# ارزیابی برخی از ویژگی‌های ریشه گندم‌های تیمار شده با مایکوریزا و آزوسپیریلوم

**مجید جیریایی[1*]، اسفندیار فاتح[2]، امیر آینه بند[2]**

تاریخ دریافت: 92/2/31 تاریخ پذیرش: 93/8/20

1-دانشجوی کارشناسی ارشد کشاورزی اکولوژیک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

2- استادیار و دانشیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

* مسئول مکاتبه: majidupdate@Gmail.com :E-mail

**چکیده**

به منظور ارزیابی برخی از ویژگی‌های ریشه گندم‌های تیمار شده با مایکوریزا و آزوسپیریلوم پژوهشی در سال زراعی 1392-1391 در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید چمران اهواز اجرا شد. طرح آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب بلوک کامل تصادفی و در سه تکرار بود. عوامل آزمایش شامل قارچ مایکوریزا در سه سطح (عدم کاربرد، استفاده از گونه *Glomus intraradices* و گونه *G. mosseae*)، باکتری *Azospirillum* در دو سطح (عدم تلقیح و تلقیح بذور با گونه *lipoferum*) و ارقام گندم در سه سطح شامل چمران، و ارقام دوروم دنا و بهرنگ بود. در این آزمایش صفاتی همچون درصد کلونیزاسیون ریشه، حجم، قطر، سطح و چگالی ریشه ارقام گندم اندازه گیری شد. نتایج نشان داد آزوسپیریلوم و مایکوریزا هر یک به تنهایی منجر به افزایش رشد ریشه شده‌اند و بین ارقام نیز گندم چمران در صفات اندازه گیری شده تا 10% نسبت به ارقام دوروم سیستم ریشه‌ای کارآمدتری داشت. اما کاربرد دوگانه باکتری و قارچ باعث بروز یک اثر هم‌فرساز شده و به طور میانگین تا 15% بیشتر از حالت مصرف منفردشان، در ارتقای رشد و توسعه ریشه‌ای ارقام گندم نقش داشتند. به طور کلی بیشترین کلونیزاسیون ریشه (54/96 درصد)، حجم ریشه (2/73 سانتی متر مکعب)، سطح ریشه (27/48 سانتی متر مربع) و چگالی ریشه (0/088 گرم بر سانتی متر مکعب) از تیمار تلقیح بذور رقم چمران با آزوسپیلیوم و استفاده از گونه *G. mosseae* بدست آمد و بیشترین وزن خشک ریشه (0/29 گرم) مربوط به تلقیح بذور رقم چمران با آزوسپیلیوم و استفاده از گونه *G. intraradices* بود.

**واژه‌های کلیدی**: آزوسپیریلوم، ریشه، کلونیزاسیون، گندم، مایکوریزا

# Evaluation the Some Root Traits of Treated Wheat with Mycorrhiza and Azospirillum

**Majid Jiriaie[1*], Esfandiar Fateh [2], Amir Aynehband[2]**

Received: May 21, 2013 Accepted: November 11, 2014
1-MSc Student, Dept. of Agronomy, Collage of Agricultural, Shahid Chamran University, Ahwaz, Iran.
2- Assist. Prof. and Assoc. Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran.
*Corresponding Author: majidupdate@Gmail.com

**Abstract**

In order to evaluate the some root traits in treated wheat with Mycorrhiza and Azospirillum, an experiment was conducted in the Research Station of Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran in 2012-13. The experimental design was factorial based on a completely randomized blocks design with three replications. The treatments include of Mycorrhiza fungi in three levels (no use of strain and using species *Glomus intraradices* and *Glomus mosseae*), bacteria *Azospirillum lipoferum* in the two-level (non-inoculated seeds and inoculated seed) and wheat cultivars in three levels, Chamran (bread wheat), Dena and Behrang (durum wheat) varieties. In this experiment, the root colonization percentage, diameter, surface area and density of wheat roots have been measured. The results showed that Azospirillum and Mycorrhiza increased root growth. Between cultivars, Chamran had 10% more efficient root system than the durum varieties. Integrated use of bacteria and fungi caused synergistic effect and showed 15% increase in root traits than their individual use. In general, the highest root colonization (54.96%), the root volume (2.73 cm3), root surface (27.48 $cm^2$) and root density (0.088 $g/cm^3$) were obtained from inoculation of C.V Chamran seeds with *Azospirillum* and *G. mosseae* strain and maximum of root dry weight (0.29 g) was obtained from inoculation of C.V Chamran seeds with *Azospirillum* and *G. intraradices* strain.

**Keywords:** Azospirillum, Colonization, Mycorrhiza, Root, Wheat

**مقدمه**

گندم از قدیمی ترین گیاهان زراعی است که در نقاط مختلف دنیا بمنظور تولید دانه برای تهیه نان، تغذیه حیوانات و مصارف صنعتی کشت می شود. این گیاه بعنوان غذای اصلی نیمی از جمعیت دنیا از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است، به همین دلیل یک گیاه استراتژیک تلقی می گردد (مستاجران و همکاران 2005). امروزه توجه به کودهای بیولوژیک به دلیل توسعه جمعیت و قیمت بالای کودهای شیمیایی و سیستم کشاورزی پایدار افزایش یافته است (یوسفی و همکاران 2011). نهاده‌هایی مانند کودهای شیمیایی منجر به افزایش هزینه‌های تولید بویژه در سیستم‌های

