

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی کشاورزی

گروه زراعت

پایان نامه کارشناسی ارشد

بررسی تاثیر زئولیت و قارچ میکوریزای آرباسکولار در سطوح مختلف کود

فسفر بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت

دانیال فرهادی

اساتید راهنما:

دکتر حمیدرضا اصغری

دکتر محمدرضا عامریان

اساتید مشاور:

دکتر علی عباسپور

بهمن ماه ۱۳۹۳

«این بنده چه داند که چه می باید جست داننده تویی هر آنچه دانی آن ده»

پاس خدای را که سخوران، در ستودن او جانند و شامندگان، شمردن نعمت های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزاردن نتوانند.

سرآغاز حمد و پاس پروردگار کریم که یاری بخش این بنده حقیر بود

تقدیم به آنکه جهان در انتظار اوست

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگان

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امید بخش وجودشان که در این سردترین روزگار ان بهترین پشتیبان است

به پاس قلب های بزرگشان که فریاد رس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می گراید

و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

«پاس و ستایش پروردگار بی‌پیمانی که ذات بی‌کرائش از علم و دانش است و چه با سخاوت از این خوان بی‌پیمایش را موهبتی شگرف ارزانی داشت»

گذراندن مراحل اجرایی و تدوین این پایان‌نامه پس از الطاف و عنایات الهی مدیون راهبانی و مساعدت و به‌مکرمی بزرگوارانی است که بی‌تردید بدون همراهی آنان به‌سمودن این مسیر با مشکلات فراوان همراه بود، لذا بر خود لازم می‌دانم مراتب پاس و قدردانی صمیمانه خود را نسبت به کسانی بنمایم که در مراحل مختلف این پژوهش مرا یاری نمودند.

از اساتید گرانقدر جناب آقای دکتر حمیدرضا اصغری و جناب آقای دکتر محمد رضا عامریان که در سمت استاد راهنما مرهون کمک‌های بی‌دریغ و راهبانی‌های ارزشندان می‌باشم، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایم. از استاد مشاور جناب آقای دکتر علی عباس‌پور که در مراحل انجام و نگارش این تحقیق با دقت نظر مرا راهبانی فرمودند، کمال تشکر را دارم.

از زحمات و ااوران ارجمند جناب آقای دکتر حمید عباس‌دخت و جناب آقای دکتر مهدی برادران صمیمانه سپاسگزارم. همچنین از همراهی و مساعدت نمانده تحصیلات تکمیلی جناب آقای دکتر احمد غلامی تشکر و قدردانی می‌نمایم.

از کارکنان آموزش دانشکده، کارشناس‌های آزمایشگاه‌های خاکشناسی، گیاهشناسی، آبیاری و زراعت آقای مهندس شاکری، آقای مهندس حسین‌پور، آقای مهندس کلی و آقای مهندس مطهری‌نژاد، سایر دوستان و سرورانی که به‌نحوی از الطاف بی‌ریایشان بهره‌مند گشتم تشکر و قدردانی می‌نمایم.

تعهد نامه

اینجانب دانیال فرهادی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته اگرواکولوژی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه با عنوان: بررسی تاثیر ژئولیت و قارچ میکوریزای آرباسکولار در سطوح مختلف کود فسفر بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت. تحت راهنمایی جناب آقای دکتر حمیدرضا اصغری و جناب آقای دکتر محمدرضا عامریان متعهد می‌شوم.

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

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده:

دستیابی به حاصل خیزی پایدار خاک نقش مهمی در توسعه کشاورزی و جلوگیری از تخریب اکوسیستم‌های زراعی و برهم زدن تعادل اکولوژیکی در خاک ایفا می‌کند. استفاده از اصلاح کننده‌های خاک مانند زئولیت و قارچ میکوریزا می‌تواند گامی موثر در دستیابی به عملکرد مطلوب همراه با مصرف بهینه نهاده‌ها از جمله آب و کودهای شیمیایی جهت رسیدن به مدیریت پایدار خاک باشد. این پژوهش به منظور بررسی تاثیر قارچ میکوریزا و زئولیت به عنوان اصلاح کننده معدنی خاک در سطوح مختلف کود شیمیایی فسفر بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دانشگاه شاهرود به اجرا درآمد. فاکتورهای آزمایش شامل قارچ میکوریزا در دو سطح، تلقیح و عدم تلقیح، زئولیت در دو سطح، کاربرد ۹ تن در هکتار و عدم کاربرد و کود شیمیایی سوپر فسفات تریپل در سه سطح، صفر، ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بود. نتایج نشان داد کاربرد جداگانه میکوریزا و زئولیت بر برخی از صفات مورفولوژیک و زراعی از قبیل ارتفاع، قطر ساقه، سطح برگ، وزن صد دانه، وزن بلال معنی دار بود. تلقیح میکوریزا منجر به افزایش معنی دار غلظت فسفر بذر و افزایش عملکرد دانه در هکتار شده است. اثرات متقابل زئولیت و میکوریزا در تعداد دانه در ردیف، ارتفاع گیاه و وزن چوب بلال معنی دار شده است. عملکرد بیولوژیک و تعداد ردیف دانه در بلال توسط اثرات متقابل سه گانه میکوریزا، زئولیت و فسفر معنی دار شده است. مصرف توام میکوریزا و زئولیت بدون استفاده از کودهای شیمیایی توانست به میزان ۴۴٪ عملکرد بیولوژیک گیاه را نسبت به شاهد افزایش دهد در حالی که مصرف به تنهایی ۱۰۰ و ۵۰ کیلوگرم کود فسفره در هکتار توانست به ترتیب ۵۲٪ و ۳۹٪ عملکرد بیولوژیک افزایش دهد. همچنین کاربرد میکوریزا به تنهایی عملکرد دانه ذرت را ۱۶/۵ درصد افزایش معنی دار بخشید. به نظر می‌رسد استفاده از قارچ میکوریزا به همراه اصلاح کننده خاک (زئولیت) می-

تواند جایگزین بخشی از کودهای شیمیایی فسفره در زراعت ذرت شود. نتایج این آزمایش می‌تواند در سیستم‌های کشاورزی ارگانیک و پایدار مورد استفاده قرار گیرد.

کلمات کلیدی: اصلاح کننده خاک، سینگل کراس ۷۰۴، میکوریزا، سوپر فسفات تریپل،

مقالات مستخرج

کاربرد ژئولیت در سطوح مختلف فسفر در زراعت مناطق خشک (۱۳۹۳). دومین همایش ملی بیابان با رویکرد مدیریت مناطق خشک و بیابانی. دانشگاه کویر شناسی سمنان. سمنان

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول مقدمه و کلیات.....	۱
۱-۱ مقدمه.....	۲
۲-۱ ذرت.....	۵
۱-۲-۱ اهمیت اقتصادی و غذایی ذرت.....	۵
۲-۲-۱ ویژگیهای گیاهشناسی.....	۶
۱-۲-۲-۱ درجه حرارت.....	۷
۲-۲-۲-۱ نور.....	۸
۳-۲-۲-۱ رطوبت.....	۸
۳-۱ فسفر.....	۹
۱-۳-۱ نقش و اهمیت فسفر در گیاهان زراعی.....	۹
۲-۳-۱ نیاز ذرت به کود فسفر:.....	۱۰
۳-۳-۱ اثر کودهای شیمیایی فسفر بر محیط زیست.....	۱۰
۴-۱ میکوریزا.....	۱۱
۱-۴-۱ کودهای بیولوژیک نقش و اهمیت آنها.....	۱۱
۲-۴-۱ تعریف و شناخت قارچ میکوریزا.....	۱۱
۳-۴-۱ طبقه بندی و چگونگی برقراری همزیستی.....	۱۲
۴-۴-۱ عوامل موثر بر همزیستی میکوریزا.....	۱۳
۵-۱ زئولیت.....	۱۴

۱-۵-۱	اهمیت اصلاح کنندمهای معدنی خاک	۱۴
۲-۵-۱	منشاء و تاریخچه زئولیت	۱۴
۳-۵-۱	موارد کاربرد زئولیت	۱۵
۴-۵-۱	اهمیت کاربرد زئولیت در کشاورزی	۱۶
۲	فصل دوم بررسی منابع	۱۹
۱-۲	تاثیر کود فسفر بر خصوصیات فیزیولوژیک گیاهان زراعی	۲۰
۲-۲	تاثیر کود فسفر بر خصوصیات رشدی و عملکرد گیاه	۲۰
۳-۲	اثر همزیستی قارچ میکوریزا بر جذب فسفر	۲۱
۴-۲	اثر همزیستی قارچ میکوریزا بر جذب آب، عناصر غذایی و رشد گیاه میزبان	۲۳
۵-۲	تاثیر همزیستی قارچ میکوریزا بر بهبود خواص خاک و گیاه	۲۴
۶-۲	تاثیر زئولیت بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک	۲۵
۷-۲	تاثیر زئولیت بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاهان زراعی	۲۶
۳	فصل سوم مواد و روشها	۲۹
۱-۳	زمان، موقعیت جغرافیایی و مشخصات آب و هوایی محل اجرای آزمایش	۳۰
۲-۳	خصوصیات خاک مزرعه	۳۰
۳-۳	عملیات اجرایی	۳۱
۱-۳-۳	مشخصات طرح آزمایشی و تیمارهای آزمایش	۳۱
۲-۳-۳	آماده سازی زمین	۳۲
۳-۳-۳	کاشت	۳۲
۴-۳-۳	داشت	۳۲
۱-۴-۳-۳	نمونه برداری در طی فصل رشد	۳۳

۳۳	نمونه برداری کلروفیل	۲-۴-۳-۳
۳۳	برداشت	۴-۳
۳۴	نمونه برداری عملکرد	۱-۴-۳
۳۴	تعیین میزان کلونیزاسیون ریشه	۵-۳
۳۵	اندازه گیری فسفر قابل جذب خاک به روش اولسن	۶-۳
۳۵	عصاره گیری خاک	۱-۶-۳
۳۶	تهیه محلول شیمیایی	۲-۶-۳
۳۶	تهیه محلولهای استاندارد	۳-۶-۳
۳۷	اندازه گیری میزان فسفر در بافت گیاه به روش هضم با اسید پرکلریک و اسید نیتریک	۷-۳
۳۷	تهیه محلولهای شیمیایی برای اندازه گیری میزان فسفر در بافت گیاه	۱-۷-۳
۳۷	تهیه محلول استاندارد به روش اسپکتروفتومتری فسفر گیاه	۲-۷-۳
۳۸	تهیه نمونهها برای اندازه گیری میزان فسفر در بافت گیاه	۳-۷-۳
۳۸	تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها	۸-۳
۳۸	شاخص برداشت HI	۹-۳
۳۹	فصل چهارم نتایج و بحث	۴
۴۰	ارتفاع گیاه	۱-۴
۴۱	قطر ساقه	۲-۴
۴۲	سطح برگ	۳-۴
۴۵	وزن بلال	۴-۴
۴۶	تعداد ردیف دانه در بلال	۵-۴
۴۷	دانه در ردیف بلال	۶-۴

۴-۷	تعداد دانه در بلال	۴۹
۴-۸	وزن صد دانه	۵۱
۴-۹	وزن چوب بلال	۵۴
۴-۱۰	عملکرد دانه ذرت در هکتار	۵۵
۴-۱۱	عملکرد بیولوژیک	۵۸
۴-۱۲	شاخص برداشت	۶۱
۴-۱۳	کلونیزاسیون میکوریزایی	۶۲
۴-۱۴	فسفر قابل دسترس خاک	۶۳
۴-۱۵	غلظت فسفر بذر	۶۶
۴-۱۶	محتوای فسفر گیاه	۶۷
۴-۱۷	شاخصهای رشد	۶۸
۴-۱۷-۱	سرعت رشد محصول (CGR)	۶۸
۴-۱۷-۲	سرعت رشد نسبی (RGR)	۷۱
۴-۱۷-۳	شاخص سطح برگ (LAI)	۷۳
۴-۱۷-۴	سرعت جذب خالص (NAR)	۷۶
۷۸	نتیجه گیری	
۸۱	پیوست	
۸۶	منابع	

فهرست اشکال

۳-۱	نمایی از ریشه در زیر میکروسکوپ با بزرگ نمایی ۴۰×	۳۵
-----	--	----

- شکل ۴-۱- اثر متقابل فسفر و زئولیت بر ارتفاع گیاه وجود حروف غیر مشترک نشان دهنده معنی داری در سطح ۵ درصد می باشد ۴۱
- شکل ۴-۲- اثر متقابل زئولیت و میکوریزا بر ارتفاع گیاه ۴۱
- شکل ۴-۳- اثر متقابل تیمارهای فسفر و زئولیت بر افزایش قطر ساقه ۴۲
- شکل ۴-۴- تاثیر سطوح مختلف کود فسفر بر سطح برگ گیاه ذرت ۴۴
- شکل ۴-۵- تاثیر کاربرد زئولیت بر سطح برگ گیاه ذرت ۴۴
- شکل ۴-۶- تاثیر تلقیح قارچ میکوریزا بر سطح برگ گیاه ذرت ۴۵
- شکل ۴-۷- اثر کاربرد کود فسفر بر وزن بلال ۴۶
- شکل ۴-۸- تاثیر تلقیح میکوریزا بر وزن بلال ۴۶
- شکل ۴-۹- اثر متقابل سه گانه فسفر، میکوریزا و زئولیت بر تعداد ردیف دانه در بلال ۴۷
- شکل ۴-۱۰- اثر متقابل کود فسفر و زئولیت بر تعداد دانه در ردیف بلال ۴۸
- شکل ۴-۱۱- اثر متقابل قارچ میکوریزا و زئولیت بر تعداد دانه در ردیف بلال ۴۹
- شکل ۴-۱۲- تاثیر کاربرد سطوح مختلف کود فسفر بر تعداد دانه در بلال گیاه ذرت ۵۰
- شکل ۴-۱۳- تاثیر قارچ میکوریزا بر تعداد دانه در بلال گیاه ذرت ۵۱
- شکل ۴-۱۴- تاثیر کود شیمیایی فسفر بر وزن صد دانه گیاه ذرت ۵۲
- شکل ۴-۱۵- تاثیر کاربرد زئولیت بر وزن صد دانه گیاه ذرت ۵۳
- شکل ۴-۱۶- تاثیر تلقیح میکوریزا بر وزن صد دانه گیاه ذرت ۵۳
- شکل ۴-۱۷- تاثیر کاربرد کود شیمیایی سوپر فسفات تریپل بر وزن چوب بلال ۵۴
- شکل ۴-۱۸- اثر متقابل میکوریزا و زئولیت بر وزن چوب بلال ۵۵
- شکل ۴-۱۹- تاثیر کود سوپر فسفات تریپل بر عملکرد دانه ذرت در هکتار ۵۶
- شکل ۴-۲۰- اثر تلقیح میکوریزا بر عملکرد دانه در هکتار ۵۷

- شکل ۴-۲۱- اثر متقابل سه گانه کود فسفر، ژئولیت و میکوریزا بر عملکرد بیولوژیک ۶۱
- شکل ۴-۲۲- تاثیر کاربرد مایه تلقیح میکوریزا بر افزایش درصد کلونیزاسیون ۶۳
- شکل ۴-۲۳- اثر کاربرد کود شیمیایی فسفر بر فسفر قابل دسترس خاک ۶۴
- شکل ۴-۲۴- تاثیر ژئولیت و میکوریزا بر فسفر قابل دسترس خاک ۶۵
- شکل ۴-۲۵- تاثیر کاربرد میکوریزا بر درصد غلظت فسفر دانه ۶۶
- شکل ۴-۲۶- اثر کاربرد کود فسفر بر محتوی فسفر گیاه ذرت ۶۷
- شکل ۴-۲۷- تاثیر تلقیح میکوریزا بر محتوای فسفر گیاه ۶۸
- شکل ۴-۲۸- تاثیر کود فسفر (کیلوگرم بر هکتار) بر سرعت رشد محصول ۶۹
- شکل ۴-۲۹- تاثیر کاربرد ژئولیت بر سرعت رشد محصول ۷۰
- شکل ۴-۳۰- تاثیر تلقیح میکوریزا بر سرعت رشد محصول ۷۱
- شکل ۴-۳۱- تاثیر کاربرد کود فسفر (کیلوگرم در هکتار) بر سرعت رشد نسبی ۷۲
- شکل ۴-۳۲- تاثیر کاربرد ژئولیت بر سرعت رشد نسبی ۷۳
- شکل ۴-۳۳- اثر تلقیح میکوریزا بر سرعت رشد نسبی ۷۳
- شکل ۴-۳۴- تاثیر کاربرد کود فسفر (کیلوگرم بر هکتار) بر شاخص سطح برگ ۷۵
- شکل ۴-۳۵- تاثیر ژئولیت بر شاخص سطح برگ ۷۵
- شکل ۴-۳۶- تاثیر تلقیح میکوریزا بر شاخص سطح برگ ۷۵
- شکل ۴-۳۷- تاثیر کاربرد کود فسفر بر سرعت جذب خالص ۷۶
- شکل ۴-۳۸- تاثیر ژئولیت بر سرعت جذب خالص ۷۷
- شکل ۴-۳۹- تاثیر تلقیح میکوریزا بر سرعت جذب خالص ۷۷

فهرست جداول

- ۳-۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش ۳۱
- جدول پیوست ۱- جدول تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه ۸۲
- جدول پیوست ۲- جدول تجزیه واریانس ادامه صفات مورد مطالعه ۸۳
- جدول پیوست ۳- جدول تجزیه واریانس ادامه صفات مورد مطالعه ۸۴
- جدول پیوست ۴- جدول تجزیه واریانس ادامه صفات مورد مطالعه ۸۵

