# بررسی تأثیر رابطه همزیستی میکوریز اربسکولار در رشد، عملکرد و جذب عناصر معدنی در گیاه گندم تحت تنش خشکی

فرهاد رجالی،[1*] عزیز الله علیزاده، محمد جعفر ملکوتی و ناهید صالح راستین

استادیار پژوهش موسسه تحقیقات خاک و آب؛ **frejali@yahoo.com**

استاد گروه گیاهپزشگی دانشگاه تربیت مدرس

استاد گروه علوم خاک دانشگاه تربیت مدرس؛**malakouti@hotmail.commj**

دانشیار گروه علوم خاک پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

## چکیده

**در مناطق خشک و نیمه خشک جهان که بخش عمده ای از کشور ما را نیز در بر می گیرد، سطح قابل توجهی از اراضی زیر کشت گندم را دیمزارها تشکیل می دهند. در این اراضی گیاه گندم برای تأمین آب مورد نیاز خود متکی به نزولات جوی بوده و به همین دلیل در هر زمان در طول فصل رشد خود ممکن است با کمبود آب و تنش رطوبتی روبرو گردد. در این شرایط شاید آنچه که بیش از کمبود رطوبت رشد گیاه را محدود کرده و باعث کاهش عملکرد شود، کاهش جذب عناصر غذایی و بویژه عناصر غذایی کم تحرک نظیر فسفر، آهن، روی، مس و منگنز می باشد. قارچهای میکوریز آربسکولار همزیست اجباری ریشه در بیش از 80 درصد خانواده‌های گیاهی می‌باشند. این قارچها در مواردی که گیاه با محدودیت‌ها و تنش‌های محیطی روبرو می‌باشد، رشد گیاه میزبان را با تأمین آب و عناصر غذایی مورد حمایت قرار می‌دهند. غلات از جمله مهمترین میزبانهای این قارچها می باشند. به منظور بررسی تأثیر رابطه همزیستی میکوریزی در جذب عناصر غذایی در گندم رقم سبلان تحت تنش خشکی، آزمون گلخانه‌ای با چهار تیمار قارچی شامل گونه‌های *Glomus mosseae* ارسالی از کانادا، *G. mosseae* و *G. etunicatum* ارسالی از دانشگاه تبریز و یک تیمار شاهد بدون قارچ و همچنین سه سطح رطوبتی 22 ، 14 و 8 درصد وزنی در دو خاک استریل و غیر استریل و با شش تکرار به صورت آزمایش فاکتوریل و در قالب طرحهای کاملاً تصادفی در سال 1381 به اجرا در آمد. نتایج به دست آمده نشان داد که با افزایش سطح رطوبتی خاک میزان رشد، عملکرد و جذب عناصر معدنی به صورت معنی‌داری ($P<0.01$) افزایش یافت. استفاده از تیمارهای قارچی منجر به افزایش معنی‌دار ($P<0.01$) جذب فسفر و روی و افزایش وزن خشک اندام هوایی، عملکرد و جذب مس ($P<0.05$) در خاک استریل گردید. در خاک غیر استریل، افزایش وزن خشک اندام هوایی، عملکرد و جذب فسفر و روی در سطح 5 درصد آماری معنی‌دار گردید ولی جذب مس در سطوح آماری در نظر گرفته شده معنی‌دار نبود. افزایش جذب عناصر غذایی ازت، پتاسیم، آهن و منگنز نیز در دو خاک بررسی شده در سطوح آماری مورد نظر معنی‌دار نگردید.**

**واژه های کلیدی:** گندم، میکوریز آربسکولار، تغذیه معدنی، عملکرد، تنش خشکی

## مقدمه

تأثیرات متنوع و مثبت ناشی از برقراری همزیستی میکوریز اربسکولار بر بقاء و افزایش رشد گیاه میزبان در مناطق خشک و نیمه خشک جهان که قسمت عمده‌ای از اقلیم کشورمان را نیز در بر می‌گیرد از اوایل دهه 1970 میلادی مورد توجه محققین قرار گرفته است. در این مناطق کافی نبودن منابع آب که به عنوان مهمترین

1- نویسنده مسئول، آدرس: تهران، خیابان کارگر شمالی روبروی بیمارستان دکتر شریعتی، موسسه تحقیقات خاک و آب، صندوق پستی؛ 14155-6185.

* دریافت: 84/3/17 و پذیرش: 85/9/1

عامل محدود کننده رشد گیاه و تولید محصول شناسایی شده، باعث گردیده تا سطح قابل توجهی از اراضی زیر کشت گیاهان زراعی را دیم زارها تشکیل دهند.

همزیستی میکوریزی از طریق افزایش جذب عناصر غذایی و آب موجب افزایش رشد گیاه میزبان در طی دوره تنش خشکی می‌شود. همچنین قارچهای میکوریزی کارایی مصرف آب در گیاه میزبان را در شرایط تنش خشکی افزایش می‌دهند (Simpson and Daft, 1990). تأثیر دو گونه *Glomus deserticola* و *Glomus fasciculatum* بر روی گندم کشت شده تحت تنش رطوبتی نشان داده است که وزن خشک تولیدی و همچنین میزان محصول در گیاه تلقیح شده در شرایط تنش رطوبتی دو برابر همین مقدار در گیاه شاهد بدون تلقیح و کشت شده در شرایط مشابه بوده است (Ellis *et al*., 1985).

نتایج حاصل از بررسی تأثیر تلقیح با قارچهای میکوریزی در افزایش مقاومت واریته‌های مختلف گندم به تنش خشکی نشان داده است که واریته حساس به خشکی در شرایط تنش رطوبتی وابستگی بیشتری به رابطه همزیستی میکوریزی داشته و جذب نسبی عناصر فسفر، روی، مس، منگنز و آهن در آن بیشتر از واریته مقاوم به خشکی بوده است (Al-Karaki and Al-Raddad, 1997).

همزیستی بوجود آمده بین گیاه ذرت و گونه *Glomus intraradices* در شرایط تنش رطوبتی مقدار جذب عناصر ازت، فسفر، پتاسیم، منیزیوم و منگنز را در دانه‌های ذرت افزایش داده است (Subramanian and Charest, 1997). افزایش کارایی مصرف آب و افزایش جذب عناصر غذایی در دو واریته مقاوم و حساس به خشکی گندم مورد بررسی قرار گرفته است، نتایج بدست آمده حاکی از این است که قسمتی از کاهش وزن ایجاد شده ناشی از تنش رطوبتی از طریق برقراری رابطه همزیستی میکوریزی قابل جبران می‌باشد. جذب عناصر معدنی در تیمارهای تلقیح شده بیشتر از تیمارهای تلقیح نشده بوده و این تفاوت مقدار جذب، در تیمارهای تحت تنش خشکی افزایش یافته است. همچنین کارایی مصرف آب در گیاهان تلقیح شده بیشتر از گیاهان تلقیح نشده بوده و این تفاوت نیز در تیمارهای تحت تنش خشکی افزایش یافته است (Al-Karaki and Clark, 1999).

در گیاه گندم میکوریزی تحت تنش خشکی، برگها ریزش کمتری داشته و نقاط سوخته شده ناشی از تنش در آنها کمتر به چشم می‌خورد (Bryla and Duniway, 1998). پس از اتمام دوره تنش خشکی، گیاهان میکوریزی آب جذب کرده و برگها سریعتر به حالت اولیه و طبیعی خود نزدیک می‌شوند (Gemma *et al*., 1997).

بررسی کارایی همزیستی میکوریزی در افزایش جذب عناصر معدنی نشان داده است که گونه‌های مختلف قارچهای میکوریزی نیز کارایی متفاوتی در افزایش جذب فسفر در گیاه میزبان دارند. گونه‌های مختلف این قارچها در گیاه لوبیا باعث افزایش وزن خشک گیاه بین 8 الی 23 درصد و افزایش جذب فسفر بین 60 الی 335 درصد شده‌اند (Ibijbijen *et al*., 1996).

سرعت گسترش هیفهای خارج ریشه‌ای این قارچها به طور متوسط 800 برابر سرعت گسترش سیستم ریشه‌ای گیاه می‌باشد. بنابراین ناحیه تهی از فسفر در اطراف هیفهای قارچهای میکوریزی به شکل محدودتری نسبت به اطراف ریشه‌های موئین تشکیل شده و بدین دلیل مقدار بیشتری فسفر در همزیستی میکوریزی جذب می‌گردد (O' keefe and Sylvia, 1991). ناحیه تهی از فسفر در اطراف ریشه گیاه شبدر *Trifolium repens* ، 10 میلی‌متر تخمین زده شده است در تیماری که این گیاه با گونه *Glomus mosseae* رابطه همزیستی برقرار کرده است، ناحیه تهی از فسفر تا 20 میلی‌متری از سطح ریشه توسعه یافته است (Li *et al*., 1991).

مطالعه صورت گرفته با نیتروژن نشان‌دار مشخص کرده است که در همزیستی بین *Glomus mosseae* و گیاه *Apium graveolens* نسبت به گیاه شاهد، نیتروژن نشان‌دار بیشتری جذب گیاه گردیده است در صورتیکه با اضافه کردن کود فسفره به گیاه شاهد تفاوتی بین تیمارها از لحاظ میزان فسفر جذب شده نبوده است (Ames *et al*., 1983). همچنین بیان شده است که گیاه میزبان می‌تواند تا 25 درصد از نیاز نیتروژنی خود را از طریق رابطه همزیستی با قارچهای میکوریز اربسکولار تأمین نماید (Marschner and Dell, 1994).

حدود 10 درصد از کل پتاسیم جذب شده توسط گیاه میزبان ناشی از فعالیت هیفهای خارج ریشه‌ای قارچهای میکوریز اربسکولار می‌باشد (Marschner and Dell, 1994). از طرف دیگر در همزیستی ایجاد شده بین گیاه *Agropyron repens* و قارچ *Glomus mosseae* افزایش جذب پتاسیم به صورت یک اثر مستقیم در گیاه میزبان مشاهده شده است (Smith and Read, 1997).

در همزیستی ایجاد شده بین سه گونه *G. etunicatum*، *G.diaphanum*و *G. intraradices* با گیاه قهوه مشاهده شده است که در خاکهای اسیدی جذب پتاسیم توسط گیاه میزبان افزایش یافته است ولی در خاکهای قلیایی چنین افزایشی مشاهده نشده است (Saggin and Sigueira, 1995).

