نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۶، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۳، ص. ۳۳۸-۳۲۴

Journal of Agroecology
Vol. 6, No. 2, Summer 2014, p. 324-338

ارزیابی صفات کیفی گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) تحت تأثیر کاربرد *ازتوباکتر* و همزیستی میکوریزایی

آرزو امیدی[۱*]، محمد میرزاخانی[۲] و محمدرضا اردکانی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱/۲۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۵/۱۲

چکیده

تحقیق حاضر به منظور ارزیابی صفات کیفی گلرنگ تحت تأثیر کاربرد *ازتوباکتر* و همزیستی میکوریزایی (همزیستی ریشه گیاه میزبان با قارچ *گلوموس*)، به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ انجام شد. تیمارها شامل تلقیح با *ازتوباکتر* در سه سطح (عدم تلقیح، تلقیح با *ازتوباکتر* سویه ۵ و تلقیح با *ازتوباکتر* سویه ۱۲) و قارچ *گلوموس* در چهار سطح (عدم تلقیح، تلقیح با *Glomus intraradices*، تلقیح با *G. mosseae* و تلقیح با مخلوط *G. intraradices* و *G. mosseae*) بود. نتایج نشان داد که اثر متقابل *ازتوباکتر* و قارچ *گلوموس* (کاربرد توأم دو ترکیب) بیشترین تأثیر افزایشی را روی صفات درصد فسفر دانه، وابستگی میکوریزایی و درصد نیتروژن دانه در گلرنگ نشان داد. بیشترین فسفر دانه (۰/۵۸ درصد) در تیمار تلقیح با *ازتوباکتر ۵* و تلقیح با مخلوط *G. intraradices* و *G. mosseae* (A_1M_3) و کمترین آن (۰/۳۷ درصد) در تیمار تلقیح با *ازتوباکتر ۵* و تلقیح با *G. mosseae* (A_1M_2) دیده شد. بالاترین (۳/۱۴ درصد) و پایین‌ترین (۲/۴۶ درصد) نیتروژن دانه نیز به ترتیب در تیمارهای تلقیح با *ازتوباکتر ۱۲* و تلقیح با مخلوط *G. intraradices* و *G. mosseae* (A_2M_3) و عدم تلقیح با *ازتوباکتر* و تلقیح با *G. intraradices* (A_0M_1) به دست آمد. اثر اصلی *ازتوباکتر* و قارچ *گلوموس* بر صفات درصد روغن دانه، عملکرد روغن دانه، درصد فسفر دانه، درصد کلونیزاسیون ریشه و وابستگی میکوریزایی در گلرنگ تأثیر معنی‌دار داشت. بیشترین درصد روغن دانه، عملکرد روغن دانه، درصد فسفر دانه، درصد کلونیزاسیون ریشه و وابستگی میکوریزایی در تیمار تلقیح با *ازتوباکتر ۱۲* نسبت به عدم تلقیح آن به دست آمد. لذا با توجه به اثرات مثبت کاربرد میکروارگانیسم‌ها می‌توان باکتری *ازتوباکتر* به تنهایی یا به همراه قارچ *گلوموس* و به همراه مصرف ۵۰ کیلوگرم از منبع اوره را توصیه نمود.

واژه‌های کلیدی : تلقیح با قارچ *گلوموس*، روغن، فسفر دانه، کلونیزاسیون ریشه، محتوی آب نسبی برگ

مقدمه

گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) یکی از گیاهان دانه-روغنی چندمنظوره و از خانواده کاسنی (Asteraceae) می‌باشد که دانه آن دارای ۲۵ تا ۴۵ درصد روغن و ۱۲ تا ۲۴ درصد پروتئین است. کیفیت روغن این گیاه در بین گیاهان روغنی به دلیل میزان اسید لینولئیک بین ۷۳ تا ۸۵ درصد بالا ترین مقدار است. علاوه بر تولید روغن، کنجاله آن نیز نقش اساسی در جیره غذایی دام دارد. همچنین رنگیزه‌های موجود در گل‌های آن دارای ارزش اقتصادی نسبتاً بالایی است (Purdad, 2007). منشأ جغرافیایی و مراکز تنوع ژنتیکی گلرنگ را نواحی مدیترانه ای، منطقه خاورمیانه و حتی ایران می‌دانند و لذا کاشت آن در ایران از قدمتی طولانی برخوردار است (Tavakoli, 2002). این گیاه به نواحی دارای بارندگی نسبتاً اندک با یک شرایط آب و هوایی خشک در طی گلدهی و رسیدگی سازگار شده است و به دلیل خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی ویژه نظیر ریشه‌های عمیق در خاک به عنوان یک گیاه متحمل به شرایط نامساعد محیطی نظیر کم آبی، سرما، شوری و قلیایی‌بودن خاک شناخته شده و در بسیاری از کشورها به طور گسترده کشت می‌شود (Arnon, 1972).

پوئنتی و همکاران (Puente et al., 2004) گزارش دادند گیاهان

۱- کارشناس ارشد دانشگاه آزاد اسلامی اراک، گروه زراعت، اراک
۲- استادیار دانشگاه آزاد اسلامی فراهان، گروه زراعت، فراهان
۳- استاد دانشگاه آزاد اسلامی کرج، گروه زراعت، کرج
(*- نویسنده مسئول: E-mail:a.omidi20@gmail.com)

تلقیح‌شده با باکتری های محرک رشد، محتوای نیتروژن بالا تری نسبت به گیاهان تلقیح‌نشده دارند. بهره‌گیری از باکتری‌های محرک رشد گیاه، می‌تواند بسیار حائز اهمیت باشد. فرآیندهایی که باکتری‌های محرک رشد گیاه جهت افزایش رشد به کار می‌برند، به‌طور کامل شناخته نشده است، ولی در حالت کلی می توان به قابلیت تولید برخی هورمون های محرک رشد به ویژه انواع اکسین، جیبرلین و سیتوکینین (Egmberdiyeva, 2007; Shaharoona et al., 2006) مشارکت در تثبیت زیستی نیتروژن (Salantur et al., 2006)، مبارزه با پاتوژن های گیاهی از طریق تولید آنتی بیوتیک ها، آنزیم ها و قارچ‌کش‌ها (Bharathi et al., 2004)، حلالیت فسفر معدنی و معدنی‌کردن فسفات آلی (Dobbelaere et al., 2003; Lucy et al., 2004)، تولید هورمون‌های گیاهی و ویتامین‌ها و توسعه سیستم ریشه‌ای گیاه اشاره نمود. این باکتری‌ها قادرند با افزایش در سرعت جوانه‌زنی، افزایش طول و وزن ریشه‌چه (Khan et al., 2003)، تسریع در طویل شدن ریشه و استقرار گیاه، افزایش تعداد ریشه های جنینی و جانبی (Cakmakci et al., 2007b)، منجر به افزایش کمی و کیفی گیاهان مختلف شوند (Dobbelaere et al., 2003).

باکتری‌های جنس *ازتوباکتر* از مهم‌ترین باکتری‌های آزادزی خاکزی تثبیت‌کننده نیتروژن و هتروتروف می‌باشند (Maunuksela, 2001). جمعیت *ازتوباکتر* در محیط اطراف ریشه گیاهان مختلف خیلی بیشتر از خاک غیر محیط اطراف ریشه گیاهان است. مقدار نیتروژن تثبیت شده توسط *ازتوباکتر* به سویه آن، نوع کشت و کار مزرعه، pH محیط کشت، دما، تهویه، وجود نیتروژن ترکیبی، منبع کربن، وجود عناصر کم‌مصرف در محیط کشت و غیره بستگی دارد. حضور ریز جانداران دیگر در محیط کشت اغلب سبب تثبیت بیشتر نیتروژن مولکولی این باکتری می شود که علت آن ترشح موادی مانند پروتئین‌ها، اسیدهای آمینه و آمونیوم توسط سایر ریزجانداران موجود در محیط کشت می‌باشد (Fallah et al., 2006).

قارچ‌های *گلوموس* در بین میکروارگانیسم‌هایی که محیط اطراف ریشه را اشغال می‌کنند، منحصربه‌فرد بوده (Schmidhalter, 1998 & Hu) و با ایجاد رابطه همزیستی با ریشه اغلب گیاهان زراعی که اصطلاحاً همزیستی میکوریزایی گفته می شود، موجب افزایش جذب عناصر غذایی مثل فسفر و برخی عناصر کم مصرف، افزایش جذب آب، کاهش تأثیر منفی تنش های محیطی و افزایش مقاومت در برابر عوامل بیماری زا شده و سبب بهبود در رشد و عملکرد گیاهان میزبان در سیستم‌های کشاورزی پایدار می‌شوند (Sharma, 2002). میزان انتشار میسیلیوم ها در خاک و قدرت آنها در جذب فسفر از خاک بستگی به عوامل متعددی از جمله نوع قارچ *گلوموس*، وضعیت حضور قارچ *گلوموس* (تعداد اسپور در خاک)، طول ریشه‌های میکوریزایی شده و طول میسیلیوم‌های خارجی در خاک دارد و این معمولاً زمانی مشاهده می‌شود که میزان فسفر قابل جذب خاک در سطح پایینی قرار داشته باشد (Nadian et al., 1996). کاربرد توأم قارچ *گلوموس* و باکتری‌های حل‌کننده فسفات، باعث افزایش فسفر قابل جذب خاک و در نتیجه انحلال بیشتر فسفات های نامحلول از منبع کودی خاک فسفات می‌شود (Cabello et al., 2005). موهنداس (Mohandas, 1987) گزارش نمود که گوجه‌فرنگی‌هایی (*Lycopersicun esculeutum* L.) که با *ازتوباکتر* و قارچ‌های *گلوموس* تلقیح شده بودند، در مقایسه با تیمارهایی که با هر یک از این دو میکروارگانیسم به تنهایی تلقیح شده بودند، رشد بیشتری داشتند و از نظر ذخیره فسفر و نیتروژن غنی‌تر بودند. میرزاخانی و همکاران (Mirzakhani et al., 2008) گزارش کردند که تلقیح بذر گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) با باکتری آزادزی *ازتوباکتر* و یک قارچ همزیست مولد قارچ *گلوموس* علاوه بر افزایش عملکرد دانه و روغن، موجب افزایش مقاومت گیاهان در برابر عوامل نامساعد محیطی و بهبود کیفیت محصول می‌گردد.