فشرده امروزی می شود (گواردا و همکاران 2004). از سوی دیگر، کشاورزان در تولید محصولات زراعی اغلب جهت کسب بیشینه عملکرد، اقدام به مصرف کود بیش از مقدار توصیه شده می کنند (زنگ و همکاران 2007) و نتیجه این فعالیت‌ها طی سال‌های اخیر بحران آلودگی محیط زیست بوده که زنجیره وار به منابع غذایی انسان‌ها راه یافته و سلامت جامعه بشری را مورد تهدید قرا داده است (امیرآبادی و همکاران 2009). میکروارگانیسم‌هایی مانند باکتری‌های فتوسنتز کننده (*Rhodopseudomonas plastris* و *Rhodobacter sphacrode*)، لاکتوباسیل (*Lactobacillus plantrum*, L.) و *Streptococcus lactis*)، مخمرها (*Saccharomyses* spp.) و اکتینومیست‌ها (*Streptomyses* spp.) در ترکیب میکروارگانیسم‌های موثر (EM) وجود دارند که سلامت محصول و میزان عملکرد را با افزایش فتوسنتز، تولید ترکیبات فعال زیستی مانند هورمون‌ها و آنزیم‌ها، باعث تسریع در تجزیه مواد فتوسنتزی و کنترل بیمای‌های خاکزی، می شوند (هیگا 2000). واژه مایکوریزا به معنی قارچ ریشه به طور کلی به همزیستی بین ریشه گیاهان و میسلیوم‌های قارچی اطلاق می شود (عمو آقایی و همکاران 2003). پژوهش‌ها نشان داده است که قارچ‌های میکوریزای وزیکولار-آربیسکولار (VAM) (دائی و همکاران 2009) و آزوسپیریلوم (مستأجران و همکاران 2005) باعث افزایش رشد و عملکرد گندم می گردند. تورک و همکاران (2006) اظهار نمودند که نقش اصلی قارچ‌های میکوریزی تأمین فسفر برای ریشه گیاه است، زیرا فسفر در خاک عنصری فوق العاده کم تحرک است. لذا قارچ‌های میکوریزی در افزایش جذب کانی‌ها به ویژه فسفر و تجمع زیست توده بسیاری از محصولات در خاک‌های با فسفر کم، تأثیر مثبت دارند. علاوه بر فسفر، نیتروژن نیز جزء عناصری است که گیاهان آلوده شده به میکوریزا جذب آن را بالا برده‌اند (علیزاده و علیزاده 2008). همچنین، سادات و همکاران (2010) نشان دادند مصرف مایکوریزا و باکتری تثبیت کننده نیتروژن منجر به حصول بیشترین عملکرد دانه و وزن خشک ریشه می‌شود. مطالعات متعدد نشان داده اند که باکتری‌های تنظیم کننده رشد هیچ اثر هم‌ناساز (آنتاگونیستی) با مایکوریزا نداشته و نه تنها منجر به کاهش کلونیزاسیون میکوریزایی ریشه نمی شوند (اسکوئز و همکاران 2000) بلکه برای نمونه، تلقیح دوگانه بذور با آزوسپیریلوم لیپوفروم و مایکوریزا باعث افزایش رشد ریشه نیز شد (روسو و همکاران 2005). برخی از پژوهشگران بر این باورند که اثرات تحریک کنندگی رشد گیاه توسط آزوسپیریلوم به طور عمده به علت تغییرات فیزیولوژیک و مورفولوژیک ریشه‌های گیاهان آغشته و در نتیجه بهبود جذب آب و املاح توسط آن‌هاست (عموآقایی و همکاران 2002) در بسیاری از مطالعات دیگر نشان داده شده است که اثرات چشمگیر آزوسپیریلوم بر روی رشد و نمو گیاه بیش‌تر مربوط به اثر این باکتری در رشد ریشه، در مراحل اولیه جوانه زنی می‌باشد (عموآقایی و همکاران 2002 و جاکود و همکاران 1998). مستاجران و همکاران (2005) در طی آزمایشی، اعلام کردند آزوسپیریلوم در القا تغییر در تراکم و انشعاب دهی تارهای کشنده ریشه گندم نقش مهمی دارد. گنجعلی و همکاران (2007) گزارش کردند تفاوت‌های ژنوتیپی در ویژگی‌های ریشه و اندام هوایی، اغلب در مراحل اولیه رشد آشکار می شود و این حقیقت را می‌توان به عنوان یک روش مناسب و آسان در گزینش ارقام یا ژنوتیپ‌ها مورد استفاده قرار داد. بنابراین، هدف از اجرای این پژوهش ارزیابی تغییرات در خصوصیات ریشه ارقام گندم تیمار شده با مایکوریزا و آزوسپیریلوم بود.

**مواد و روش‌ها**

به منظور ارزیابی برخی از ویژگی‌های ریشه ارقام گندم تیمار شده با مایکوریزا و آزوسپیریلوم پژوهشی

در سال زراعی 1391-1392 در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید چمران اهواز به صورت آزمایش فاکتوریل سه عامله در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با 3 تکرار اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل قارچ مایکوریزا در سه سطح عدم استفاده، استفاده از گونه *Glomus intraradices* و استفاده از گونه *Glomus mosseae*، فاکتور دوم باکتری *Azospirillum lipoferum* در دو سطح به صورت استفاده و عدم استفاده در تلقیح با بذر گندم و فاکتور سوم ارقام گندم، شامل گندم نان چمران و ارقام گندم دوروم دنا و بهرنگ بود. جهت تلقیح نمودن بذر با باکتری ابتدا بذرهای ارقام گندم توسط محلول هیپوکلریت 0/5 درصد استریل شد. این بذرها به مدت دو ساعت در آب مقطر استریل خیسانده و به دنبال آن به محلول حاوی باکتری *آزوسپیریلوم لیپوفروم* با غلظت $10^6$ cfu/ml منتقل گردید (عموآقائی و همکاران 2002). پس از 4 ساعت بذرهای گندم آلوده به باکتری جهت کشت آماده شد (مستأجران و همکاران 2005). همچنین، جهت اعمال تیمار گونه‌های مایکوریزایی از کود مایکوریزای با تراکم اسپور 120 عدد در هر گرم ماده حامل (کود دامی کاملاً پوسیده) به میزان 80 کیلوگرم در هکتار استفاده شد (بر طبق توصیه شرکت تولید کننده). عملیات تهیه زمین شامل شخم، دیسک، تسطیح زمین و ایجاد فارو در مراحل قبل از کاشت اجرا شد. کشت بذور در آذر ماه به صورت دستی انجام گردید. هر کرت آزمایشی شامل 5 خط کشت به طول 5 متر و فاصله 20 سانتیمتر و فاصله بوته‌ها روی ردیف 2-3 سانتیمتر در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که مزرعه آزمایش در سال زراعی قبل تحت کشت گندم و ذرت بوده است و بافت خاک محل آزمایش نیز لومی شنی بود (جدول 1).