در همزیستی ایجاد شده بین سویا و ایزوله‌های مختلفی از قارچ *Glomus mosseae* نیز مشاهده شده است که تنها ایزوله‌های جداسازی شده از مناطق خشک منجر به افزایش جذب پتاسیم در گیاه میزبان شده‌اند (Bethlenfalvay *et al*., 1989).

آزمون مزرعه‌ای صورت گرفته بر روی گیاه ذرت نیز نشان داده است که در تیمارهای تلقیح شده با گونه‌های بومی قارچهای میکوریز اربسکولار جذب پتاسیم در گیاه میزبان بیشتر از گیاهان شاهد بوده است (Lu and Miller, 1988).

بررسی‌های صورت گرفته در سالهای اخیر نشان‌دهنده تأثیر مثبت همزیستی میکوریزی در جذب عناصر کم مصرف و بویژه عنصر روی توسط گیاه میزبان می‌باشد با وجود این بدلیل اثر متقابل بین جذب فسفر و روی گاهاً تفسیر نتایج بدست آمده با مشکل روبرو می‌گردد (Smith and Read, 1997). در گیاه ذرت کشت شده در خاکهای آهکی مشخص شده است که بین 16 الی 25 درصد روی موجود در گیاه از طریق توسعه هیفهای قارچ *Glomus mosseae* در خاک جذب و منتقل شده است (Kothari *et al*., 1991). در مورد گیاهان گندم و لوبیا (Kucey and Janzen, 1987) نیز نتایج مشابهی در رابطه با افزایش جذب روی در این گیاهان میکوریزی ارائه شده است. در کشت گندم با کاربرد مقدار زیاد کود فسفری ملاحظه گردید با افزایش میزان فسفر در گیاه، جذب روی کاهش یافت و میزان روی موجود در گیاه دارای همبستگی مثبت با درصد کلنیزاسیون ریشه توسط قارچهای میکوریز اربسکولار بود (Singh *et al*., 1986).

همزیستی بوجود آمده بین گندم کشت شده در یک خاک آهکی با قارچهای میکوریز اربسکولار و استفاده از مقادیر مناسبی از کودهای حاوی فسفر و روی منجر به افزایش انتقال فسفر و روی از ریشه‌ها و اندام هوایی گیاه به سمت دانه‌ها شده و بدین صورت عملکرد گندم از لحاظ کمی و کیفی افزایش یافت (Goh *et al*., 1997).

در همزیستی میکوریزی گیاه ذرت کشت شده در خاکهای اسیدی، گونه *Glomus diaphanum* بیشتر از دو گونه دیگر *G. etunicatum* و *G. intraradices* جذب روی را افزایش داده است در حالیکه در گیاه ذرت کشت شده در خاکهای قلیایی، گونه *G. intraradices* توانایی بیشتری در جذب روی داشته است (Clark, 1997).

در گیاه گندم کشت شده در تنش خشکی نیز گونه‌های مختلف قارچهای میکوریزی منجر به افزایش جذب روی در گیاه میزبان شده‌اند (Al- Karaki and Al- karaki *et al*., 1998; Raddad, 1997). از بین دو گونه *G. mosseae* و *G. monosporum* گونه اول کارایی بیشتری در جذب روی داشته است (Al- karaki *et al*., 1998).

همانند عنصر روی، میزان مس موجود در محلول خاک بسیار اندک بوده و از طرف دیگر ضریب پخشیدگی این عنصر در خاک نیز بسیار کم می‌باشد. این دو عامل باعث شده تا در گیاهان میکوریزی میزان مس جذب شده بیشتر از گیاهان غیر میکوریزی باشد (Clark and Zeto., 1996 ; Marschner and Dell, 1994).

نتایج آزمونهای مزرعه‌ای نیز نشان داده است که رابطه همزیستی میکوریزی منجر به افزایش جذب مس در گیاه لوبیا شده است. لیکن چنین تأثیری در گیاه گندم مشاهده نشده است (Kucey and Janzen, 1987).

از طرف دیگر قارچ میکوریزی *Glomus mosseae* در همزیستی با گیاه گندم و از طریق فعالیت فسفاتازی خود توانسته ترکیبات آلی فسفره را هیدرولیز کرده و بدین صورت جذب هم زمان فسفر و مس را در گیاه گندم افزایش دهد (Tarafdar and Marschner, 1994). همزیستی میکوریزی در گیاه ذرت منجر به افزایش جذب مس در خاکهای اسیدی و قلیایی شده است (Clark and Zeto, 1996) در گیاه گندم کشت شده تحت تنش خشکی نیز گونه‌های مختلف قارچهای میکوریزی منجز به افزایش جذب مس در گیاه میزبان شده‌اند (Al- Karaki and Al- karaki *et al*., 1998; Al- Raddad, 1997).

نتایج حاصل از تأثیر برقراری رابطه همزیستی میکوریزی در غلظت آهن و همچنین کل آهن جذب شده در گیاه میزبان بسیار متغیر است. در گیاه سویا برقراری رابطه همزیستی میکوریزی منجر به کاهش غلظت آهن شده است (Pacovsky and Fuller, 1988). در حالیکه در گیاه ذرت افزایش جذب و غلظت آهن مشاهده شده است (Clark and Zeto, 1996).

قارچهای میکوریزی از طریق ترشح انواعی از سیدروفورها و کلاته کردن آهن توانسته‌اند جذب و انتقال آهن به گیاهان بادام‌زمینی و سورگوم را افزایش دهند (Caris *et al*., 1998). همچنین گونه‌های مختلف قارچهای میکوریزی نیز توانایی متفاوتی در جذب آهن از خود نشان می‌دهند (Clark and Zeto, 1996).

گیاهان میکوریزی معمولاً توانایی کمتری برای جذب منگنز نسبت به گیاهان غیرمیکوریزی دارند (Kothari *et al*., 1990). اگر چه در مواردی افزایش جذب منگنز در گیاهان میزبان قارچهای میکوریز اربسکولار نیز دیده شده است (Al-Karaki and Clark and Zeto, 1996; Clark, 1998).

در گیاهان میکوریزی علاوه بر کاهش میزان منگنز در ریشه و اندام هوایی گیاه، جمعیت میکروارگانیسم‌های احیاء کننده منگنز نیز در ریزوسفر گیاهان میکوریزی به شدت کاهش یافته و سطح منگنز قابل تبادل در خاک نیز کاهش قابل ملاحظه‌ای را نشان می‌دهد (Sharma and Johri, 2002). هدف از انجام این تحقیق بررسی گونه های مختلف قارچهای میکوریز اربسکولار و بویژه مقایسه گونه های بومی و غیر بومی در برقراری رابطه همزیستی با گیاه گندم رقم سبلان و کمک به این گیاه برای مقابله با شرایط تنش رطوبتی از طریق افزایش جذب فسفر و همچنین سایر عناصر مورد نیاز گیاه از جمله آهن، روی، مس و منگنز بوده و در نهایت اینکه رابطه همزیستی میکوریزی تا چه حد می تواند عملکرد گیاه را در مقایسه با گیاه شاهد تلقیح نشده در سطوح مختلف رطوبتی خاک افزایش دهد.

## مواد و روشها

برای انجام این آزمون از چهار تیمار قارچی استفاده گردید

**تیمار اول**

گونهٔ *گلوموس موسه* (نیکلسون و جردمان) جردمان و ترابی ارسالی از دانشگاه تبریز ($F_1$)

**تیمار دوم**

گونهٔ *گلوموس موسه* (نیکلسون و جردمان) جردمان و ترابی[1] ارسالی از کلکسیون GINCO کانادا ($F_2$)

**تیمار سوم**

گونه *گلوموس اتونیکاتوم* (بیکروجردمان)[2] ارسالی از دانشگاه تبریز ($F_3$)

تمامی گونه‌های ذکر شده در طی یک دوره کشت چهار ماهه در محیط استریل حاوی ماسه 75 درصد و خاک لوم 25 درصد و در گلدانهای 4 کیلوگرمی در مجاورت ریشه گیاه سورگوم تکثیر گردیدند. گلدانها در گلخانه با نور طبیعی و درجه حرارت 28-20 درجه سانتی‌گراد و 16 ساعت روشنایی و 8 ساعت تاریکی قرار داده شده هفته‌ای یک مرتبه با آب مقطر استریل آبیاری گردیدند. همچنین به منظور تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان سورگوم هفته‌ای یک مرتبه از محلول غذایی هوگلند استریل با 1/2 غلظت فسفر و ازت استفاده گردید. به منظور کاهش احتمال آلودگی، سطح گلدانها با لایه‌ای به ضخامت یک سانتی‌متر از سنگریزه پارافینه شده پوشانیده شد.

پس از اتمام دوره رشد گیاهان سورگوم، اندام هوایی گیاه از سطح گلدان قطع گردید. مایه تلقیح‌های تهیه شده شامل مخلوط ماسه و خاک لوم، سیستم ریشه ای گیاه سورگوم و اندام مختلف قارچ همزیست که کاملا این سه جزء با هم مخلوط گردیده بودند درون نایلونهای پلاستیکی و درون یخچال در دمای 4 سانتی‌گراد تا زمان شروع آزمون گلخانه‌ای نگهداری گردیدند.