نتایج آزمایشی در گندم (*Triticum aestivum* L.) نشان داد که همبستگی مثبتی بین تلقیح با قارچ *گلوموس* با غلظت روی و فسفر وجود دارد، ولی اثر محافظتی ریشه گیاه در برابر عوامل پاتوژن توسط قارچ *گلوموس* در سطوح بالای کلونیزاسیون دیده نشد (Ryan et al., 2005). کلونیزاسیون توسط قارچ *گلوموس* با ایجاد تغییرات مورفولوژیک در ریشه منجر به افزایش سطح ریشه می‌گردد (Akhtar & Siddiqui, 2008). میزان وابستگی گیاه میزبان به قارچ‌های *گلوموس* و یا به عبارتی پاسخ رشد گیاه میکوریزایی به عوامل مختلف محیطی (مانند شدت نور، درجه حرارت، شرایط خاک) و نیز به مشخصات ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی گیاه بستگی دارد (Smith & Read, 2008). در بین این عوامل مشخصات ریخت‌شناسی ریشه گیاه میزبان از جمله عوامل مهم در برقراری همبستگی گیاه با قارچ *گلوموس* است.

نتایج آزمایش اثرات ذخیره نیتروژن بر رشد، عملکرد و اجزای عملکرد در گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) و آفتابگردان

(*Helianthus annuus* L.) نشان داد که بالاترین میزان عملکرد و رشد به ترتیب در سطوح مصرف یک و دو گرم نیتروژن در گلدان به دست آمد و همچنین مشخص شد که عملکرد گلرنگ در غلظت‌های پایین مصرف نیتروژن بالاتر از عملکرد آفتابگردان در غلظت‌های پایین مصرف نیتروژن بود. درحالی‌که در غلظت‌های بالای مصرف نیتروژن، این موضوع کاملاً برعکس بود و معمولاً کارایی گلرنگ در غلظت‌های پایین نیتروژن در ساقه‌ها بیشتر از آفتابگردان است. بدین منظور ارتباط بین غلظت نیتروژن در پهنک جوان‌ترین برگ‌های توسعه یافته با فعالیت فتوسنتزی آنها در هر دو گیاه مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد که گلرنگ نسبت به آفتابگردان برای تولید عملکرد مطلوب به غلظت‌های کمتری از نیتروژن در برگ‌های خود نیاز دارد که این دلالت بر کارایی بیشتر استفاده از نیتروژن در گلرنگ داشت. بنابراین مسیر تجزیه گلرنگ نشان داد که اثرات مستقیم مقدار نیتروژن دانه‌ها و برگ‌ها به اندازه وزن خشک برگ‌ها بر عملکرد روغن مؤثر نیست و اساساً به صورت غیرمستقیم اثر متوسطی بر تعداد دانه در طبق داشت، درحالی که در آفتابگردان اثر مستقیم بالایی بر تعداد دانه در طبق داشت (Abbadi et al., 2008).

افزایش سطح برگ تعیین کننده ظرفیت فتوسنتزی گیاه است. تغییر در سطح برگ که تحت تأثیر ژنوتیپ، تراکم بوته، آب و هوا و حاصلخیزی خاک قرار دارد، بر عملکرد نیز تأثیر خواهد گذاشت (Nezarat & Glolami, 2008). این آزمایش جهت بررسی تأثیر سویه های مختلف *ازتوباکتر* و قارچ *گلوموس* بر ارزیابی صفات کیفی گلرنگ تحت تأثیر کاربرد *ازتوباکتر* و همزیستی میکوریزایی در شرایط آب و هوایی اراک انجام گردید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ اجرا شد. عوامل مورد بررسی شامل تلقیح با *ازتوباکتر* در سه سطح عدم تلقیح، تلقیح با *ازتوباکتر* سویه ۵ و تلقیح با *ازتوباکتر* سویه ۱۲ و قارچ *گلوموس* در چهار سطح عدم تلقیح، تلقیح با *Glomus intraradices*، تلقیح با *G. mosseae* و تلقیح با مخلوط *G.intraradices* و *G. mosseae* بود. مایه تلقیح های *ازتوباکتر* در این تحقیق از بخش تحقیقات بیولوژی خاک مؤسسه تحقیقات خاک و آب تهیه شد. تلقیح بذرها در زمان کاشت صورت گرفت و براساس توصیه مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور به‌ازای هر ۱۰۰ گرم بذر تا ۵۰۰ میلی‌لیتر باکتری اضافه شد. مایه تلقیح *ازتوباکتر* حاوی 10^8 سلول زنده در هر میلی لیتر (CFU) بود. قارچ *گلوموس* در زیر بذر داخل شیار ریخته شد. جمعیت اسپور قارچ ۱۲۰ اسپور در هر گرم از مایه تلقیح بود. تیمارها به صورت تصادفی در کرت ها و بلوک ها اختصاص داده شدند. زمین مورد آزمایش در پاییز با شخم نیمه عمیق و دیسک آماده سازی گردید. به منظور تأمین مواد آلی مورد نیاز باکتری‌های *ازتوباکتر* و افزایش فعالیت آنها مقدار ۲۰ تن کود دامی پوسیده شده قبل از کاشت به تمامی کرت‌های آزمایش اضافه شد و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی نیتروژن در مرحله انتهای ساقه‌دهی به زمین داده شد.

هر کرت آزمایشی شامل سه خط کاشت به طول شش متر و فاصله ردیف های کاشت ۶۰ سانتی‌متر و فاصله بوته روی خطوط کاشت هشت سانتی‌متر و روی هر پشته دو خط کاشت و عمق کاشت ۳-۲ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. تراکم ۴۲۰۰۰۰ بوته در هکتار در نظر گرفته شد.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1- Physicochemical characteristics of soil

عمق (سانتی-متر) Depth (cm)	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر) EC ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته کل اشباع pH	کربن آلی (%) O.C (%)	نیتروژن کل (%) N_{total} (%)	فسفرقابل جذب (پی.پی.ام) $P_{available}$ (ppm)	پتاسیم قابل جذب (پی.پی.ام) $K_{available}$ (ppm)	شن (%) Sand (%)	لای (%) Silt (%)	رس (%) Clay (%)	بافت خاک Soil texture
0-30	2.7	7.8	0.75	0.08	4.1	166	52	24	24	لوم رسی Clay-loam

جدول۲- مشخصات کود دامی
Table 2- Manure characteristics

نسبت کربن به نیتروژن C/N	کربن آلی (%) O.C (%)	پتاسیم (%) K (%)	فسفر (%) P (%)	نیتروژن (%) N (%)	رطوبت (%) Humidity (%)	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس برمتر) EC ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته pH
21.1	40.89	0.89	0.8	1.9	75	5.9	8.19

زمان کاشت ۲۶ مهرماه سال ۱۳۹۰ بود. آبیاری کرت‌ها به صورت بارانی و مبارزه با علف‌های هرز به صورت دستی انجام شد. رقم سینا (PI-537598) حاصل یک برنامه به‌نژادی هفت ساله از بانک جهانی گلرنگ است. این رقم در سال ۱۳۸۶ جهت کشت پاییزه در شرایط دیم مناطق معتدل سرد معرفی شده و قابلیت کشت بهاره در مناطق سرد را نیز دارد. رقم سینا زودس، با تیپ رشد بینابین، مقاوم به تنش خشکی، خاردار، دارای گل های زرد، نارنجی با متوسط ارتفاع بوته ۱۰۳/۵ سانتی متر، وزن هزار دانه ۳۴/۷ و میانگین روغن دانه ۳۰/۱ درصد می‌باشد. میانگین عملکرد دانه این رقم ۱۳۴۷ کیلو گرم در هکتار است. برای تعیین درصد کلونیزاسیون ریشه (درصد همزیستی میکوریزایی) در مرحله گلدهی از ریشه نمونه برداری صورت گرفت. بعد از آبیاری و رسیدن به ظرفیت زراعی از وسط هر کرت با حذف حاشیه، پنج بوته به طور تصادفی انتخاب و پروفیلی به ابعاد ۳۰ سانتی‌متر اطراف ریشه زده شد. خاک اطراف ریشه‌ها به خوبی شسته شد و از پنج بوته هر تیمار از نقاط مختلف سیستم ریشه‌ای، ریشه‌های موئین جدا شد و جهت رنگ‌آمیزی ریشه‌ها محلول ۱۰ درصد هیدروکسید پتاسیم (KOH) به آن افزوده و در اتوکلاو با دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد با فشار لازم به مدت پنج دقیقه قرار داده شد. پس از سرد شدن ریشه‌ها، شش تا هشت مرتبه با آب مقطر شسته شدند. عملیات رنگبری با آب‌اکسیژنه قلیائی به مدت ۱۵ دقیقه صورت پذیرفت. بعد از چهار تا پنج بار شستشو، ریشه ها درون محلول اسیدکلریدریک (HCl) یک درصد به مدت سه دقیقه فرو برده شدند. پس از خالی کردن اسیدکلریدریک، ریشه را با محلول رنگ آمیزی تریپان‌بلو با غلظت یک درصد به مدت ۲۴ ساعت در محیط آزمایشگاه آغشته کرده، سپس ریشه‌ها از رنگ خارج و در محلول لاکتوگلیسرول بدون رنگ غوطه‌ور شدند تا رنگ اضافی خارج گردد (Philips & Hyman, 1970). برای تعیین کلونیزاسیون ریشه‌های رنگ‌آمیزی شده به قطعات یک سانتی‌متری برش داده شد و ۵۰ قطعه بر روی پتری‌دیش مشبک شده به ابعاد یک سانتی متری به طور تصادفی پخش و با روش گریدلاین[1] (روش خطوط متقابل) درصد کلونیزاسیون ریشه اندازه‌گیری شد (Giovannetti & Mosse, 1980). همچنین درصد وابستگی میکوریزایی با استفاده از معادله بائون و همکاران (Baon et al., 1994) محاسبه شد.