**جدول 1- ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی خاک آزمایش**

| شاخص‌ها | | |
|---|---|---|
| عمق نمونه | (cm) | 0-30 |
| هدایت الکتریکی | (ds/m) | 3/8 |
| اسیدیته | pH | 7/8 |
| کربن الی | (%) | 0/52 |
| نیتروژن | (%) | 0/032 |
| فسفر | (mg/kg) | 13 |
| پتاسیم | (mg/kg) | 159 |
| کلسیم | (meq/l) | 5/4 |
| منیزیم | (meq/l) | 3/8 |
| بافت خاک | | لومی شنی |

صفات اندازه گیری شده شامل کلونیزاسیون، وزن تر ریشه، وزن خشک ریشه، طول ریشه، حجم ریشه، سطح ریشه، قطر ریشه، چگالی ریشه و چگالی سطح ریشه بود. هنگام نمونه برداری، ریشه‌ها با رعایت کمترین آسیب دیدگی خارج و سپس با استفاده از آب جاری شسته شدند. همچنین، جهت جدا سازی ذرات خاک چسبیده به ریشه‌ها از محلول هگزا متا فسفات سدیم استفاده شد. پس از آن ریشه‌ها روی الک ریز با استفاده از آب شسته شده و بلافاصله وزن تر کل اندام‌های هوایی و وزن تر ریشه با دقت0/001 گرم با ترازوی دقیق اندازه گیری شدند. حجم ریشه[1] (اخوان و همکاران 2012) از طریق اختلاف حجم ایجاد شده پس از قرار دادن ریشه در حجم مشخصی از آب با دقت 0/1 میلی لیتر محاسبه شد. طول ریشه نیز با استفاده از خط کش با دقت 1 میلی متر و قطر ریشه با استفاده از کولیس دیجیتال محاسبه گردید و صفات چگالی ریشه، چگالی سطح و سطح ریشه (گنجعلی و همکاران 2003) با استفاده از فرمول‌های زیر محاسبه گردیدند.

[1] Root Volume

[رابطه 1]

سطح ریشه[1] = 2 × (حجم × π × طول)$^{0/5}$

[رابطه 3]

چگالی سطح ریشه[2] = (طول ریشه × قطر ریشه × π)

[رابطه 4]

چگالی ریشه[3] = (وزن خشک ریشه / حجم ریشه)

همچنین جهت تعیین درصد کلونیزاسیون ریشه‌ها، پس از رنگ آمیزی ریشه‌ها، از روش تلاقی خطوط مشبک[4] استفاده شد (فلیپس و هایمن 1970). پس از آماده سازی، ریشه‌ها با محلول تریپن بلو به روش جیووانتی و موسه (1980) رنگ آمیزی شدند. ریشه‌های مویی رنگ آمیزی شده به طول حدود یک سانتیمتر در پتری مشبک (روش صفحه مشبک) که با استفاده از خطوط عمودی و افقی مربعات یک سانتیمتر در آن تشکیل شده بود، به صورت تصادفی پخش و سپس با استفاده از میکروسکوپ، ریشه‌های آلوده وغیره آلوده مورد مشاهده قرار گرفتند.

در نهایت، برای آنالیز واریانس داده‌ها از نرم افزار آماری SAS (2004) و برای مقایسه میانگین تیمارها از آزمون دانکن در سطح احتمال 5 درصد استفاده شد.

## نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیهٔ واریانس نشان داد آزوسپیریلوم تاثیر معنی داری بر کلیه صفات مورد ارزیابی داشت به نحوی که صفات وزن تر، طول، وزن خشک و سطح ریشه را در سطح احتمال 1% و صفات درصد کلونیزاسیون، حجم، قطر، چگالی سطح و چگالی ریشه را در سطح احتمال 5 % تحت تاثیر قرار داد. همچنین، مایکوریزا نیز همان طور که در جدول 2 مشاهده می شود صفات وزن تر ریشه، طول، وزن خشک ریشه، کلونیزاسیون، سطح، قطر و چگالی ریشه را در سطح احتمال 1 % و چگالی سطح ریشه و حجم ریشه را در سطح احتمال 5 % تحت تاثیر قرار داد و اما در مورد ارقام نتایج نشان داد بین ارقام تفاوت معنی داری برای صفات طول، وزن خشک، حجم و سطح ریشه در سطح احتمال 1% و وزن تر و چگالی سطح در سطح احتمال 5% وجود دارد ولی برای صفات قطر ریشه و درصد کلونیزاسیون تفاوت معنی داری دیده نشد (جدول 2). اما بررسی نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد اثرات متقابل سه‌گانه تیمارهای آزمایشی (جدول 3) تنها بر صفات وزن تر، حجم و چگالی ریشه در سطح احتمال 5% معنی دار شده است و بر سایر صفات تاثیر معنی‌داری نداشته است. مطابق جدول 2 تلقیح بذور با آزوسپیریلوم وزن تر و وزن خشک ریشه را بیش از 6% افزایش داد. همچنین استفاده از گونه‌های مایکوریزا نیز وزن تر (13%) و وزن خشک ریشه (4%) را افزایش داد. در آزمایشی مشخص شد تلقیح آزوسپیریلوم با بذور گندم باعث افزایش عمق نفوذ ریشه شده در نتیجه گیاه توانایی بیشتری در جذب آب و مواد غذایی می یابد که این امر سرانجام منجر به افزایش زی‌توده ریشه و به پیروی از آن، وزن خشک ریشه گندم می شود (روسو و همکاران 2005). اگرچه بین گونه‌های مایکوریزا تفاوت اندکی وجود داشت ولی به طور کلی بیشترین وزن تر (1/37 گرم) و وزن خشک ریشه (0/26 گرم) از کاربرد گونه *G. mosseae* بدست آمد. وامریال و همکاران (2003) عنوان کردند افزایش وزن ماده خشک ریشه در تیمارهای میکوریزایی می-تواند به دلیل افزایش جذب آب و مواد غذایی و انتقال بهتر این مواد باشد. همچنین، در مورد ارقام نیز شایان ذکر است بیشترین وزن تر (1/32 گرم) و وزن خشک ریشه (0/27 گرم) در رقم چمران دیده شد. سادات و همکاران (2010) نیز در بررسی خود اعلام کردند که تفاوت معنی داری بین وزن خشک ریشه در ارقام گندم وجود دارد. بر طبق نتایج (جدول 3) بیشترین وزن تر

[1] Root Area
[2] Root Surface Area Density
[3] Root Density
[4] Gridline Intersect Method

(1/45 گرم) از تیمار تلقیح آزوسپیریلوم و کاربرد گونه *G. mosseae* با رقم چمران و بیشترین وزن خشک ریشه (0/29 گرم) از تیمار تلقیح آزوسپیریلوم و کاربرد گونه *G. intraradices* با رقم چمران بدست آمد و کمترین وزن تر (1/09 گرم) و وزن خشک ریشه (0/24 گرم) که از تیمار عدم استفاده از کودهای بیولوژیک در گندم دوروم دنا بدست آمد. به نظر می رسد این میکروارگانیسم‌ها با توسعه‌ای که در سیستم جذب ریشه ایجاد کرده‌اند باعث افزایش جذب آب و عناصر غذایی شدند (یانگ و همکاران 2009 و الکراکی و همکاران 2004).