از خاک مزرعه زیر کشت گندم دیم بین صوفیان و تبریز با مختصات جغرافیائی N ″ 16 و ′10 و °38 و E ″49 و ′57 و °46 برای انجام آزمون گلخانه‌ای استفاده گردید. نمونه‌برداری خاک از عمق صفر تا 30 سانتی‌متری انجام گرفت. خاکها هوا خشک شده و از الک 5 میلی‌متری عبور داده شدند خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بدین صورت اندازه گیری شدند. تعیین درصد ذرات خاک با استفاده از روش هیدرومتری، pH خاک در گل اشباع، هدایت الکتریکی خاک در عصاره اشباع خاک، ماده آلی با استفاده از روش والکلی بلاک پتاسیم قابل جذب از طریق عصاره گیری با استات آمونیوم نرمال و قرائت با دستگاه فیلم فتومتر، فسفر قابل جذب به روش اولسن، ازت آمونیاکی و نیتراتی از طریق عصاره گیری با کلرور پتاسیم دو مولار و استفاده از Mgo برای اندازه گیری آمونیوم و دوارد آلوی برای اندازه گیری یون نیترات، اندازه گیری مقادیر قابل جذب روی، منگنز، آهن و مس از طریق عصاره گیری با روش DTPA و قرائت با دستگاه اتمیک ابزوربشن (علی احیائی، 1372) تعداد اسپور قارچهای میکوریز اربسکولار بومی موجود در خاک از طریق تهیه سوسپانسیون خاک و عبور آن از الک و سپس انتقال محتویات باقی مانده بر روی الک 40 میکرون به کاغذ صافی شبکه‌دار و شمارش تعداد اسپور با استفاده از دستگاه بینوکولار انجام گرفت (Norris *et al*.,1992). از آنجائیکه جمعیت فعال قارچهای میکوریزاربسکولار در خاک متشکل از اسپور این قارچها، هیفهای موجود در خاک و تکه‌های ریشه ای حاوی هیف و وزیکول این قارچها می باشد و در واقع مجموع این اندام بیانگر پتانسیل میکوریزی خاک است و به طور قطع یکی از عوامل تأثیر گذار در نحوه پاسخ گیاهان به تلقیح با این قارچها می باشد، لذا این پارامتر نیز از طریق انجام تست IP (Infectivity Potential) اندازه گیری گردید (INVAM) (رجالی، 1382). پس از اندازه گیری پارامترهای فوق یک قسمت از خاک تهیه شده درون گلدانهای پلاستیکی 4 کیلوگرمی توزیع شده، قسمت دیگر به منظور حذف قارچهای میکوریز اربسکولار بومی موجود در نمونه خاک در طی سه مرحله یک ساعتی و با فاصله زمانی 48 ساعت با استفاده از بخار آب 100 درجه

1- Glomus mosseae (Nicol. 8 Gerd.) Gerdman & Trappe.
2- Glomus etunicatum, Beker & Gerdman

سانتی‌گراد و بدون اعمال فشار به منظور جلوگیری از تخریب ساختمان خاک استریل گردید. خاکهای استریل شده نیز پس از هوا خشک شدن درون گلدانهای 4 کیلوگرمی توزیع گردیدند.

منحنی رطوبتی خاک مورد نظر در آزمایشگاه فیزیک خاک مؤسسه تحقیقات خاک و آب تهران تعیین گردید. با توجه به اطلاعات مربوط به منحنی رطوبتی و بافت خاک سه سطح رطوبتی 22% وزنی (80 درصد رطوبت مزرعه) (تیمار بدون تنش رطوبتی)، سطح رطوبتی 14% وزنی (56 درصد رطوبت مزرعه ) (تیمار تنش ملایم رطوبتی) و سطح رطوبتی 8% وزنی (32 درصد رطوبت مزرعه) (تیمار شدید تنش رطوبتی) برای انجام آزمون گلخانه‌ای در نظر گرفته شد.

برای انجام آزمون گلخانه‌ای از گلدانهای پلاستیکی 4 کیلوگرمی پر شده از خاک استریل و غیر استریل هوا خشک استفاده شد. برای اعمال تیمارهای مربوط به قارچهای میکوریز اربسکولار، ابتدا لایه‌ای از خاک سطح گلدانها را کنار زده و در مرکز هر گلدان حفره‌ای ایجاد گردید. 50 گرم از مایه تلقیح‌های (تهیه شده با 40 الی 60 درصد کلنیزاسیون ریشه در گلدانهای مختلف حاوی گیاه سورگوم و 10 ± 70 اسپور سالم به ازاء هر 10 گرم مخلوط ماسه و خاک لوم) مربوط به هر گونه را درون این حفرات قرار داده سطح آنها با خاک هر گلدان پوشانیده شد. درون هر گلدان 6 بذر ضد عفونی شده و جوانه‌دار گیاه گندم رقم سبلان کشت گردید و روی بذرها با لایه‌ای نازک از خاک گلدان پوشانیده شد. با توجه به منحنی رطوبتی خاک، رطوبت وزنی گلدانها در طی 20 روز اول پس از کشت در حد 80 % رطوبت مزرعه نگهداری گردید. گیاهان در گلخانه‌ای با دمای روز $28^{0C}$ و شب $20^{0C}$ و نور طبیعی مدت روشنایی 16 ساعت و تاریکی 8 ساعت به مدت 4 ماه تا پایان دوره رشد و محصول دهی نگهداری شدند. با توجه به نتایج تجزیه خصوصیات شیمیایی خاک استفاده شده مقدار 386 میلی‌گرم اوره در طی دو نوبت یکی پس از سبز شدن و جوانه‌زدن بذرهای کشت شده و دیگری در مرحله ظهور سنبله‌ها به تمامی گلدانها اضافه گردید. آبیاری گلدانها نیز با توجه به سطوح رطوبتی در نظر گرفته شده به صورت روزانه و از طریق توزین گلدانها و اضافه کردن آب مقطر به مقدار لازم انجام گرفت. پس از گذشت دو هفته از شروع آزمایش گلدانها تنگ شده به طوری که در هر گلدان 4 گیاهچه گندم نگهداری شده و بقیه حذف گردیدند. در پایان ماه‌های دوم و سوم از شروع آزمایش یک تکرار از هر تیمار حذف شده و وزن‌تر اندام هوایی گیاه اندازه‌گیری گردید بدین ترتیب در توزین وزن گلدانها و اعمال سطوح رطوبتی از طریق وزنی اصلاحات لازم صورت گرفت.

آزمایش به صورت فاکتوریل با سه فاکتور 1) خاک استریل و غیر استریل در دو سطح، 2) قارچ میکوریز اربسکولار در چهار سطح ($F_0$ و $F_1$ و $F_2$ و $F_3$) و سطوح رطوبتی 22%، 14% و 8% (به ترتیب معادل 80، 56 و 32 درصد ظرفیت مزرعه) در سه سطح و 6 تکرار برای هر تیمار و در مجموع 144 گلدان در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی اجرا گردید.

با گذشت 4 ماه از شروع آزمایش گیاه‌های گندم دوره رشد خود را تکمیل کرده و به خوشه رفتند، با پایان یافتن زمان آزمایش گیاه‌ها از سطح خاک قطع شده و با قراردادن اندام هوایی آنها در دمای $70^{0C}$ و پس از گذشت 72 ساعت وزن خشک اندام هوایی گیاه و وزن خشک دانه‌های تولیدی اندازه‌گیری گردید. همچنین با شستن خاک اطراف ریشه نمونه‌های یک گرمی از ریشه به ظروف پلاستیکی حاوی محلول FAA (فرمالین ـ اسید استیک ـ الکل) منتقل و تا زمان تعیین درصد کلنیزاسیون ریشه نگهداری شدند. برای رنگ آمیزی ریشه به ترتیب از محلولهای هیدروکسید پتاسیم 10%، آب اکسیژنه قلیائی و محلول اسیدکلریدریک 1% استفاده گردید سپس ریشه ها به مدت دو شبانه روز در محلول رنگی تریپان بلو با غلظت 0/1% در لاکتوگلیسیرول نگهداری شده و برای تعیین درصد کلونیزاسیون از روش Gridline-intersect استفاده گردید (Norris *et al* ., 1992). وزن خشک سیستم ریشه‌ای گیاه در تیمارهای مختلف نیز اندازه‌گیری گردید. اندام هوایی (ساقه، برگ و دانه) با استفاده از آسیاب پودر شده و غلظت عناصر ازت، فسفر، پتاسیم، روی، مس، منگنز و آهن در آنها طبق روشهای رایج اندازه‌گیری گردید (امامی، 1375).

تجزیه واریانس داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها توسط نرم‌افزار MSTATC انجام گرفت.

## نتایج و بحث

خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک استفاده شده در آزمون گلخانه ای در جدول شماره 1 و خصوصیات رطوبتی این خاک در جدول شماره 2 آورده شده است.

نتایج بدست آمده نشان داد که تمامی تیمارهای رطوبتی ($P<0.01$) و مایه تلقیح های تهیه شده از قارچهای میکوریز اربسکولار در رشد گیاه گندم و عملکرد آن در خاک استریل و غیر استریل و جذب عناصر فسفر ($P<0.01$)، روی ($P<0.01$) و مس ($P<0.05$) در خاک استریل و جذب عناصر فسفر و روی ($P<0.05$) در خاک

غیر استریل معنی دار بود. جذب سایر عناصر از جمله نیتروژن، پتاسیم و آهن نیز در تیمارهای تلقیح شده با قارچ افزایش غیر معنی دار داشت. وزن خشک اندام هوائی،دانه و ریشه گیاه گندم در تیمارهای تلقیح شده چه در شرایط تنش رطوبتی و چه در شرایط غیر تنش رطوبتی در دو خاک استریل و غیر استریل بیشتر از تیمارهای تلقیح نشده بود، لیکن در گیاهان تلقیح شده نیز در شرایط تنش رطوبتی وزن خشک اندام هوایی گیاه، (نمودارهای شماره 1 و 8) وزن دانه (نمودارهای شماره 2 و 9) و ریشه (نمودارهای شماره 4 و 10) نیز نسبت به شرایط غیر تنش رطوبتی کاهش یافت که این خود در درجه اول بیانگر نقش رطوبت کافی در رشد و عملکرد گیاه می باشد و از طرف دیگر بیانگر کارایی سیستم همزیستی میکوریز اربسکولار در افزایش وزن خشک و عملکرد گیاه گندم در خاکهای با کمبود رطوبت و حاصلخیزی پایین می باشد. همچنین این نتایج بیانگر عدم کفایت جمعیت قارچهای میکوریز اربسکولار بومی موجود در خاک برای برقراری یک رابطه همزیستی موثر با گیاه گندم است.

با افزایش تنش خشکی درصد کلنیزاسیون ریشه گیاه گندم کاهش یافت (نمودارهای شماره 3 و 11). سایر محققین نیز به کاهش درصد کلنیزاسیون ریشه گیاه گندم در شرایط تنش رطوبتی اشاره نموده‌اند (Al-Karaki and Al-Karaki *et al*., 1998; Clark, 1999). کاهش مشاهد شده در رشد اندام هوایی، دانه و ریشه گیاه گندم در شرایط تنش رطوبتی را می‌توان در نتیجه همین کاهش کلنیزاسیون ریشه و کاهش جذب عناصر معدنی دانست. نتایج این تحقیق نشان داد که به موازات کاهش درصد کلنیزاسیون ریشه، رشد و عملکرد گیاه نیز چه در شرایط تنش رطوبتی و چه در شرایط غیر تنش رطوبتی کاهش یافته است به عبارت دیگر یک رابطه مثبت بین درصد کلنیزاسیون ریشه و افزایش رشد و عملکرد گیاه برقرار می باشد. محققین دیگری نیز در نتایج خود به وجود چنین رابطه مثبتی اشاره نموده‌اند (Al-Karaki *et al*., 1998; Clark and Zeto, 1996).