جهت اندازه‌گیری محتوی آب نسبی برگ از هر کرت، تعداد پنج برگ جوان از قسمت‌های میانی پنج گیاه گلرنگ به صورت تصادفی و در هنگام ظهر انتخاب گردید و در ظروف دربسته به آزمایشگاه منتقل گردید. پس از انتقال به آزمایشگاه، سطوح آن تمیز گردید و سپس توزین شد. عدد قرائت شده به عنوان وزن تر گیاه ثبت شد. به منظور تعیین وزن خشک برگ ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی گراد در آون قرار داده شدند. با استفاده از اعداد به دست آمده، محتوی آب نسبی برگ از رابطه زیر محاسبه شد (Ceccato et al., 2001):

محتوی آب نسبی برگ = (وزن تر برگ تازه – وزن خشک برگ) / وزن تر برگ تازه ×۱۰۰

برداشت گیاهان چهارم مردادماه صورت گرفت. در زمان برداشت از هر کرت ۱۰ بوته به صورت تصادفی انتخاب گردید. صفات مورد بررسی شامل درصد روغن دانه، عملکرد روغن دانه، درصد فسفر دانه، درصد کلونیزاسیون ریشه، وابستگی میکوریزایی، درصد نیتروژن دانه و محتوی آب نسبی برگ بود. داده‌های حاصل از نمونه‌برداری‌ها، توسط نرم‌افزار MSTAT-C تجزیه و سپس مقایسه مقایسه میانگین‌ها با کمک آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند. از نرم‌افزار Excel برای رسم نمودارها استفاده شد.

نتایج و بحث

درصد روغن

درصد روغن دانه یکی از مهم‌ترین صفات اقتصادی برای ارقام

1- Gridline intersection method

گلرنگ است که تأثیر بسیار زیادی بر موفقیت تولید گلرنگ در مناطق جدید دارد (Naseri, 1991). نتایج حاصل از تجزیه واریانس درصد روغن دانه گلرنگ (جدول ۳) نشان داد که اثر *ازتوباکتر* بر درصد روغن دانه معنی‌دار شد ($p\leq$۰/۰۵). بیشترین روغن دانه با میانگین ۲۱/۱۲ درصد در تیمار تلقیح با *ازتوباکتر* ۱۲ به دست آمد و کمترین روغن دانه با میانگین ۱۹/۴۶ درصد در تیمار عدم تلقیح با *ازتوباکتر* به دست آمد (جدول ۴). رسولی (Rasouli, 2011) در بررسی اثر تلقیح *ازتوباکتر*، کاربرد کود دامی و نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ پاییزه اظهار داشت که بیشترین درصد روغن با میانگین ۲۴/۷۱ درصد و کمترین آن با میانگین ۲۳/۲۹ درصد به ترتیب مربوط به تیمارهای تلقیح و عدم تلقیح با *ازتوباکتر* بود. فراهانی (Farahani, 2012) اظهار داشت اثر متقابل دوگانه *ازتوباکتر* و نیتروژن، بیشترین درصد روغن با میانگین ۲۵/۷۸ درصد در تیمار عدم تلقیح با *ازتوباکتر* و مصرف ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و کمترین میزان ۲۲/۸ درصد در تیمار عدم تلقیح *ازتوباکتر* و مصرف ۷۵ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. در خصوص کاربرد قارچ *گلوموس* از نظر تأثیر بر درصد روغن دانه در گلرنگ (جدول ۳) نیز اختلاف معنی‌دار وجود داشت ($p\leq$۰/۰۵). بیشترین روغن دانه با میانگین ۲۱/۵۸ درصد در تیمار تلقیح با سویه *G. intraradices* به دست آمد و کمترین روغن دانه با میانگین ۱۹/۵۳ درصد در تیمار عدم تلقیح با قارچ *گلوموس* به دست آمد (جدول ۴). اوجاقلو و همکاران (Ojaghloo et al., 2007) اظهار کردند که کاربرد کودهای زیستی ازتوباکترین و فسفات بارور می‌توانند با سازوکار جداگانه در افزایش عملکرد دانه و درصد روغن دانه گلرنگ مؤثر باشند، به شرطی که همراه با کود آلی و کود شیمیایی به اندازه نصف مقدار توصیه شده مصرف شوند. اثر متقابل *ازتوباکتر* و قارچ *گلوموس* از نظر تأثیر بر درصد روغن دانه گلرنگ (جدول ۳) اختلاف معنی دار را نشان نداد. مقایسه میانگین‌ها (جدول ۵) نشان داد که بیشترین روغن دانه با میانگین (۲۲/۹۵ درصد) مربوط به تیمار A_0M_3 (عدم تلقیح با *ازتوباکتر* و تلقیح با مخلوط *G. intraradices* و *G. mosseae*) و کمترین روغن دانه با میانگین (۱۸/۳۷ درصد) مربوط به تیمار A_0M_0 (عدم تلقیح با *ازتوباکتر* و عدم تلقیح با قارچ *گلوموس*) می‌باشد.

جدول۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات اندازه‌گیری شده در گلرنگ

Table 3- Analysis of variance (mean of squares) of measured characteristics of safflower

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	درصد روغن دانه Seed oil percentage	عملکرد روغن دانه Seed oil yield	محتوی فسفر دانه Seed phosphorous content	کلونیزاسیون ریشه Root colonization	وابستگی میکوریزایی Mycorrhizal dependency	نیتروژن دانه Seed nitrogen	محتوی آب نسبی برگ Relative water content of leaf
تکرار (R) Replication (R)	2	4.63^{ns}	1284.35^{ns}	0.001^{ns}	8.04^{ns}	8.52^{ns}	0.21^{ns}	8.56^{ns}
ازتوباکتر (A) *Azotobacter* (A)	2	10.31^{*}	4912.95^{**}	0.020^{**}	380.24^{**}	553.22^{**}	0.04^{ns}	0.60^{ns}
همزیستی میکوریزایی (M) Mycorrhizal symbiosis (M)	3	7.03^{*}	2798.78^{**}	0.010^{**}	373.02^{**}	94.32^{ns}	0.03^{ns}	1.53^{ns}
ازتوباکتر × همزیستی میکوریزایی (A×M) *Azotobacter*×Mycorrhizal symbiosis (A×M)	6	1.54^{ns}	466.62^{ns}	0.008^{**}	93.26^{ns}	170.24^{*}	0.28^{**}	6.38^{ns}
خطا Error	22	2.27	615.18	0.001	54.90	58.87	0.06	3.37
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	7.34	11.06	6.95	15.61	16.85	9.23	2.18

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

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

در این بررسی به نظر می‌رسد که حضور سویه‌های مختلف *ازتوباکتر* و قارچ *گلوموس* سبب رشد بهتر گیاه در مقایسه با تیمار شاهد می‌شوند و این موضوع می‌تواند زمینه انجام فرآیندهای فیزیولوژیک مطلوب را در گیاه فراهم کرده و موجب افزایش میزان روغن دانه گلرنگ گردند. میرزاخانی و همکاران (Mirzakhani et al., 2009) در بررسی اثرات تلقیح دوگانه *ازتوباکتر* و قارچ *گلوموس* تحت سطوح نیتروژن و فسفر بر کارایی جذب عناصر غذایی در گلرنگ در بین سطوح تیمار با قارچ *گلوموس*، بیشترین و کمترین درصد روغن، با میانگین ۲۷/۹۶ و ۲۷/۲۰ درصد به ترتیب مربوط به سطوح تلقیح با قارچ *گلوموس* و عدم تلقیح با آن بود. در بین کلیه اثرات متقابل، اثر متقابل (تیمار تلقیح با *ازتوباکتر* + سطح مصرف کود)، اثر متقابل سه‌گانه (*ازتوباکتر* + قارچ *گلوموس* + کود نیتروژن و فسفر) در سطح آماری پنج درصد و اثر متقابل (قارچ *گلوموس* + سطوح مصرف کود) در سطح یک‌درصد معنی‌دار شدند. پیرسته انوشه و همکاران (Pirasteh Anosheh et al., 2010) اظهار داشتند درصد روغن در تیمارهای بدون تنش و کاربرد کود بیولوژیک نیتروکسین بیشتر بود، اما هیچ کدام از تیمارهای به‌کار برده شده بر درصد روغن در آفتابگردان تأثیر معنی دار نداشتند، البته میزان روغن فقط در تیمارهای شاهد و ۷۵٪ تنش خشکی تحت تیمار با کودهای شیمیایی به میزان مشخصی کاهش قابل توجهی داشت.

جدول ٤- مقایسه میانگین اثرات اصلی *ازتوباکتر* و قارچ *گلوموس* برای درصد روغن، عملکرد روغن، درصد فسفر، درصد کلونیزاسیون ریشه، وابستگی میکوریزایی، درصد نیتروژن و محتوی آب نسبی برگ در گلرنگ

Table 4- Mean comparison of main effects of *Azotobacter* and *Glomus* fungi on oil percent, oil yield, phosphorus percent, root colonization percent, mycorrhizal dependency, nitrogen percent and relative water content of leaf of safflower

تیمار Treatment	محتوی روغن دانه (درصد) Seed oil content (%)	عملکرد روغن دانه (کیلوگرم در هکتار) Seed oil yield ($kg.ha^{-1}$)	محتوی فسفر دانه (درصد) Seed phosphorous content (%)	کلونیزاسیون ریشه (درصد) Root colonization (%)	وابستگی میکوریزایی (درصد) Mycorrhizal dependency (%)	نیتروژن دانه (درصد) Seed nitrogen (%)	محتوی آب نسبی برگ (درصد) Relative water content of leaf (%)
ازتوباکتر Azotobacter							
A_0 (عدم تلقیح) A_0 (Non inoculated)	19.46 b*	201.2 b	0.38 b	42.26 b	38.35 b	2.73 a	84.25 a
A_1 (*ازتوباکتر سویه ۵*) A_1 (*Azotobacter-5*)	21.01 a	232.6 a	0.40 b	46.74 b	46.35 a	2.85 a	84.58 a
A_2 (*ازتوباکتر سویه ۱۲*) A_2 (*Azotobacter-12*)	21.12 a	239 a	0.46 a	53.44 a	51.85 a	2.83 a	84.15 a
همزیستی میکوریزایی Mycorrhizal symbiosis							
M_0 (عدم تلقیح) M_0 (Non inoculated)	19.53 b	203.3 b	0.39 b	38.37 b	42.32 a	2.82 a	83.91 a
M_1 (*گلوموس اینترارادیسیس*) M_1 (*G. intraradices*)	21.58 a	542.6 a	0.40 b	47.55 a	44.48 a	2.73 a	84.08 a
M_2 (*گلوموس موسه‌آ*) M_2 (*G. mosseae*)	20.85 ab	228.4 ab	0.46 a	51.53 a	50 a	2.78 a	84.49 a
M_3 (مخلوط *اینترارادیسیس* و *موسه‌آ*) M_3 (*G. intraradices+G. mosseae*)	20.16 ab	219.7 b	0.41 b	52.47 a	45.28 a	2.88 a	84.83 a

*میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک هستند، اختلاف آماری معنی‌داری در آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

*Means which have at least one common letter are not significantly different at the 5% level using DMRT.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات متقابل *ازتوباکتر* و قارچ *گلوموس* برای درصد روغن، عملکرد روغن، درصد فسفر، درصدکلونیزاسیون ریشه، وابستگی میکوریزایی، درصد نیتروژن و محتوی آب نسبی برگ در گلرنگ

Table 5- Mean comparison of interaction effects of *Azotobacter* and *Glomus* fungi on oil percent, oil yield, phosphorus percent, root colonization percent, mycorrhizal dependency, nitrogen percent and relative water content of leaf of safflower

تیمار Treatment	محتوی روغن دانه (درصد) Seed oil content (%)	عملکرد روغن دانه (کیلوگرم در هکتار) Seed oil yield ($kg.ha^{-1}$)	محتوی فسفر دانه (درصد) Seed phosphorous (%)	کلونیزاسیون ریشه (درصد) Root colonization (%)	وابستگی میکوریزایی (درصد) Mycorrhizal dependency (%)	نیتروژن دانه (درصد) Seed nitrogen (%)	محتوی آب نسبی برگ (درصد) Relative water content of leaf (%)
			ازتوباکتر × همزیستی میکوریزایی				
			Azotobacter × Mycorrhizal symbiosis				
A_0M_0	18.37 c*	183.2 d	0.38 c	31.86 b	32.86 d	3.07 a	84.93 a
A_1M_0	20.76 a-c	229.9 a-d	0.38 c	43.86 ab	38.17 cd	2.68 ab	83.79 a
A_2M_0	19.64 bc	196.9 cd	0.39 c	49.68 a	39.31 cd	2.73 ab	82.74 a
A_0M_1	19.09 c	194.8 cd	0.39 c	43.62 ab	43.05 b-d	2.46 b	85.55 a
A_1M_1	20.27 a-c	217.5 b-d	0.41 c	32.07 b	50.16 a-c	2.66 ab	82.29 a
A_2M_1	21.04 a-c	236.7 a-c	0.41 c	44.45 ab	49.87 a-c	3.05 a	84.64 a
A_0M_2	22.19 ab	251.3 ab	0.42 c	52.61 a	50.35 a-c	2.64 ab	85.66 a
A_1M_2	20.55 a-c	224.8 a-d	0.37 c	57.85 a	35.04 d	3.04 a	85.71 a
A_2M_2	19.96 bc	209.2 b-d	0.39 c	51.18 a	43.94 b-d	2.74 ab	84.51 a
A_0M_3	22.95 a	270.3 a	0.40 c	54.33 a	45.40 b-d	2.47 b	83.80 a
A_1M_3	20.73 a-c	237 a-c	0.58 a	52.30 a	60.34 a	2.99 a	85.06 a
A_2M_3	20.84 a-c	239.6 a-c	0.48 b	55.95 a	57.74 ab	3.14 a	83.22 a

A_0، A_1 و A_2: به ترتیب عدم تلقیح و تلقیح با *ازتوباکتر سویه ۵* و *۱۲*

A_0, A_1 and A_2 are non-inoculated and inoculation with *Azotobacter-5* and *Azotobacter-12* respectively.

M_0، M_1، M_2 و M_3: به ترتیب عدم تلقیح و تلقیح با سویه *گلوموس اینترارادیسیس*، *گلوموس موسه آ* و *مخلوط اینترارادیسیس* و *موسه آ*

M_0, M_1, M_2 and M_3 are non-inculated and inoculation with *G. intraradices*, *G. mossae* and mixed *G. intraradices* and *G. mossae* respectively.

*میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک هستند، اختلاف آماری معنی‌داری در آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند

*Means which have at least one common letter are not significantly different at 5% probability level using DMRT.

در مطالعات صورت گرفته به طور معمول بیان شده است که کودهای شیمیایی بر کیفیت دانه بی‌تأثیر بوده و یا تأثیر منفی داشته‌اند (Jeliazkov, 1999; Khan & Azam, 1999). نتایج این آزمایش نشان داد که علیرغم اینکه تفاوت در درصد روغن دانه در آزمایشات گوناگون به طور عمده تحت تأثیر ژنوتیپ بوده و تغییرات ناشی از شرایط بیرونی بر تغییرات درصد روغن، خیلی مؤثر نمی‌باشد، ولی به هر حال عوامل مختلفی چون تاریخ کاشت، شرایط تغذیه‌ای، تراکم و آرایش کاشت، میزان و نحوه آبیاری، مقدار، نوع، روش مصرف کود و حتی وجود آفات و بیماری ها می‌تواند از طریق وارد نمودن تنش در مراحل رشدی گیاهان، به‌ویژه در مرحله پر شدن دانه (که معمولاً نوع و نسبت مواد تشکیل‌دهنده دانه تعیین می‌گردند) بر درصد روغن دانه‌ها مؤثر هستند.

عملکرد روغن

نتایج حاصل از تجزیه واریانس عملکرد روغن دانه گلرنگ (جدول ۳) نشان داد که اثر *ازتوباکتر* بر عملکرد روغن دانه معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۱) شد. بیشترین عملکرد روغن دانه با میانگین ۲۳۹ کیلوگرم در هکتار در تیمار تلقیح با *ازتوباکتر ۱۲* به دست آمد و کمترین عملکرد روغن دانه با میانگین ۲۰۱/۲ کیلوگرم در هکتار در تیمار عدم تلقیح با *ازتوباکتر* به دست آمد (جدول ۴). فراهانی (Farahani, 2012) اظهار داشت، بیشترین عملکرد روغن با میانگین ۳۶۹/۱ کیلوگرم در هکتار در تیمار تلقیح با *ازتوباکتر* و مصرف ۱۵ تن کود دامی در هکتار و کمترین میزان ۲۷۲/۵ کیلوگرم در هکتار در تیمار تلقیح با *ازتوباکتر* و مصرف ۳۰ تن کود دامی در هکتار به دست آمد. در خصوص کاربرد قارچ *گلوموس* از نظر تأثیر بر عملکرد روغن دانه گلرنگ (جدول ۳) نیز

اختلاف معنی‌دار وجود داشت (p≤۰/۰۱). بیشترین عملکرد روغن دانه با میانگین ۵۴۲/۶ کیلوگرم در هکتار در تیمار تلقیح با *G. intraradices* به دست آمد و کمترین عملکرد روغن دانه با میانگین ۲۰۳/۳ کیلوگرم در هکتار در تیمار عدم تلقیح با قارچ *گلوموس* به دست آمد (جدول ۴). شاکری و همکاران (Shakeri et al., 2013) اظهار داشتند کاربرد کود زیستی باعث افزایش معنی دار عملکرد روغن (۵۹۱/۳۲ کیلوگرم در هکتار) نسبت به تیمار شاهد (۴۳۸/۳۲ کیلوگرم در هکتار) شد. افزایش معنی‌دار عملکرد روغن در اثر کاربرد کود بیولوژیک حاوی *ازتوباکتر* نیز پیش از این توسط کومار (Kumar, 1994) و اکبری و همکاران (Akbari et al., 2009) گزارش شده بود. اثر متقابل *ازتوباکتر* و قارچ *گلوموس* از نظر تأثیر بر عملکرد روغن دانه گلرنگ (جدول ۳) اختلاف معنی‌دار را نشان نداد. مقایسه میانگین‌ها (جدول ۵) نشان داد که بیشترین عملکرد روغن دانه با میانگین (۲۷۰/۳ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار A_0M_3 (عدم تلقیح با *ازتوباکتر* و تلقیح با مخلوط *G. intraradices* و *G. mosseae*) و کمترین عملکرد روغن دانه با میانگین (۱۸۳/۲ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار A_0M_0 (عدم تلقیح با *ازتوباکتر* و *عدم تلقیح* با قارچ *گلوموس*) می باشد. در این بررسی به نظر می رسد که استفاده از سویه های مختلف باکتری *ازتوباکتر* و قارچ *گلوموس* باعث افزایش عملکرد روغن دانه گلرنگ شد و تأثیر معنی دار روی عملکرد روغن داشت. به طوری‌که باکتری‌های درون کود بیولوژیک می‌توانند به طور مستقیم روی رشد گیاه به وسیله افزایش جذب نیتروژن، سنتز هورمون‌های گیاهی و محلول‌سازی مواد معدنی مفید باشند که در نتیجه موجب افزایش عملکرد دانه شده و در نهایت عملکرد روغن دانه گلرنگ نیز افزایش خواهد یافت. طی بررسی اثرات تلقیح دوگانه *ازتوباکتر* و قارچ *گلوموس* با سطوح نیتروژن و فسفر بر درصد و عملکرد روغن گلرنگ بهاره مشخص شد که بیشترین مقدار عملکرد روغن با میانگین ۳۲۶ کیلوگرم در هکتار از تیمار (تلقیح با *ازتوباکتر* و قارچ *گلوموس* همراه با مصرف ۱۰۰ و ۵۰ کیلوگرم نیتروژن و فسفر) و کمترین مقدار عملکرد روغن با میانگین ۲۱۸ کیلوگرم در هکتار از تیمار (تلقیح با قارچ *گلوموس* و عدم تلقیح با *ازتوباکتر* همراه با عدم مصرف نیتروژن و فسفر) به دست آمد (Mirzakhani et al., 2008).