۱ فصل اول

مقدمه و کلیات

افزایش جمعیت جهان و نیاز روز افزون به مواد غذایی، سبب استفاده بیش از حد از منابع طبیعی شده که به طور حتم در آینده‌ای نزدیک تولید مواد غذایی در جهان با بحران مواجه خواهد شد. در نیمه دوم قرن بیستم افزایش مصرف کودهای شیمیایی از یک سو موجب افزایش عملکرد محصولات کشاورزی و از سوی دیگر مشکلات متعددی را برای طبیعت و محیط زیست بوجود آورد. این امر نگرانی‌هایی را در مورد برهم خوردن اکوسیستم و ناپایداری آن ایجاد کرد. از آنجایی که قیمت کودهای شیمیایی به عنوان یک نهاده، همواره در حال افزایش است و همچنین شستشوی کودها باعث آلودگی آبهای سطحی و زیرزمینی می‌شود، استفاده از منابع جایگزین برای رسیدن به پایداری دراز مدت ضروری است (نصیری محلاتی و همکاران، ۱۳۸۰). در سال‌های اخیر تولید کنندگان محصولات کشاورزی در کشور به جای بهره‌گیری از دانش روز برای دستیابی به تولید بیشتر، مصرف کودهای شیمیایی را در واحد سطح افزایش داده‌اند. مصرف بیش از اندازه کودهای شیمیایی سبب افزایش جذب آن در گیاه نمی‌شود بلکه باعث آلودگی محیط زیست و پایین آمدن کیفیت محصولات کشاورزی می‌گردد. مطالعات نشان می‌دهند که به طور معمول بیش از ۵۰٪ کودهای افزوده شده توسط محصول جذب نمی‌گردند (بوکمن و همکاران، ۱۹۹۰). برای افزایش تولید از روش‌های گوناگون می‌توان بهره‌گرفت، اما به کارگیری مستمر و زیاد روش‌های رایج موجب تغییر در خواص فیزیکی و شیمیایی خاک شده است که در چند دهه اخیر مصرف نهاده‌های شیمیایی در اراضی کشاورزی موجب معضلات زیست محیطی فراوان از جمله آلودگی منابع آب، افت کیفیت محصولات کشاورزی و کاهش حاصلخیزی خاک‌ها گردیده است (شارما، ۲۰۰۲). با توجه به مشکلات ناشی از محدودیت منابع آب و خاک در ایران امکان توسعه سطح زیر کشت برای افزایش تولیدات کشاورزی میسر نبوده و تنها راه عملی برای خودکفایی در محصولات کشاورزی و تهیه غذای کافی برای جمعیت در حال رشد کشور، افزایش تولید در واحد سطح می‌باشد (ملکوتی، ۱۳۷۵). کشاورزی پایدار بر پایه مصرف کودهای

بیولوژیک با هدف حذف یا تقلیل چشمگیر در مصرف نهاده‌های شیمیایی، یک راه مطلوب جهت غلبه بر این مشکلات به شمار می‌آید. کشاورزی پایدار نوعی کشاورزی است که در جهت حفظ منافع انسان بوده، کارایی بیشتری در استفاده از منابع دارد و با محیط زیست در توازن است. دوور و تالبوت (۱۹۸۷) معتقداند که در تلاش برای یک کشاورزی پایدار ضروری است که علوم کشاورزی با علوم اکولوژیکی تلفیق گردد. مصرف بهینه و حداقل کودهای شیمیایی به همراه افزایش چرخه داخلی عناصر غذایی خاک از طریق کاهش خاکورزی و همچنین استفاده از کودهای بیولوژیک بجای کودهای شیمیایی در جهت افزایش عملکرد محصولات کشاورزی و تولید غذای بیشتر، از اهداف اصلی کشاورزی پایدار می‌باشد که رسیدن به این امر برای حیات انسانی یک ضرورت است (لیگرید و همکاران، ۱۹۹۹؛ کوچکی و همکاران، ۲۰۰۸). کودهای بیولوژیک حاوی مواد نگهدارنده‌ای با جمعیت متراکم یک یا چند نوع میکروارگانیسم مفید و یا به صورت فرآورده‌های متابولیک این موجودات می‌باشد که به منظور حاصلخیزی خاک و عرضه مناسب عناصر غذایی مورد نیاز گیاه در یک سیستم کشاورزی پایدار به کار می‌روند (صالح راستین، ۲۰۰۱). ریز موجوداتی که به عنوان کود بیولوژیک به کار می‌روند، همانند کودهای شیمیایی عناصر جدیدی را به خاک وارد نکرده، بلکه تنها از منابع موجود در محیط زیست استفاده می‌کنند. اگرچه نمی‌توان یکباره مصرف کودهای شیمیایی را متوقف نمود، تا میزان تولیدات کشاورزی دچار رکود نگردد بنابراین جایگزینی آنها با کودهای بیولوژیک بایستی به تدریج و آگاهانه صورت پذیرد تا ضمن کاهش مصرف کودهای شیمیایی، محیط زیست نیز حفظ شود. استفاده از فناوری کودهای بیولوژیک به ویژه در مدیریت فسفر خاک از اهمیت زیادی برخوردار است (گلدستین، ۱۹۸۹). قارچ میکوریزا با ایجاد نوعی رابطه همزیستی با ریشه گیاهان، به عنوان یک کود بیولوژیک، برای افزایش محصولات کشاورزی دارای اهمیت می‌باشد (میشرا، ۲۰۰۷). همزیستی میکوریزایی سبب تسهیل در جذب عناصر غذایی بخصوص فسفر می‌شود و جذب عناصری مانند نیتروژن و کلسیم را افزایش می‌دهد. فسفر با تنظیم هورمون‌های گیاهی نقش مهمی در تقسیم

سلولی دارد، از طرفی نقش مهمی در تولید مواد فتوسنتزی داشته و سبب تولید انرژی در گیاه می‌شود. میکوریزا از طریق افزایش سطح جذب و با کاهش ناحیه تخلیه از فسفر به وسیله هیف‌های خارجی، این عنصر را در اختیار گیاه قرار می‌دهد (پیترسو و مسیکوت، ۲۰۰۴؛ شنوی و کلگودی، ۲۰۰۵). از طرفی میکوریزا منجر به افزایش رشد ریشه‌های مؤین، افزایش جذب آب و کارایی بیشتر استفاده از آب، تشدید فعالیت تثبیت نیتروژن به دلیل بهبود تغذیه گیاهان میزبان، افزایش در تولیدات هورمون‌های گیاهی و بهبود خصوصیات فیزیکی و بیولوژیک خاک می‌شود (هارش و همکاران، ۲۰۰۶).

متاسفانه استفاده بیش از حد کودهای شیمیایی اثرات مخربی بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و نفوذپذیری خاک به جا گذاشته است. از جمله راه کارهای جدید برای برطرف کردن این اثرات مخرب و افزایش تاثیر گذاری و جلوگیری از هدرروی کودهای شیمیایی، به کارگیری ترکیبات طبیعی مانند کانی‌های زئولیت به عنوان اصلاح کننده‌های معدنی خاک در مزارع کشاورزی می‌باشد (پلات و همکاران، ۲۰۰۴). به کار گیری این ترکیبات همراه با کود های شیمیایی می تواند تاثیر کودهای شیمیایی را بیشتر کند و باعث افزایش کارایی و مصرف بهینه این دسته از نهاده ها شود. کاربرد زئولیت‌ها بخصوص زئولیت کلینوپتیلولایت (Clinoptilolite) در اراضی کشاورزی به دلیل افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک و تمایل زیاد آن برای جذب و نگهداری عناصر غذایی، می تواند نقش مؤثری در کاهش شستشوی عناصر غذایی خاک به ویژه نیتروژن و فسفر داشته باشد. ساختار متخلخل و منفذدار طبیعی به حفظ هوادهی خاک و رطوبت برای یک دوره طولانی مدت کمک میکند (پلات و همکاران، ۲۰۰۴). زئولیت بر خلاف سایر اصلاح کنندگان سنتی مانند آهک در خاک شسته نمی‌شود و شرایط را برای نگهداری مواد غذایی و رطوبت در خاک بهبود می‌بخشد (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۹). در زئولیت‌ها چارچوب ساختمانی به اندازه کافی باز است و این ویژگی باعث بوجود آوردن خواص منحصر به فرد زئولیت‌ها شده است. مولکول‌های آب و همچنین کاتیون‌ها به راحتی

می‌توانند در داخل شبکه آن حرکت کرده بدون اینکه ساختار شبکه دچار تغییر شود. همچنین بار منفی موجود در ساختمان زئولیت‌ها ناشی از حضور آلومینیوم باعث ایجاد پدیده تبادل کاتیونی با سایر کاتیون‌های موجود در محیط می‌شود (شاو و اندرس، ۲۰۰۱). از سوی دیگر زئولیت دارای مواد اولیه-هایی مانند پتاسیم، کلسیم، آلومینیوم، منیزیم، سیلیسیم، فسفر، گوگرد، آهن و منگنز است که خود به تنهایی می‌تواند به عنوان کود در کشاورزی مطرح باشد (عابدی کوپایی و همکاران، ۱۳۸۹).

به منظور افزایش کارایی کود شیمیایی فسفر و بهبود شرایط فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک، از کود بیولوژیک میکوریزا به‌مراه اصلاح‌کننده معدنی خاک زئولیت در این پژوهش استفاده شد. هدف از این پژوهش بررسی کاربرد توام میکوریزا و اصلاح‌کننده معدنی خاک زئولیت در سطوح مختلف فسفر خاک، بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ذرت می‌باشد.

۱-۲ ذرت

۱-۲-۱ اهمیت اقتصادی و غذایی ذرت

ذرت در بین غلات، بیشترین تنوع مصرف‌کننده را دارد، زیرا افزون بر مصرف به عنوان تغذیه انسان و به عنوان علوفه برای دام‌ها، در صنایع تخمیر و تهیه فرآورده‌های متنوع صنعتی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد (فائو، ۲۰۰۰). ذرت حاوی مواد قندی و نشاسته‌ای زیادی است و مقدار تولید محصول آن در واحد سطح نیز بالا است، همچنین یکی از بهترین نباتات علوفه‌ای برای مصرف به صورت تازه یا سیلویی می‌باشد (خدابنده، ۱۳۸۲). سطح زیر کشت، میزان تولید در هکتار و مقدار مصرف ذرت، در طی سال‌های اخیر در اغلب کشورهای جهان افزایش چشم‌گیری یافته به نحوی که در بین غلات مقام سوم را پس از گندم و برنج کسب نموده است. ذرت از جمله گیاهان زراعی مهم در ایران به شمار می‌رود که در ۷۰۰ هزار هکتار از اراضی ایران کشت می‌شود و ۲/۸ درصد از کل تولید غلات را به خود اختصاص می‌دهد (فائو، ۲۰۰۵). مهم‌ترین کشورهای

تولید کننده ذرت شامل امریکا، آرژانتین، برزیل، کلمبیا، مکزیک، رومانی، فرانسه و ... می‌باشند. از ذرت نشاسته، شربت قند، روغن، خوراک دام و الکل استخراج می‌شود. ذرت یکی از ارزان ترین و خالص ترین منابع آلی جهت مصارف صنعتی می‌باشد. در صنایع تقطیری، الکل از ذرت تخمیر شده و روغن از جوانه آن استخراج می‌شود. امروزه بیش از ۵۰۰ نوع فرآورده درجه دوم از ذرت به دست می‌آید (وینسر و بالدوین، ۲۰۰۴). از ساقه های آن در کاغذ و مقوا سازی، از چوب بلال نیز در تهیه اسید سیتریک، قطران ذغال و فورفورال استفاده می‌شود (نورمحمدی و همکاران، ۱۳۸۰).

۱-۲-۲ ویژگی‌های گیاه‌شناسی

ذرت با نام انگلیسی (corn) و آمریکایی (maize) و نام علمی (*Zea mays L.*) متعلق به خانواده غلات (Poaceae) می‌باشد. گیاهی یکساله، روزکوتاه، تک لپه، دگرگشن و یک پایه می‌باشد. تک پایه (Monoecious) بدین معنی که گل‌های نر و ماده جدا از هم ولی بر روی یک پایه قرار دارند. گل‌های ماده ذرت از جوانه‌ای که در قاعده غلاف برگ وجود دارد تولید می‌شود. زمانی که ارتفاع ساقه ذرت به ۸۰ تا ۱۲۰ سانتی متر رسید، کلاله های ابریشم مانند یا کاکل ذرت به تعداد دانه های ذرت موجود در بلال، نمایان می‌شوند (پور صالح، ۱۳۷۳). نزدیک به ۹۵ درصد گل‌های ماده بارور در ذرت از راه دگرگرده افشانی و مابقی از راه خود گرده افشانی تلقیح می‌شوند (پولمن، ۱۹۹۵). میوه ذرت گندمه است و دانه شامل پریکارپ، لایه آلرون، آندوسپرم و جنین است. پریکارپ و مابقی پوشش های دانه ۵ درصد کل دانه را تشکیل می‌دهند. جنین و اسکوتلم حدود ۱۰ درصد و آندوسپرم ۸۰ تا ۸۵ درصد کل دانه را تشکیل می‌دهد (تولنار و ادویر، ۱۹۹۹). ساقه ذرت استوانه‌ای با مقطع عرضی تقریباً بیضوی است، و با ساقه بسیاری از گندمیان تفاوت دارد. ساقه ذرت با بافت پارانشیمی که مغز خوانده می‌شود، پر شده است و از نظر ارزش غذایی دارای اهمیت بسیار زیادی است. توپر بودن ساقه به استحکام آن می‌افزاید و بدین ترتیب از شکستن آن در نقاط ضعیف جلوگیری می‌کند (مودب شبستری و مجتهدی، ۱۳۶۹). برگ‌های ذرت همانند سایر غلات شامل پهنک برگ و غلاف است.

غلاف برگ ذرت، ساقه را در آغوش می گیرد و طول برگ به ۸۰-۳۰ و حتی ۱۵۰ سانتی متر و عرض آن در حدود ۱۰ سانتی متر و ضخامت آن در حدود ۲ میلیمتر می رسد. تعداد برگ های ذرت بین ۸ تا ۴۸ بوده که به طور متوسط ۱۲ تا ۱۸ عدد است. این گیاه دارای ریشه های قوی و انبوه ولی سطحی است که اختلاف عمق ریشه می تواند به استقامت یا خوابیدگی آن کمک نماید قابل ذکر است که ذرت قدرت پنجه زدن ندارد.

۱-۲-۲-۱ درجه حرارت

ذرت برخلاف غلات (گندم و جو) احتیاج به گرما و حرارت زیاد خورشید دارد به همین دلیل حرارت عامل محدود کننده رشد و نمو این گیاه محسوب می شود. جوانه زنی در ذرت از دمای ۱۰-۸ درجه سانتی گراد در عمق کاشت شروع می شود. همچنین ذرت با وجود آن که یک گیاه گرمسیری است، نمی تواند آب و هوای بسیار گرم را تحمل کند. این گیاه روز کوتاه و نیازمند نور و درجه حرارت بالا می باشد (سیادت و شایگان، ۱۳۷۳). ذرت، گیاه بومی مناطق گرمسیر است اما سازگاری و تطابق خوب آن باعث شده است که در نواحی معتدل و سرد نیز کشت آن میسر باشد. کشت ذرت از ۵۸ درجه عرض شمالی در کانادا، اروپای شمالی و روسیه تا ۳۸ درجه عرض جنوبی در آرژانتین و ۴۲ درجه عرض جنوبی در زلاندنو وسعت دارد. کشت ذرت دانه ای در این محدوده است ولی ذرت علوفه ای را می توان در خارج از این محدوده هم کشت کرد (میر هادی، ۱۳۸۴).

مناسب ترین محیط برای کشت آن، ناحیه هایی است که دمای آن دست کم به مدت ۳ تا ۴ ماه متوالی، ۲۱ تا ۳۲ درجه سانتی گراد باشد. در صورتیکه گرما بیش از ۴۰ درجه تجاوز نماید جذب آب با مشکل مواجه خواهد شد، حتی در شرایط آبیاری (بدلیل تبخیر خیلی شدید) حاشیه برگ ها سوخته و چنانچه این درجه حرارت بالا در زمان گل دهی رخ دهد میزان تلقیح کاهش چشم گیری می یابد و در نهایت گیاه با افت عملکرد مواجه می گردد (خدابنده، ۱۳۷۵). به طور کلی می توان گفت ذرت

گیاهی است که در طول دوره فعال زندگی خود به گرما نیاز دارد و نسبت به یخبندان حساس است. تحمل ذرت نسبت به نوسان دما در مراحل مختلف رشد متفاوت است. درجه حرارت مطلوب برای جوانه زنی ۱۸ درجه سانتی گراد است و در درجه حرارت کمتر از ۱۲/۸ جوانه زنی بذور ذرت به کندی انجام می‌شود (نور محمدی و همکاران، ۱۳۸۰).

۱-۲-۲-۲ نور

ذرت به عنوان یک گیاه زراعی از گروه گیاهان چهار کرینه (C_4) با وجود درجه حرارت مناسب در دوره رشد، می‌تواند از انرژی خورشیدی استفاده بهتری را در مقایسه با گیاهان سه کرینه (C_3) نماید. کارایی فتوسنتز برگ‌ها در روزهای گرم تابستان بستگی زیادی به میزان شدت نور دارد و با افزایش شدت نور، بازده خالص فتوسنتز کاهش می‌یابد (نور محمدی و همکاران، ۱۳۸۰). همچنین در مناطقی که نور کافی وجود نداشته باشد ذرت نمی‌تواند رشد طبیعی خود را به طور کامل انجام دهد و علاوه بر دیررسی، در ارقامی که جهت تولید دانه یا بذر کاشته شده‌اند به علت کاهش فتوسنتز، بذر کافی تولید نمی‌شود و از کیفیت دانه‌ها نیز کاسته خواهد شد (خدابنده، ۱۳۷۷).