شیرانی راد و همکاران 1379 نیز گزارش نموده اند که با استفاده از تلقیح با قارچهای میکوریز اربسکولار و در شرایط تنش خشکی، مؤلفه های رشد کمی و کیفی گندم و کارایی مصرف آب افزایش معنی دار یافت. همچنین نتایج مشابهی برای سویا نیز توسط این محققین گزارش شده است. افزایش رشد و عملکرد گیاهان تلقیح شده با قارچهای میکوریز اربسکولار بدلایل مختلفی ممکن است صورت گیرد. در گیاهان تلقیح شده معمولا وزن خشک ریشه بیشتر می باشد که این خود در میزان آب جذب شده توسط گیاه، اصلاح روابط آبی و افزایش وزن خشک اندام هوایی گیاه موثر است (Al-Karaki *et al*,. 1998). همچنین در گیاهان میکوریزی بدلیل توسعه شبکه هیف قارچ در محیط پیرامون ریشه، سطوح جذب کننده آب بیشتر شده و بدین صورت هدایت هیدرولیکی ریشه افزایش می یابد که این خود منجر به افزایش فتوسنتز در گیاه شده که نتیجه نهایی آن در افزایش رشد و عملکرد گیاه مشاهده می‌گردد (Bethlenfalvay *et al*., 1989; Hardie and Leyton, 1981). همچنین گزارشهای متعددی مبنی بر افزایش سرعت و مقدار انتقال آب توسط سیستم ریشه گیاهان میکوریزی وجود دارد (Levy *et al*., 1983; Safir *et al*,. 1972; Ellis *et al*., 1985) که متعاقب آن تعرق برگی بیشتر شده و میزان فتوسنتز گیاه نیز افزایش می‌یابد (Kothari *et al*., 1990). به عبارت دیگر گیاهان میکوریزی بدلیل اینکه می توانند آب را از حجم بیشتری از خاک و به نحو موثرتری جذب نمایند می توانند رشد و عملکرد خود را در شرایط تنش رطوبتی افزایش می دهند (Levy *et al*., 1983). نتایج این تحقیق نشان داد که افزایش رشد و عملکرد گیاه گندم به موازات افزاش درصد کلنیزاسیون ریشه صورت گرفته است. بنابراین، این افزایش رشد و عملکرد را می توان یک اثر ثانویه از افزایش جذب عناصر معدنی بویژه فسفر و سایر عناصر با تحرک اندک درخاک مثل روی و مس دانست. در چنین شرایطی با افزایش جذب فسفر، روابط آبی گیاه اصلاح می شود، روزنه‌ها در مدت زمان بیشتری باز می ماند، فتوسنتز بیشتری صورت گرفته و در نهایت رشد و عملکرد گیاه افزایش می یابد (Dietz and Foyer, 1986; Davies *et al*., 1992). گزارشهایی نیز مبنی بر اصلاح نسبتهای هورمونی در گیاهان تلقیح شده با قارچهای میکوریز اربسکولار وجود دارد که از طریق این عامل نیز بیوماس گیاه در تنشهای خشکی افزایش می‌یابد (Ellis *et al*., 1985). از طرف دیگر از آنجائیکه قارچهای میکوریز اربسکولار همزیست اجباری گیاه می‌باشند، لذا مقداری از کربن آلی حاصل از فتوسنتز می‌بایستی به سمت ریشه‌ها رفته و به مصرف قارچ همزیست برسد. این امر ممکن است یک کاهش را در میزان کربن گیاه بوجود آورد. لیکن این پدیده موقتی بوده و با افزایش میزان فتوسنتز و سایر فرآیندهای دیگر در گیاه کاهش کربن بوجود آمده جبران می‌گردد (Brown and Bethlenfalvay, 1988). نتایج این تحقیق نشان داد که تأثیر گونه های مختلف قارچهای میکوریز اربسکولار به کار گرفته شده بر پارامترهایی مثل وزن خشک اندام هوایی، وزن ریشه و وزن دانه گندم در خاک استریل و غیر استریل تقریبا یکسان می باشد و در اکثر موارد تفاوت آماری معنی داری بین تیمارهای قارچی

وجود ندارد. لیکن در بیشتر موارد تاثیر گونه *G. mosseae* از تأثیر گونه *G. etunicatum* بیشتر بوده و از بین دو ایزوله از قارچ *G. mosseae*، ایزوله جدا سازی شده از خاکهای دشت تبریز نسبت به ایزوله ارسالی از کانادا توانایی بیشتری در افزایش رشد و عملکرد گیاه گندم داشته و درصد کلنیزاسیون ریشه گیاه گندم در این تیمار قارچی نیز بیشتر از سایر تیمارها بوده است. در تحقیق دیگر نیز دیده شده است که بکارگیری دو تیمار قارچی *G. mosseae* و *G. monosporum* در شرایط تنش خشکی تفاوت معنی داری با یکدیگر در افزایش رشد و عملکرد گیاه گندم نداشته است. لیکن در شرایط غیر تنش خشکی تأثیر گونه اول بیشتر از گونه دوم می باشد Al-Karaki *et al.*, (1998). از طرف دیگر براساس گزارشات موجود ایزوله‌های مختلف قارچهای میکوریز اربسکولار از نظر توانایی در افزایش عملکرد و جذب عناصر غذایی در گیاه میزبان متفاوت از یکدیگر می‌باشند ( Medeiros *et al*., Clark and Zeto, Ruiz- Lozano *et al*., 1995; 1994 1996). حالت نیمه اختصاصی که گاهاً برای ایزوله‌های مختلفی از قارچهای میکوریز اربسکولار در همزیستی با گیاهان میزبان ویژه‌ای گزارش شده است، ممکن است در نتیجه توانایی آن ایزوله در کلنیزاسیون بیشتر ریشه (Abbott and Robson, 1991) و یا در نتیجه گسترده‌تر کردن شبکه هیف قارچ و توانایی بیشتر آن ایزوله در جذب عناصر معدنی و آب از خاک باشد (Davies *et al*., 1992). در این تحقیق نیز همزیستی بوجود آمده بین *G. mosseae* جداسازی شده از خاکهای ایران و گندم رقم سبلان از کارایی بیشتری برخوردار بوده و این قارچ بیشتر از سایر گونه‌های بکار گرفته شده رشد و عملکرد گیاه گندم را افزایش داد، اگر چه تفاوت بین گونه ها معنی دار نمی باشد. در تحقیق دیگری که بر روی گندم و در شرایط تنش خشکی صورت گرفته است مشاهده گردیده که گونه *G. deserticola* نسبت به گونه *G. fasciculatum* تأثیر بیشتری در افزایش رشد و عملکرد گیاه داشته است (Ellis *et al*., 1985). نتایج این آزمون نشان داد که بطورکلی در تیمارهای تلقیح شده چه در خاک استریل و چه در خاک غیراستریل جذب عناصر ازت، فسفر، پتاسیم، روی، مس و آهن افزایش یافته و جذب منگنز در بعضی از تیمارهای قارچی نسبت به شاهد تلقیح نشده کاهش و در بعضی دیگر افزایش یافته است، لیکن تفاوت بین تیمارهای تلقیح شده و تلقیح نشده در خاک استریل برای عناصر فسفر، (نمودار شماره 5) روی (نمودار شماره 6) و مس (نمودار شماره 7) و در خاک غیر استریل این تفاوتها فقط در مورد دو عنصر فسفر (نمودار شماره 12) و روی (نمودار شماره 13) در سطوح آماری در نظر گرفته شده معنی‌دار گردیده است. شیرانی‌راد و همکاران 1379 نیز نشان دادند که استفاده از قارچهای میکوریز اربسکولار در کشت گیاه گندم با تنش خشکی جذب فسفر و پتاسیم را افزایش داده است. آنها چنین نتیجه‌ای را در مورد گیاه سویا نیز گزارش کرده‌اند. این افزایش در جذب عناصر غذایی ممکن است به سبب گسترده شدن شبکه هیف قارچ در اطراف ریشه و توانایی این قارچها در جذب و انتقال عناصر با تحرک اندک در خاک و انتقال آنها به گیاه میزبان باشد. محققین مختلف به نقش انتشار شبکه هیف قارچ و تأثیر آن در افزایش جذب عناصر غذایی در گیاهان میزبان قارچهای میکوریز اربسکولار اشاره کرده‌اند (Sharma *et al*., 1994; Al- Karaki and Clark, Marschner and Dell, 1994; 1998). در تحقیقات متعددی به نقش همزیستی میکوریزی و به ویژه در شرایط تنش خشکی در افزایش جذب عناصر فسفر، روی و مس اشاره شده است (Marschner and Dell, 1994 ؛ Kwapata and Hall 1985 ؛ Al-Karaki *et al* 1998؛ Trimble and Knowles, 1995) نتایج این تحقیق نیز موید همین مطلب است به گونه‌ای که بیشترین افزایش جذب عناصر معدنی برای این سه عنصر مشاهده گردید. مشخصات شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمون گلخانه‌ای نیز نشان می دهد که این خاک از نظر مقدار فسفر و روی قابل استفاده گیاه پایین‌تر از حد بحرانی می باشد. به عبارت دیگر قارچهای میکوریز اربسکولار بکار گرفته شده در این آزمون توانسته‌اند عناصر فسفر، روی و مس را از منابع موجود در خاک که قابل استفاده گیاه نمی‌باشد جذب و به گیاه گندم انتقال دهند. بنابراین همزیستی میکوریزی توانسته است از طریق افزایش جذب این سه عنصر قسمتی از کاهش رشد و عملکرد گیاه را در شرایط تنش خشکی جبران نماید.