درصد فسفر

نتایج حاصل از تجزیه واریانس درصد فسفر دانه گلرنگ (جدول ۳) نشان داد که اثر *ازتوباکتر* بر درصد فسفر دانه معنی‌دار شد (p≤۰/۰۱). بیشترین فسفر دانه با میانگین ۰/۴۶ درصد در تیمار تلقیح با *ازتوباکتر* ۱۲ به دست آمد و کمترین فسفر دانه با میانگین ۰/۳۸ درصد در تیمار عدم تلقیح با *ازتوباکتر* به دست آمد (جدول ۴). کاربرد *ازتوباکتر* از طریق تولید هورمون‌های محرک، رشد گیاه را افزایش داده و با افزایش رشد کلی گیاه، رشد و توسعه ریشه نیز افزایش یافته و غلظت فسفر جذب شده توسط گیاه نسبت به عدم کاربرد *ازتوباکتر* در گیاه کاهش یافته است (Manske et al., 2000). در خصوص کاربرد قارچ *گلوموس* از نظر تأثیر بر درصد فسفر دانه گلرنگ (جدول ۳) نیز اختلاف معنی‌دار وجود داشت (p≤۰/۰۱). بیشترین فسفر دانه با میانگین ۰/۴۶ درصد در تیمار تلقیح با *G. mosseae* به دست آمد و کمترین فسفر دانه با میانگین ۰/۳۹ درصد در تیمار عدم تلقیح با قارچ *گلوموس* به دست آمد (جدول ۴). اثر متقابل *ازتوباکتر* و قارچ *گلوموس* از نظر تأثیر بر درصد فسفر دانه گلرنگ (جدول ۳) اختلاف معنی دار را نشان داد (p≤۰/۰۱). مقایسه میانگین‌ها (جدول ۵) نشان داد که بیشترین فسفر دانه با میانگین (۰/۵۸ درصد) مربوط به تیمار A_1M_3 (تلقیح با *ازتوباکتر ۵* و تلقیح با مخلوط *G. intraradices* و *G. mosseae*) و کمترین فسفر دانه با میانگین (۰/۳۷ درصد) مربوط به تیمار A_1M_2 (تلقیح با *ازتوباکتر* ۵ و تلقیح با *G. intraradices*) می‌باشد. در این بررسی به نظر می‌رسد که استفاده از سویه‌های مختلف باکتری *ازتوباکتر* و قارچ *گلوموس* باعث افزایش درصد فسفر دانه گلرنگ شده، زیرا فسفر در خاک عنصری فوق العاده کم‌تحرک است و این فعالیت‌های میکروبی در افزایش جذب مواد معدنی به ویژه فسفر و تجمع زیست‌توده بسیاری از محصولات در خاک‌هایی با فسفر کم تأثیر مثبت دارند. میرزاخانی و همکاران (Mirzakhani et al., 2009) اعلام کردند، تیمار (سال دوم + عدم تلقیح با *ازتوباکتر* + عدم تلقیح با قارچ *گلوموس* + مصرف ۱۵۰ و ۷۵ کیلوگرم نیتروژن و فسفر در هکتار) با میانگین ۰/۳۶ و تیمار (سال اول + عدم تلقیح با *ازتوباکتر* + تلقیح با قارچ *گلوموس* + مصرف ۵۰ و ۲۵ کیلوگرم نیتروژن و فسفر در هکتار) با میانگین ۰/۲۳ درصد به ترتیب بیشترین و کمترین درصد فسفر را در بافت گیاهان خود نسبت به سایر تیمارها داشتند. فسفر نقش مهمی در افزایش عملکرد گلرنگ دارد، به‌طوری که نتایج آزمایشی نشان داد که با افزایش مصرف فسفر از ۴۰ به ۶۰ کیلوگرم در هکتار اجزای عملکردی مانند تعداد گلچه در طبق، تعداد دانه در شاخه های فرعی و فرعی- فرعی، وزن طبق‌ها، وزن بوته و وزن

دانه ها افزایش یافت. با افزایش مصرف فسفر از ۴۰ به ۶۰ و ۸۰ کیلوگرم در هکتار به ترتیب عملکرد دانه ۱۸ و ۶ درصد افزایش یافت، این افزایش عملکرد شاید از طریق بهبود رشد گیاه و افزایش فعالیت فتوسنتزی و انتقال اسیمیلات‌ها به مخازن و بهبود اجزای عملکرد دانه مؤثر واقع شده است (Padmavathi & Lakshmamma, 2003).

درصد کلونیزاسیون ریشه

یکی از شاخص‌های مهم فعالیت همزیستی میکوریزایی، میزان کلونیزاسیون سیستم ریشه‌ای گیاه توسط این قارچ‌ها می‌باشدکه به وسیله عوامل مختلفی از جمله خصوصیات ظاهری و ساختمانی سیستم ریشه ای، مقدار و کیفیت ترشحات ریشه ای، مصرف کودهای شیمیایی فسفر و غلظت بالای عناصر سنگین تحت‌تأثیر قرار می‌گیرد (Al-Karaki et al., 1998). نتایج حاصل از تجزیه واریانس درصد کلونیزاسیون ریشه گلرنگ (جدول ۳) نشان داد که اثر *ازتوباکتر* بر درصد کلونیزاسیون ریشه معنی‌دار شد ($p\leq$۰/۰۱). بیشترین درصد کلونیزاسیون ریشه با میانگین ۵۳/۴۴ درصد در تیمار تلقیح با *ازتوباکتر* ۱۲ به دست آمد و کمترین درصد کلونیزاسیون ریشه با میانگین ۴۲/۲۶ درصد در تیمار عدم تلقیح با *ازتوباکتر* به دست آمد (جدول ۴). در خصوص کاربرد قارچ *گلوموس* از نظر تأثیر بر درصد کلونیزاسیون ریشه گلرنگ (جدول ۳) نیز اختلاف معنی‌دار وجود داشت ($p\leq$۰/۰۱). بیشترین درصد کلونیزاسیون ریشه با میانگین ۵۲/۴۷ درصد در تیمار تلقیح با مخلوط *G. intraradices* و *G. mosseae* به دست آمد و کمترین درصد کلونیزاسیون ریشه با میانگین ۳۸/۳۷ درصد در تیمار عدم تلقیح با قارچ *گلوموس* به دست آمد (جدول ۴). نتایج بررسی تلقیح گلرنگ با قارچ *گلوموس* تحت تیمار موقت آبیاری و مصرف فسفر نشان داد که بیشترین و کمترین درصد کلونیزاسیون ریشه توسط قارچ *گلوموس* در نمونه‌برداری ۱۸ روز پس از کاشت در گلدان با میانگین ۸۱ و ۲۱ درصد به ترتیب مربوط به تیمار (تلقیح با قارچ *گلوموس* + بدون محدودیت آبیاری+ مصرف کود فسفر) و تیمار (عدم تلقیح + قطع موقت آبیاری + مصرف کود فسفر) و در نمونه برداری ۸۴ روز پس از کاشت بیشترین و کمترین درصد کلونیزاسیون ریشه با میانگین ۵۵ و ۳۸ درصد مربوط به تیمار (تلقیح با قارچ *گلوموس* + بدون محدودیت آبیاری + عدم مصرف کود فسفر) و تیمار (تلقیح با قارچ *گلوموس* + قطع موقت آبیاری + عدم مصرف کود فسفر) بود (Kleikamp, 2002). نتایج بررسی تلقیح ذرت با دو گونه قارچ *گلوموس* (*G. intraradices* و *G. mosseae*) تحت سطوح تنش آبی نشان داد که درصد تشکیل کلونی در گیاهان تلقیح شده تفاوت معنی‌دار وجود داشت، به‌طوری که بیشترین و کمترین درصد کلونیزاسیون ریشه با میانگین ۹۳/۵ و ۷۸/۳ درصد به ترتیب مربوط به گونه *G. mosseae* و *G. intraradices* بود (Amerian & Stewart, 2001). اثر متقابل *ازتوباکتر* و قارچ *گلوموس* از نظر تأثیر بر درصد کلونیزاسیون ریشه گلرنگ (جدول ۳) اختلاف معنی‌دار را نشان نداد. مقایسه میانگین‌ها (جدول ۵) نشان داد که بیشترین کلونیزاسیون ریشه با میانگین (۵۵/۹۵ درصد) مربوط به تیمار A_2M_3 (تلقیح با *ازتوباکتر* ۱۲ و تلقیح با مخلوط *G. intraradices* و *G. mosseae*) و کمترین کلونیزاسیون ریشه با میانگین (۳۱/۸۶ درصد) مربوط به تیمار A_0M_0 (عدم تلقیح با *ازتوباکتر* و عدم تلقیح با قارچ *گلوموس*) می باشد. در این بررسی به نظر می‌رسد که استفاده از سویه های مختلف باکتری *ازتوباکتر* و قارچ *گلوموس* باعث افزایش کلونیزاسیون ریشه در گلرنگ شد، به‌طوری که با تلقیح گیاه گلرنگ توسط قارچ *گلوموس*، کلونیزاسیون ریشه، تولید ماده خشک و میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی به طور معنی‌دار نسبت به شاهد افزایش یافت. البته عوامل فیزیکی ریشه مانند حجم تارهای کشنده و ساختمان اپیدرم نسبت به عوامل شیمیایی از قبیل مواد ترشحی نقش بیشتری دارند. علاوه بر آن عناصر قابل دسترس، pH خاک و نوع میزبان نیز نقش مهمی را در تعیین گونه های مختلف دارد. میرزاخانی و همکاران (Mirzakhani et al., 2009) در بررسی اثرات تلقیح دوگانه *ازتوباکتر* و قارچ *گلوموس* تحت سطوح نیتروژن و فسفر بر کارایی جذب عناصر غذایی در گلرنگ اظهار داشتند بیشترین و کمترین درصد کلونیزاسیون ریشه با میانگین ۱۵/۴۰ و ۱۴ درصد به ترتیب مربوط به تلقیح با قارچ *گلوموس* و عدم تلقیح با آن قارچ بود. احتشامی و همکاران (Ehteshami et al., 2008) گزارش کردند که استفاده از مایه تلقیح قارچ *گلوموس* سبب افزایش درصد کلونیزاسیون ریشه می‌شود، اما استفاده از مایه تلقیح باکتری حل کننده فسفات باعث کاهش معنی‌دار درصد کلونیزاسیون ریشه نسبت به تیمار شاهد گشته است، همچنین آن ها مشاهده کردند که برهمکنش قارچ و باکتری باعث افزایش درصد کلونیزاسیون ریشه شده است.