۱-۲-۲-۳ رطوبت

نیازهای رطوبتی این گیاه در دوره‌های اولیه رشد کم بوده، اما تا مرحله گل دهی به سرعت افزایش می‌یابد و قبل از رسیدن و تکامل گیاه مجدداً کاهش می‌یابد. معمولاً در مراحل گسترش برگ‌ها، گرده افشانی و تشکیل دانه که اغلب با ماه‌های گرم تابستان مواجه می‌شود، گیاه ذرت به آب زیادی نیاز دارد. نوبت آبیاری با توجه به نوع خاک و شرایط آب و هوا از ۷ تا ۱۲ روز یکبار متغیر می‌باشد. در دوره گل دهی ذرت به کمبود آب حساس است. کمبود رطوبت خاک در زمان گل دهی سبب پژمرده شدن برگ ذرت برای ۱-۲ روز می‌گردد، از این رو کاهش شدید محصول را به دنبال خواهد داشت. همچنین باید توجه داشت که آبیاری بعد از آن جبران خسارت محصول را نخواهد کرد (میرهادی،

۱۳۸۰). از نظر فیزیولوژیکی، ذرت خصوصیات برتر زیادی نسبت به سایر غلات و گیاهان زراعی دیگر دارا می‌باشد که از همه مهم تر کارایی تعرق آن است میزان آب مورد نیاز ذرت بسته به شرایط محیطی و غذایی بین ۴ تا ۷ و حداکثر ۹ هزار متر مکعب در هکتار می‌باشد (خدابنده، ۱۳۷۷).

۱-۳ فسفر

۱-۳-۱ نقش و اهمیت فسفر در گیاهان زراعی

فسفر از عناصر مورد نیاز گیاه بوده و مهمترین عنصر در تولید محصول به شمار می‌آید. فسفر در ساختار بیوشیمیایی فسفولیپیدها، نوکلئوتیدها و اسیدهای نوکلئیک نقشی ویژه دارد (ملکوتی و همایی، ۱۳۷۳). خصوصیات pH، کاتیون‌های محلول و تبادل (مانند Ca^{+2} ، Mg^{+2} ، Fe^{+2} ، Al^{+3})، نوع ذرات و سطح آنها، اشکال مختلف فسفر در خاک را تعیین می‌کنند (ملکوتی و همایی، ۱۳۸۳). گیاهان از ابتدا مراحل اولیه رشد برای تولید محصول بهینه، نیازمند فسفر کافی هستند (گرت و همکاران، ۲۰۰۵). کمبود فسفر سرعت رشد و نمو را کند کرده و از عملکرد محصول کاهش می‌دهد. اثرات کمبود فسفر سریع قابل تشخیص نیست، بر این اساس مقدار ناکافی فسفر باعث کاهش کمی و کیفی محصول می‌شود. فسفر از جمله عناصری است که در خاک‌ها به آبشویی مقاوم است ولی با این حال کمبود آن در اکثر خاک‌ها باعث کاهش تولیدات کشاورزی می‌گردد (خاوازی و ملکوتی، ۱۳۸۰). زیرا بیش از ۸۰ درصد این عنصر بعد از ورود به خاک، غیرمتحرک شده و با جذب، رسوب و یا تبدیل به شکل آلی از دسترس گیاه خارج می‌شود (تورک و همکاران، ۲۰۰۶، اسچاچتمن و همکاران، ۱۹۹۸). گیاهان زراعی در سال بین ۱۰ تا ۳۰ کیلوگرم در هکتار فسفر جذب می‌کنند. از طرفی فسفر محلول خاک باید دائماً جایگزین شود و اگر مقدار کمی فسفر به صورت پایدار در اختیار گیاهان باشد به خوبی می‌توانند رشد کنند (لطف الهی و همکاران، ۱۳۸۳).

۱-۳-۲ نیاز ذرت به کود فسفر

فسفر نیز یکی از عناصری می‌باشد که گیاه ذرت به آن نیاز فراوانی دارد و حدود ۶۰ تا ۷۰ درصد اسید فسفریک مورد نیاز این گیاه از زمان تلقیح تا زمانی است که دانه‌ها به خوبی تشکیل می‌گردند. جذب فسفر در ذرت در تمام طول دوره رشد همزمان با ذخیره شدن مواد خشک انجام می‌گیرد. حداکثر شدت جذب این عنصر در مراحل اولیه رشد می‌باشد. اگر در زمینی که ذرت کاشته می‌شود عنصر فسفر به اندازه کافی در خاک موجود نباشد، گرده افشانی به تعویق افتاده و به طور ناقص صورت می‌گیرد، رشد گیاه و نیز رسیدن میوه‌ها دوار تأخیر می‌شود و دانه بندی بخصوص در قسمت بالای بلال به خوبی صورت نمی‌گیرد. در اثر کمبود فسفر در ذرت برگ‌ها نازک می‌شوند و رنگ برگ‌ها سبز تیره و گاهی ارغوانی شده، ساقه‌ها نیز به رنگ ارغوانی در آمده و بوته‌ها کوتاه می‌گردند. گل دادن گیاه کمتر صورت می‌گیرد و بالاخره دانه به وجود نمی‌آید (پورصالح، ۱۳۷۳).

۱-۳-۳ اثر کودهای شیمیایی فسفر بر محیط زیست

کودهای شیمیایی نمک‌های مقوی و مخربی هستند که در دراز مدت خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک را تخریب، نفوذپذیری خاک را کاهش، وزن مخصوص ظاهری را افزایش، نفوذ ریشه گیاهان را دچار مشکل و در نهایت کاهش عملکرد را به همراه دارد. استفاده بیش از حد از کودهای شیمیایی ممکن است عناصر غذایی اصلی و فعالیت‌های بیولوژیکی خاک را از بین ببرد و باعث تهی سازی خاک‌هایی با حاصلخیزی طبیعی شود (راجا، ۲۰۰۶). این تغییرات در دراز مدت اثر منفی معنی‌داری بر کیفیت و ظرفیت تولیدی خاک برجا می‌گذارد (بلی و همکاران، ۲۰۰۲). وجود فسفر زیاد در آب‌های جاری سبب اوتریفیکاسیون رودخانه‌ها و دریاچه‌ها می‌شود (گرنٹ و همکاران، ۲۰۰۵).

۴-۱ میکوریزا

۱-۴-۱ کودهای بیولوژیک نقش و اهمیت آنها

متاسفانه در طی دهه‌های گذشته مصرف کودهای شیمیایی نامتعادل بوده و مطابقتی با نیاز واقعی گیاهان نداشته و این مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی منجر به تجمع نیتрат، کادمیم و عناصر سنگین در خاک و ورود این عناصر به چرخه حیات شده که این امر آلودگی محصولات کشاورزی را به دنبال داشته است. در واقع ورود این عناصر، در چرخه حیات اختلال ایجاد می‌کند و انسان را در معرض بیماری‌های خطرناکی قرار می‌دهد (ملکوتی، ۱۳۸۳ و ۱۳۷۹). کودهای بیولوژیک حاوی انواع میکروارگانیسم‌ها هستند که قادرند عناصر غذایی مانند نیتروژن و فسفر از طریق فرایندهای زیستی مانند تثبیت نیتروژن و محلول کردن سنگ‌های فسفاتی از شکل غیرقابل دسترس به فرم دسترس درآورند (وسی، ۲۰۰۳). به طور کلی محصولاتی شامل سلول‌های زنده از گونه‌های زنده از گونه‌های مختلف میکروارگانیسم‌ها که توانایی تبدیل عناصر غذایی از فرم غیر قابل جذب به فرم قابل جذب برای استفاده گیاهان را دارند، بعنوان کودهای بیولوژیک محسوب می‌شوند (وو و همکاران، ۲۰۰۵). زمینه‌های کاربرد کودهای بیولوژیک، شامل استفاده از ارگانیسم‌های خاکری به منظور حذف سموم و سایر آلاینده‌های خاک، تجزیه سریع بازمانده‌های گیاهی، بهبود ساختمان فیزیکی خاک، اصلاح خاک‌های فرسوده، کمک به حفظ سلامت گیاه و موارد دیگری از این قبیل می‌باشد (صالح راستین، ۱۳۷۷).

۲-۴-۱ تعریف و شناخت قارچ میکوریزا

قارچ میکوریزا نوعی رابطه همزیستی با ریشه گیاهان ایجاد می‌کند و به عنوان یک کود بیولوژیک، برای افزایش محصولات کشاورزی دارای اهمیت می‌باشد (میشرا، ۲۰۰۷). همزیستی میکوریزایی از رایج‌ترین و سابقه‌دارترین رابطه همزیستی در سلسله گیاهان است، زیرا ریشه اغلب

گیاهان مرتعی، زراعی و باغی می‌توانند با میکوریزا همزیست شوند (شارما و جوهری، ۲۰۰۲؛ نوربخش و حاج عباسی، ۱۳۷۸). فرانک گیاه‌شناس آلمانی در سال ۱۸۸۵ کلمه‌ی یونانی Mycorrhizae را که به معنی قارچ ریشه است، به کار برد که از دو بخش Myco به معنای قارچ و Rhizae به معنی ریشه تشکیل شده است. قارچ میکوریزا مواد آلی مورد نیاز خود را از محصولات فتوسنتزی گیاه تأمین می‌کند و در مقابل عناصر معدنی توسط قارچ از خاک جذب گردیده و به گیاه منتقل می‌شوند. افزایش رشد گیاه و جذب مواد غذایی در نتیجه تلقیح میکوریزا با ریشه گیاه، نشان دهنده یک رابطه مثبت قوی در جذب عناصر غذایی و بهبود رشد می‌باشد (زیدی و خان، ۲۰۰۶). از این جهت وجود همزیستی میکوریزایی بدلیل فرآیندهای اکولوژیکی، یک عامل مهم در بهبود وضعیت گیاه و کیفیت خاک می‌باشد (پاکووسکی و همکاران، ۱۹۸۶ و التیری، ۱۹۹۴).

۱-۴-۳ طبقه بندی و چگونگی برقراری همزیستی

بر اساس تفاوت‌های مورفولوژیک، انواع میکوریزا به دو گروه کلی اکتومیکوریزا^۱ (بیرونی) و اندومیکوریزا^۲ (داخلی) تفکیک شده‌اند. اکتومیکوریزا اکثراً در ریشه درختان جنگلی و اندومیکوریزا بیشتر در ریشه گیاهان زراعی و مرتعی دیده می‌شوند. میکوریزای آرباسکولار (AM) یکی از مهمترین انواع اندومیکوریزا یا قارچ‌های میکوریزا داخلی است که از فضای بین سلولی و یا از درون سلول‌های اپیدرمی به داخل ریشه راه می‌یابند و در بین سلول‌های پوست ریشه و همین طور در درون آن‌ها توسعه پیدا می‌کنند و اندام‌های اختصاصی به نام آربوسکول^۳ و وزیکول^۴ را در داخل ریشه بوجود می‌آورند. آربوسکول از انشعابات مکرر انتهای هیف در داخل سلول به وجود می‌آید و محل تبادل

۱- Ectomycorrhiza

۲- Endomycorrhiza

۳- Arbuscule

۴- Vesicle

متابولیت‌ها بین سلول گیاهی و قارچ می‌باشد. وزیکول که در همه گونه‌ها دیده نمی‌شود، نیز از تورم انتهای هیف در بین و یا در درون سلول‌های پوست ریشه تشکیل می‌شود و نقش اندام ذخیره‌ای را به عهده دارد (هایمن، ۱۹۸۳). تلقیح ریشه گیاهان توسط قارچ AM می‌تواند از سه منبع اصلی تلقیح در خاک بوجود آید: (۱) اسپور (۲) تکه‌های ریشه‌های تلقیح یافته (۳) هیف‌هایی که پروپاگول نامیده می‌شوند. در نوع داخلی (اندو) ریشه قارچ به داخل سلول میزبان نفوذ می‌کند ولی وارد پروتوپلاسم سلول نمی‌شود. در ریشه‌های دارای همزیستی در منطقه کورتکس ریشه ساختار بسیار منشعب آربوسکول دیده می‌شود. آربوسکول نقش افزایش سطح تماس ریشه با سلول به میزان ۲ تا ۳ برابر عهده‌دار است (احمدی و همکاران، ۱۳۸۳).

۱-۴-۴ عوامل موثر بر همزیستی میکوریزا

از شاخص‌های مهم فعالیت قارچ‌های میکوریزا، میزان کلونیزاسیون سیستم ریشه‌ای توسط این قارچ‌ها می‌باشد که به وسیله عوامل مختلفی از جمله خصوصیات ظاهری و ساختمانی سیستم ریشه، مقدار و کیفیت ترشحات ریشه، مصرف کودهای شیمیایی فسفر و غلظت‌های بالای عناصر سنگین تحت تأثیر قرار می‌گیرد (الکراکی و کلارک، ۱۹۹۸؛ گاویتو و میلر، ۱۹۹۸). در خاک‌های زراعی، کود دهی معمولاً باعث کاهش کلونیزاسیون ریشه می‌گردد، به عنوان مثال مصرف کودهای شیمیایی فسفر (فی و همکاران، ۱۹۹۶)، نیتروژن (الکساندر و فییرلی، ۱۹۸۳) سبب کاهش میزان کلونیزاسیون ریشه شده است. به طور معمول، افزایش کودهای فسفر، کربوهیدرات‌های محلول در ترشحات ریشه را کاهش می‌دهد (گراهام و همکاران، ۱۹۸۱). برخی از بررسی‌های اولیه مؤید آن است که گونه‌های مختلف قارچ AM نسبت به کودهای شیمیایی، واکنش‌های متفاوتی از خود نشان می‌دهند (هایمن، ۱۹۷۵). نتایج سیلویا و شنگ (۱۹۸۳) نشان داد گونه قارچ *G.intraradices* به کودهای شیمیایی غیر

حساس هستند. برخی عملیات رایج مانند استفاده بی رویه از کودهای شیمیایی، سموم قارچ کش و آفت کش تاثیر منفی بر بقا و گسترش همزیستی این قارچ دارند (موبسر و همکاران، ۲۰۱۲).

۵-۱ زئولیت

۱-۵-۱ اهمیت اصلاح کننده‌های معدنی خاک

افزایش جمعیت سبب فشار بیش از حد بر روی منابع زمین شده است. این مساله منجر به کاهش کیفیت و کمیت منابع پایه خاک شده که کاهش امنیت تولید غذا را در جهان در پی دارد. از پیامدهای اصلی کاهش تولید غلات تخلیه ذخایر مواد مغذی خاک، کاهش محتوی کربن آلی خاک، آلودگی به فلزات سنگین و ... می‌باشد. اکثر خاک‌های کشاورزی یا به طور ذاتی از حاصلخیزی پایینی برخوردار هستند و یا حاصلخیزی آنها با تخلیه مداوم مواد غذایی خاک بدون جایگزینی کافی و صحیح، پایین آمده است. کارایی استفاده از نهاده‌ها به ویژه آب و کودهای شیمیایی در این خاک‌ها پایین است. از این رو استفاده از اصلاح کننده های معدنی خاک مانند زئولیت در مدیریت حاصلخیزی خاک اهمیت ویژه‌ای دارد.

۱-۵-۲ منشاء و تاریخچه زئولیت

شناسایی زئولیت به عنوان یک ماده معدنی به سال ۱۷۵۶ بر می گردد، هنگامی که یک معدن شناس سوئدی به نام الکس فردریک کرونستد (Alex Fredrik Cronstedt)، برخی از بلورها این کانی را از معدن مس در سوئد جمع آوری کرد. او دریافت که پس از حرارت دادن سریع این کانی مقدار زیادی بخار آب که جذب مواد تشکیل دهنده آن بودند، تولید می‌شود. بر این اساس آن را زئولیت (در زبان یونانی به معنی سنگ جوش) نامید، دلیل نام گذاری آن این بود که زمانی حرارت ۲۰۰ درجه

سانتی گراد به آن می‌رسد تولید کف می‌کند. از نظر منشاء، زئولیت‌ها در محیط‌های آتشفشانی (تحت شرایط هیدروترمال) در بستر دریاچه‌های نمکی و نیز در لایه های رسوبی یافت می‌شوند (بالدار و ویتینگ ۱۹۶۸). بیشتر تحقیقات اولیه در مورد استفاده از زئولیت در کشاورزی در ژاپن دهه ۱۹۶۰ انجام گرفت. بررسی مقالات نشان می‌دهد که در طی سالیان گذشته کشاورزان ژاپنی از زئولیت برای کنترل مقدار رطوبت و افزایش pH خاک‌های اسیدی، استفاده می‌کردند. زئولیت معدنی یک ماده کریستاله با ساختار سه بعدی مشخص از چهار وجهی‌های بی پایان است که ساختار تتراهیدرال به هم مرتبط آن از اتم‌های اکسیژنی که در اطراف یک کاتیون قرار گرفته‌اند، تشکیل شده است (کومبس و همکاران، ۱۹۹۷). این چهارچوب به شکل حفرات باز در غالب کانال‌ها و محبسه است. زئولیت‌ها مواد متخلخلی هستند که با ساختمان کریستالی خود مانند غربال مولکولی عمل کرده و به دلیل داشتن کانال‌های باز در شبکه خود، اجازه عبور بعضی از یون‌ها را داده و مسیر عبور بعضی از یون‌های دیگر را مسدود می‌کنند (مامپتون ۱۹۹۹).

۱-۵-۳ موارد کاربرد زئولیت

زئولیت‌ها معمولاً به دو دسته طبیعی و مصنوعی تقسیم می‌شوند. از تفاوت مهم بین زئولیت طبیعی و مصنوعی در این است که زئولیت طبیعی می‌تواند به همراه خود ناخالصی‌هایی داشته باشد ولی نوع مصنوعی آن با درجه خلوص بالا برای کاربردهای مشخص طراحی و تولید می‌شود. نوع مصنوعی آن در صنعت کاربرد دارد ولی نوع طبیعی به عنوان کود یا اصلاح کننده‌های خاک در کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد. اگر چه انواع زئولیت مصنوعی بنا به دلایلی از جمله درجه خلوص بالا، اندازه حفرات قابل تغییر و تنظیم به کمک شرایط ویژه سنتز، برانواع طبیعی برتری دارند ولی بدلیل کشف منابع و ذخایر عظیم و نسبتاً خالص انواع گونه‌های طبیعی در بسیاری نقاط جهان خصوصاً ایران، بدلیل ارزانی و دسترسی راحت به آنها، نظر بسیاری از پژوهشگران رشته‌های مختلف

علوم و صنایع گوناگون را به خود جلب کرده است (کاظمیان و فقیهیان، ۱۳۷۷). از زئولیت ها در صنایع مختلف از قبیل صنایع نفت و پتروشیمی بعنوان کاتالیزور در جداسازی و تخلیص گازها به کمک پدیده غربالی مولکولی، انرژی خورشیدی، صنایع آتش نشانی، صنایع نسوز و سرامیک، صنایع شوینده بعنوان جایگزین فسفات ها، در کشاورزی بعنوان اصلاح کننده و حاصلخیزکننده و همچنین افزایش رطوبت خاک، در دامپروری بدلیل جذب گازهای موجود در رفع سوء هاضمه حیوانات و کمک به هضم راحت تر، در تصفیه و پاکسازی فاضلاب های شهری صنعتی و هسته ای استفاده شده است (کاظمیان و فقیهیان، ۱۳۷۷).