**جدول 2- مقایسه میانگین اثرات ساده قارچ مایکوریزا، باکتری آزوسپیریلوم و رقم بر ویژگی‌های ریشه گندم**

| تیمارها | وزن تر ریشه (g) | وزن خشک ریشه (g) | طول ریشه (cm) | کلونیزاسیون (%) | حجم ریشه ($cm^3$) | سطح ریشه ($cm^2$) | قطر ریشه (cm) | چگالی سطح ریشه ($cm^2/cm^3$) | چگالی ریشه ($g/cm^3$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| آزوسپیریلوم لیپوفروم | | | | | | | | | |
| عدم تلقیح | 1/26b | 0/25b | 19/23b | 33/01b | 2/21b | 22/97b | 3/77 b | 212/24b | 0/06b |
| تلقیح شده | 1/33a | 0/27a | 20/48a | 35/93a | 2/47a | 25/12a | 3/96a | 225/13a | 0/07a |
| | ** | ** | ** | * | * | ** | * | * | * |
| مایکوریزا | | | | | | | | | |
| عدم کاربرد | 1/20c | 0/25b | 18/97b | 5/53b | 2/26b | 23/01b | 3/73b | 210/66b | 0/067b |
| *G. intraradices* | 1/31b | 0/26a | 19/89ab | 48/97a | 2/38a | 24/27a | 3/78b | 217/51ab | 0/073b |
| *G. mosseae* | 1/37a | 0/26a | 20/70a | 48/92a | 2/39a | 24/85a | 4/04a | 229/89a | 0/079a |
| | ** | ** | ** | ** | * | ** | ** | * | ** |
| رقم | | | | | | | | | |
| چمران | 1/32a | 0/27a | 20/81a | 35/96a | 2/47a | 25/29a | 3/86a | 231/85a | 0/075a |
| بهرنگ | 1/29ab | 0/25b | 20/04a | 33/87a | 2/32b | 24/05b | 3/87a | 221/72ab | 0/072a |
| دنا | 1/27b | 0/25b | 18/71b | 33/58a | 2/24b | 22/79c | 3/82a | 202/48b | 0/072a |
| | * | ** | ** | ns | ** | ** | ns | * | ns |
| CV (درصد) | 8/01 | 8/45 | 7/47 | 10/47 | 6/96 | 5/22 | 6/27 | 12/89 | 12/34 |

**، * و ns به ترتیب معنی دار در سطح احتمال 1 و 5 ٪ و ns غیر معنی دار هستند.CV = ضریب تغییرات،
در هر ستون حروف مشابه نشان دهنده نبود اختلاف معنی دار بین میانگین‌هاست (بر اساس آزمون دانکن).

بررسی درصد کلونیزاسیون ریشه نشان داد تلقیح بذور با آزوسپیریلوم توانسته است کلونیزاسیون ریشه را تا 9 درصد افزایش دهد بیشترین درصد کلونیزاسیون ریشه معادل 35/93% بود که 9% بیشتر از تیمار عدم تلقیح بود. مطالعات متعدد نشان داده اند که باکتری‌های تنظیم کننده رشد هیچ اثر هم‌ناسازی با مایکوریزا در آلوده کردن ریشه گیاه میزبان نداشته و نه تنها منجر به کاهش کلونیزاسیون ریشه نمی شوند (اسکوئز و همکاران 2001) بلکه برای نمونه، تلقیح دوگانه بذور با آزوسپیریلوم و مایکوریزا باعث افزایش رشد ریشه و کلونیزاسیون نیز شد (روسو و همکاران 2005). اما کاربرد مایکوریزا درصد کلونیزاسیون ریشه را تا 89 % در زمان استفاده از گونه *G. intraradices* نسبت به شرایط عدم کاربرد مایکوریزا افزایش داد در مورد ارقام گندم کاربردی نیز بیشترین درصد کلونیزاسیون ریشه (35/96%) در رقم چمران دیده شد (جدول 2). بررسی اثرات متقابل نشان داد (شکل 1) بیشترین کلونیزاسیون ریشه معادل 54/96 درصد از تیمار تلقیح بذور گندم رقم چمران با آزوسپیریلوم و کاربرد مایکوریزای گونه *G. mosseae* بدست آمد و کمترین درصد کلونیزاسیون (5/03) در تیمار تلقیح بذور رقم بهرنگ با آزوسپیریلوم به دست آمد (شکل