وابستگی میکوریزایی

وابستگی میکوریزایی خصوصیتی از گیاه می باشد که اشاره به درجه‌ای از وابستگی گیاه به کلونیزاسیون میکوریزایی دارد (Gianinazzi Pearson et al., 1984). نتایج حاصل از تجزیه واریانس وابستگی میکوریزایی گلرنگ (جدول ۳) نشان داد که اثر *ازتوباکتر* بر وابستگی میکوریزایی معنی‌دار شد ($p\leq$۰/۰۱). بیشترین وابستگی میکوریزایی با میانگین ۵۱/۸۵ درصد در تیمار تلقیح با *ازتوباکتر ۱۲* به دست آمد و کمترین وابستگی میکوریزایی با میانگین ۳۸/۳۵ درصد در تیمار عدم تلقیح با *ازتوباکتر* به دست آمد (جدول ۴). در خصوص کاربرد قارچ *گلوموس* از نظر تأثیر بر وابستگی میکوریزایی در گلرنگ (جدول ۳) نیز اختلاف معنی‌دار وجود نداشت. بیشترین وابستگی میکوریزایی با میانگین ۵۰ درصد در تیمار تلقیح با *G. mosseae* به دست آمد و کمترین وابستگی میکوریزایی با میانگین ۴۲/۳۲ درصد در تیمار عدم تلقیح با قارچ *گلوموس* به دست آمد (جدول ۴). در مطالعه هانی و همکاران (Hani et al., 2007) گزارش شده که شبدر برسیم (*Trifolium alexandrinum* L.) با ریشه‌های کم‌انشعاب وابستگی میکوریزایی بیشتری از شبدر زیرزمینی (*Trifolium subterraneum* L.) دارد. در واقع وجود شبکه گسترده‌ای از هیف‌های خارجی قارچ *گلوموس* در خاک به عنوان ادامه سیستم ریشه‌ای ضعیف گیاه میزبان عمل نموده و قادر است آب و مواد غذایی را از مناطق دور از دسترس ریشه به گیاه انتقال دهد. میانگین وابستگی میکوریزایی تحت شرایط بدون تنش، تنش ملایم و تنش شدید، بدون توجه به نوع قارچ تلقیح شده، به ترتیب ۱۱۰/۲٪، ۱۲۱٪ و ۱۴۶٪ بود که نشان دهنده این است که با افزایش تنش خشکی وابستگی میکوریزایی افزایش یافته است و با افزایش تنش خشکی وابستگی میکوریزایی گیاه با هر دو گونه قارچ نیز افزایش یافت، با این وجود وابستگی گیاه به *G. mosseae* بیش از *G. intraradices* بود (Haghighat Nia et al., 2012). وابستگی میکوریزایی تحت شرایط آبیاری نرمال نسبت به شرایط تنش ملایم ۶۷/۰۷ درصد کاهش یافت. از این رو می‌توان چنین استنباط کرد که عملکرد دانه ذرت در شرایط تنش خشکی وابستگی بیشتری به همزیستی میکوریزایی نسبت به شرایط آبیاری نرمال دارد. همچنین نتایج به دست آمده نشان دادند که وابستگی میکوریزایی در تیمار واحد سوپرفسفات تریپل نسبت به تیمار خاک فسفات و شاهد به ترتیب به میزان ۱۱/۸۷ و ۵۳/۸۷ درصد کمتر بود (Ghorchiani et al., 2013). سوبرامانیان و همکاران (Subramanian et al., 2008) بیان داشتند که کاربرد کود های فسفر باعث کاهش وابستگی میکوریزایی در ذرت می‌گردد، به علاوه این نتایج نیز با نتایج حاصله از تحقیق اورتاس و همکاران (Ortas et al., 2002) در رابطه با کاهش وابستگی میکوریزایی با مصرف کودهای فسفر مطابقت داشت. اثر متقابل *ازتوباکتر* و قارچ *گلوموس* از نظر تأثیر بر وابستگی میکوریزایی گلرنگ (جدول۳) اختلاف معنی‌دار را نشان داد ($p\leq$۰/۰۵). مقایسه میانگین‌ها (جدول ۵) نشان داد که بیشترین وابستگی میکوریزایی با میانگین (۶۰/۳۴ درصد) مربوط به تیمار A_1M_3 (تلقیح با *ازتوباکتر ۵* و تلقیح با مخلوط *G. intraradices* و *G. mosseae*) و کمترین وابستگی میکوریزایی با میانگین (۳۲/۸۶ درصد) مربوط به تیمار A_0M_0 (عدم تلقیح با *ازتوباکتر* و عدم تلقیح با قارچ *گلوموس*) می‌باشد. در این بررسی به نظر می رسد که با افزایش سویه‌های مختلف *ازتوباکتر* و قارچ *گلوموس* وابستگی میکوریزایی گلرنگ نیز افزایش یافت. با این وجود وابستگی گیاه به تلقیح *ازتوباکتر* و قارچ *گلوموس* بیشتر از عدم تلقیح آن‌ها در گلرنگ بود. اولین بار بیلیس (Baylis, 1975) پیشنهاد نمود که گیاهان با سیستم ریشه‌ای ضعیف و کم‌انشعاب وابستگی میکوریزایی بیشتری در مقایسه با گیاهان با سیستم ریشه ای انبوه و پرانشعاب دارند. نتایج ارائه شده توسط سنت جان (StJohn, 1980) و بائون (Baon et al., 1994) نتایج بیلیس را تأیید نمودند. در مطالعه بر روی فلور گیاهان در انگلیس ملاحظه گردید که گیاهان با ریشه‌های موئی کم و ریشه‌های ضعیف و کم-انشعاب وابستگی میکوریزایی بیشتری در مقایسه با گیاهان با سیستم ریشه‌ای پرانشعاب و ریشه‌های موئی متراکم دارند (Fitter, 1989).

درصد نیتروژن

نتایج حاصل از تجزیه واریانس درصد نیتروژن دانه گلرنگ (جدول ۳) نشان داد که اثر *ازتوباکتر* بر درصد نیتروژن معنی‌دار نشد. بیشترین مقدار نیتروژن با میانگین ۲/۸۵ درصد در تیمار تلقیح با *ازتوباکتر ۵* به دست آمد و کمترین مقدار نیتروژن با میانگین۲/۷۳ درصد در تیمار عدم تلقیح با *ازتوباکتر* به دست آمد (جدول ۴). میرزاخانی و همکاران (Mirzakhani et al., 2009) در بررسی اثرات تلقیح دوگانه *ازتوباکتر* و قارچ *گلوموس* تحت سطوح نیتروژن و فسفر بر کارایی جذب عناصر غذایی در گلرنگ اظهار کردند تیمار تلقیح با *ازتوباکتر* با میانگین ۱/۹۲ درصد و تیمار عدم تلقیح با *ازتوباکتر* با

میانگین ۱/۷۹ درصد، بیشترین و کمترین مقدار درصد نیتروژن را به خود اختصاص دادند که مبین نقش مثبت باکتری های *ازتوباکتر* در افزایش دسترسی گیاه به عنصر نیتروژن و افزایش درصد این عنصر در بافت‌های گیاهی بود. خان و زیدی (Khan & Zaidi, 2007) گزارش نمودند که کاربرد انفرادی *ازتوباکتر* سبب افزایش غلظت نیتروژن (به میزان ۳۵ درصد) در اندام های هوایی گندم نسبت به شاهد شد. در خصوص کاربرد قارچ *گلوموس* از نظر تأثیر بر درصد نیتروژن دانه گلرنگ (جدول ۳) نیز اختلاف معنی‌دار وجود نداشت. بیشترین مقدار نیتروژن با میانگین ۲/۸۸ درصد در تیمار تلقیح با مخلوط *G. intraradices* و *G. mosseae* به دست آمد و کمترین مقدار نیتروژن با میانگین ۲/۷۳ درصد در تیمار تلقیح با *G. intraradices* به دست آمد (جدول ۴). با تحرک زیادی که یون نیترات در محلول خاک دارد، به نظر می رسد که قارچ های *گلوموس* تأثیر چندانی در افزایش جذب آن نداشته باشد. با استفاده از نیتروژن نشان‌دار در تحقیقات مشخص شد که یون نیترات مستقیماً توسط میسیلیوم های خارج از ریشه ای قارچ‌های *گلوموس* جذب شده و به گیاه منتقل می‌شود (Tobar et al., 1994). همزیستی میکوریزایی جذب نیتروژن از خاک توسط گیاه را بهبود می‌دهد. جذب و انتقال نیتروژن باعث افزایش بیوماس گیاه در خاک‌های با پتاسیم، کلسیم و منیزیم پایین می‌شود (Liu et al., 2002). اثر تلقیح با قارچ *گلوموس* بر جذب آب در گلرنگ مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد که میانگین غلظت نیتروژن برگ و ساقه در تیمار تلقیح با قارچ *گلوموس* به ترتیب ۲۷/۳ و ۹/۱ میلی‌گرم در هر گرم بافت گیاهی و میانگین نیتروژن در وزن خشک برگ و ساقه در تیمار شاهد به ترتیب ۳۰ و ۱۱/۲ میلی‌گرم در هر گرم بافت گیاهی بود (Bryla & Duniway, 1997). قارچ *گلوموس* می تواند با توسعه میسیلیوم ها و هیف‌های خود در جذب عناصر مغذی به‌ویژه فسفر موفق باشد و بیشترین مقدار نیتروژن را جذب کرده و در اختیار گیاه قرار دهد و درصد آن را نسبت به عدم کاربرد قارچ *گلوموس* بالا ببرد (Subramanian Charest, 1999). اثر متقابل *ازتوباکتر* و قارچ *گلوموس* از نظر تأثیر بر درصد نیتروژن دانه گلرنگ (جدول ۳) اختلاف معنی‌دار را نشان داد ($p\leq$۰/۰۱). مقایسه میانگین‌ها (جدول ۵) نشان داد که بیشترین مقدار نیتروژن با میانگین (۳/۱۴ درصد) مربوط به تیمار A_2M_3 (تلقیح با *ازتوباکتر ۱۲* و تلقیح با مخلوط *G. intraradices* و *G. mosseae*) و کمترین مقدار نیتروژن با میانگین (۲/۴۶ درصد) مربوط به تیمار A_0M_1 (عدم تلقیح با *ازتوباکتر* و تلقیح با *G. intraradices*) می‌باشد. نتایج اندازه‌گیری نیتروژن دانه گلرنگ نشان می‌دهد، گیاهانی که با *ازتوباکتر* و قارچ‌های *گلوموس* تلقیح شده بودند، در مقایسه با تیمارهایی که با هر یک از این دو میکروارگانیسم به تنهایی تلقیح شده بودند، رشد بیشتری داشتند، زیرا از لحاظ ذخیره فسفر و نیتروژن غنی‌تر بودند. میرزاخانی و همکاران (Mirzakhani et al., 2009) در بررسی اثرات تلقیح دو گانه *ازتوباکتر* و قارچ *گلوموس* تحت سطوح نیتروژن و فسفر بر کارایی جذب عناصر غذایی در گلرنگ تیمار (تلقیح با *ازتوباکتر* + تلقیح با قارچ *گلوموس* + مصرف ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن و ۷۵ کیلوگرم در هکتار فسفر) با میانگین ۲/۳۳ و تیمار (عدم تلقیح با قارچ *گلوموس* + تلقیح با قارچ *گلوموس* + عدم مصرف کودهای نیتروژن و فسفر) با میانگین ۱/۴۸ درصد به ترتیب بیشترین و کمترین درصد نیتروژن بافت‌های گیاه را در بین کلیه تیمارها داشتند. امیرآبادی و همکاران (Amirabadi et al., 2012) گزارش کردند که کاربرد توأم ترکیبات بیولوژیک *ازتوباکتر* و قارچ *گلوموس* بیشترین درصد نیتروژن (۰/۹۳۳ درصد) و کاربرد قارچ *گلوموس* به تنهایی کمترین میزان درصد نیتروژن (۰/۸۳۴ درصد) را به خود اختصاص دادند. به نظر می رسد که کاربرد قارچ *گلوموس* کارایی استفاده از *ازتوباکتر* را افزایش داده که این امر باعث تثبیت بیشتر نیتروژن و جذب آن توسط گیاه گردیده است.