۱-۵-۴ اهمیت کاربرد زئولیت در کشاورزی

حفاظت از خاک و بهبود آن در بقای اکوسیستم طبیعی، نقش کلیدی دارد زیرا خاک به عنوان یک سیستم زنده محور اصلی در کشاورزی پایدار می باشد. از جمله راه کارهای جدید برای برطرف کردن اثرات مخرب و افزایش تاثیر گذاری و جلوگیری از هدرروی کودهای شیمیایی، به کارگیری ترکیبات طبیعی مانند کانی های زئولیت به عنوان اصلاح کننده های معدنی در مزارع کشاورزی می باشد (پلات و همکاران، ۲۰۰۴). زئولیت بر خلاف سایر اصلاح کنندگان سنتی مانند آهک در خاک شسته نمی شود و شرایط را برای نگهداری مواد غذایی و رطوبت در خاک بهبود می بخشد (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۹). زئولیت دارای عناصری نظیر پتاسیم، کلسیم، سدیم، سیلیسیم، آلومینیوم، منیزیم، آهن و فسفر است که می تواند به عنوان بهترین مکمل غذایی و کود در کشاورزی مورد استفاده قرار گیرد و در بهره برداری و تولید محصولات کشاورزی نقش مهمی ایفا نماید (شیرانی راد و همکاران، ۱۳۹۰). از ویژگی های منحصر به فرد زئولیت ها که می تواند موجب اثر گذاری بیشتر کودها شود، جذب و آزادسازی انتخابی و کنترل شده مواد غذایی می باشد. از این جهت استفاده از زئولیت ها مصرف بی رویه کودهای شیمیایی را کاهش می دهد (کاظمیان و باقری، ۱۳۸۶). کاربرد زئولیت می تواند قابلیت تبادل کاتیونی خاک را افزایش دهد (آلن و همکاران، ۱۹۹۵؛ خاشعی سیوکی و همکاران، ۱۳۸۶). بار

منفی موجود در ساختمان زئولیت‌ها ناشی از حضور آلومینیوم باعث ایجاد پدیده تبادل کاتیونی با سایر کاتیون‌های موجود در محیط می‌شود، از این جهت کاتیون‌ها مولکول‌های آب و به راحتی می‌توانند در داخل شبکه آن حرکت کرده بدون اینکه ساختار شبکه دچار تغییر شود (شاو و اندرس، ۲۰۰۱). دسوتر و پیئرزنسکی (۲۰۰۵) بیان کردند هنگامی که زئولیت به عنوان اصلاح کننده خاک به کار می‌رود می‌تواند CEC خاک را افزایش دهد. کاربرد زئولیت به منظور اصلاح کننده خاک یک راه موثر برای بهبود وضعیت خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشد (یاسودا، ۱۹۹۸). استفاده از زئولیت طبیعی دسترسی نیتروژن، فسفر، کلسیم و منیزیم محیط کشت را افزایش می‌دهد (عبدی و همکاران، ۲۰۰۶). ثابت شده است که زئولیت پتانسیل بالایی جهت استفاده به عنوان کود نیتروژنه دارد همچنین باعث افزایش کارایی کودها می‌شود و مشکلات زیست محیطی را کاهش می‌دهد (میلان و همکاران، ۲۰۰۸). زمانی که زئولیت به صورت مخلوط با ترکیبات حاوی نیتروژن، فسفر و پتاسیم به کار می‌رود، آهسته در دسترس قرار گرفتن این ترکیبات را در باغات و زراعت‌های گسترده، افزایش می‌دهد (دایری، ۱۹۹۸). همچنین کاربرد زئولیت به منظور اصلاح کننده خاک یک راه موثر برای بهبود وضعیت خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشد (یاسودا، ۱۹۹۸). تا کنون بیش از ۴۸ گونه زئولیت طبیعی شناخته شده است، که کلینوپتیلولایت از فراوان ترین آنها در خاک و رسوبات می‌باشد (ابادزیک و رایان، ۲۰۰۱). ذخایر گسترده ای از کلینوپتیلولایت در غرب ایالات متحده، بلغارستان، مجارستان، ژاپن، استرالیا و ایران یافت می‌شود (مومپتون، ۱۹۹۹).

۲ فصل دوم

بررسی منابع

۲-۱ تاثیر کود فسفر بر خصوصیات فیزیولوژیک گیاهان زراعی

فسفر نقش اساسی در تغذیه همه گیاهان دارد و در بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در موجودات زنده شرکت دارد (وانس و همکاران، ۲۰۰۳). فسفر بعد از نیتروژن مهمترین عنصر مورد نیاز گیاهان و ریزجاندانان می باشد و در کلیه فرآیندهای بیوشیمیایی، ترکیبات انرژی زا و ساخت غشاءهای سلول و انتقال انرژی دخالت دارد. فسفر که از درشت مغذی های کلیدی مورد نیاز برای رشد و متابولیسم گیاه است بخاطر تشکیل استرفسفات های غنی از انرژی نقش مهمی در انتقال انرژی در گیاه بر عهده دارد. این عنصر جزء مهمی از ماکرو مولکول هایی مانند نوکلئوتیدها، فسفولیپیدها و فسفات های قندی است (مارشور، ۱۹۹۵؛ یاهیا و ال آزاوی، ۱۹۸۹). افزایش فسفر قابل دسترس خاک، باعث مقاومت گیاه در برابر ورس، زودرسی محصول، کیفیت بالاتر، افزایش سرعت نمو گیاهی از سبز شدن تا آغاز گلدهی و گرده افشانی شده، در نتیجه عملکرد افزایش می یابد (ترک و تاواها، ۲۰۰۲؛ حسین زاده، ۱۳۸۳). کمبود فسفر یکی از محدودیت های عمده در بسیاری از خاک ها برای رشد لگوم ها، سطوح ناکافی فسفر در خاک تثبیت نیتروژن را محدود می کند (صالح و همکاران، ۱۹۸۶). همچنین کمبود فسفر در کیفیت میوه و دانه اثر سوء بر جای می گذارد (ملکوتی و همایی، ۱۳۸۳؛ ملکوتی، ۱۳۷۹). علی زاده اسکویی (۱۳۸۰) در یک آزمایش گلخانه ای بیان کرد کاربرد سه سطح فسفر شامل (۴۰ mg/kg و ۲۰ و ۰) در گیاه گوجه فرنگی باعث افزایش معنی دار وزن خشک بخش هوایی و غلظت منگنز در اندام هوایی شده است.

۲-۲ تاثیر کود فسفر بر خصوصیات رشدی و عملکرد گیاه

یکی از فواید کود فسفر این است که باعث می شود گیاهان ریشه های بیشتر و عمیق تری تولید کنند و فسفر با دخالت در طول، ظرافت و تراکم ریشه به طور غیر مستقیم موجب افزایش عملکرد می گردد (شارما، ۲۰۰۲). کولومب و همکاران (۲۰۰۰) بیان کردند شاخص سطح برگ و فتوسنتز گیاه

نیز با افزایش میزان مصرف فسفر افزایش می‌یابد و در نهایت موجب افزایش عملکرد می‌گردد. ارکوان و همکاران (۲۰۱۰) نیز بیان کردند در گیاه شبدر کود فسفر به طور معنی‌داری عملکرد ماده خشک را تغییر داده بود. تحقیق دیگری در گیاه ذرت با افزایش سطوح مختلف کود فسفر (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) غلظت فسفر در اندام‌های هوایی (به میزان ۲۵/۶ درصد) و عملکرد ماده خشک (به میزان ۱۷/۷ درصد) بهبود یافت (امیرآبادی و همکاران، ۱۳۸۸). رفیعی و همکاران (۱۳۸۳) در پژوهش خود روی گیاه ذرت بیان کردند افزایش کود فسفر (۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفات آمونیم) بر افزایش غلظت فسفر دانه تأثیر معنی‌داری داشت. همچنین در گیاه گندم در دو آزمایش گلخانه‌ای و مزرعه‌ای با افزایش سطح فسفر عملکرد دانه، وزن هزار دانه، ارتفاع بوته و عملکرد بیولوژیک گیاه به طور معنی‌داری، افزایش یافت (گنجعلی و همکاران، ۱۳۸۸). با کاربرد سطوح مختلف فسفر (سوپرفسفات تریپل) در جنوب غربی استرالیا عملکرد دانه باقلا ۵۰ تا ۱۰۰ درصد افزایش پیدا کرد و همچنین با اضافه کردن این عنصر، غلظت آن در دانه افزایش داد (بولاند و همکاران، ۲۰۰۰).

۳-۲ اثر همزیستی قارچ میکوریزا بر جذب فسفر

فسفر عنصری فوق‌العاده کم تحرک در خاک است. حتی در صورتی که فسفر به شکل محلول به خاک اضافه شود به سرعت در اشکال فسفات کلسیم یا دیگر اشکال تثبیت شده و به صورت غیر قابل دسترس در می‌آید. میکوریزا نقش مهمی در تبدیل فسفر غیر قابل دسترس و تأمین فسفر گیاه دارد (جونر و همکاران، ۲۰۰۰؛ ریچاردسون و همکاران، ۲۰۰۷؛ ترک و همکاران، ۲۰۰۶). افزایش جذب فسفر به وسیله میکوریزا به دلیل افزایش فسفر قابل دسترس در خاک می‌باشد (بولان، ۱۹۹۱). میکوریزا عنصر فسفر را از طریق افزایش سطح جذب و با کاهش ناحیه تخلیه از فسفر به وسیله هیف‌های خارجی، در اختیار گیاه قرار می‌دهد (پیترو و مسیکوت، ۲۰۰۴؛ شنوی و کلگودی، ۲۰۰۵).

میکوریزا آربوسکولار ریشه‌های خارجی خود را از سطح ریشه و منطقه تهی از فسفر به مناطق دورتر گسترده می‌دهد و بدین ترتیب حجم بیشتری از خاک را نسبت به ریشه‌های غیرمیکوریزایی در اختیار ریشه گیاه قرار می‌دهد (شارما و جوهری، ۲۰۰۲). قطر کم هیف‌های قارچ نسبت به تارهای کشنده باعث می‌شود در منافذ ریزتری از خاک نفوذ کنند (جکوبسن و همکاران، ۲۰۰۵). بنابراین در گیاهان میکوریزایی جذب بیشتر فسفر به دلیل گسترش هیف‌ها و توانایی رقابت آنها برای جذب این عنصر می‌باشد (تیبت و سندرس، ۲۰۰۲؛ کاواگنرو و همکاران، ۲۰۰۵). میکوریزا می‌تواند حلالیت و قابلیت دسترسی فسفر را به وسیله رهایی اسیدهای آلی و آنزیم فسفاتاز انجام دهد (شنوی و کلگودی، ۲۰۰۵؛ کاید و کبیر، ۲۰۰۰؛ جونر و جوهانسن، ۲۰۰۰؛ طرفدار و مارشن، ۱۹۹۴). فسفاتاز تولید شده توسط قارچ‌های میکوریزا آرباسکولار نقش مهمی در تبدیل فسفر نامحلول به فسفر محلول دارد و پس از آن فسفر به آسانی توسط گیاه جذب می‌گردد (حسن پور و همکاران، ۲۰۱۲). همچنین هیف‌های قارچ میکوریزا موادی مانند اسید سیتریک ترشح می‌کنند که قادرند فسفر را از منابع غیر آلی به شکل قابل دسترس درآورند (تاواریا و همکاران، ۲۰۰۶). اثر میکوریزا بر روی خصوصیات رایزوسفر مانند تغییر pH و الگوی سیستم ریشه‌ای (لایورت و همکاران، ۱۹۹۰)، از مکانیسم‌های غیر مستقیم جهت فراهمی فسفر برای گیاه میزبان می‌باشد. به طور کلی توانایی میکوریزا برای افزایش حلالیت فسفر از منابع با حلالیت کم، بسیار مهم می‌باشد. همچنین استفاده از میکوریزا در سیستم کشاورزی ارگانیک و پایدار بسیار حائز اهمیت است. ماکل (۲۰۰۳) بیان کرد گیاهان میکوریزایی جذب فسفر بیشتری از سطح ریشه در اراضی ارگانیک نسبت به اراضی کشت رایج داشتند.

۴-۲ اثر همزیستی قارچ میکوریزا بر جذب آب، عناصر غذایی و رشد گیاه

میزبان

همزیستی قارچ میکوریزا با ریشه گیاهان سبب تسهیل در جذب فسفر، نیتروژن و کلسیم، افزایش رشد ریشه‌های موئین، افزایش جذب آب و کارایی بیشتر استفاده از آب، تشدید فعالیت تثبیت نیتروژن به دلیل بهبود تغذیه گیاهان میزبان، افزایش در تولید هورمون‌های گیاهی و بهبود خصوصیات فیزیکی خاک می‌شود (هارش و همکاران، ۲۰۰۶). عامریان و همکاران (۲۰۰۱) در پژوهش خود بیان کردند تاثیر همزیستی میکوریز در شرایط استرس خشکی نشان داد این قارچ‌ها تاثیر مثبتی در روابط آبی و حتی به تاخیر انداختن نقطه پژمردگی در گیاهان دارند. همچنین قارچ میکوریزا جذب عناصر دیگری مانند سولفور، بور، پتاسیم، منیزیم، سدیم، روی، مس، منگنز، آهن، آلومنیوم و سیلیسیم را نیز افزایش می‌دهد (کلارک و زتو، ۲۰۰۰). ارتاس و هریس (۱۹۹۶) بیان کردند که استفاده از قارچ میکوریز سرعت رشد گیاه را افزایش داده و بر تخصیص و انتقال عناصر غذایی بین ریشه و ساقه اثر گذاشته، به طوری که با افزایش جذب عناصر غذایی و انتقال آنها وزن خشک اندام هوایی افزایش یافت. افزایش عملکرد ممکن است از طریق نفوذ میسلیوم قارچ در خاک و افزایش سطح ریشه باشد، در نتیجه افزایش سطح دسترسی به حجم بیشتری از خاک و مواد غذایی صورت می‌گیرد (موباسر و همکاران، ۲۰۱۲). الکرکی (۲۰۰۶) نیز گزارش کرد که تلقیح بذر در گوجه فرنگی با گلوموس موسه باعث افزایش ماده‌ی خشک ریشه، اندام هوایی و همچنین غلظت فسفر، پتاسیم، آهن، روی و مس شد. در محیط‌هایی که مواد معدنی مورد نیاز کم است، قارچ میکوریزا بسیار اهمیت دارد و به بقای گیاه کمک می‌کند (کلارک و زتو، ۲۰۰۰). سنزار و همکاران (۲۰۰۶) اثر قارچ گلوموس اینترادیچس را بر نوعی عدس بررسی کردند نتایج تحقیقات آنها نشان داد که قارچ میکوریزا رشد گیاه را بهبود بخشیده بود. در گیاه نخود با تلقیح گلوموس موسه جذب فسفر، تعداد گره‌ها، وزن خشک ریشه، وزن خشک اندام هوایی و فعالیت نیتروژناز افزایش یافت (گارگ و چندل، ۲۰۱۱). همچنین میکوریزا از

طریق افزایش جذب آب، مواد معدنی و تولید هورمون‌های رشد، بیوماس را افزایش می‌دهد. تولید هورمون‌های رشد مانند اکسین، سیتوکنین و جیبرلین به وسیله این قارچ‌ها اثبات شده است (اسویفت، ۲۰۰۴). علیزاده و همکاران (۱۳۸۷) گزارش کردند بیشترین عملکرد دانه در گیاه ذرت با تلقیح مایکوریزا بدست آمد و بین تیمار کاربرد میکوریزا و عدم کاربرد تفاوت معنی داری مشاهده شد. در پژوهش دیگری تاثیر میکوریزا در گیاه ذرت بر صفات تعداد دانه در ردیف، تعداد دانه در بلال، وزن بلال و عملکرد دانه در سطح احتمال ۵ درصد، نسبت به شرایط مشابه و بدون مصرف میکوریزا افزایش معنی داری گزارش شد (ساجدی و مدنی، ۱۳۸۷). موباسر و همکاران (۲۰۱۲) در پژوهش خود بیان کردند افزایش پروتئین دانه ذرت توسط قارچ میکوریزا در سطح احتمال یک درصد معنی دار شده است.

۲-۵ تاثیر همزیستی قارچ میکوریزا بر بهبود خواص خاک و گیاه

یکی از مهمترین آثار کاربرد قارچ‌های میکوریزا خصوصاً در خاک‌هایی که حاصلخیزی آنها پایین است، افزایش عملکرد گیاهان زراعی می‌باشد. از این جهت می‌توان گفت افزایش عملکرد به دلیل افزایش سطح جذب ریشه‌ها از طریق نفوذ مسیلیوم قارچ در خاک و به دنبال آن دسترسی گیاه زراعی به حجم بیشتری از خاک می‌باشد (کارلینگ و برون، ۱۹۸۲). افزایش رشد گیاه بوسیله همزیستی با قارچ میکوریزا به مقدار زیادی ناشی از افزایش جذب عناصر غذایی از خاک است. اغلب گزارش شده که نرخ جذب بوسیله ریشه گیاهانی که با میکوریزا همزیست هستند از ریشه‌های غیر میکوریزایی سریعتر است (بولان، ۱۹۹۱). در یک بررسی روی گیاه گندم رقم سیستان در نتیجه تلقیح قارچ میکوریزا گونه *Glomus etunicatum* وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، وزن هزار دانه و عملکرد دانه افزایش یافت (ثوابی و همکاران، ۱۳۸۹).