در مورد دو عنصر ازت و پتاسیم، محققین افزایش جذب این دو عنصر را در واقع یک اثر ثانویه از افزایش جذب فسفر و افزایش وزن خشک اندام هوایی گیاه دانسته اند (Marschner and Dell, 1994) و بویژه در مورد عنصر پتاسیم مکانیسم خاصی را برای افزایش جذب این عنصر توسط همزیستی میکوریزی با گیاه ارائه نکرده اند. در مورد عنصر ازت نیز عنوان شده است که سیستم همزیستی میکوریزی ممکن است از طریق افزایش جذب یون آمونیوم و انتقال آن به گیاه میزبان در مواردی حائز اهمیت گردد (Smith and Read, 1997). نتایج این آزمون نشان داد که اگر چه جذب آهن در تیمارهای تلقیح شده افزایش یافته است لیکن این افزایش معنی دار نمی باشد. در مورد جذب آهن توسط گیاهان میکوریزی نظرات

متفاوتی ارائه گردیده است. عده ای افزایش جذب آهن را فقط در سیستم همزیستی میکوریز نوع اریکوئید حائز اهمیت دانسته اند و چنین نقشی را برای همزیستی میکوریز اربسکولار قائل نشده اند (Marschner and Dell, 1994). از طرف دیگر افزایش جذب آهن در تعدادی از گیاهان میزبان قارچهای میکوریز اربسکولار مشاهده شده است (Clark and Zeto, 1996; Raju *et al*., 1990) و حتی گزارش شده است که بعضی از ایزوله های قارچهای میکوریز اربسکولار جذب آهن را بیش از سایرین افزایش داده‌اند (Medeiros *et al*., 1993). در تحقیقات دیگری نیز به کاهش جذب آهن و بویژه در گیاهان با تنش خشکی اشاره شده است (Mohammad *et al*., 1998). در مورد عنصر منگنز نیز گزارشات متفاوتی وجود دارد. در تعدادی از گزارشات جذب منگنز توسط گیاه میکوریزی افزایش یافته است (Al-Karaki and Al-Karaki and Clark, 1998; Al- Raddad, 1997). در تعدادی دیگر از آزمایشات جذب منگنز کاهش یافته (Kothari *et al*., 1991; Mohammad *et al*., 1996) و یا تغییری در پی نداشته است (Al-Karaki *et al*., 1998; Raju *et al*., 1991).

افزایش جذب دو عنصر آهن و منگنز را می توان همانند دو عنصر ازت و پتاسیم یک اثر ثانویه از افزایش جذب فسفر، روی و مس و تأثیری که افزایش جذب این سه عنصر در افزایش وزن خشک اندام هوایی گیاه دارند دانست. کاهش جذب این دو عنصر را نیز می توان در نتیجه اثر آنتاگونیستی جذب فسفر، روی و مس در جذب آهن و منگنز دانست. از طرف دیگر ایزوله های مختلف قارچهای میکوریز اربسکولار جذب برخی از عناصر را بیشتر از عناصر دیگر افزایش می دهند به عنوان مثال گونه *G. intraradices* جذب فسفر و روی را در گیاه ذرت بیشتر از گونه‌های *G. etunicatum* و *G. diaphanum* افزایش داده است (Clark and Zeto, 1996). به موارد ذکر شده در فوق تأثیر شرایط اقلیمی و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک استفاده شده را نیز می بایستی اضافه نمود. به عنوان نتیجه گیری نهایی می توان عنوان نمود که افزایش رشد و جذب بیشتر عناصر معدنی توسط گیاه گندم در تیمار میکوریزی نشانگر توانایی این همزیستی در ایجاد یک سیستم اضافی برای جذب بیشتر عناصر معدنی در گیاه گندم در شرایط تنش خشکی است.

**جدول شماره 1- خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژی خاک استفاده شده در آزمون گلخانه ای**

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| شن | %43 | EC | 1/7 dS/m | فسفر | 5/76 mg/kg | مس | 0/56 g/kg $\mu$ |
| سیلت | %32 | pH | 7/92 | پتاسیم | 280 mg/kg | آهن | 3/61 g/kg $\mu$ |
| رس | %25 | ازت آمونیومی | 3/08 mg/kg | منگنز | 3/1 g/kg $\mu$ | تعداد اسپور قارچهای میکوریز آربسکولار بومی در 50 گرم خاک | 90 |
| ماده آلی | %0/67 | ازت نیتراتی | 5/74 mg/kg | روی | 0/2 g/kg $\mu$ | تعداد اندام فعال قارچهای میکوریز آربسکولار بومی در 50 گرم خاک | 187 |

**جدول شماره 2- خصوصیات رطوبتی خاک استفاده شده در آزمون گلخانه ای**

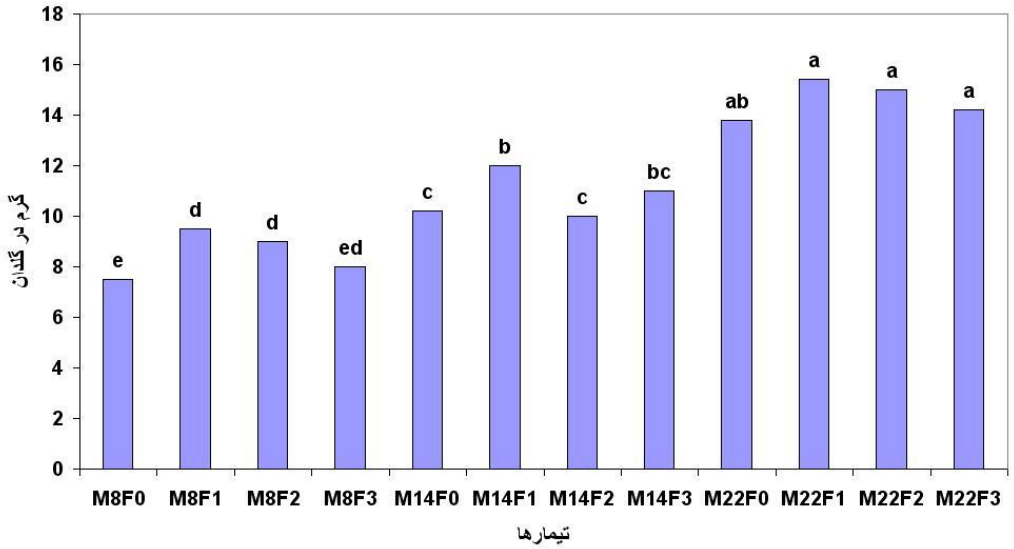
| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| فشار (اتمسفر ) | 0/1 | 0/33 | 1 | 3 | 5 | 15 |
| رطوبت خاک (درصد وزنی) | 24/6 | 16/4 | 14 | 9 | 7/9 | 6/6 |

**جدول شماره 3- تأثیر تیمارهای اعمال شده در شاخصهای اندازه گیری شده گیاه گندم در خاک استریل**

| | تأثیر تیمارهای رطوبتی | تأثیر تلقیح | اثر متقابل تلقیح × رطوبت |
|---|---|---|---|
| وزن خشک اندام هوائی گیاه | ** | * | * |
| وزن دانه | ** | * | n.s |
| وزن ریشه | ** | n.s | n.s |
| درصد کلنیزاسیون ریشه | ** | ** | * |
| جذب فسفر | ** | ** | * |
| جذب روی | ** | ** | * |
| جذب مس | ** | * | n.s |
| | n.s غیر معنی دار | (P< 0.01) ** | (P<0.05) * |

**جدول شماره 4- تأثیر تیمارهای اعمال شده در شاخصهای اندازه گیری شده گیاه گندم در خاک غیر استریل**

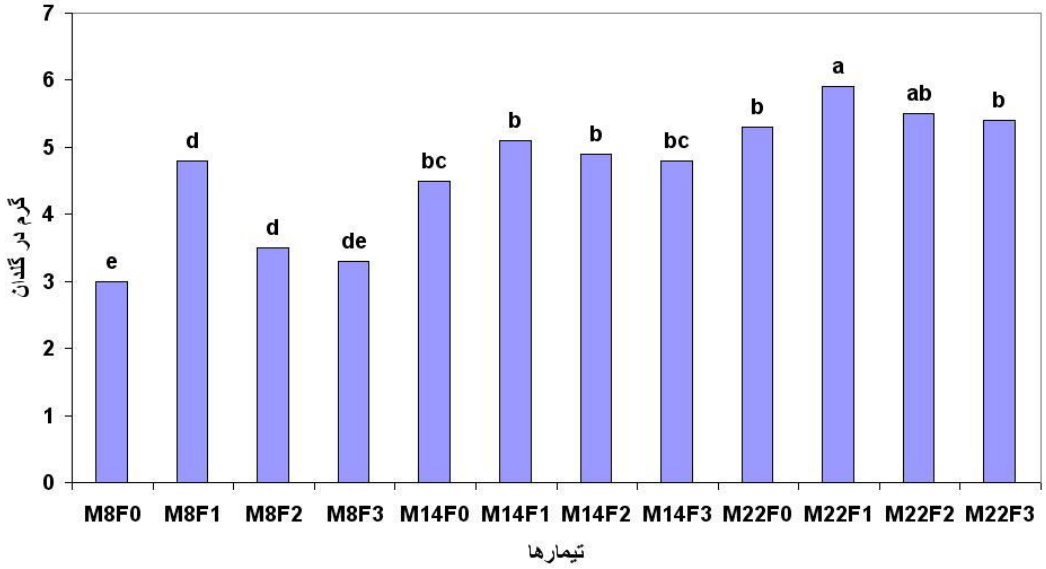
| | تأثیر تیمارهای رطوبتی | تأثیر تلقیح | اثر متقابل تلقیح × رطوبت |
|---|---|---|---|
| وزن خشک اندام هوائی گیاه | ** | * | * |
| وزن دانه | ** | * | n.s |
| وزن ریشه | ** | * | n.s |
| درصد کلنیزاسیون ریشه | ** | ** | * |
| جذب فسفر | ** | * | n.s |
| جذب روی | ** | * | n.s |
| جذب مس | ** | n.s | n.s |
| | n.s غیر معنی دار | (P< 0.01) ** | (P<0.05) * |



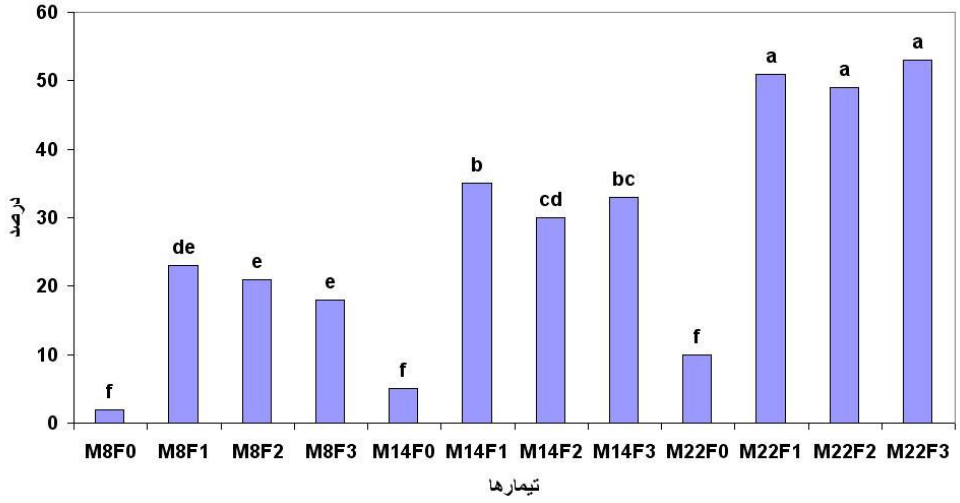

نمودار شماره ۱ - تاثیر تیمارهای مختلف بر وزن خشک اندام هوایی گیاه در خاک استریل

$F_0$ شاهد تلقیح نشده
$F_1$ تلقیح با(IRAN) *Glomus mossea*e
$F_2$ تلقیح با (CANDA) *Glomus mossea*
$F_3$ تلقیح با (IRAN) *Gloum etanicatam*