محتوی آب نسبی برگ

نتایج حاصل از تجزیه واریانس محتوی آب نسبی برگ (جدول ۳) نشان داد که اثر *ازتوباکتر* بر محتوی آب نسبی برگ معنی‌دار نشد. بیشترین محتوی آب نسبی برگ با میانگین ۸۴/۵۸ درصد توسط تیمار تلقیح با *ازتوباکتر ۵* به دست آمد و کمترین محتوی آب نسبی برگ با میانگین ۸۴/۱۵ درصد توسط تیمار تلقیح با *ازتوباکتر ۱۲* به دست آمد (جدول ۴). رسولی (Rasouli, 2011) اظهار داشت بیشترین محتوی آب نسبی برگ با میانگین ۸۳/۴۸ درصد از A_0N_1 و کمترین آن با میانگین ۸۰/۱۷ درصد از A_1N_2 به دست آمده است. با افزایش شدت تنش آبی شرایط جذب آب برای گیاهان مشکل‌تر خواهد شد و در نتیجه مقدار آب موجود در سلول‌های بافت گیاهی از حالت تورژسانس فاصله خواهد گرفت. کاهش محتوای آب نسبی برگ باعث تأثیر منفی بر تقسیم سلولی و رشد و نمو گیاه دارد (Mirzakhani & Sibi, 2012). در خصوص کاربرد قارچ *گلوموس* از نظر تأثیر بر محتوی آب

نسبی برگ (جدول ۳) نیز اختلاف معنی‌دار وجود نداشت. بیشترین محتوی آب نسبی برگ با میانگین ۸۴/۸۳ درصد در تیمار تلقیح با مخلوط *G. intraradices* و *G. mosseae* به دست آمد و کمترین محتوی آب نسبی برگ با میانگین ۸۳/۹۱ درصد در تیمار عدم تلقیح با قارچ *گلوموس* به دست آمد (جدول ۴). آب موجود در سلول‌ها و بافت‌های گیاهی، متأثر از بیلان آبی گیاه در شرایط آب و هوای منطقه رشد می‌باشد، به این صورت که اگر مقدار رطوبت موجود در خاک به اندازه‌ای باشد که جبران خروج آب از گیاه را که عمدتاً از مسیر تعرق (حدود ۹۰ درصد) و تعرق (بین ۵ تا ۱۰ درصد) خارج می‌شود را بنماید. در این صورت سلول‌ها و بافت‌های گیاهی همواره در سطح بالایی از تورژسانس قرار خواهند داشت و بدون هیچ مشکلی، مراحل رشد و تقسیم سلولی را انجام خواهد داد، اما اگر به دلیل کمبود رطوبت در خاک مزرعه، مقدار آب خروجی گیاه به طور صد در صد توسط ریشه‌ها جبران نشود، درصد آب موجود در بافت‌های گیاه دچار نقصان خواهد شد و این نقصان اثرات نامطلوبی را بر رشد و عملکرد گیاه خواهد داشت (Mirzakhani, 2011). اثر متقابل *ازتوباکتر* و قارچ *گلوموس* از نظر تأثیر بر محتوی آب نسبی برگ (جدول ۳) اختلاف معنی‌داری نشان نداد. مقایسه میانگین ها (جدول ۵) نشان داد که بیشترین محتوی آب نسبی برگ با میانگین (۸۵/۷۱ درصد) مربوط به تیمار A_1M_2 (تلقیح با *ازتوباکتر* ۵ و تلقیح با *G. mosseae*) و کمترین محتوی آب نسبی برگ با میانگین (۸۲/۲۹ درصد) مربوط به تیمار A_1M_1 (تلقیح با *ازتوباکتر* ۵ و تلقیح با *G. intraradices*) می‌باشد.

نتیجه‌گیری

کاربرد *ازتوباکتر* بر درصد روغن دانه، عملکرد روغن دانه، درصد فسفر دانه، درصد کلونیزاسیون ریشه و وابستگی میکوریزایی در گلرنگ معنی‌دار بود و قارچ *گلوموس* با توجه به کمک در جذب توسط گیاه بر درصد روغن دانه، عملکرد روغن دانه، درصد فسفر دانه و درصد کلونیزاسیون ریشه تأثیر معنی‌داری داشت و همچنین اثر متقابل *ازتوباکتر* و قارچ *گلوموس* توانست بر درصد فسفر دانه، وابستگی میکوریزایی و درصد نیتروژن دانه گلرنگ اثر معنی‌داری داشته باشد. با توجه به مصرف بی‌رویه کود های نیتروژن و نیز با توجه به آلاینده بودن آبی و خاکی کودهای شیمیایی نیتروژن می‌توان توصیه نمود که از منابع نیتروژن غیر قابل دسترس گیاه در سیستم‌های زراعی، کاربرد *ازتوباکتر* و قارچ *گلوموس* مدنظر قرار گیرد.

منابع

Abbadi, J., Gerendas, J., and Sattelmacher, B. 2008. Effects of nitrogen supply on growth yield and yield components of safflower and sunflower. Plant and Soil 301: 167-180.

Akbari, P., Ghalavand, A., and Modarres Sanavi, S.A.M. 2009. Effect of different nutrition systems (organic, chemical and integrated) and biofertilizer on yield and other grow sunflower (*Helianthus annuus* L.) of safflower. Journal of Agricultural Science 1(1): 83-93.

Akhtar, M.S., and Siddiqui, Z.A. 2008. Arbuscular mycorrhizal fungi as potential bioprotestants against plant pathogens. p. 61-97. In: Z.A. Siddiqui, et al. (Eds.) mycorrhizae: Sustainable Agriculture and Forestry, Springer Science+Business Media B.V.

Amerian, M.R., and Stewart, W.S. 2001. Effect of two species of arbuscular mycorrhizal fungi on growth, assimilation and leaf water relations in maize (*Zea mays* L.). Aspects of Applied Biology 63. Plant Microbial Interactions.

Amirabadi, M., Seifi, M., Rejali, F., and Ardakani, M.R. 2012. Study concentration macro mineral elements in forage maize (*Zea mays* L.) (Sc 704) influence inoculation mycorrhiza and *Azotobacter chroococcum* under different levels of nitrogen. Agroecology 4(1): 33-40.

Al-Karaki, G.N., Al-Raddad, A., and Clark, R.B. 1998. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress on growth and nutrient uptake of two wheat genotypes differing in drought resistance. Mycorrhiza 7: 83-88.

Arnon, I. 1972. Crop production in dry areas. Vol. II: Systematic Treatment of the Principal Crops. Leonard Hill, London.

Baon, J.B., Smith, S.E., and Alston, A.M. 1994. Growth and phosphorus uptake of rye with long and short root hairs: interaction with mycorrhizal infection. Plant and Soil 167: 247-254.

Baylis, G.T.S. 1975. The magnolioid mycorrhiza and mycotrophy in root systems derived from it. P. 373-389. In: F.E. Sanders, B. Mosse and P.B. Tinker (Eds.), Endomycorrhizas. Springer-Verlag pub, London.

Bharathi, R., Vivekananthan, R., Harish, S., Ramanathan, A., and Samiyappan, R. 2004. Rhizobacteria-based bio-formulations for the management of fruit rot infection in hillies. Crop Protection 23: 835-843.

Bryla, D.R., and Duniway, J.M. 1997. Effects of mycorrhiza infection on drought tolerance and recovery in safflower and wheat. Plant and Soil 197(1): 95-103.

Cabello, M., Irrazabal, G., Bucsinszky, A.M., Saparrat, M., and Schalammuck, S. 2005. Effect of an arbuscular mycorrhizal fungus, *G. mosseae* and arock-phosphate-Solubilizing fungus, p. thomii in *Mentha piperita* growth in a soilless medium. Journal of Basic Microbiology 45: 182-189.

Cakmaki, R., Erat, M., Erdoman, U.G., and Donmez, M.F. 2007. The influence of PGPR on growth parameters, antioxidant and pentose phosphate oxidative cycle enzyms in wheat and spinach plants. Journal of plant Nutrition and Soil Science 170: 288-295.

Ceccato, P., Flasse, S., Tarantola, S., Jacquemoud, S., and Gregoire, J.M. 2001. Detecting vegetation leaf water content using reflectance in the optical domain. Remote Sensing of Environment 77(1): 22-33.

Dobbelaere, S., Vanderleyden, J., and Vacovokon, Y. 2003. Plant growth-promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere. Critical Review Plant Science 22: 107-149.

Egamberdiyeva, D. 2007. The effect of plant growth promoting bacteria on growth and nutrient uptake of maize in two different soils. Applied Soil Ecology 36(2-3): 184-189.

Ehteshami, S.M., Agha Alikhani, R.M., Chaichi, M.R., and Khavazi, K. 2008. Effect of biological phosphate fertilizer on qualitative and quantitative properties of maize (*Zea mays* L.) (SC 704) in the water deficit stress condition. Iranian Journal of Field Crops Research 40(1): 15-26. (In Persian with English Summary)

Fallah, A.R., Besharati, H., and Khosravi, H. 2006. Soil Microbiology. Aeej Publication, Iran 179 pp. (In Persian)

Farahani, E. 2012. Effect of manure, nitrogen fertilizer and inoculation with *Azotobacter* on agromic and physiological traits in winter safflower. MSc Thesis in Agronomy, Islamic Azad University, Arak Branch, Iran. (In Persian with English Summary)

Fitter, A.H. 1989. An ecological flora. Bul. British Ecological Society 20: 199-200.