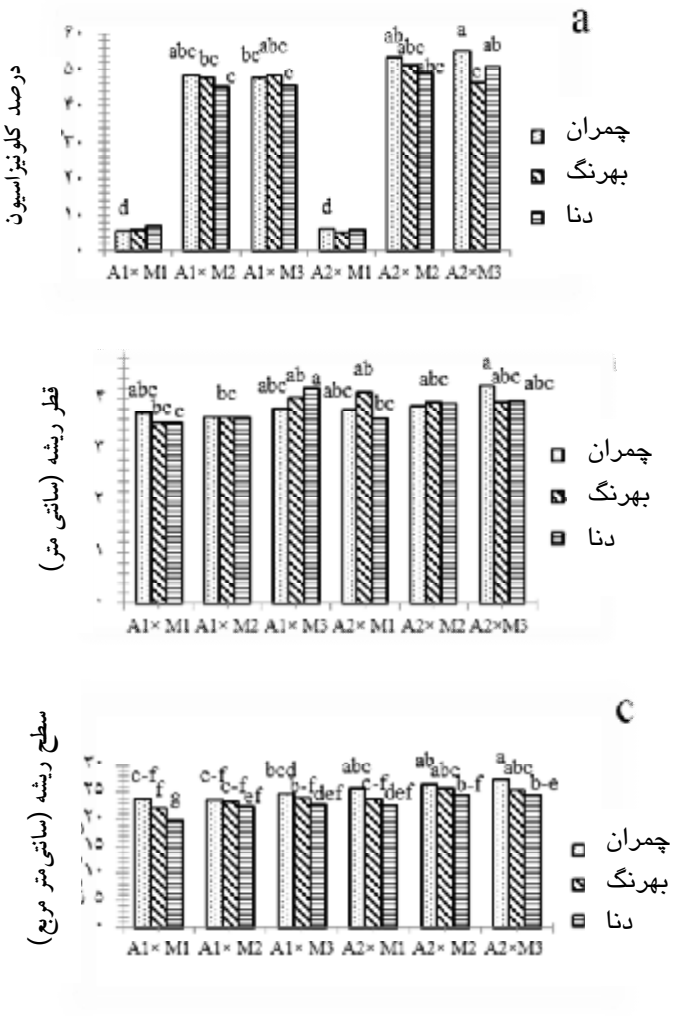
1). ساجدی و رجالی (2011) عنوان داشتند با افزایش کلونیزاسیون ریشه، سیستم ریشه ای گیاه میزبان توسعه یافته و باعث افزایش سطح جذب ریشه-ها به علت نفوذ ریسه‌های قارچ در خاک می شود و در نتیجه ریشه به حجم بیشتری از خاک دسترسی پیدا کرده و کارایی جذب آب و عناصر غذایی و تولید ماده خشک افزایش می یابد. در مورد طول ریشه تلقیح بذور با آزوسپیریلوم تا 7 % طول ریشه را افزایش داد. در این ارتباط نظارت و غلامی (2009) نیز در پژوهش خود اعلام کردند آزوسپیریلوم طول ریشه را به طور قابل توجهی افزایش می دهد. روسو و همکاران (2005) اعلام کردند تلقیح بذور ذرت و گندم با آزوسپیریلوم باعث افزایش عمق نفوذ و بیومس ریشه می شود البته کاربرد دو گونه مایکوریزا نیز طول ریشه را افزایش داد به شکلی که گونه *G. mosseae* تا 9% در افزایش طول ریشه نقش داشت به نظر می رسد حضور مایکوریزا باعث تغیراتی در ریخت‌شناسی ریشه شده به نحوی که انتشار میسیلیوم‌های مایکوریزایی مرتبط با بافت‌های درونی ریشه باعث افزایش طول ریشه شده است. در این زمینه (دیویس و همکاران 2005) نیز نشان دادند طول ریشه در گیاه آلوده به مایکوریزا بیشتر از طول ریشه گیاه بدون مایکوریزا می باشد. در ارتباط با ارقام به کار رفته در این آزمایش نیز بیشترین طول ریشه معادل 20/81 سانتی متر در رقم چمران دیده شد (جدول 2). اما بیشترین طول ریشه معادل 22/36 سانتی متر از تیمار تلقیح بذور گندم چمران با آزوسپیریلوم و کاربرد مایکوریزای گونه *G. mosseae* بدست آمد و کمترین طول ریشه معادل 17/36 سانتی متر در رقم دنا بدون استفاده از کود بیولوژیک مشاهده شد (جدول 3).

**جدول 3- مقایسه میانگین برهم‌کنش قارچ مایکوریزا، باکتری آزوسپیریلوم و رقم بر ویژگی‌های ریشه**

| تیمارها | وزن تر ریشه (g) | وزن خشک ریشه (g) | طول ریشه (cm) | حجم ریشه ($cm^3$) | چگالی سطح ریشه ($cm^2/cm^3$) | چگالی ریشه ($g/cm^3$) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| آزوسپر×میکور×رقم | | | | | | |
| A1× M1×C1 | 1/25def | 0/26b-e | 19/86a-e | 2/33b-e | 225/43abc | 0/069b-e |
| A1× M1×C2 | 1/17fg | 0/25cde | 19/06cde | 2/07ef | 227/57abc | 0/067cde |
| A1× M1×C3 | 1/09g | 0/24e | 17/36e | 1/84f | 184/96c | 0/064de |
| A1× M2×C1 | 1/30cde | 0/26b-e | 19/43b-e | 2/34b-e | 214/62abc | 0/076a-e |
| A1× M2×C2 | 1/288c-f | 0/25cde | 19/10cde | 2/29b-e | 207/98abc | 0/062e |
| A1× M2×C3 | 1/25def | 0/24e | 18/13de | 2/19de | 193/43bc | 0/068cde |
| A1× M3×C1 | 1/82b-e | 0/27a-d | 21/00a-d | 2/32b-e | 232/64abc | 0/070b-e |
| A1× M3×C2 | 1/35a-d | 0/24de | 19/80a-e | 2/34b-e | 211/47abc | 0/073a-e |
| A1× M3×C3 | 1/32b-e | 0/25cde | 18/83cde | 2/22cde | 199/16bc | 0/077a-e |
| A2× M1×C1 | 1/24def | 0/27a-d | 21/03a-d | 2/52abc | 242/49ab | 0/074a-e |
| A2× M1×C2 | 1/26def | 0/25de | 18/70cde | 2/43a-d | 203/62bc | 0/067cde |
| A2× M1×C3 | 1/21ef | 0/24e | 17/83e | 2/39bcd | 207/92abc | 0/064de |
| A2× M2×C1 | 1/39abc | 0/29a | 21/40abc | 2/59ab | 234/54abc | 0/082abc |
| A2× M2×C2 | 1/35a-d | 0/27a-d | 21/33abc | 2/48a-d | 234/98abc | 0/075a-e |
| A2× M2×C3 | 1/31b-e | 0/26cde | 20/06a-e | 2/39bcd | 219/51abc | 0/073a-e |
| A2×M3 ×C1 | 1/45a | 0/28ab | 22/36a | 2/73a | 241/44ab | 0/088a |
| A2×M3 ×C2 | 1/34a-d | 0/27a-d | 22/16ab | 2/31b-e | 254/71a | 0/080a-d |
| A2×M3 ×C3 | 1/43ab | 0/28abc | 20/06a-e | 2/43a-d | 209/94abc | 0/086ab |

*، ** و ns به ترتیب معنی دار در سطح احتمال 5 و 1٪ و غیر معنی دار هستند.CV = ضریب تغییرات،
در هر ستون حروف مشابه نشان دهنده نبود اختلاف معنی دار بین میانگین‌هاست (بر اساس آزمون دانکن).
A1: عدم تلقیح با آزوسپیریلوم، A2: تلقیح شده با آزوسپیریلوم، M1: عدم استفاده از مایکوریزا، M2: استفاده از گونه *G. intraradices*، M3: استفاده از گونه *G. mosseae*، C1: چمران، C2: بهرنگ، C3: دنا