گونه‌های مختلف قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار در افزایش حاصلخیزی خاک توانایی بسیار متفاوت دارند، عموماً این تفاوت‌ها ناشی از اختلاف در توانایی این قارچ‌ها در بوجود آوردن اندام‌های

درون و برون ریشه‌ای گیاه میزبان است (ابوت و مورفی ۲۰۰۷). قارچ‌های میکوریزا خصوصیات بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی ویژه‌ای دارند که آنها را از ریشه‌ها متفاوت می‌سازد. ریشه‌های قارچ میکوریزا می‌توانند ریزوسفر را از طریق افزایش جریان پروتون اسیدی کنند (ریگو و میگنارد، ۱۹۹۴). بدین جهت می‌تواند فسفر را بویژه در خاک‌های خنثی یا آهکی، متحرک و قابل دسترس نماید (باگو و آزکون-آگولار، ۱۹۹۷). بعلاوه میکوریزا ساختمان خاک را بوسیله‌ی پوشاندن ماده گلیکوپروتئینی لزجی به نام گلومالین که یک نقش کلیدی در تشکیل خاکدانه‌ها و خلق حفرات بزرگ برای رشد بهتر هیف‌ها دارد، بهبود می‌دهد. این حفرات اجازه می‌دهند که نفوذ آب و هوا به راحتی صورت بگیرد و همچنین به جلوگیری از فرسایش خاک کمک می‌کنند (پیوتروسکی و همکاران، ۲۰۰۴). همچنین ریشه‌های قارچ میکوریزا با استفاده از یک پوشش پلی‌ساکاریدی میکرودانه‌ها را بطور فیزیکی گرفتار نموده و آنها را محکم به یکدیگر می‌چسباند (جفریز و بارآ، ۲۰۰۱؛ جفریز و همکاران، ۲۰۰۳). میزان پایداری خاکدانه‌ها، توانایی خاک در حمایت از سرعت نفوذ خوب آب، زراعت خوب و هوا دهی کافی را برای رشد گیاه فراهم می‌کند (امرسون و همکاران، ۱۹۸۶؛ کمپر و روزمن، ۱۹۸۶).

۲-۶ تاثیر زئولیت بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

زئولیت‌ها خانواده بزرگی از کانی‌های آلومینوسیلیکاته را شامل می‌شوند که خاصیت حاصلخیزکنندگی خاک، ذخیره سازی و نگهداری آب را دارا می‌باشند (کاظمی، ۱۳۸۳). استفاده از زئولیت سبب افزایش رطوبت اشباع و آب قابل دسترس می‌شود (حق شناس و همکاران، ۱۳۸۹). زئولیت طبیعی جهت بهبود محیط فیزیکی خاک کاربرد گسترده‌ای دارد بخصوص در خاک‌های شنی و رسی که از نظر مواد غذایی فقیر و ضعیف هستند (عبدی و همکاران، ۲۰۰۶). زئولیت می‌تواند بر نشست سطحی، رطوبت و وزن مخصوص ظاهری خاک اثر معنی داری بگذارد (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۹). بانسیوال و همکاران (۲۰۰۶) بیان کردند زئولیت تهویه خاک را بهبود می‌بخشد. یکی از

تأثیرات زئولیت در خاک این است که باعث کاهش خسارات نمک به گیاهان می‌شود، بدین ترتیب که کلسیم موجود در زئولیت با سدیم جایگزین شده و تشکیل CaCl_2 می‌دهد. زئولیت می‌تواند پتاسیم قابل تبادل خاک افزایش دهد (اکاترینا و کریستوس، ۲۰۰۲). همچنین سبب کاهش pH خاک می‌گردد (خاشعی سیوکی و همکاران، ۱۳۸۶؛ اکاترینا و کریستوس، ۲۰۰۲). کاهش pH می‌تواند به دلیل نیتریفیکاسیون باشد که طی آن آمونیوم زئولیت تبدیل به نترات می‌شوند، در نتیجه این عمل حلالیت بعضی از عناصر (مانند فسفر و عناصر کم مصرف مانند آهن، مس و روی) تغییر کرده و سبب افزایش جذب آنها می‌شود (بارباریک و همکاران، ۱۹۹۰).

۷-۲ تأثیر زئولیت بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاهان زراعی

استفاده از اصلاح کننده‌های خاک مانند زئولیت که دارای عناصر غذایی مورد نیاز گیاه بوده و یا شرایط را برای جذب عناصر غذایی موجود در خاک برای گیاه فراهم می‌کنند می‌توانند در حاصلخیزی خاک نقش مهمی ایفا کند (بحرینی طوحان و همکاران، ۱۳۸۷). بنابراین استفاده از زئولیت در اراضی کشاورزی می‌تواند موجب بهبود رشد رویشی گیاه شود و در نهایت عملکرد را افزایش دهد. زئولیت‌ها دارای قابلیت فراوان در جذب و ذخیره سازی آب می‌باشند که این موضوع سبب می‌شود آب مصرفی گیاه ذخیره شود تا در هنگام نیاز، آب ذخیره شده در زئولیت مورد استفاده قرار گیرد و به دلیل ظرفیت تبادل کاتیونی بالا و قرار گرفتن بعضی کاتیون‌ها از جمله آمونیوم در شبکه خود، علاوه بر نقش اصلاح کنندگی در خاک می‌توانند نقش در تغذیه گیاه نقش داشته و باعث بهبود رشد گیاه به خصوص در اراضی با قابلیت تبادل کاتیونی پایین شوند (هارب و محمود، ۲۰۰۹). بر اساس پژوهش‌های مختلف کاربرد زئولیت تأثیر مثبت متعددی بر روی رشد گیاهان دارد به طوری که در محصول گندم ۱۳ - ۱۵٪، در بادمجان ۱۹ - ۵۵٪ و در هویج ۶۸٪ سبب افزایش عملکرد شده است (حسینی ابری و همکاران، ۱۳۸۶). همچنین افزایش عملکرد آفتابگردان در پی کاربرد زئولیت گزارش شده است (غلامحسینی و همکاران، ۲۰۰۹). پرز و همکاران (۲۰۰۸)، در پژوهشی بر روی گیاه زیتون بیان کردند

زئولیت تاثیر مثبتی در کاهش آبسویی نیترات، افزایش قدرت نگهداری آب در خاک، راندمان بالای مصرف آب و کاهش نیاز کوددهی دارد. از زئولیت در تحقیقی بر روی گیاه گندم استفاده شد که منجر به افزایش باروری کل محصول گندم (ساقه خشک و بذر) شده است (تسادیلاس و همکاران، ۱۹۹۳). کاربرد ۱۵ تن زئولیت کیلنوپتیلولایت در هکتار در اراضی با خاک لوم شنی سبب افزایش عملکرد جو، سیب زمینی، شبدر و گندم شد (مازور و همکاران، ۱۹۸۶). بزور و همکاران (۱۹۹۴) افزایش تولید نی شکر را در نتیجه کاربرد ۶ تن در هکتار زئولیت در خاک اسیدی مشاهده کردند. مصرف زئولیت در برنج باعث افزایش معنی داری در میزان عملکرد شد (اوم و همکاران، ۱۹۹۸). همچنین آلن و مینگ (۱۹۹۵) بیان کردند که استفاده از زئولیت در خاک‌های با بافت متوسط باعث افزایش رشد گیاه تربچه گردیده است. توران (۱۹۹۶) در بررسی مقادیر مختلف زئولیت بر خصوصیات کمی و کیفی یونجه در شرایط گلخانه ای مورد بررسی قرار داد و به این نتیجه رسید که ارتفاع و وزن خشک کل گیاه به طور معنی داری تحت تاثیر مصرف زئولیت افزایش یافت. بوریئسی و همکاران (۱۹۸۳-۱۹۸۴) در تحقیقی گزارش کردند که اضافه کردن زئولیت به خاک باعث افزایش جوانه زنی بذرهای اسفناج در مقایسه با شاهد می‌شود و همچنین عملکرد گوجه فرنگی را تا ۵۰ درصد نسبت به شاهد افزایش می‌دهد. تاثیر کاربرد زئولیت بر عملکرد دانه برنج در سطح یک درصد و بر عملکرد کاه و کلش در سطح ۵ درصد معنی دار شد (کاووسی و رحیمی، ۱۳۸۲). رنجبر و همکاران (۱۳۸۳) پژوهشی در مرکز تحقیقات توتون رشت، گزارش دادند که اثر زئولیت فقط روی ارتفاع بوته، وزن خشک و قیمت محصول، درصد قند و درصد نیکوتین در سطح ۱٪ معنی دار است. در پژوهشی بر علوفه کلزا پاییزه، اثر زئولیت بر عملکرد ماده خشک، وزن خشک برگ و ساقه و شاخص سطح برگ معنی دار بود (غلامحسینی و همکاران، ۱۳۸۷). کاربرد مقادیر مختلف زئولیت طبیعی بر رشد گیاه شنبلیله نشان داد که با مصرف ۴۰ گرم زئولیت در هر کیلوگرم خاک، بیشترین افزایش در تعداد، طول، قطر، وزن تر و وزن خشک ریشه و همچنین سطح برگ، وزن تر و وزن خشک اندام‌های مشاهده شده است (بانی

نسب و همکاران، ۱۳۸۶). نتایج پژوهشی در تولید گل نرگس شیراز نشان داد کاربرد مقادیر مختلف زئولیت به صورت مخلوط با خاک سبب افزایش سطح برگ، وزن تر و خشک ریشه، میزان کلرفیل، طول، قطر، وزن تر و خشک ساقه گل دهنده و طول گلچه شد (خوشخوی و همکاران، ۱۳۸۶). به طور کلی استفاده از زئولیت کلینوپتیلولایت به عنوان اصلاح کننده خاک در گیاهان علوفه‌ای و مرتعی، غلات، سبزیجات و درختان می‌تواند به طور معنی داری عملکرد تا بیش از ۶۳٪ افزایش دهد (ابراهیم و همکاران، ۲۰۰۱).

۳ فصل سوم

مواد و روش‌ها

۱-۳ زمان، موقعیت جغرافیایی و مشخصات آب و هوایی محل اجرای آزمایش

این تحقیق در سال زراعی ۱۳۹۲-۱۳۹۱ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهرود واقع در یک کیلومتری شهر بسطام به اجرا درآمد. از لحاظ موقعیت جغرافیایی شهرستان شاهرود در طول شمالی ۵۴ درجه و ۵۷ دقیقه شرقی و عرض ۳۶ درجه و ۲۵ دقیقه شمالی دارای اقلیم سرد و خشک می‌باشد. ارتفاع شهرستان شاهرود از سطح دریا ۱۳۶۷ متر و ارتفاع محل اجرای آزمایش ۱۳۴۹ متر است. براساس اطلاعات ثبت شده در ایستگاه هواشناسی شهرستان شاهرود، میانگین سالانه دما در این منطقه ۱۴/۴ درجه سانتی‌گراد، میانگین بارندگی ۱۶۰ میلی‌متر در سال و رطوبت نسبی ۶۳ درصد می‌باشد. بارندگی‌ها عمدتاً در فصل پاییز و بهار رخ می‌دهد.

۲-۳ خصوصیات خاک مزرعه

پیش از اجرای نقشه آزمایش و انجام عملیات آماده‌سازی به منظور تعیین بافت و وضعیت عناصر غذایی خاک (N-P-K) از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری در چند نقطه از خاک محل کشت نمونه‌برداری انجام شد. از هر نقطه حدود یک کیلوگرم خاک برداشته و پس از اختلاط نمونه‌ها نهایتاً یک نمونه یک کیلوگرمی که دربرگیرنده کل نمونه‌ها بود به آزمایشگاه منتقل شد. نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در (جدول ۳-۱) نمایان است.

۳-۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

پارامتر	مقدار	واحد
درصد اشباع	۳۰/۶	درصد
هدایت الکتریکی	۱/۲	دسی زیمنس بر متر
اسیدیته کل اشباع (pH of paste)	۷/۸۹	-
درصد مواد خنثی شونده (T.N.V.)	۲۷	درصد
کربن آلی	۰/۷۹	درصد
ازت کل (Total N)	۰/۰۵۷	درصد
فسفر قابل جذب (available p)	۱۱	پی پی ام
پتاسیم قابل جذب (available k)	۱۴۳	پی پی ام
رس (Clay)	۲۲	درصد
لای (Silt)	۴۴	درصد
شن (Sand)	۳۴	درصد

۳-۳ عملیات اجرایی

۳-۳-۱ مشخصات طرح آزمایشی و تیمارهای آزمایش

آزمایش به صورت فاکتوریل با سه فاکتور در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل، ژئولیت در دو سطح عدم کاربرد و کاربرد ۹ تن در هکتار، قارچ مایکوریزا گونه (*Rhizophagus irregularis*) در دو سطح عدم کاربرد و کاربرد آن، کود سوپر فسفات تریپل در سه سطح صفر، ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار می باشد.

۲-۳-۳ آماده سازی زمین

آماده سازی مزرعه تحقیقاتی در بهار ۹۲ انجام گرفت و توسط فاروئر ردیف ها تعیین شدند. مساحت کل مزرعه آزمایشی ۹۰۰ متر مربع بود. هر تکرار شامل ۱۲ کرت و هر کرت شامل ۴ ردیف کاشت با فواصل ۵۰ سانتی متر و طول ۸ متر و مساحت هر کرت ۲۰ متر مربع در نظر گرفته شد. مرز بین کرت ها با یک ردیف نکاشت مشخص شد.

۳-۳-۳ کاشت

در تاریخ ۱۳۹۲/۳/۲۷ عملیات کاشت گرفت. ابتدا بر روی پشته یک شیار طولی تا انتها ایجاد و زئولیت در عمق ۱۵ سانتی متری شیار با خاک مخلوط شد و کرت‌هایی که حاوی کود فسفر بودند، کود در داخل شیار قرار گرفت و روی آن با کمی خاک پوشانده شد. همچنین در کرت‌های حاوی کود میکوریزا، ۲۰ گرم مایه تلقیح قارچی (هر گرم مایه تلقیح حاوی ۵۰ اسپور) به صورت کپه‌ای در زیر محل قرار گیری هر بذر به فاصله ۱۵ سانتی‌متر از یکدیگر قرار گرفت و در آخر بذر ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ کاشته شد.

۴-۳-۳ داشت

اولین آبیاری ۱ روز بعد از کاشت و آبیاری دوم ۷ روز بعد و پس از آن هر ۱۰ روز اقدام به آبیاری شد. به منظور رسیدن به تراکم بوته مناسب، در مرحله ۲ تا ۶ برگی اقدام به تنک و حذف علف‌های هرز گردید. مبارزه با علف‌های هرز توسط وجین دستی و با توجه به شرایط مزرعه در سه نوبت انجام گرفت.

۱-۴-۳-۳ نمونه برداری در طی فصل رشد

به منظور مطالعه و بررسی خصوصیات رشدی گیاه ذرت در طی فصل رشد ۶ مرحله نمونه برداری انجام شد. نمونه برداری اول در تاریخ ۱۳۹۲/۵/۱۴ انجام گردید و نمونه برداری بعد با فواصل ۱۰ روز تا برداشت نهایی ادامه داشت. در هر نمونه برداری از هر کرت آزمایشی، تعداد ۲ بوته با احتساب نیم متر حاشیه از ابتدا و انتهای کرت و یک ردیف کاشت از حاشیه‌ها، به طور تصادفی انتخاب شدند. سپس برگ، ساقه و بلال بوته‌ها در پاکت‌های کاغذی شماره‌گذاری شده قرار گرفت و به آزمایشگاه منتقل شدند. جهت اندازه‌گیری سطح برگ از اندازه‌گیری دستی استفاده شد. برای خشک کردن نمونه‌ها، در داخل آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شدند. توزین بوته‌ها با استفاده از ترازوی حساس با دقت ۰/۰۱ و ۰/۰۰۱ گرم صورت گرفت.

۲-۴-۳-۳ نمونه برداری کلروفیل

اندازه‌گیری کلروفیل در یک نوبت در زمان گل دهی (تاسل دهی)، به وسیله دستگاه کلروفیل سنج (SPAD 502) انجام شد. بدین صورت که برای هر کرت سه بوته انتخاب و از هر بوته شش برگ (دو برگ زیر بوته دو برگ وسط کانوپی و دو برگ در بالای بوته)، و از هر برگ نیز در یک نقطه در مرکز برگ اندازه‌گیری شد. ملاک برای هر بوته میانگین داده‌ها می‌باشد.

۴-۳ برداشت

برداشت نهایی در آخر فصل رشد و زمانی که ۸۰ درصد بوته‌ها و بلال‌ها خشک شده بودند انجام شد.

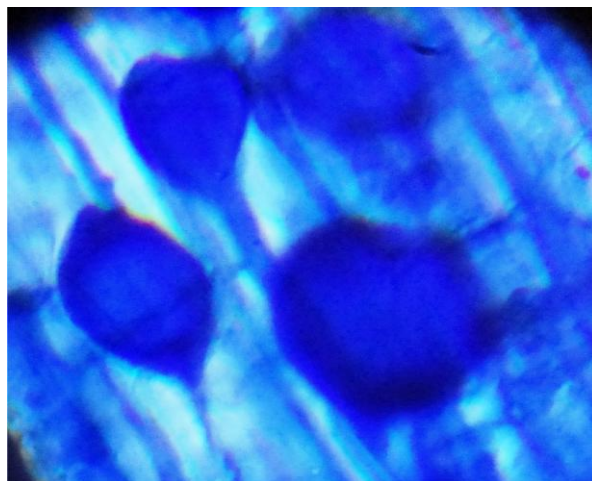
۳-۴-۱ نمونه برداری عملکرد

برای محاسبه عملکرد نهایی در هر کرت، دو ردیف کناری و نیم متر از ابتدا و انتهای کرت به عنوان اثر حاشیه‌ای حذف شد و از سطح باقی مانده یک مترمربع به طور تصادفی انتخاب و عملکرد نهایی محاسبه گردید. نمونه برداری شاخص‌های عملکرد شامل میانگین وزن کل بوته برای محاسبه بیوماس کل، وزن بلال، وزن دانه در بلال، وزن هزار دانه، وزن چوبه بلال، عملکرد دانه در هکتار، اندازه گیری ارتفاع بوته، قطر ساقه، طول بلال اندازه گیری شد.