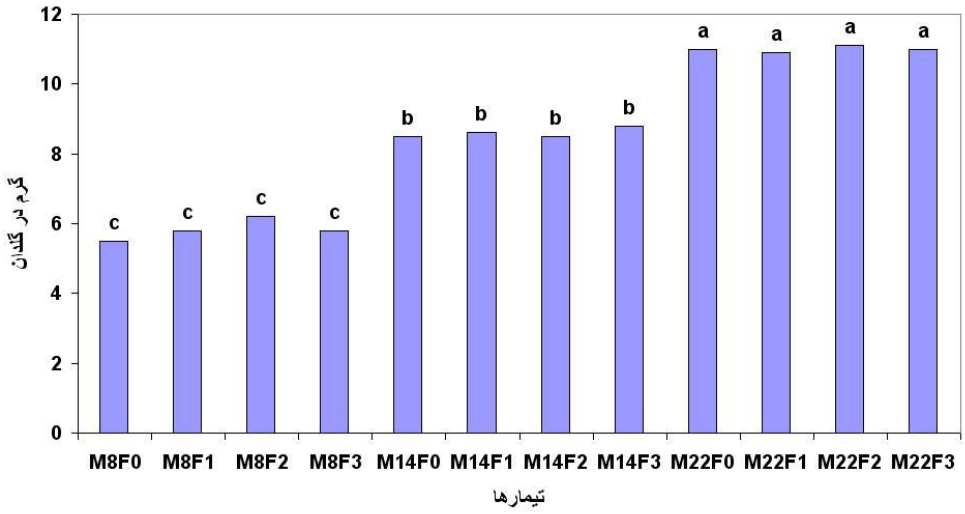
$M_8$ تیمار رطوبتی 8 درصد وزنی
$M_{14}$ تیمار رطوبتی 14 درصد وزنی
$M_{22}$ تیمار رطوبتی 22 درصد وزنی