همچنین در بررسی حجم و چگالی سطح ریشه نتایج نشان داد تلقیح بذور با آزوسپیریلوم توانسته است حجم و چگالی سطح ریشه را به ترتیب 10% و 6% افزایش دهد. کاربرد مایکوریزا نیز حجم و چگالی سطح ریشه را افزایش داد به شکلی که حجم و چگالی سطح ریشه گونه *G. mosseae* به ترتیب 6% و 9% بیشتر از تیمار عدم استفاده از مایکوریزا بود. به نظر می رسد هم زیستی میکوریزایی از طریق تغذیه مناسب می تواند موجب افزایش وزن خشک ریشه و اندام هوایی شود به نحوی که گیاه آلوده به قارچ میکوریز می توانند فسفر غیر قابل دسترس گیاهان که با فاصله دورتری نسبت به ریشه‌های آنها قرار دارند از طریق میسیلیوم‌های خود جذب نمایند و در نتیجه باعث جذب بیشتر مواد غذایی توسط ریشه شوند. همچنین در مورد رقم نیز بیشترین حجم و چگالی سطح ریشه به ترتیب معادل 2/47 سانتی متر مکعب و 231/85 سانتی متر مربع بر سانتی متر مکعب از رقم چمران بدست آمد (جدول 2). اما با توجه به جدول برهم‌کنش بیشترین حجم ریشه (2/73 سانتی متر مکعب) از تیمار تلقیح بذور گندم رقم چمران با آزوسپیریلوم و کاربرد گونه *G. mosseae* مایکوریزا و بیشترین چگالی سطح ریشه (254/71 سانتی متر مربع بر سانتی متر مکعب) از تیمار تلقیح بذور گندم بهرنگ با آزوسپیریلوم و کاربرد مایکوریزای گونه *G. mosseae* به بدست آمد و کمترین حجم ریشه (1/84 سانتی متر مکعب) و کمترین چگالی سطح (184/96 گرم) از رقم دنا و بدون استفاده از کود بیولوژیک بدست آمد. در بسیاری از پژوهش‌های نشان داده شده است که آلودگی غلات با آزوسپیریلوم (نایمن و همکاران 2009) و مایکوریزا (برتا و همکاران 2002) سبب افزایش حجم و زی‌توده ریشه می شود این توسعه با افزایش هورمون‌های رشد (صفاپور و همکاران 2012 و کارتیکیان و همکاران 2007) و همچنین تراوش پروتونی (مستاجران و همکاران 2005) در ارتباط است تراوش پروتونی (به دلیل همیاری آزوسپریلوم و گندم) سبب بهبود جذب آب و املاح توسط گیاه آلوده به آزوسپیریلوم (محفوظ و شریف الدین 2007) و همچنین مایکوریزا (علیزاده و علیزاده 2008) می‌شود. در شرایط قلیائی نه فقط محدودیت رشد ریشه و غیر محلول شدن بسیاری از عناصر ضروری و کاهش جذب آب وجود دارد بلکه فراوانی $OH^-$ در خاک از اثر تراوش پروتونی توسط این سیستم (باکتریایی) می کاهد که می تواند توسعه ریشه و تغییرات زیاد دیگری را به همراه داشته باشد (مستاجران و همکاران 2005).




**شکل1- صفات مرتبط با ریشه ارقام گندم در تیمارهای آزوسپیریلوم و مایکوریزا**

a: کلونیزاسیون، b: قطر ریشه، c: سطح ریشه،
A1: عدم تلقیح با آزوسپیریلوم، A2: تلقیح شده با آزوسپیریلوم،
M1: عدم استفاده از مایکوریزا، M2: استفاده از گونه *G. intraradices*، M3: استفاده از گونه *G. mosseae*
میانگین‌های دارای حروف مشابه تفاوت معنی داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال 5% ندارند.

در بررسی سطح ریشه مشخص شد تلقیح بذور با آزوسپیریلوم توانسته است سطح ریشه را نیز افزایش دهد بیشترین سطح ریشه معادل 25/12 سانتی متر مربع بود که 9% بیشتر از تیمار عدم تلقیح بود. عسگری و همکاران (2009) بیان داشتند یکی از مهم‌ترین مکانیزم‌های رشد گیاه بوسیله باکتری‌های PGPR، تغییر در ریخت‌شناسی و فیزیولوژی سیستم ریشه گیاه است. این باکتری‌ها موجب افزایش تعداد ریشه‌های جانبی و ریشه‌های موئین می‌شوند که این امر موجب افزایش سطح ریشه و افزایش دسترسی به آب و عناصر غذایی می‌شود در نتیجه، موجب بهبود وضع آبی گیاه می شود (عسکری و همکاران 2009) کاربرد مایکوریزا نیز سطح ریشه را افزایش داد به نحوی که سطح ریشه گونه *G. mosseae* 8 % بیشتر از تیمار عدم استفاده از مایکوریزا بود. و در مورد رقم نیز بیشترین سطح ریشه معادل 25/29 سانتی متر مربع از رقم چمران بدست آمد (جدول 2). بیشترین سطح ریشه معادل 27/48 سانتی متر مربع از تیمار تلقیح بذور گندم رقم چمران با آزوسپیریلوم و کاربرد مایکوریزای گونه *G. mosseae* بدست آمد و کمترین سطح ریشه معادل 19/99 سانتی متر مربع در رقم دنا و بدون استفاده از کود بیولوژیک مشاهده شد (شکل 1). کافکافی (2005) بیان داشتند سطح ریشه می تواند نشان دهنده سطح تماس گیاه با خاک باشد و سطح ریشه بیشتر احتمال دسترسی به آب بیشتر را مهیا سازد. و اما نکته قابل توجه اینکه در مقایسه سطح ریشه و حجم ریشه مشخص شد حجم ریشه با عدم استفاده از کود بیولوژیک کاهش شدیدتری را نشان می دهد. شاید بتوان کاهش حجم و تغییرات کمتر سطح ریشه را به تولید بیشتر ریشه‌های جانبی در گندم مربوط دانست تا گیاه بتواند از این طریق سطح جذب آب در ریشه را حفظ کند.