۳-۵ تعیین میزان کلونیزاسیون ریشه

برای تعیین درصد همزیستی میکوریزایی، مقداری از ریشه‌ها با قطر کمتر از یک میلیمتر جدا کرده و برای نگهداری آن از الکل ۵۰ درصد (اتانول) استفاده گردید. جهت رنگ آمیزی ریشه‌ها در محیط آزمایشگاه از روش تغییر یافته فیلیپس و هیمن (۱۹۷۰) استفاده گردید. ریشه‌ها را کاملاً شسته و به مدت ۲۴ ساعت در محلول ۱۰ درصد هیدروکسید پتاسیم (KOH) در دمای اتاق قرار داده شد. سپس ریشه‌ها و ظروف را سه بار کامل با آب مقطر شسته و جهت خنثی کردن محیط قلیایی به مدت دو دقیقه در محلول HCl یک دهم نرمال قرار گرفتند. جهت رنگ آمیزی ریشه‌ها و به مدت ۲۴ ساعت در محلول تریپان بلو (شامل ۲۲۵ میلی لیتر اسید لاکتیک، ۳۵۰ میلی لیتر گلیسرین، ۴۰۰ میلی لیتر آب مقطر، ۰/۶۵ گرم رنگ تریپان بلو)، جهت رنگ آمیزی قرار گرفتند. بعد از رنگ آمیزی، نمونه‌ها در محلول گلیسرین و اسید لاکتیک به نسبت مساوی نگهداری شدند تا رنگ اضافی ریشه‌ها خارج شود. ریشه‌های موئین به قطعات یک سانتی متری تقسیم شدند و در نهایت با میکروسکوپ مشاهده و درصد کلونیزاسیون ریشه از رابطه ی زیر محاسبه شد:

$$۱۰۰ * (\text{تعداد قطعات مشاهده شده} / \text{تعداد قطعات آلوده شده به میکوریزا}) = \text{درصد کلونیزاسیون}$$



۳-۱- نمایی از ریشه در زیر میکروسکوپ با بزرگ نمایی $\times 40$

۳-۶ اندازه گیری فسفر قابل جذب خاک به روش اولسن

بعد از برداشت محصول، نمونه برداری خاک از عمق ۳۰-۵ سانتی متری ناحیه توسعه ریشه جهت اندازه گیری فسفر خاک به روش (اولسن، ۱۹۵۴)، انجام شد.

۳-۶-۱ عصاره گیری خاک

مقدار ۴۲ گرم بی کربنات سدیم خالص (NaHCO_3) را در یک لیتر آب مقطر تازه تهیه شده حل کرده و با اضافه کردن سود یا اسید کلریدریک، pH آن در ۸/۵ تنظیم شد. در صورت تجاوز pH بیش از ۸/۵ می توان از محلول بی کربنات سدیم ۰/۵ مولار برای پایین آوردن آن استفاده نمود. جهت عصاره گیری خاک، مقدار ۱ گرم خاک الک شده وزن کرده و ۰/۵ گرم پودر زغال اکتیو عاری از فسفر به آن افزوده و در ارلن مایر ۵۰ سی سی قرار داده شد. سپس ۲۰ میلی لیتر از محلول بی کربنات سدیم به آن اضافه کرده و به مدت ۳۰ دقیقه در شیکر افقی با سرعت ۲۰۰ قرار گرفت. محلول بدست آمده را از کاغذ صافی واتمن ۴۲ عبور داده و صاف شد.

۳-۶-۲ تهیه محلول شیمیایی

ابتدا ۱۲ گرم مولیبدات آمونیوم در ۲۵۰ میلی لیتر آب مقطر حل شد. ۰/۲۹۱ گرم پتاسیم آنتیمونی تارتارات در ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر حل شد. ۷۴ میلی لیتر اسید سولفوریک غلیظ به آرامی به ۵۰۰ میلی لیتر آب مقطر اضافه شد. هر سه محلول را با هم مخلوط و به حجم ۱ لیتر رسانده شد. محلول بدست آمده Reagent A می باشد.

۱/۰۵۵۶ گرم اسید اسکوربیک در ۲۰۰ میلی لیتر از محلول Reagent A حل شد. باید توجه داشت که این محلول روزانه تهیه شود. محلول بدست آمده Reagent B می باشد. میزان ۰/۶ میلی لیتر از محلول عصاره نمونه خاک و محلول های استاندارد، ۲ میلی لیتر آب مقطر و ۰/۶ میلی لیتر از محلول Reagent B را در کوت ریخته و به مدت ۱۰ دقیقه زمان نیاز است تا رنگ آن ثابت شود. سپس نمونه ها را در طول موج ۸۸۲ nm در دستگاه اسپکترو فوتومتر مدل Jenway 6305 ساخت کشور آمریکا، قرار داده و عدد مربوط به هر تیمار قرائت شد.

۳-۶-۳ تهیه محلول های استاندارد

مقدار ۰/۴۳۹۴ گرم پتاسیم دی هیدروژن فسفات را در ۱ لیتر آب مقطر حل می کنیم. این محلول ۱۰۰ ppm فسفر می باشد. ۲۰ میلی لیتر از محلول ۱۰۰ ppm فسفر را برداشته و به حجم ۲۰۰ میلی لیتر می رسانیم که این محلول ۱۰ ppm فسفر می باشد. به ترتیب مقادیر ۱۰، ۲، ۱، ۰/۲، ۰/۱، ۰/۰۲ از محلول ۱۰ ppm فسفر برداشته و به حجم ۲۰ میلی لیتر می رسانیم. و بدین ترتیب غلظت فسفر را با استفاده از یک منحنی استاندارد تعیین می - نماییم.

۷-۳ اندازه گیری میزان فسفر در بافت گیاه به روش هضم با اسید پرکلریک و

اسید نیتریک

ابتدا مقدار ۵۰۰ میلی لیتر اسید نیتریک غلیظ با ۸۳ میلی لیتر اسید پرکلریک ۷۰٪ مخلوط شدند. این نسبت ۶ به ۱ می باشد. قابل ذکر است که کار با اسید پرکلریک خطرناک و استفاده از عینک محافظ ضروری می باشد. سپس مقدار ۰/۵ گرم از دانه ذرت وزن و در لوله های هضم قرار داده شد. مقدار ۷ میلی لیتر از محلول اسید نیتریک و اسید پرکلریک در لوله های هضم ریخته و حداقل به مدت ۲ ساعت دانه های ذرت در محلول قرار گیرند. در آخر لوله های هضم در دستگاه هضم قرار داده و به مدت ۴ ساعت در دمای ۱۵۰ درجه سانتی گراد و ۱ ساعت در دمای ۲۰۰ درجه سانتی گراد و ۲ ساعت در دمای ۲۲۵ درجه سانتی گراد قرار گرفتند. سپس عصاره بدست آمده به حجم ۵۰ میلی لیتر رسانده شد.

۳-۷-۱ تهیه محلول های شیمیایی برای اندازه گیری میزان فسفر در بافت گیاه

مقدار ۲/۵ گرم آمونیوم وانادات در یک لیتر آب حل شود. مقدار ۵۰ گرم آمونیوم مولیبدات در یک لیتر آب حل شود و سپس با یک لیتر اسید نیتریک مخلوط شوند.

۳-۷-۲ تهیه محلول استاندارد به روش اسپکتروفتومتری فسفر گیاه

مقدار ۴/۳۹۳۷ گرم از پتاسیم دی هیدروژن فسفات را در آب حل کرده و به حجم یک لیتر رسانده شد. این محلول استاندارد ۱۰۰۰ پی پی ام فسفر می باشد.

۲۰ میلی لیتر از محلول استاندارد ۱۰۰ پی پی ام را به بالن ژوژه ۱ لیتری منتقل و به حجم رسانده شد. این محلول استاندارد ۲۰ پی پی ام در لیتر فسفر می باشد.

میزان ۰،۱۰،۲۰،۳۰،۴۰،۵۰،۶۰،۹۰ میلی لیتر از محلول استاندارد ۲۰ میکروگرم در لیتر را به بالن ژوژه ۱۰۰ لیتری منتقل کرده و سپس میزان ۸ میلی لیتر از محلول آمونیوم مولیبدات - وانادات - اسید نیتریک اضافه کرده و به حجم ۱۰۰ رسانده شد. این سری محلول ها حاوی ۰، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۴۵ میلی گرم در لیتر فسفر هستند که در رسم منحنی کالیبراسیون استفاده می شود.

۳-۷-۳ تهیه نمونه‌ها برای اندازه گیری میزان فسفر در بافت گیاه

مقدار ۰/۸ میلی لیتر از محلول آمونیوم مولیبدات - وانادات - اسید نیتریک و ۰/۷ میلی لیتر عصاره گیاه با آب مقطر به حجم ۱۰ میلی لیتر رسانده شود. این محلول را در کووت ریخته و بعد از ۳۰ دقیقه در طول موج ۳۹۰ نانومتر در دستگاه اسپکتروفوتومتر قرائت شود (هانسون، ۱۹۵۰؛ کیستون و همکاران، ۱۹۹۴).

۳-۸ تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تجزیه و تحلیل آماری داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار MSTATC انجام شده است. برای رسم شکل‌ها از نرم‌افزار Excel استفاده شد و مقایسه میانگین‌ها با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) و در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت.

۳-۹ شاخص برداشت HI

شاخص برداشت عبارت است از وضعیت تخصیص مواد فتوسنتزی بین رشد رویشی و زایشی گیاه می‌باشد که با استفاده از معادله زیر بدست می‌آید :

$$HI = \frac{\text{عملکرد اقتصادی}}{\text{عملکرد بیولوژیک}} \times 100$$

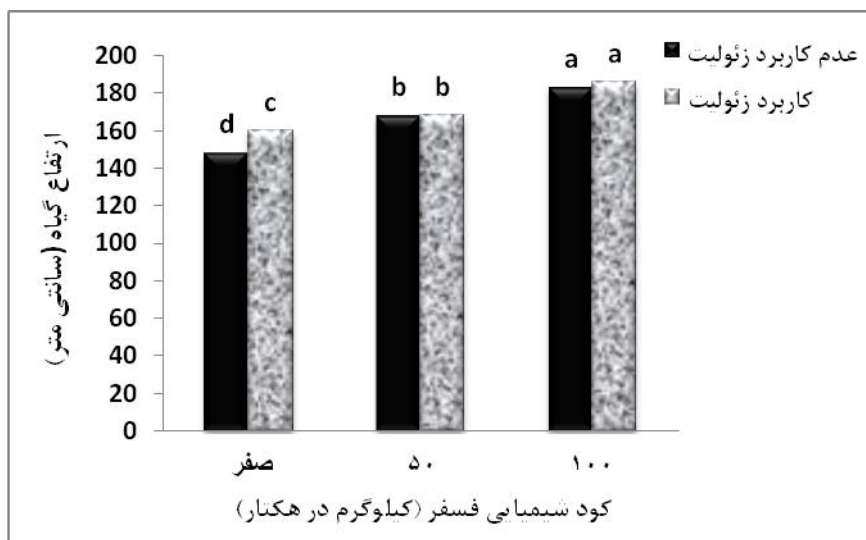
۴ فصل چهارم

نتایج و بحث

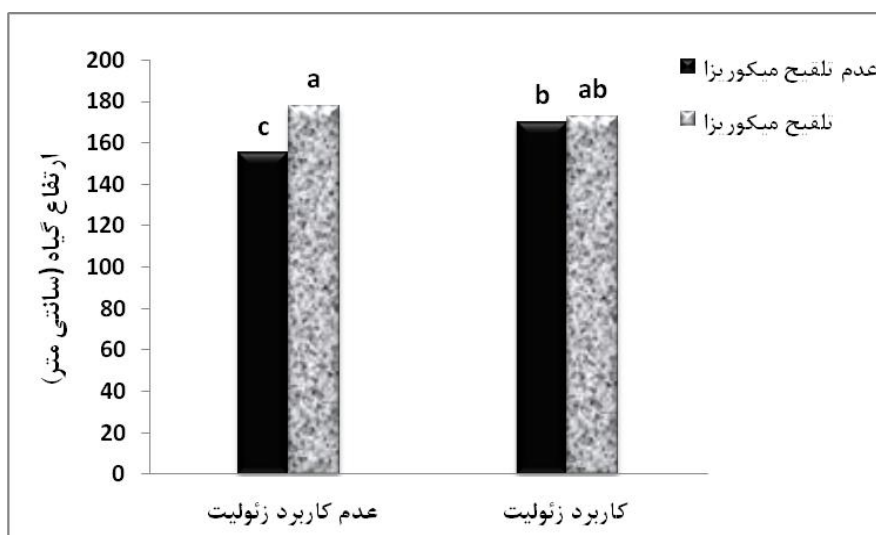
۴-۱ ارتفاع گیاه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول پیوست ۱) نشان می‌دهد اثرات اصلی تیمارهای کود شیمیایی فسفر و قارچ میکوریزا در سطح احتمال ۱ درصد ($p \leq 0.01$) و تیمار زئولیت در سطح احتمال ۵ درصد ($p \leq 0.05$) موجب اثر معنی دار بر ارتفاع گیاه ذرت شده است. همچنین اثرات متقابل فسفر و زئولیت در سطح احتمال ۵ درصد ($p \leq 0.05$) و زئولیت و میکوریزا در سطح احتمال ۱ درصد ($p \leq 0.01$) بر ارتفاع گیاه معنی دار شده است.

ارتفاع گیاه صفتی است که معمولاً تحت تأثیر عوامل ژنتیکی می‌باشد ولی محیط نیز می‌تواند ارتفاع بوته را تحت تأثیر قرار دهد. ارتفاع از اجزا مهم در تعیین عملکرد نمی‌باشد، ولی احتمالاً ارقام با ارتفاع بلندتر می‌توانند عملکرد ماده خشک بیشتری تولید کنند (سلیمی، ۱۳۸۹). کاربرد زئولیت به همراه کود فسفر توانست ارتفاع گیاه ذرت را در تمامی سطوح نسبت به شاهد افزایش معنی دار دهد (شکل ۴-۱). خاشعی سیوکی و همکاران (۱۳۸۷) در پژوهش خود بیان کردند کاربرد زئولیت طبیعی کلینوپتیلولایت توانست ارتفاع گیاه ذرت را نسبت به شاهد افزایش معنی دار دهد. همچنین محمدی و همکاران (۱۳۹۲) در نتیجه کاربرد زئولیت، افزایش معنی دار ارتفاع گیاه ذرت را گزارش کردند. زئولیت‌ها هنگامی که با کودهای شیمیایی به کار برده می‌شوند به ماندگاری عناصر در خاک از طریق جلوگیری از شستشو آنها از محیط ریشه کمک کرده و حاصلخیزی خاک را در طول دوره رشد بهبود می‌بخشند. در اثر متقابل میکوریزا و زئولیت (شکل ۴-۲)، کاربرد میکوریزا به تنهایی سبب بهبود و افزایش معنی دار ارتفاع گیاه نسبت به شاهد شده است، همچنین کاربرد توام میکوریزا و زئولیت توانست ارتفاع گیاه نسبت به شاهد افزایش معنی دار دهد و با کاربرد به تنهایی میکوریزا در یک سطح آماری قرار گیرد.



شکل ۴-۱- اثر متقابل فسفر و زئولیت بر ارتفاع گیاه

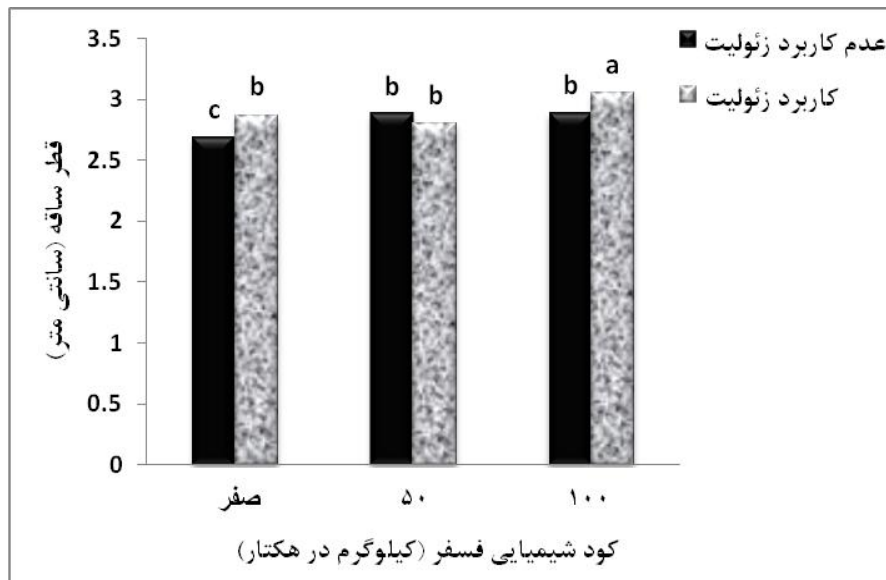


شکل ۴-۲- اثر متقابل زئولیت و میکوریزا بر ارتفاع گیاه

۴-۲ قطر ساقه

اثر اصلی تیمارهای فسفر، زئولیت و میکوریزا، همچنین اثر متقابل تیمارهای فسفر و زئولیت بر قطر ساقه در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار شده است (جدول پیوست ۱). کاربرد زئولیت به تنهایی

توانست قطر ساقه را نسبت به شاهد افزایش معنی دار دهد، ولی بیشترین افزایش قطر ساقه در اثر کاربرد توام زئولیت و ۱۰۰ کیلوگرم کود فسفر در هکتار بدست آمد که در بالاترین سطح آماری نسبت به مابقی تیمارها قرار گرفت (شکل ۳-۴).



