F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub> و F<sub>3</sub>: آهن: ۰.۰۲/۵ و ۵ کیلوگرم در هکتار - Z<sub>1</sub>, Z<sub>2</sub> و Z<sub>3</sub>: سولفات روی: ۰.۰۲۵ و ۵ کیلوگرم در هکتار.

## References

## منابع مورد استفاده

- Abbott, L.K., and A.D. Robson. 1985. Formation of external hyphae in soil by four species of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist*. 99: 245-255.
- Alloway, B.J. 2008. Zinc in soils and crop nutrition. 2<sup>nd</sup> ed. IZA and IFA, Brussels, Belgium and Paris, France.
- AmirAbadi, M., F. Rejali, M.R. Ardakani, and M. Borji. 2010. Effect of Azotobacter and mycorrhiza on Nutrients uptake by Zea on Different level of Phosphorous. *Water and Soil Researches*. 23(1): 107-115. (In Persian).
- Anderson, E.L., P.D. Millner, and H.M. Kunishi. 2008. Maize root length density and mycorrhizal infection as influenced by tillage and soil phosphorus. *Journal of Plant Nutrition*. 10: 9-16.
- Ardakani, M.R., F. Majd, D. Mazaheri, and Gh. Nourmohammadi. 2000. The efficiency of azospirillum, mycorrhiza, streptomyces with the use of manure in wheat using P-32. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 1(1): 100-109. (In Persian).
- Ardakani, M.R., G. Pietsch, W. Wanek, P. Schweiger, A. Moghaddam, and J.K. Friedel. 2009. Nitrogen fixation and yield of lucerne (*Medicago sativa* L.), as affected by co-inoculation with *Sinorhizobium meliloti* and arbuscular mycorrhiza under dry organic farming conditions. *American-Eurasian Journal Agric and Environ. Sciences*. 6(2): 173-183.
- Bolan, N.S. 1991. A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. *Plant and Soil*. 134: 189-207.
- Borja, I., H.A. De Wit, A. Steffenrem, and H. Majidi. 2008. Stand age and fine root biomass, distribution and morphology in a Norway spruce chronosequence in southeast Norway. *Tree Physiology*. 28: 773-784.
- Cakmack, I. 2002. Plant nutrition research: Priorities to meet human needs for food in sustainable ways. *Plant and Soil*. 247: 3-24.
- Cardoso, I.M., and T.W. Kuyper. 2006. Mycorrhizas and tropical soil fertility. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 116: 72-84.
- Cohen, A.T., P. Mariella, and P. Patricia. 2007. Effect of azospirillum & azotobacter fertilizer on bean plants. International Plant Growth Substances Association 19<sup>th</sup> Annual Meeting. Puerto Vallarta, Mexico-July, 21-25.
- Evans, D.G., and M.H. Miller. 2006. The role of the external mycelial network in the effect of soil disturbance upon vesicular arbuscular mycorrhizal colonization of maize. *New Phytologist*. 114(1): 65-71.
- Fathi, Gh., and M.R. Enayatgholizade. 2009. The effect of iron, zinc and copper on growth and yield of barley cultivars in Khuzestan conditions. *Journal of Crop Physiology*. 1(1): 28-41. (In Persian).
- Glick, B.R. 2012. Plant growth-promoting bacteria: Mechanisms and applications. *Cientifica*. 2012: 1-15.
- Hamzhepour, N., M.J. Malakouti, and A. Majidi. 2010. Interaction of zinc, iron and manganese in different organs of wheat. *Journal of Soil Research*. 24 (1): 1-8. (In Persian).
- Hezave, H., and M.R. Ardakani. 2012. Feasibility study on barley biofortification to iron and zinc by mycorrhizal symbiosis. Msc thesis from Faculty of Agriculture and Natural Resources, Islamic Azad University, Arak Branch. 126 pp. (In Persian).