Gianinazzi Pearson, V., Vermo, D.P.S., and John, T.H. 1984. Host fungus specificity in mycorrhiza. In: Verma, D.P.S., and Hohn, T.H. (Eds): Genes involved in plant-microb intraradices. Springer, Vienna pp. 225-253.

Giovannetti, M., and Mosse, B. 1980. An evaluation of techniques to measure vesicular-arbuscular infection in roots. New Phytologists 84: 489-500.

Ghorchiani, M., Akbari, G., Alikhani, H.A., Zareai, M., and Allahdadi, I. 2013. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi and *Pseudomonas fluorescens* on phosphorus fertilizer use efficiency, mycorrhizal dependence and maize yield under water deficit conditions. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science 17(63): 123-136.

Haghighat Nia, H., Nadian, H., Rejali, F., and Tavakoli, A.R. 2012. Effect of two species of arbuscular-mycorrhizal fungi on vegetative growth and phosphorus uptake of Mexican lime rootstock (*Citrus aurantifolia* L.) under drought stress conditions. Seed and Plant Production Journal 2(4): 403-417.

Hani, A., Nadian, H., and Barzegar, A.R. 2007. Study mycorrhizal dependency and yield two kinds of clover (*Trifolium alexandrinum* L. and *Trifolium subterraneum* L.) in different levels of phosphorus. Water and Soil Science 21(2): 269-276.

Hu, Y., and Schmidhalter, U. 1998. Spatial distribution of inorganic ions and sugars contributing to osmotic adjustment in the elongating wheat leaf under saline soil conditions. Australian Journal of Plant Physiology 25: 591-597.

Jeliazkov, A. 1999. NPK fertilizer and yield of peppermint (*Mentha peiperata*). Acta Horticulture 505: 231-1-236.

Kader, M.A., Main, M.A.H., and Hoque, M.S. 2002. Effect of *Azotobacter* inoculants on the yield and nitrogen uptake by safflower. Department of Soil Sience, Bagladesh Agricultural University, Mymensigh, Bagladesh 2(4): 251-261.

Khan, M.M., and Azam, Z.M. 1999. Change in the essential oil constituents of foeniclum rulgare in relation of basal and foliar application of nitrogen and phosphorus. Journal of Plant Nutrition 11: 2205-2515.

Khan, M.R., Talukdar, N.C., and Thakuria, D. 2003. Detection of *Azospirillum* and PSB in rice rhizosphere soil by protein and antibiotic resistance profile and their effect on grain yield of rice. Indian Journal of Biotechnology 2: 246-

250.

Khan, M.S., and Zaidi, A. 2007. Synergistic effects of the inoculation with plant growth promoting rhizobacteria and an arbuscular mycorrhizal fungus on the performance of wheat. Agriculture and Forestry 31(6): 355-362.

Kleikamp, B. 2002. Studies on arbuscular mycorrhiza (AM) in the Alentejo (Portugal) using safflower pea mutants resistant to AM fungi as a control tool for field conditions. PhD Thesis. Faculty of Ecological Agricultural Sciences, University of Kassel (Portugal).165 pp.

Kumar, V. 1994. Nitrogen economy in Indian mustard through use of *Azotobacter chroococcum*. Crop Research 8: 449-452.

Liu, A., Hamel, C., Elmi, A., Costa, C., Ma, B., and Smith, D.L. 2002. Concentrations of K, Ca and Mg in maize colonized by arbuscular mycorrhizal fungi under field conditions. Canadian Journal of Soil Science 82(3): 271-278.

Lucy, M., Reed, E., and Glick, B.R. 2004. Applications of free living plant growth promoting rhizobacteria. Antonie Van Leeuwenhoek 86(1): 1-25.

Manske, G.B., Luttger, A., Behl, R.K., Vlek, P.G., and Cimmit, M. 2000. Enhancement of mycorrhizal (VAM) infection, nutrient efficiency and plant growth by *Azotobacter chroococcum* in wheat. Plant Breeding 13(2): 78-83.

Maunuksela, L. 2001. Molecular and physiological characterization of rhizosphere bacteria and frankia in forest soils devoid of actinorhizal plants. Academic Dissertation in General Microbiology 1-54 pp.

Mirzakhani, M., Ardakani, M.R., Aeeneband, A., Shiranirad, H., and Rejali, F. 2008. Effects of inoculation with *Azotobacter* and mycorrhiza and different levels of nitrogen and phosphorus on grain yield and its components in spring safflower. The 10th Iranian Crop Production and Breeding Congress. Karaj, Iran. 18-20 August, 413 pp. (In Persian)

Mirzakhani, M., Ardakani, M.R., Aeeneband, A., Shiranirad, A.H., and Rejali, F. 2009. Effects of co-inoculation of *Azotobacter* and mycorrhiza under nitrogen and phosphorus levels on nutrients absorbtion efficiency in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) PhD Thesis of Agricultural on Agronomy. Islamic Azad University Science and Research Branch-Khouzestan, Iran. (In Persian with English Summary)

Mirzakhani, M., and Sibi, M. 2010. Response of physiological traits of safflower to water stress and zeolite consumption. Proceeding of the 2th National Conference on the Sustainable Development of Agriculture, Islamic Azad University of Shiraz, Shiraz, 21 pp. (In Persian)

Mirzakhani, M. 2011. Effect of water stress and zeolit application on yield and yield components of winter safflower. Agronomy and Plant Breeding 7(3): 39-56. (In Persian with English Summary)

Mohandas, S. 1987. Field response of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill. "Pusa Ruby") to inoculation with a VAM fungus *Glomus fasiculatum* with *Azotobacter vinelandii*. Plant and Soil 98: 295-297.

Nadian, H., Smith. S.E., Alston, A.M., and Murray, R.S. 1996. The effect of soil compaction on growth and p uptake by (*Trifolium subtraneum* L.): Interaction with mycorrhiza colonization. Plant and Soil 182: 39-49

Naseri, F. 1991. Oil Seeds. Astane Qodse Razavi Cultural Assistance Publications, 816 pp. (In Persian)

Nezarat, S., and Gholami, A. 2008. Evaluation of *Azospirillum* and *Pseudomonas* on maize growth. 2nd National Congress of Ecological Agriculture in Gorgan, Iran. p. 2037-2049. (In Persian)

Ojaghloo, F., Farahvash, F., Hassan-Zadeh, A., and Pour-Yusef, M. 2007. Effect of inoculation with *Azotobacter* and barvar phosphate biofertilizers on yield of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Journal of Agricultural Sciences 3: 25-30.

Ortas, I., Ortakci, D., Kaya, Z., Cinar, A., and Onelge, N. 2002. Mycorrhizal dependency of sour orange in relation to phosphorus and zinc nutrition. Journal of Plant Nutrition 25(6): 1263-1279.

Padmavathi, P., and Lakshmamma, P. 2001. Optimizing irrigation in relation to phosphorus nutrition in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Sesame and Safflower Newsletter 16: 105-108.

Philips, J., and Hayman, D.S. 1980. Improved procedure for cleaning roots and staining parasitic and Vesicular-arbuscular parasitic and Vesicular-arbuscular mycorrhiza fungi for rapid assessment of infection. Transactions of the British Mycological Society 55: 158-161.

Pirasteh Anosheh., H., Amam, Y., and Jamali Ramin, F. 2010. Comparison effect of bio fertilizers with chemical fertilizers on growth, yield and oil percent of sunflower (*Helianthus annuus* L.) in different levels of drought stress. Agroecology 2(3): 499-501. (In Persian with English Summary)

Puente, M.E., Li, C.Y., and Shan, Y.B. 2004. Microbial population and activities in the rhizoplane of rock weathering desert plants. Growth promoting of cactus seedings. Plant Biology 6: 643-650.

Purdad, S.S. 2007. Safflower. Center of Mehr Publication, Iran 123 pp. (In Persian)

Rasouli, S. 2011. Effect of *Azotobacter*, manure and nitrogen application on yield and yield component of winter Safflower. MSc Thesis in Agronomy, Islamic Azad University, Arak Branch, Iran. (In Persian with English Summary)

Ryan, M.H., Norton, R.M., Kirkegaard, J.A., Cormick, K.M.Mc., Knights, E., and Angu, J.F. 2002. Increasing mycorrhiza colonization does not improve growth and nutrition of wheat on vertosols in south-eastern Australia. Australian Journal of Agricultural Research 53(10): 1173-1181.

Salantur, A., Ozturk, A., and Akten, S. 2006. Growth and yield response of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) to inoculation with rhizobacteria. Plant Soil Environment 52(3): 111-118.

Shaharoona, B.M., Arshad, Z., Zahir, A., and Khalid, A. 2006. Performance of *Pseudomonas* spp. Containing ACC-deaminase for improving growth and yield of maize (*Zea mays* L.) in the presence of nitrogenous fertilizer. Soil Biology and Biochemistry 38: 2971-2975.

Shakeri, A., Amini Dehghani, M., Tabatabaei, S.A., and Modares Sanavi, S.A.M. 2013. Effect of nitrogen fertilizer and biological fertilizer containing *Azotobacter* and *Azospirillum* on grain yield and fatty acids of Sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivars in the condition Yazd. Iranian Journal of Field Crops Research 1(4): 742-750. (In Persian with English Summary)

Sharma, A.K. 2002. Biofertilizers for Sustainable Agriculture. Agrobios, India 407 pp.

Smith, S.E., and Read, D.J. 2008. Mycorrhiza symbiosis. 3rd ed., Academic press, London.

St Jhon, T.V. 1980. Root size, root hairs and mycorrhizal infection: a re-ex amination of Baylis' s hypothesis with tropical trees. New Phytologists 84: 483-487.

Subramanian, H., and Charest, S. 1999. Acquisition of N by external hyphae of an arbuscular mycorrhiza fungi and its impact on physiological responses in maize under drought stress and well watered conditions. Mycorrhiza 9: 69-75.

Subramanian, K.S., Bharathi, C.A., and Jegan, O. 2008. Response of maize to mycorrhizal colonization at varying levels of zinc and phosphorus. Biology and Fertility of Soils 45: 133-144.

Tavakoli, A. 2002. Evaluation of the effect of irrigation disruption in different growth stages on yield and components yield safflower plant. MSc Thesis, Faculty of Agriculture, Tehran University, Iran. (In Persian with English Summary)

Tobar, R.M., Azcon, R., and Barea, J.M. 1994. The improvement of plant N acquisition from an ammonium treated drought stressed soil by the fungal symbiont in arbuscular mycorrhiza. Mycorrhiza 4: 105-108.