مطابق جدول 2 تلقیح بذور با آزوسپیریلوم قطر (5%) و چگالی ریشه (6%) را افزایش داد همچنین کاربرد مایکوریزا گونه *G. mosseae* نیز قطر (8%) و چگالی ریشه (10%) را افزایش داد. اگرچه بین گونه‌های مایکوریزا تفاوت اندکی وجود داشت ولی به طور کلی بیشترین قطر (4/04 سانتی متر) و چگالی ریشه (0/079 گرم بر سانتی متر مکعب) از کاربرد گونه *G. mosseae* بدست آمد. کاپور و همکاران (2001) عنوان داشتند ریسه‌های میکوریزا به دو دسته تقسیم می شوند، تعدادی از آنها وارد سیستم ریشه گیاه شده و سبب کاهش غلظت آبسزیک اسید گشته و میزان سیتوکنین را افزایش می دهند که این عمل سبب افزایش جذب آب و گسترش سیستم ریشه ای گیاه می گردد. دسته دوم از ریسه‌ها خارج از سیستم ریشه بوده، این ریسه‌ها از خود اسیدهای آلی محلول کننده فسفر نظیر اسید مالیک ترشح کرده که جذب فسفر توسط گیاه را افزایش داده و نهایتاً مجموع این عوامل دست به دست هم داده و سبب افزایش رشد و نمو گیاه، در شرایط کاربرد قارچ میکوریزا می شوند. این نتایج با نتایج کاپور و همکاران (2001) همخوانی داشت. و در مورد رقم نیز بیشترین قطر (3/86 سانتی متر) و چگالی ریشه (0/075 گرم بر سانتی متر مکعب) در رقم چمران مشاهده شد (جدول 2). و اما جدول برهم‌کنش‌ها نشان داد بیشترین قطر (4/27 سانتی متر) و چگالی ریشه (0/088 گرم بر سانتی متر مکعب) از تیمار تلقیح باکتریایی بذور گندم رقم چمران و کاربرد مایکوریزای گونه *G. mosseae* بدست آمد و کمترین قطر (3/54 سانتی متر) در تیمار و عدم استفاده از کود بیولوژیک در رقم دنا و کمترین چگالی ریشه (0/062 گرم بر سانتی متر مکعب) در تیمار عدم تلقیح باکتریایی بذور رقم بهرنگ و استفاده از مایکوریزا گونه *G. intraradices* بدست آمد (جدول 3).

با توجه به نتایج به دست آمده از جدول همبستگی (جدول 4) بین قطر و حجم ریشه ($r=0/740^{**}$) و بین حجم و وزن خشک ریشه ($r=0/727^{**}$) همبستگی بالا و معنی داری وجود داشت برزویی و همکاران (2011)

نیز همبستگی مثبت و معنی دار میان حجم و وزن خشک ریشه را گزارش دادند همچنین نتایج نشان داد بین درصد کلونیزاسیون ریشه و چگالی و سطح ریشه همبستگی بالایی وجود دارد که این همبستگی را می‌توان به افزایش فراهمی آب و مواد غذایی در نتیجه همزیستی مایکوریزایی و در نتیجه تولید مواد فتوسنتزی بیشتر در طول دوره رشد نسبت داد.

**جدول 4- جدول همبستگی بین صفات اندازه گیری شده**

| | قطر ریشه | حجم ریشه | وزن خشک ریشه | چگالی ریشه | سطح ریشه | کلونیزاسیون |
|---|---|---|---|---|---|---|
| کلونیزاسیون | -0/292 | 0/425* | 0/429* | 0/464** | 0/530** | 1 |
| سطح ریشه | 0/307 | 0/671** | 0/327 | 0/154 | 1 | |
| چگالی ریشه | -0/324 | 0/249 | 0/705** | 1 | | |
| وزن خشک ریشه | 0/654** | 0/727** | 1 | | | |
| حجم ریشه | 0/740** | 1 | | | | |

*، **به ترتیب معنی دار در سطح احتمال 5 و 1% می‌باشد.

**نتیجه گیری کلی**

به طور کلی نتایج این آزمایش نشان داد مایکوریزا و آزوسپیریلوم هر یک به تنهایی نقش به سزایی در افزایش رشد و توسعه ریشه گندم داشته‌اند اما نکته قابل توجه آن بود که مصرف توأم این میکروارگانیسم‌ها منجر به بروز هیچ اثر هم‌ناسازی (آنتاگونیستی) در رشد ریشه ارقام گندم نشده و بین 9 تا 17 از کاربرد جداگانه‌شان موثرتر بوده همچنین اگرچه بین دو گونه مایکوریزای به کار برده شده برای عمده صفات برآورد شده تفاوت معنی داری دیده نشد، ولی گونه *G. mosseae* نسبت به *G. intraradices* موفق تر عمل کرد. همچنین در مورد اکثر صفات مورد ارزیابی در این آزمایش دیده شد که مایکوریزا نسبت به آزوسپیریلوم در افزایش توسعه ریشه ارقام گندم نقش موثرتری داشته است به نظر می رسد عواملی همچون عملیات نادرست خاکورزی، مصرف بی رویه کود شیمیایی و فقر ماده آلی در خاک، از فعالیت حداکثری باکتری آزوسپیریلوم در خاک جلوگیری کرده باشند. بنابراین به طور کلی می‌توان اعلام کرد میکرو ارگانیسم‌های مصرفی قادرند موجبات افزایش جذب آب و مواد معدنی را فراهم کرده و از این طریق باعث افزایش عملکرد شوند.

**منابع مورد استفاده**

اخوان س، شعبانپور م و اصفهانی م، 1391. اثر تراکم خاک و بافت خاک بر رشد ریشه و اندام هوایی گندم مجله آب و خاک، 26(3): 735-727.

امیرآبادی م، رجالی ف، اردکانی مر و برجی م، 1388 . تأثیر کاربرد مایه تلقیح ازتو باکتر و قارچ میکوریزی بر جذب برخی عناصر معدنی توسط ذرت علوفه‌ای (رقم سینگل کراس 704) در سطوح مختلف فسفر مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، 23(1): 115-107.

ساجدی نع و رجالی ف، 1390 . تاثیر تنش خشکی کاربرد روی و تلقیح میکوریز بر جذب عناصر کم مصرف در ذرت پژوهش های خاک، 25(2): 92-83.

سادات ع، ثواقبی غر، رجالی ف، فرحبخش م، خاوازی ک و شیرمردی م، 1389. تأثیر چند نوع قارچ میکوریز آربسکولار و باکتری محرک رشد گیاه بر شاخص‌های رشد و عملکرد دو رقم گندم در یک خاک شور مجله آب و خاک، 45(1): 53-62.

علیزاده ا، علیزاده ا و خواست خدایی ا ، 1387. بررسی کاربرد توام میکوریزا و آزوسپریلیوم با هدف بهینه سازی مصرف کود نیتروژن و فسفر در زراعت پایدار ذرت یافته های نوین کشاورزی، 3(1): 66-55.

عموآقائی ر، مستاجران ا و امتیازی گ، 1382 .اثر سویه و غلظت باکتری آزوسپیریلوم برازیلنسروی رشد و نمو ریشه ارقام گندم مجله علوم کشاورزی، 23(2): 222-213.