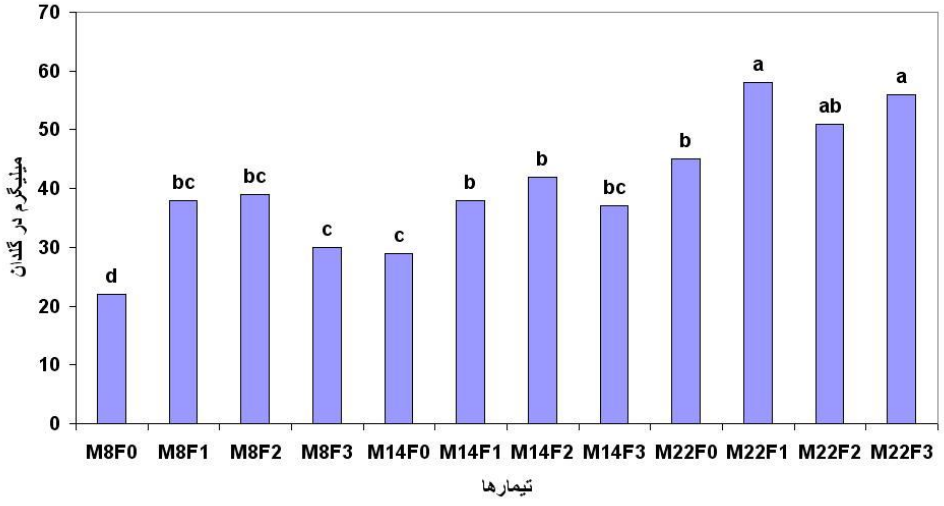

نمودار شماره ۲ - تاثیر تیمارهای مختلف بر وزن خشک دانه در خاک استریل



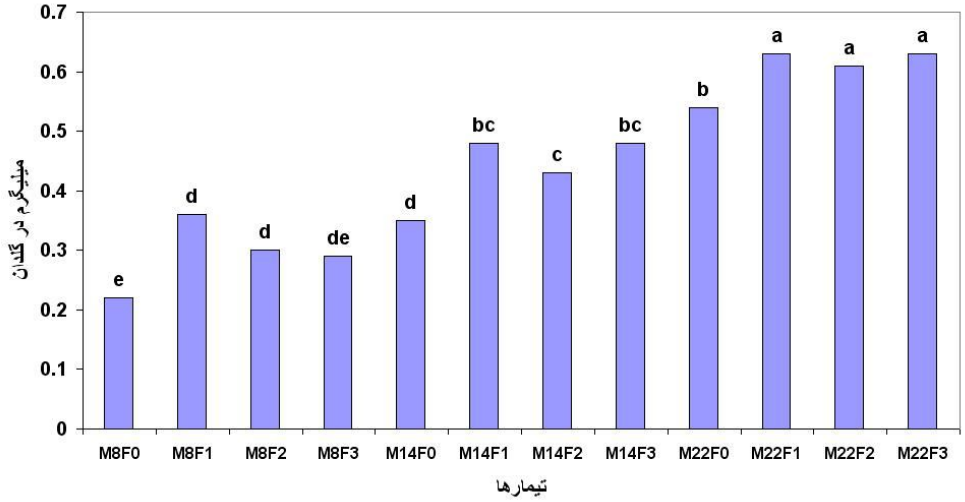

نمودار شماره ۳ - تاثیر تیمارهای مختلف بردرصد کلونیزاسیون ریشه گیاه در خاک استریل



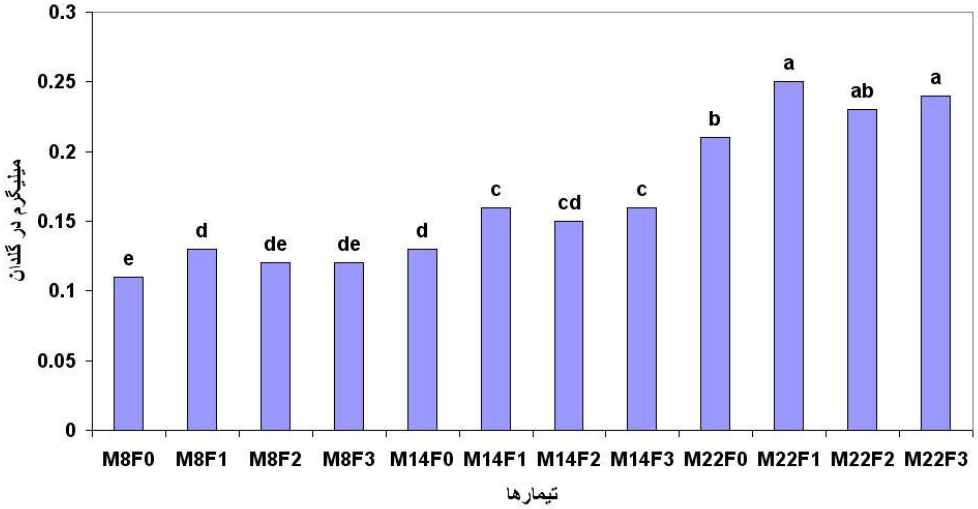

نمودار شماره ۴- تاثیر تیمارهای مختلف بر وزن خشک ریشه در خاک استریل



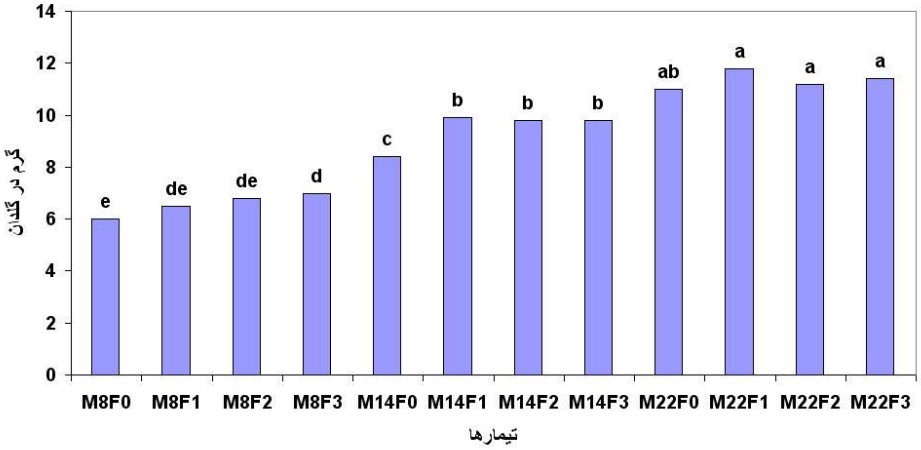

نمودار شماره ۵ - تاثیر تیمارهای مختلف بر جذب فسفر توسط گیاه در خاک استریل



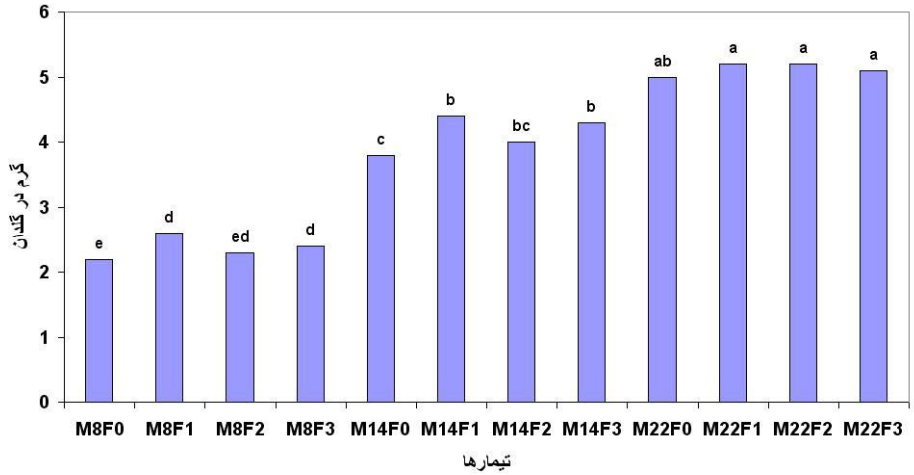

نمودار شماره ۶ - تاثیر تیمارهای مختلف بر جذب روی توسط گیاه در خاک استریل



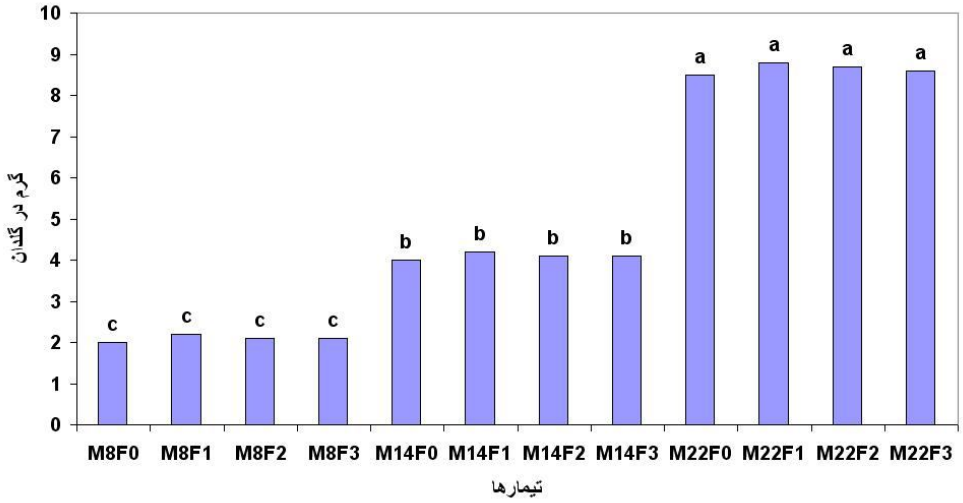

نمودار شماره ۷ - تاثیر تیمارهای مختلف بر جذب مس توسط گیاه در خاک استریل



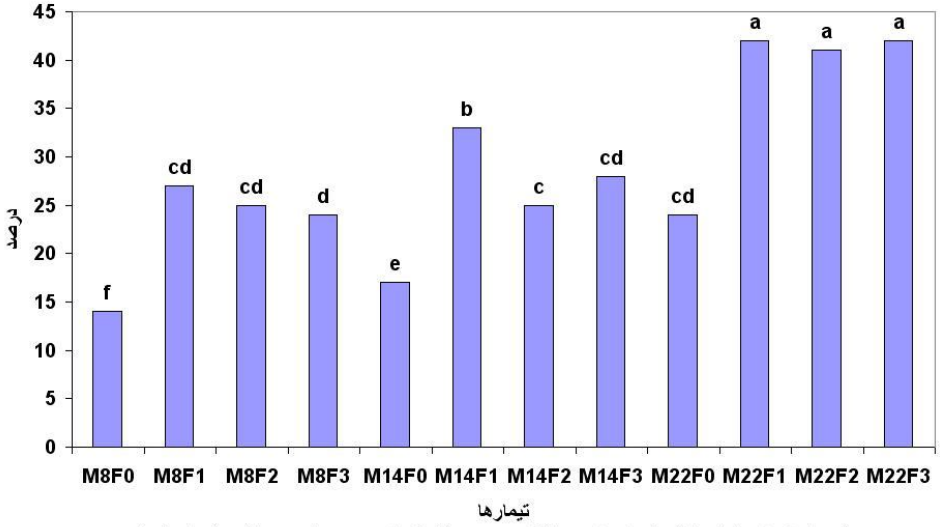

نمودار شماره۸ - تاثیرتیمارهای مختلف بروزن خشک اندام هوایی گیاه درخاک غیراستریل



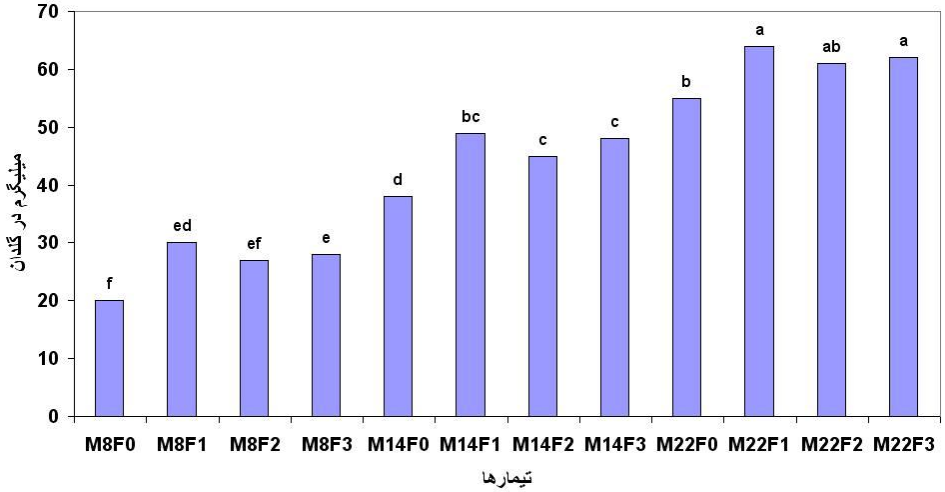

نمودار شماره ۹ - تاثیر تیمارهای مختلف بر وزن خشک دانه در خاک غیر استریل



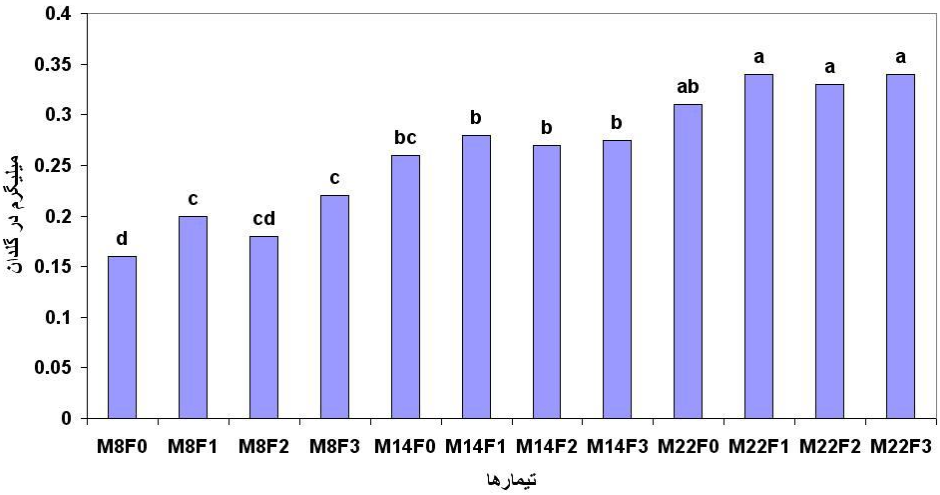

نمودار شماره ۱۰ - تاثیر تیمارهای مختلف بر وزن خشک ریشه در خاک غیر استریل



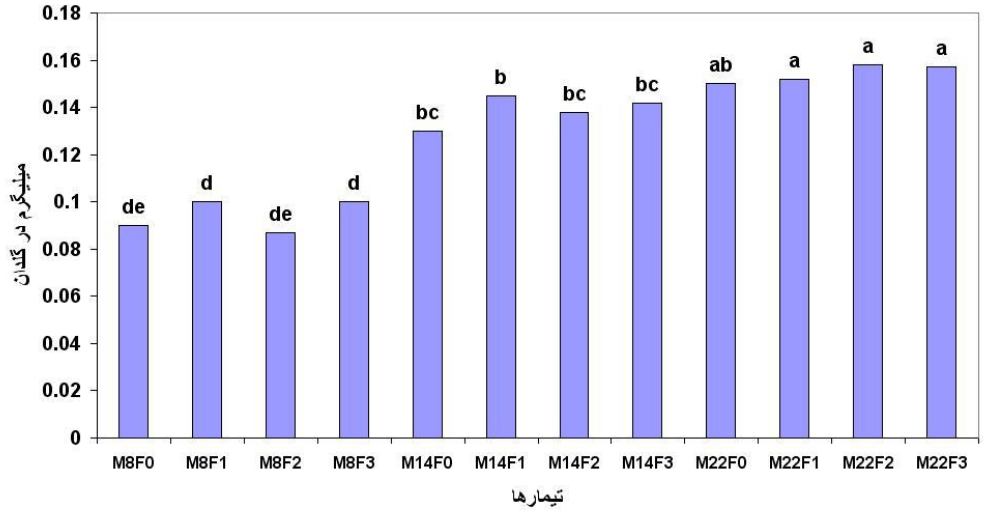

نمودارشماره۱۱- تاثیرتیمارهای مختلف بردرصدکلونیزاسیون ریشه درخاک غیراستریل




نمودار شماره ۱۲- تاثیر تیمارهای مختلف بر جذب فسفر توسط گیاه در خاک غیر استریل




نمودارشماره۱۳- تاثیرتیمارهای مختلف برجذب روی توسط گیاه درخاک غیراستریل




نمودار شماره ۱۴- تاثیر تیمارهای مختلف بر جذب مس توسط گیاه در خاک غیراستریل

## فهرست منابع:


1. امامی، ع. 1375. روشهای تجزیه گیاه، جلد اول، نشریه شماره 982، موسسه تحقیقات خاک و آب، تهران.
2. رجالی، ف.، ع. علیزاده، ن. صالح راستین،م. ج. ملکوتی. 1382. بررسی پتانسیل همزیستی قارچهای میکوریزای اربسکولار و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در برخی دیمزارهای گندم استان آذربایجان شرقی. مجله علوم خاک و آب، جلد 17 شماره 1، صفحه 80 تا 89. تهران، ایران.
3. شیرانی، ا.، ع. علیزاده، ا. هاشمی دزفولی. 1379. بررسی اثر قارچ میکوریز وسیکولار ـ اربسکولار، فسفر و تنش خشکی بر کارایی جذب عناصر غذایی در گیاه گندم. نشریه نهال و بذر جلد 16 شماره 3. ص. 327 تا 349. تهران، ایران.
4. شیرانی، ا.، ع. علیزاده، ا. هاشمی دزفولی. 1379. بررسی اثر قارچ میکوریز وسیکولار ـ اربسکولار، باکتری *Bradyrhizobium japonicum* و فسفر بر کارایی جذب برخی از عناصر غذایی در سویا. نشریه نهال و بذر. جلد 16. شماره 2. ص. 172 تا 191. تهران، ایران.
5. علی احیائی، م.، ع. بهبهانی‌زاده. 1372. شرح روشهای تجزیه شیمیایی خاک، جلد اول، نشریه شماره 893، موسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران.
6. Abbott, L. K. and Robson, A. D. 1991. Field management of mycorrhizal fungi *In:* The Rhizosphere and Plant Growth. D. L. Keister and P. B. Cregan (eds.). Kluwer Academic Publisher Dordecht, The Netherlands. PP. 355-362.
7. Al-Karaki, G. N., and Al-Raddad, A. 1997. 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.
8. Al-Karaki, G. N., Al-Raddad, A., and Clark, R. B. 1998. Water stress and mycorrhizal isolates effects on growth and nutrient acquisition of wheat. Journal of Plant Nutrition. 21: 891-902.
9. Al-Karaki, G. N., and Clark, R. B. 1999. Growth, mineral acquisition and water use by mycorrhizal wheat grown under water stress. Journal of Plant Nutrition. 21:263-276.