شکل ۳-۴- اثر متقابل تیمارهای فسفر و زئولیت بر افزایش قطر ساقه

۳-۴ سطح برگ

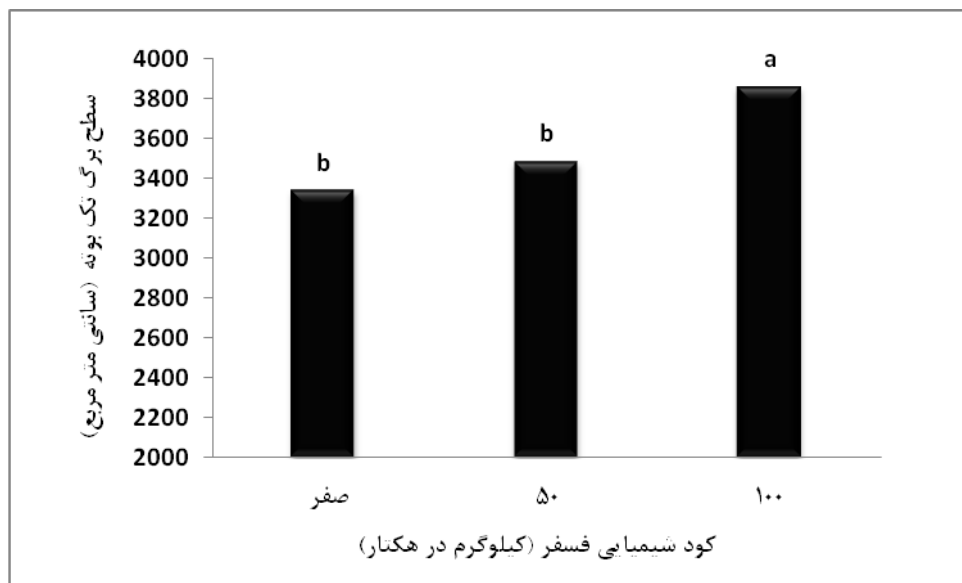
اثرات اصلی تیمارهای فسفر و میکوریزا در سطح احتمال ۱ درصد و زئولیت در سطح احتمال ۵ درصد بر سطح برگ گیاه ذرت معنی دار بود و اثرات متقابل آنها معنی دار نشده است (جدول پیوست ۱).

کاربرد کود فسفر سبب افزایش معنی دار سطح برگ گیاه ذرت شده است. قول لرعطا و همکاران (۱۳۸۷) و پورابراهیمی و همکاران (۱۳۸۹) گزارش کردند که کاربرد کود فسفر توانست سطح برگ شبدر برسیم و ذرت را به طور معنی داری افزایش دهد. کولومب و همکاران (۲۰۰۰) نیز بیان کردند با افزایش میزان فسفر خاک، شاخص سطح برگ و فتوسنتز گیاه افزایش یافته و در نهایت

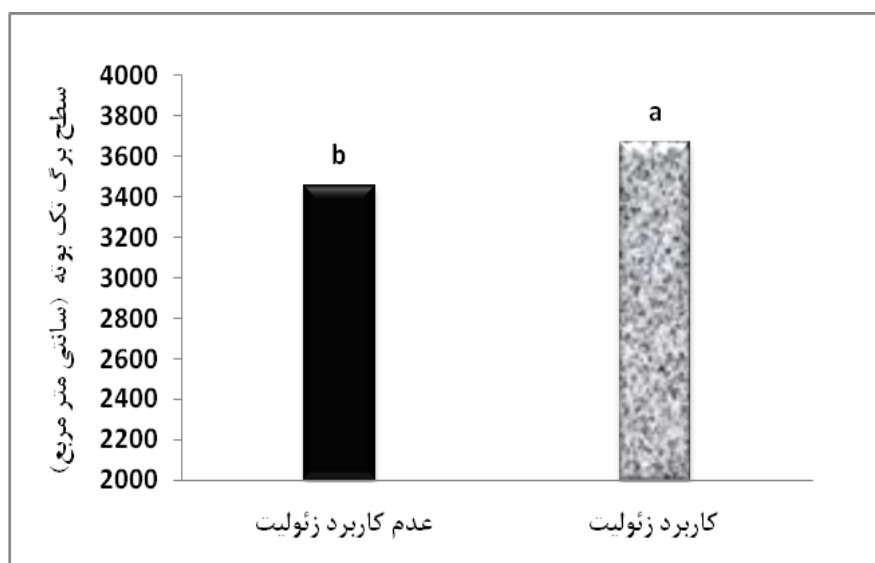
موجب بهبود رشد گیاه و افزایش عملکرد گردید. علی و همکاران (۲۰۰۴) گزارش کردند که افزودن سطوح مختلف کود فسفر سوپرفسفات تریپل به محیط کشت نخود باعث افزایش شاخص سطح برگ شده است. کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم کود فسفر در هکتار بیشترین افزایش سطح برگ گیاه ذرت را نسبت به شاهد منجر شده است (شکل ۴-۴).

کاربرد زئولیت سبب افزایش معنی دار سطح برگ گیاه ذرت نسبت به شاهد شده است (شکل ۴-۵). آلن و همکاران (۱۹۹۵) در نتایج خود بیان نمودند که زئولیت می تواند با جذب کلسیم از محلول خاک، یون آمونیم و پتاسیم موجود در خود را به صورت انتشار آزاد نمایند که می تواند مورد استفاده گیاه قرار گیرد و موجب بهبود خصوصیات رشدی گیاه شود. غلامحسینی و همکاران (۱۳۸۷) در پژوهش خود بیان کردند کاربرد زئولیت سبب افزایش سطح برگ گیاه کلزا شده است. همچنین رنجبر و همکاران (۱۳۸۳) بر روی گیاه توتون و قلی پور و همکاران (۱۳۸۳) بر روی گیاه دارویی بادرنشینی افزایش سطح برگ را در نتیجه کاربرد زئولیت گزارش کردند. کاربرد مقادیر مختلف زئولیت طبیعی بر رشد گیاه شنبلیله نشان داد که با مصرف ۴۰ گرم زئولیت در هر کیلوگرم خاک، بیشترین افزایش در سطح برگ این گیاه مشاهده شده است (بانی نسب و همکاران، ۱۳۸۶).

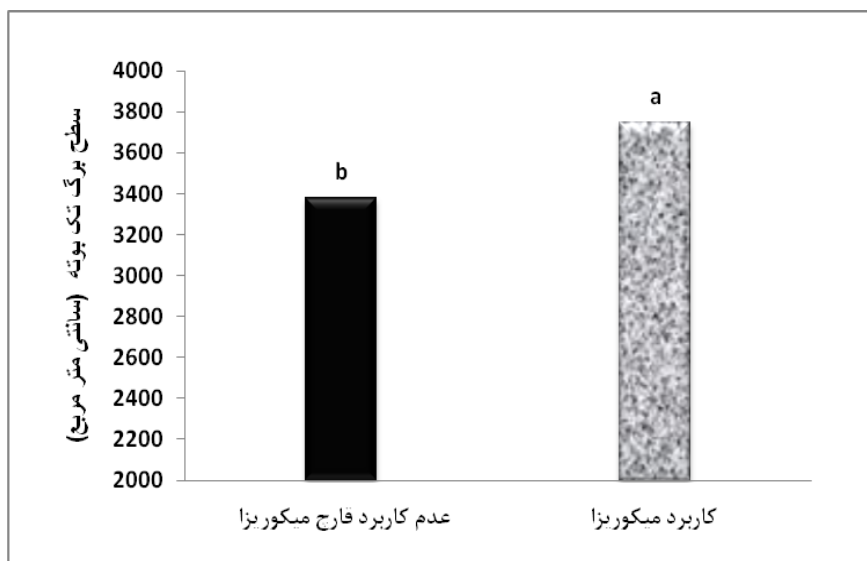
کاربرد قارچ میکوریزا منجر به افزایش سطح برگ گیاه ذرت به میزان ۱۰/۸٪ نسبت به عدم کاربرد آن شده است که از لحاظ آماری معنی دار و در سطح بالاتر نسبت به شاهد قرار گرفت (شکل ۴-۶). در گیاهان میکوریزایی سرعت جریان فسفر به درون گیاه ۳ الی ۶ مرتبه بیشتر از گیاهان غیر میکوریزایی است، قارچ میکوریزا علاوه بر فسفر و نیتروژن، جذب عناصری دیگری مانند سولفور، بور، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، سدیم، روی، مس، منگنز، آهن، آلومینیوم را نیز افزایش می دهد (کلارک و زتو، ۲۰۰۰). تاکور و پانوار (۱۹۹۷) گزارش کردند کاربرد میکوریزا در گیاه لوبیا سبب بهبود سطح برگ و افزایش ۹/۱ درصدی آن شد. جمشیدی و همکاران (۱۳۸۷) و ناگارسا و همکاران (۲۰۰۷) بیان کردند که تلقیح میکوریزا سطح برگ و تعداد برگ گیاه آفتاب گردان را افزایش معنی دار داد.



شکل ۴-۴- تاثیر سطوح مختلف کود فسفر بر سطح برگ گیاه ذرت



شکل ۴-۵- تاثیر کاربرد زئولیت بر سطح برگ گیاه ذرت



شکل ۴-۶- تاثیر تلقیح قارچ میکوریزا بر سطح برگ گیاه ذرت

۴-۴ وزن بلال

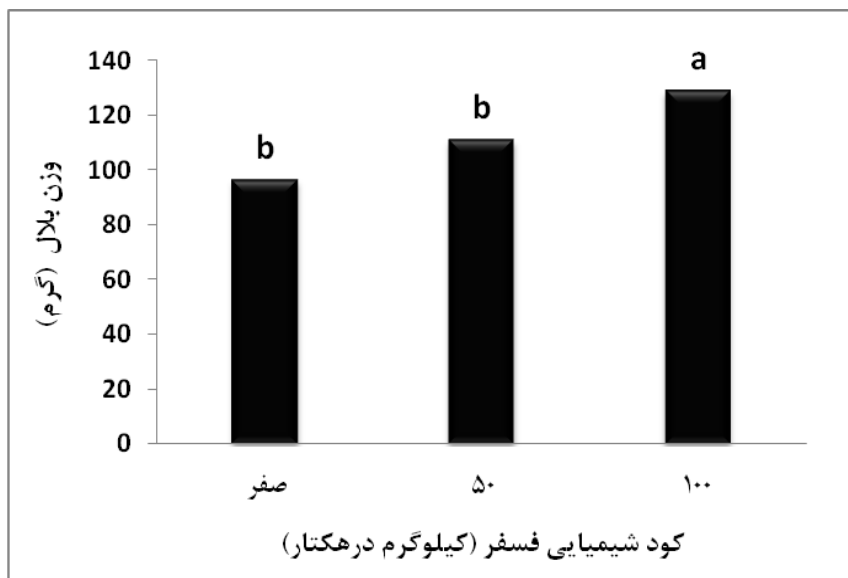
نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس تیمارهای آزمایشی نشان داد تیمارهای فسفر ($p \leq 0.01$) و میکوریزا ($p \leq 0.05$) بر وزن بلال تاثیر معنی دار داشتند (جدول پیوست ۲).

فسفر از عوامل مهم دانه بندی و شکل گیری دانه در ذرت است. اضافه کردن کود فسفر به خاک با در اختیار قرار دادن فسفر قابل دسترس برای گیاه توانست باعث افزایش وزن دانه‌ها در نتیجه افزایش وزن بلال نسبت به شاهد، شود (شکل ۴-۷).

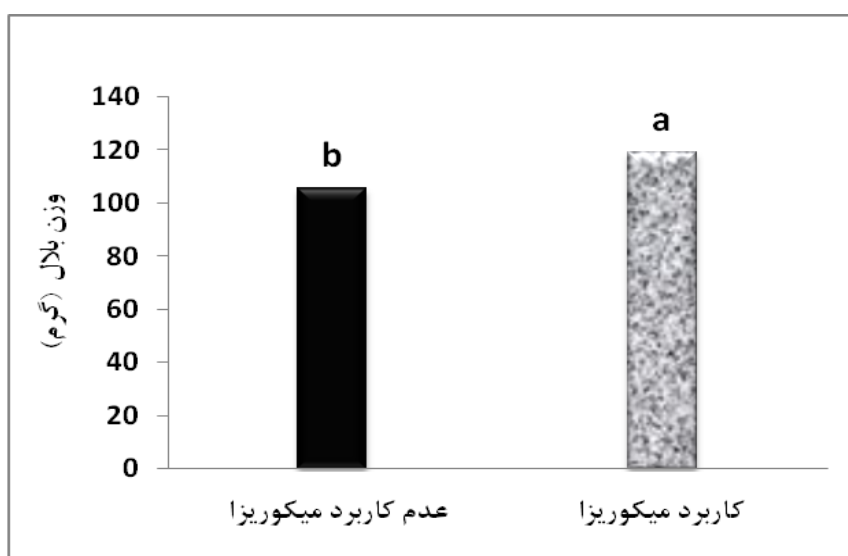
تلقیح میکوریزا سبب افزایش معنی دار وزن بلال نسبت به عدم تلقیح آن شد (شکل ۴-۸).

قارچ میکوریزا آربسکولار نیز به دلیل افزایش جذب بیشتر آب و مواد غذایی موجب فتوسنتز بیشتر، سبب بهبود رشد گیاه و در نتیجه باعث افزایش عملکرد دانه ذرت می‌گردد (اسمیت و همکاران ۲۰۰۳).

ثمربخش (۱۳۸۵) اظهار داشت که طول بلال، وزن بلال، وزن چوب بلال و قطر بلال گیاهان تلقیح یافته با قارچ میکوریزا آربسکولار نسبت به گیاهان تلقیح نشده بیشتر است.



شکل ۴-۷- اثر کاربرد کود فسفر بر وزن بلال

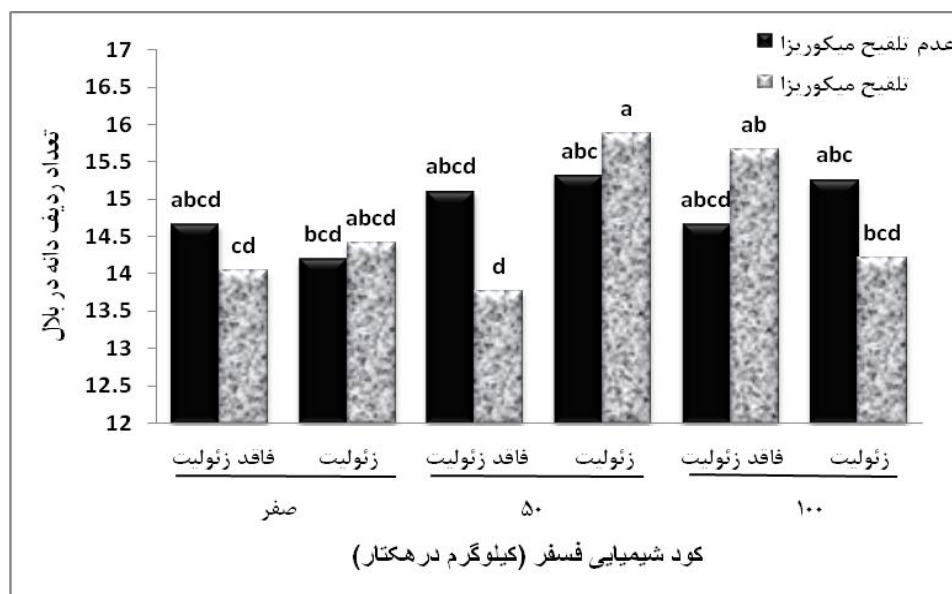


شکل ۴-۸- تاثیر تلقیح میکوریزا بر وزن بلال

۴-۵ تعداد ردیف دانه در بلال

نتایج آنالیز داده‌ها نشان دهنده معنی‌داری ($p \leq 0.05$) اثرات متقابل سه گانه تیمارهای میکوریزا، زئولیت و کود شیمیایی فسفر بر تعداد ردیف دانه در بلال گیاه ذرت است (جدول پیوست ۲). استفاده از تلقیح میکوریزا در شرایط حضور فسفر سبب افزایش تعداد ردیف دانه در بلال می‌شود.

بطوری که تیمار کاربرد ژئولیت در شرایط تلقیح میکوریزا و سطح اول کود فسفر توانست ۸/۳۶٪ تعداد ردیف بلال را نسبت به شاهد افزایش دهد (شکل ۴-۹). هیکسون و همکاران (۲۰۰۳) بیان کردند این صفت بیشتر تحت تاثیر خصوصیات ژنتیکی و رقم گیاه قرار می گیرد. به نظر می رسد این صفت از اجزاء عملکرد به صورت ژنتیکی کنترل شده و قبل از گرده افشانی تعیین می گردد و عوامل محیطی بعد از گرده افشانی تاثیر چندانی بر آن ندارد.