مستأجران ا، عموآقائی ر و امتیازی گ، 1384. اثر آزوسپیریلوم و اسیدیته قلیائی آب آبیاری بر عملکرد دانه و میزان پروتئین ارقام زراعی گندم مجله زیست شناسی ایران، 18(3): 260-243.

برزوئی الف، کافی م، خزائی ح و موسوی شلمانی م، 1389. تأثیر شوری آب آبیاری بر صفات ریشه دو رقم حساس و مقاوم به شوری گندم و ارتباط آن با عملکرد دانه در شرایط گلخانه علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای، 2(8): 106-95.

Al-karaki G, Mcmichael B and Zak J, 2004. Field response of wheat to Arbuscular Mycorrhizal Fungi and drought stress, Mycorrhiza, 14: 263-296.

Askary M, Mostajeran A and Amooaghaei R, 2009. Influence of the co-inoculation Azospirillum brasilense and Rhizobum meliloti plus 24-D on grain yield and N P K content of *Triticum aestivum* (Cv Baccros and mahdavi). American-Eurasian Journal of Agriculture and Environment Science, 5(3): 296-307

Berta G, Fusconi A and Hooker JE, 2002. Arbuscular mycorrhizal modification to plant root systems: scale mechanisms and consequences, In :Gianinazzi S H Schüepp J Barea M and Haselwandter K (Eds.) Mycorrhiza Technology in Agriculture from Genes to Bioproducts (pp 71-85) Basel Switzerland: Birkhäuser Verlag

Daei G, Ardakani MR, Rejali F, Teimuri S and Mir Ansari M, 2009. Alleviation of salinity stress on wheat yield yield components and nutrient uptake using Arbuscular Mycorrhizal fungi under field conditions. Journal of Plant Physiology, 166: 617-625.

Davies JR, Olalde-Portugal L, Agvilera-Gomez MJ, Alvarao RC, Ferrera-cerrato T and Boutton W, 2002. Alleviation of drought stress of chile ancho pepper (*Capsicum annuum* L CV Sanluis) with Arbuscular mycorrhiza indi gennus to mexico. Scientia Horticulturoe, 92: 342-359

Ganjali A, Kafi M, Bagheri AR and Shahriari Ahmadi F, 2003. Allometric relationship for root and shoot characteristics of chickpea seedlings (*Cicer arietinum*). Journal of Agricultural Science and Technology, 18: 167-80.

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

Guarda G, Padovan S and Delogu G, 2004. Grain yield nitrogen-use efficiency and baking quality of old and modern Italian bread-wheat cultivars grown at different nitrogen levels. European Journal of Agronomy, 21: 181-192.

Higa T, 2000. What is EM technology? EM World Journal, 1: 1-6.

Jacoud C, Faure D, Wadoux P and Bally R, 1998. Development of a strain-specific probe to follow inoculated *Azospirillum lipoferum* CRT1 under field conditions and enhancement of maize root development by inoculation. FEMS Microbial Ecology, 27: 43-51.

Kafkafi U, 2005. Global aspects of fertigation usage Fertigation Proceedings. International Symposium on Fertigation Beijing China 20-24 September 2005. pp 8-22.

Kapoor R, Giri B and Mukerji G, 2001. Mycorrhization of coriander (*Coriandrum sativum L*) to enhance the concentration and quality of essential oil. Journal of the Science of Food and Agriculture, 82:(4) 339-342.

Karthikeyan B, Jaleel CA, Gopi R and Delveekasundarm M, 2007. Alterations in seedling vigour and antioxidant enzyme activitvities in *Catharanthus roseus* under seed priming with native diazotrophs. Journal of Zhejiang University Science, 8(7): 453-457.

Mahfouz SA and Sharaf-Eldin MA, 2007. Effect of mineral vs biofertilizer on growth yield and essential oil content of fennel (*Foeniculum vulgare*). International Agrophysics, 21: 361-366.

Naiman AD, Latro´nico A, Garcı´a and Salamone IE, 2009. Inoculation of wheat with *Azospirillum brasilense* and *Pseudomonas fluorescens*: Impact on the production and culturable rhizosphere microflora. European Journal of Soil Biology, 45: 44-51.

Nezarat S and Gholami M, 2009. Screening plant growth promoting rhizobacteria for improving grain germination seedling growth and yield of maize. Pakistan Journal of Biological Sciences, 12 (1): 26-32.

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

Russo A, Felici C, Toffanin A, Götz M, Collados C and Barea JM, 2005. Effect of *Azospirillum inoculants* on arbuscular mycorrhiza establishment in wheat and maize plants. Journal of Biology and Fertility of Soils, 41: 301–309.

Safapour M, Ardakani MR, Khaghani S, Teymoori M, Hezaveh H and Mafakheri S, 2012. phytohormonal and polyamines changes of three red bean (*Phaseolus vulgaris L*) genotypes as affected by Tripartite symbiosis with Mycorrhiza and Rhizobium. Archives Des Sciences, 65(4): 235-240.

SAS 9013. Copyright (c) 2004. By SAS Institute Inc cary nc USA SAS (r) Proprietary Software Version 900 (TS M0).

Siqueira JO and Saggin-Junior OJ, 2001. Dependency on Arbuscular Mycorrhizal fungi and responsiveness of some Brazilian native woody species Mycorrhiza. Australian Journal of Agricultural Research, 11: 245–255.

Turk MA, Assaf TA, Hameed KM and Tawaha AM, 2006. Significance of Mycorrhizae. World Journal Agricalture Science, 2: 16 - 20.

Vamerial TM, Saccomani S, Bona G, Mosca M and Ganis A, 2003. A Comparison of root characteristics in relation to nutrient and water stress in two maize hybrids. Plant and Soil, 255:157-167.

Yang J, Kloepper JW and Ryu CM, 2009. Rhizosphere bacteria help plants tolerate abiotic stress. Trends in Plant Science, 14(1): 1-4.

Yosefi K, Galavi M, Ramrodi M and Mousavi SR, 2011. Effect of bio-phosphate and chemical phosphorus fertilizer accompanied with micronutrient foliar application on growth yield and yield components of maize (Single Cross 704). Australian Journal of Crop Science, 5(2):175-180.

Zheng YM, Ding YF, Wang GH, Wu H, Yuan Q, Wang HZ and Wang SH, 2007. Effect of nitrogen applied before transplanting on NUE in rice. Agricultural Sciences in China, 6(7): 842-848.