- Kathleen, K., R. Tresede, and A. Cross. 2006. Global distributions of *Arbuscular Mycorrhizal Fungi*. *Ecosystems*. 9: 305-316.
- Kazemi poshtmasari, H., H.A. Pirdashti, and A. Bahmanyar. 2007. Effects of phosphate fertilizers and biologic features two varieties of beans. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*. 14(6): 20-29. (In Persian).
- Malakouti, M.J. 2007. Zinc is a neglected element in the life cycle of plants. *Middle Eastern and Russian Journal of Plant Science and Biotechnology*. 1(1): 1-12.
- Manskem, G.B., A. Luttger, R.K. Behl, P.G. Vlekand, and M. Cimmit. 2000. Enhancement of mycorrhiza (VAM) infection, nutrient efficiency and plant growth by *Azotobacter chroococcum* in wheat. *Journal of Plant Breeding*. 13: 78-83.
- Mohammad, M.J., H. Malkawi, and R. Shibli. 2010. Effect of mycorrhizal fungi and phosphorus fertilization on growth and nutrient uptake of barley grown on soils with different levels of salts. *Journal of Plant Nutrition*. 26(1): 125-137.
- Neuman, E., and E. Geouge. 2004. Colonization with the AMF *Glomus mosseae* (Nicol and Gerd.) enhanced phosphorus uptake from dry soil in *Sorghum bicolor* (L.). *Journal of Plant and Soil*. 261: 245-255.
- Oyetunji, O.J., J. Iekanayake, O. Osonubi, and O. Lyasse. 2004. Cassava macro- and micronutrient uptake and partitioning in alley cropping as influenced by *Glomus spp.* in sub-humid tropics and its impact on productivity. The International Institute of Tropical Agriculture. Available in: [http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos\\_Ciat/cbn/Posters-PDF/Oyetunji%20et%20al%20poster%20of%20CBN6.pdf](http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/cbn/Posters-PDF/Oyetunji%20et%20al%20poster%20of%20CBN6.pdf).
- Pahlevan Rad, M.R., M. Kikha, and M.R. Naroei Rad. 2008. Effect of zinc, iron and manganese on yield, yield components, concentration and absorption of nutrients in the Wheat's grain. *Research and Development in Agriculture and Horticulture*. 2(79): 142-150. (In Persian).
- Pairunan, A.K., A.D. Robson, and L.K. Abbott. 1980. The effectiveness of vesicular arbuscular mycorrhiza in increasing growth and phosphorus uptake of subterranean clover from phosphorus of different solubilities. *New Phytologist*. 84: 327-338.
- Safapour, M., M.R. Ardakani, F. Rejali, Sh. Khaghani, and M. Teymoori. 2012. Effect of co-inoculation with *Glomus intraradices* and *Rhizobium phaseoli* on yield and yield components of three red bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. *New Finding in Agriculture*. 6(1): 21-35. (In Persian).
- Safapour, M., M.R. Ardakani, Sh. Khaghani, and M. Teymoori. 2011. Response of yield and yield components of three red bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes to co-inoculation with *Glomus intraradices* and *Rhizobium phaseoli*. *American-Eurasian Journal Agriculture and Environment Sciences*. 11(3): 398-405.
- Salehrastin, N. 1998. Biological fertilizers. *Soil and Water Journal*. 12 (3): 1-36. (In Persian).
- SAS Institute. 2004. The SAS system for windows. Release 9.1.3. SAS Inst., Cary, NC. USA.
- Shahzad, S.M., A. Khalid, M. Arshad, and K. Rehman. 2010. Screening rhizobacteria containing ACC-deaminase for growth promotion of chickpea seedlings under axenic conditions. *Soil and Environment*. 29(1): 38-46.
- Stancheva, M., G. Geneva, G. Zehirov, M. Tsvetkova, and G. Hristozkova. 2006. Effects of combined inoculation of pea plants with arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobium on

nodule formation and nitrogen fixing activity. *Genetic, Applied, Plant Physiology*. Special Issue, 61-66.

- Tarafdar, J.S., and H. Marschner. 1994. Efficiency of VAM hyphae in utilization of organic phosphorus by wheat plant. *Soil Science and Plant Nutrition*. 40(4): 593-600.
- Tennant, D. 1975. A test of a modified line intersects method of estimating root length. *Journal Ecology*. 63: 995-1001.
- Varnord wijk, M., and P. Willigen. 1987. Agricultural concepts of roots: From morphogenetic to functional equilibrium between root and shoot growth. *Netherlands Journal of Agricultural Science*. 35: 487-496.
- Wenke, L. 2009. Correlation between specific fine root length and mycorrhizal colonization of maize in different soil types. *Frontiers of Agriculture in China*. 3(1): 13-15.
- Wilson, A.J., A.W. Robards, and M.J. Goss. 1977. Effects of mechanical impedance on root growth in barley (*Hordeum vulgare* L.) II. Effects on cell development in seminal roots. *Journal of Experimental Botany*. 28(5): 1216-1227.
- Zramos, A.C., P.T. Lima, P.N. Dias, M.C. Kasuya, and J.A. Feijó. 2009. A pH signaling mechanism involved in the spatial distribution of calcium and anion fluxes in ectomycorrhizal roots. *New Phytologist*. 181: 448-462.

## The Effects of Micro Elements of Iron and Zinc on Morphological Characteristics of Mycorrhized Barley (*Hordeum vulgare* L.)

Shahab Khaghani<sup>1\*</sup>

Received: February 2014, Revised: 24 October 2015, Accepted: 9 March 2016

### Abstract

Deficiency of micro-nutrients in human diet may cause health problems. To increase the amount of these elements in the edible parts of the plants would eliminate the incidence of these health problems. Thus, the effects of iron and zinc on seed yield and morphological characteristics of mycorrhized barley (cv. Bahman) root was studied in Karaj, Iran, during growing season of 2013-14. It was carried out in afactorial experiment based on randomized complete block design with three replications. Treatments consisted two levels of mycorrhiza, non-inoculation ( $M_0$ ) and inoculation with 10 kg/ha of *Glomus intraradices* ( $M_1$ ), and three levels of iron from Fe-EDDHA (Sequestrene 138) as control ( $F_0$ ), 2.5 kg/ha ( $F_1$ ) and 5kg/ha ( $F_2$ ) and three levels of zinc as zinc sulphate ( $ZnSO_4$ ) as control ( $Z_0$ ), 25 kg/ha ( $Z_1$ ) and 50 kg/ha ( $Z_2$ ). The results showed that application of mycorrhiza increased parameters like total root length (TRL), root length density (RLD), specific root length (SLR), root colonization percentage and grain yield by 900.6 cm, 0.52 cm/cm<sup>3</sup>, 1738.1 cm/g, 5.41% and 1ton/ha respectively. Mean comparisons also revealed that using iron, mycorrhiza and without Zn application increased levels of root dry weight (RDW) by 2.81 g.

**Key words:** *Glomus intraradices*, Barley, iron, micronutrients, zinc.

1- Department of Agronomy and Plant Breeding, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran.

\* Corresponding Author: sh-khaghani@iau-arak.ac.ir