10. Al-Karaki, G. N., and Clark, R. B., 1999. Mycorrhizal influence on protein and lipid of durum wheat grown at different soil phosphorus level. Mycorrhiza. 9:97-101.
11. Ames, R. N., Reid, C. P. P., Porter, L. K., and Cambardella, C. 1983. Hyphal uptake and transport of nitrogen from two $^{15}N$ labelled sources by *Glomus mosseae*, a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus. New Phytologist. 95: 381-396.
12. Bethlenfalvay, G. J., Franson, R. L., Brown, M. S. and Mibara, K. L. 1989. The *Glycne-Glomus-Bradyrhizobium* symbiosis, IX: Nutritional, morphological and physiological responses of nodulated soybean to geopgraphic isolates of the mycorrhizal fungus, *Glomus mosseae*. Physilogia Plantarum. 76: 226-232.
13. Brown, M. S., and Bethlenfalvay, G. H. 1987. The Glycine-Glomus-Bradyrhizobium Symbiosis. VI. Photosynthesis in nodulated mycorrhizal or N and P-fertilized soybean plants. Plant Physoil. 58: 120-123.
14. Bryla, D. R. and Duniway, J. M. 1998. The influence of the mycorrhiza *Glomus etunicatum* on drought acclimation in safflower and wheat. Plant and Soil. 104:87-96.
15. Caris, C., Hordt, W., Hawkins,. H. J., Romhel, V., and Eckhard, G., 1998. Studies of iron transport by arbuscular mycrorrhiza hyphae from soil to peanut and sorghum plants. Mycorrhiza, 8: 35-39.
16. Clark, R. B. 1997. Arbuscular mycorrhizal adaptation, spore germination, root colonization, and host plant growth and mineral acquisition at low pH. Plant and Soil. 192: 15-22.
17. Clark, R. B., and Zeto, S. K. 1996. Mineral acquisition by mycorrhizal maize grown on acid and alkaline soil. Soil Biology and Biochemistry. 28: 1405-1503.
18. Davies, F. T., Potter, J. R. and Linderman, R. G. 1992. Drought resistance of mycorrhizal pepper plants independent of leaf P-concentration response in gas exchange and water relations. Physilogica Plantarum. 87: 45-53.
19. Dietz, K. J. and Foyer, C. 1986. The relationship between phosphate and photosynthesis in leaves reversibility of the effects of phosphate deficiency on photosynthesis. Planta. 167: 376-381.
20. Ellis, J. R., Larsen, H. J. and Boosalis, M. G. 1985. Drought resistance of wheat plants inoculated with vesicular-arbuscular mycorrhizae. Plant and Soil. 86: 369-378.
21. Gemma, J. N., Koske, R. E., Roberts, E. M., Jackson, N., and Antonis, K. 1997. Mycorrhizal fungi improve drought resistance in creeping bentgrass. Journal of Turfgrass Science. 73: 15-29.
22. Goh, T. B., Banerjee, M. R., Shihua, T. and Burton, D. L. 1997. Vesicular-arbuscular mycorrhizae mediated uptake and translocation of P and Zn by wheat in a calcareous soil. Canadian Journal of Plant Science. 77: 339-346.
23. Hardi, K., and Leyton, L. 1981. The influence of vesicular-arbuscular mycorrhiza on growth and water relations of red clover. New Phytologist. 89: 599-608.
24. Ibijbijen, J., Urquiaga, S., Ismaili, M., Alves, B. J. R., and Boddey, R. M., 1996. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on growth, mineral nutrition and nitrogen fixation of three varieties of common beans. New Phytologist. 134: 353-360.
25. INVAM: http://invam caf. WVU. Edu/Myc. Info/Methods/assay/infactors.htm.
26. Kothari, S. K., Marschner, H., and Romheld, V., 1990. Effect of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi and rhizosphere microorganisms on manganese reduction in the rhizophere and manganese concentration in maze. New Phytologist, 117: 649-655.
27. Kothari, S. K., Marschner, H. and Romheld, V. 1991. Contribution of VA mycorrhizal hyphae in acquisition of phosphorus and zinc by maize grown in a calcareous soil. Plant and Soil. 131: 177-185.

28. Kucey, R. M. N., and Janzen, H. H. 1987. Effect of VAM and reduced nutrient availability on growth and phosphorus and micronutrient uptake of wheat and field beans under green house. Plant and Soil. 104: 71-78.
29. Kwapata, M. B. Hall, A. E. 1985. Effects of moisture regime and phosphorus on mycorrhizal infection, nutrient uptake, and growth of cowpeas [Vigna unquiculata (L.) Walp]. Field Crops Research. 12: 241-250.
30. Levy, Y. Syversen, J. P. and Nemec, S. 1983. Effect of drought stress and vesicular-arbuscular mycorrhizae on citrus transpiration and hydraulic conductivity of roots. New Phytologist. 93: 61-66.
31. Li, X. L., Marschner, H. and George, E. 1991. Acquisition of phosphorus and copper by VA-mycorrhizal hyphae and root to shoot transport in white clover. Plant and Soil. 136: 49-57.
32. Lu, S., and Miller, M. H. 1988. The role of VA mycorrhizae in the absorption of P and Zn by Maize in field and growth chamber experiments. Canadian Journal of Soil Science. 69: 97-109.
33. Marschner, H., and Dell. B. 1994. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. Plant and Soil. 159: 89-102.
34. Medeiros, C. A. B. Clark, R. B. and Ellis, J. R. 1994. Growth and nutrient uptake of sorghum cultivated with vesicular-arbuscular mycorrhiza isolates at varying pH. Mycorrhiza. 4: 185-191.
35. Mohammad, M. J. Pan, W. L. and Kenndy, A. C. 1996. Wheat responses to vesicular-arbuscular mycorrhizal fungal inoculation of soils from eroded toposequence. Soil Sci. Soc. Am. J. 59: 1086-1090.
36. Mohammad, M. J. Pan, W. L., and Kennedy, A. C. 1998. Seasonal mycorrhizal colonization of winter wheat and its effect on wheat growth under dryland field conditions. Mycorrhiza. 8: 139-144.
37. Norris, J. R., Read, D. J. and Varma, A. K. (eds). 1992. Methods in Microbiology. Volume 24. Techniques for the Study of Mycorrhiza, Academic Press. P. 450.
38. O-Keefe, D., M. and Sylvia, M. 1991. Mechanisms of the vesicular-arbuscular mycorrhiza plant growth response. *In:* Hand Book of Mycology. D. K. Arora, B. Rai, K. G. Mukerji, and G. R. Knudsen (eds.). Marcel Dekker Publisher, New York, PP. 35-57.
39. Pacovsky, R. S., and Fuller, G. 1988. Mineral and lipid composition of *Glycine-Glomus-Bradyrhizobium* symbiosis. Physiologica plantarum. 72: 733-746.
40. Raju, P. S., Clark, R. B., Ellis, J. R. and Maranville, J. W. 1990. Effects of species of VA-mycorrhizal fungi on growth and mineral uptake of sorghum at different temperature. Plant and Soil. 121: 165-170.
41. Ruiz-Lozano, J. M., and Azcon, R. 1995. Hyphal contribution to water uptake in mycorrhizal plants as affected by the fungal species and water status. Physiologica plantarum. 95: 472-478.
42. Safir, G. R., Boyer, J. S. and Gerdman, J. W. 1972. Nutrient status and mycorrhizal enhancement of water transport in soybean. Plant Physiology 49: 700-703.
43. Saggin, O. J., and Siqueira, J. O. 1995. Evaluation of the symbiotic effectiveness of endomycorrhizal fungi for coffee tree. Brazil Journal of Soil Science. 19: 221-228.
44. Sharma, A. K., Srivastava, P. C. and Johri, B. N. 1994. Contribution of VA mycorrhiza to zinc uptake in plants. Pp. 111-123. In: J. A. Manthey, D. E. Crowley, and D. G. Luster (eds.). Biochemistry of Metal Micronutrient in the Rhizosphere. Lewis Publishers, Boca Raton.
45. Sharma, A. K. and Johri, B. N. (eds.). 2002. Arbuscular Mycorrhizae, Interaction in Plants, Rhizosphere and Soils. Oxford and IBH Publishing. New Delhi. P. 308

46. Simpson, D., and Daft, M. J. 1990. Interaction between water-stress and different mycorrhizal inocula on plant growth and mycorrhizal development in mazie and sorghum. Plant and Soil. 121: 179-186.
47. Singh, J. P., Karamanous, R. E. and Stewart, J. W. B. 1986. Phosphorus-induced zinc deficiency in wheat on residual phosphorus plots. Agronomy Journal. 78:668-675.
48. Smith, S. E. and Read, D. J. 1997. Mycorrhizal Symbiosis. Academic Press. P. 587.
49. Subramanian, K. S. and Charest, C. 1997. Nutritional, growth, and reproductive response of maize (*Zea mays* L.) to arbuscular mycorrhizal inoculation during and after drought stress at tasselling. Mycorrhiza. 7: 25-32.
50. Tarafdar, J. C., and Marschner, H. 1994. Efficiency of VAM hyphae in utilization of organic phosphorus by wheat plants. Soil Science and Plant Nutrition. 40:593-600.
51. Trimble, M. R. and Knowles, N. R. 1995. Infeluence of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorus on growth, carbohydrate partitioning and mineral nutrition of greenhouse cucumber plants during establishment. Canadian Journal of Plant Science. 75: 239-250.