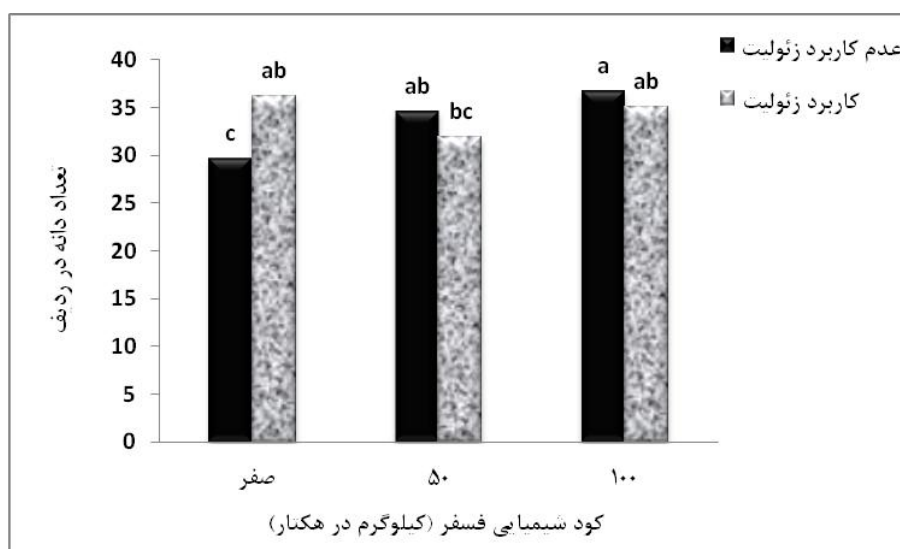
شکل ۴-۹- اثر متقابل سه گانه فسفر، میکوریزا و ژئولیت بر تعداد ردیف دانه در بلال

۴-۶ دانه در ردیف بلال

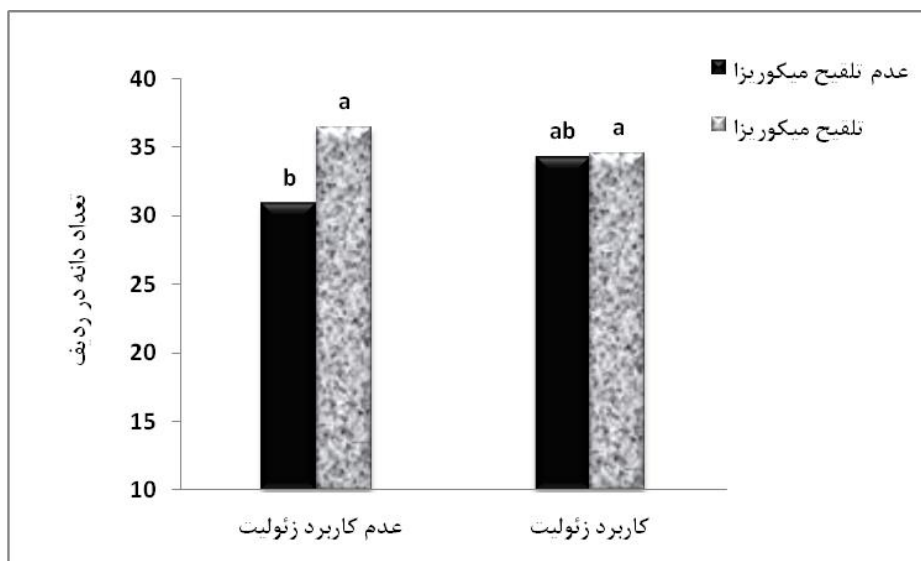
آنالیز داده ها نشان داد در بین اثرات تیمارهای اصلی فقط قارچ میکوریزا بر تعداد دانه در ردیف بلال معنی دار بود ($p \leq 0.05$). همچنین اثرات متقابل کود فسفر و ژئولیت و اثرات متقابل میکوریزا و ژئولیت ($p \leq 0.05$) بر تعداد دانه در ردیف بلال گیاه ذرت معنی دار بود (جدول پیوست ۲).

زئولیت‌ها هنگامی که با کودهای شیمیایی به کار برده می‌شوند به ماندگاری عناصر در خاک از طریق جلوگیری از شستشو آنها از محیط ریشه کمک کرده و حاصلخیزی خاک را در طول دوره رشد بهبود می‌بخشند. کاربرد توام زئولیت و کود فسفر تاثیر مثبت در تعداد دانه در ردیف بلال داشته و سبب افزایش آن نسبت به شاهد شده است (شکل ۴-۱۰).

تلقیح میکوریزا موجب می‌شود آب و مواد غذایی بیشتری به گیاه منتقل شود و کاربرد توام آن با زئولیت سبب بهبود تغذیه گیاه و رشد آن شده و سبب افزایش تعداد دانه در ردیف بلال ذرت نسبت به عدم کاربرد آنها شده است (شکل ۴-۱۱).



شکل ۴-۱۰- اثر متقابل کود فسفر و زئولیت بر تعداد دانه در ردیف بلال



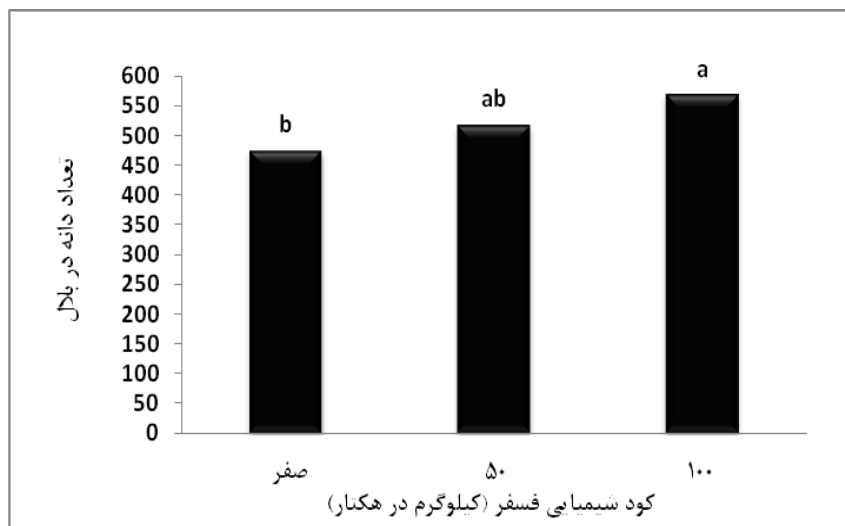
شکل ۴-۱۱- اثر متقابل قارچ میکوریزا و زئولیت بر تعداد دانه در ردیف بلال

۴-۷ تعداد دانه در بلال

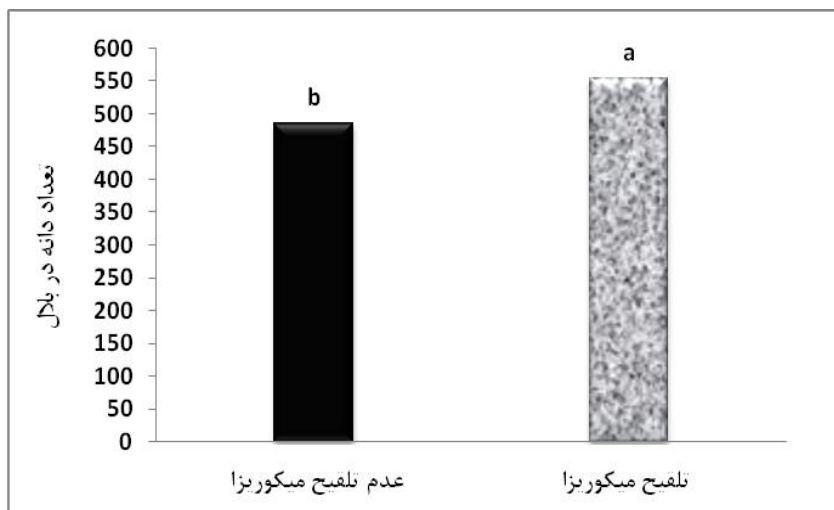
تجزیه واریانس داده‌ها نشان دهنده معنی داری ($p \leq 0.01$) اثر اصلی کود شیمیایی فسفر و میکوریزا بر تعداد دانه در بلال می‌باشد (جدول پیوست ۲). در بین سطوح مختلف کود فسفر، کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار منجر به افزایش ۲۰ درصدی تعداد دانه در بلال گیاه ذرت نسبت به شاهد شده است (شکل ۴-۱۲). همچنین همزیستی قارچ میکوریزا با ریشه گیاه ذرت با اثر مثبت خود توانست ۱۴ درصد تعداد دانه در بلال را نسبت به عدم کاربرد آن، افزایش دهد (شکل ۴-۱۳).

دو عنصر نیتروژن و فسفر نقش بسیار تعیین کننده‌ایی در میزان سیتوکنین دارند (لوپز، ۲۰۰۳). هورمون سیتوکنین در زمان تقسیم سلول‌های آندوسپرمی که تعیین کننده پتانسیل مخزن برای تولید و وزن دانه بیشتر است، حائز اهمیت می‌باشد. از این جهت به نظر می‌رسد که کاهش هورمون سیتوکنین در تیمارهایی بدون کود شیمیایی فسفر و یا قارچ میکوریزا می‌تواند عامل کاهش نسبت دانه در این تیمارها نسبت به تیمارهای کود میکوریزا و کود شیمیایی فسفر باشد. اورتاز (۱۹۹۶) در پژوهش

خود بر گیاه سورگوم بیان کرد افزایش عملکرد در پی افزایش اجزای عملکرد مرتبط است و افزایش اجزای عملکرد را نیز به تاثیر مثبت میکوریزا در افزایش سطح جذب ریشه گیاه از طریق نفوذ میسیلیوم قارچ در خاک و در نتیجه دسترسی گیاه زراعی به حجم بیشتری از خاک و انتقال آب و مواد غذایی به اندام‌های هوایی و بهبود رشد و نمو گیاه می‌باشد. توحیدی نیا و همکاران (۱۳۹۲) بیان کردند با کاربرد میکوریزا تعداد دانه در بلال ذرت سینگل کراس ۷۰۴ در سطح احتمال ۵ درصد افزایش معنی دار یافت.



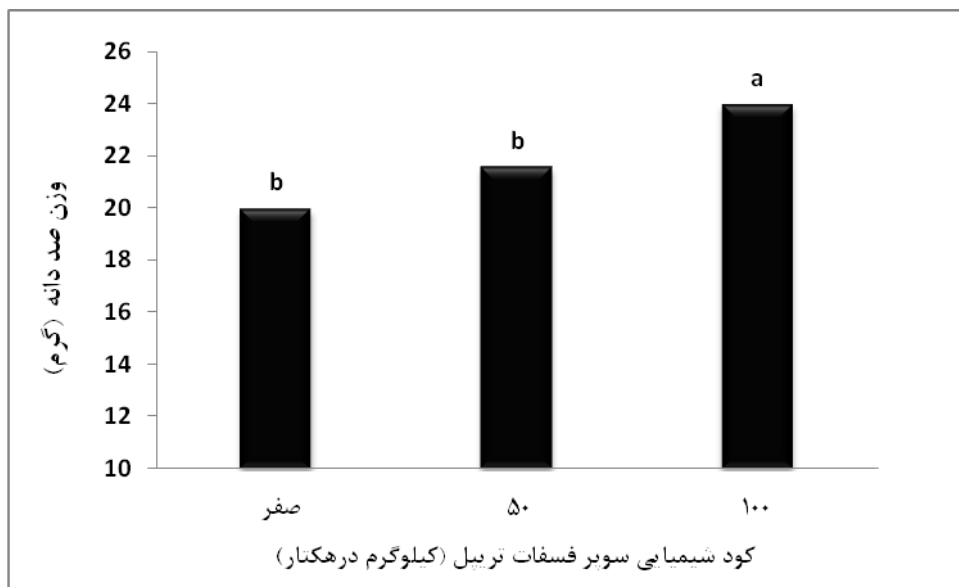
شکل ۴-۱۲- تاثیر کاربرد سطوح مختلف کود فسفر بر تعداد دانه در بلال گیاه ذرت



شکل ۴-۱۳- تاثیر قارچ میکوریزا بر تعداد دانه در بلال گیاه ذرت

۸-۴ وزن صد دانه

تجزیه واریانس داده‌ها (جدول پیوست ۲) نشان می‌دهد اثر اصلی تیمارهای فسفر، ژئولیت و میکوریزا بر وزن صد دانه گیاه ذرت معنی دار است ($p \leq 0.01$). کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم کود سوپر فسفات تریپل در این آزمایش سبب بیشترین افزایش وزن صد دانه گیاه ذرت به میزان ۲۰/۱۲٪ نسبت به عدم مصرف آن شده است (شکل ۴-۱۴). احتشامی و همکاران (۲۰۰۹) در آزمایشی بر گیاه ذرت مشاهد کردند که وزن صد دانه در تیمار حاوی ۱۵۰ کیلوگرم کود شیمیایی سوپر فسفات تریپل نسبت به تیمار بدون کود، به طور معنی داری بیشتر بود. زیدان (۲۰۰۷) در پژوهش خود بر روی گیاه عدس بیان کرد افزایش محتوای فسفر خاک در هکتار به علت افزایش فسفر محلول نقش بسیار مهمی در جذب عناصری از جمله فسفر، پتاسیم، منیزیم و روی دارد و باعث اختصاص بیشتر مواد غذایی و مواد فتوسنتزی به بذر و در نهایت بزرگتر شدن اندازه دانه می‌شود.

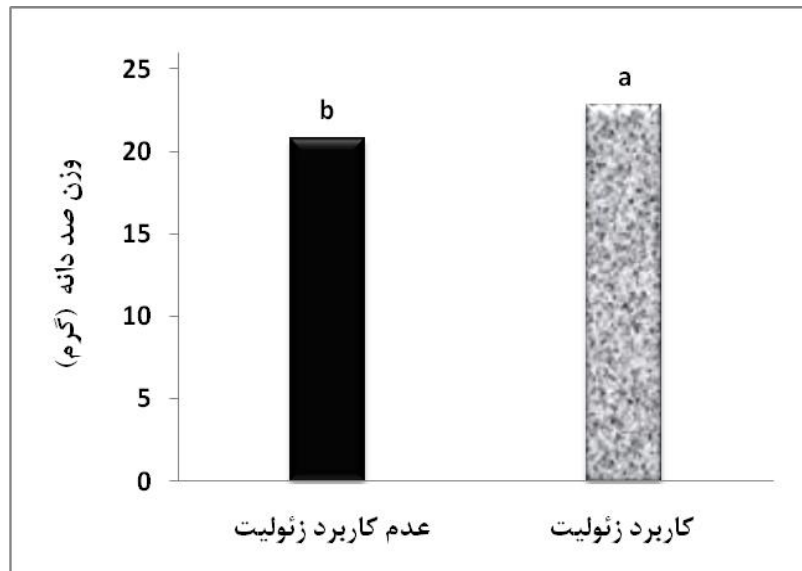


شکل ۴-۱۴- تاثیر کود شیمیایی فسفر بر وزن صد دانه گیاه ذرت

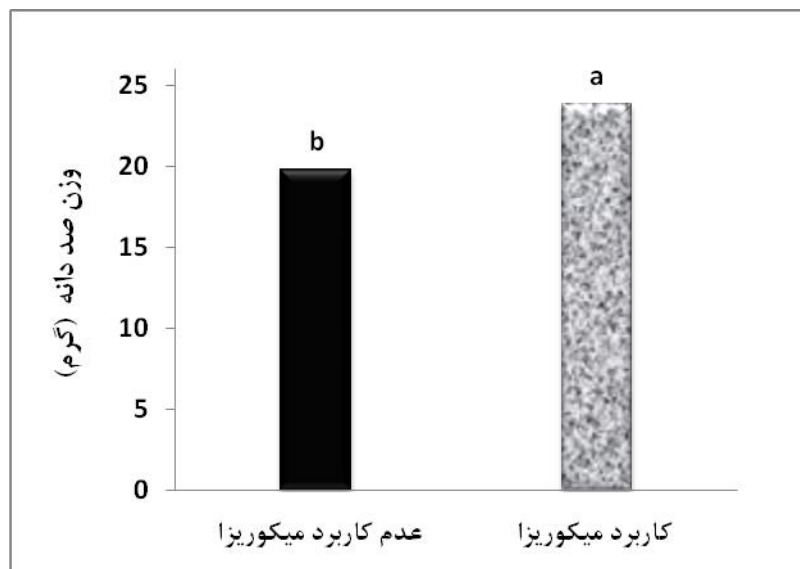
کاربرد زئولیت توانست وزن صد دانه ذرت را نسبت به عدم کاربرد آن به میزان ۹/۷٪ افزایش دهد (شکل ۴-۱۵). زئولیت با جلوگیری از از دست رفتن و افزایش دسترسی مواد غذایی در محدوده توسعه ریشه‌ها سبب افزایش جذب آنها توسط گیاه شده که این امر می‌تواند منجر به بهبود صفات زراعی و عملکردی گیاه شود. قهرمانی و همکاران (۱۳۸۹) و غلامحسینی و همکاران (۱۳۸۶) بیان کردند در اثر کاربرد زئولیت در کشت ذرت و آفتابگردان، وزن هزار دانه این گیاهان نسبت به عدم مصرف آن افزایش معنی دار یافت. همچنین محمدی و همکاران (۱۳۹۲) در پژوهش خود در گیاه ذرت (رقم ۳۷۰) در پی کاربرد زئولیت افزایش معنی دار وزن هزار دانه در سطح احتمال ۱ درصد را گزارش کردند.

تلقیح ریشه گیاه ذرت با میکوریزا سبب افزایش معنی دار ($p \leq 0.01$) وزن صد دانه به میزان ۲۰/۴۷٪ نسبت به عدم تلقیح شده است (شکل ۴-۱۶). میکوریزا با در دسترس قرار دادن فسفر خاک و ایجاد شرایط بهتر در محیط ریشه برای گیاه می‌تواند بر اجزای عملکرد و وزن صد دانه تاثیر مثبت بگذارد. نتایج مشابه درزی و همکاران (۱۳۸۵) بر گیاه رازیانه، با تلقیح میکوریزای *Rhizophagus*

irregularis افزایش ۶ درصدی وزن هزار دانه نسبت به شاهد دست یافتند. شاه حسینی و همکاران (۱۳۸۹) نیز اثر مثبت میکوریزا بر وزن صد دانه گیاه ذرت را گزارش کرده‌اند. اختر و سیدی‌کویی (۲۰۰۹) با کاربرد میکوریزا افزایش وزن صد دانه نخود را گزارش کرد. همچنین تلقیح میکوریزا در سایر غلات مانند گندم سبب افزایش وزن صد دانه شده است (پانوار، ۱۹۹۳)



شکل ۴-۱۵- تاثیر کاربرد زئولیت بر وزن صد دانه گیاه ذرت



شکل ۴-۱۶- تاثیر تلقیح میکوریزا بر وزن صد دانه گیاه ذرت

۹-۴ وزن چوب بلال

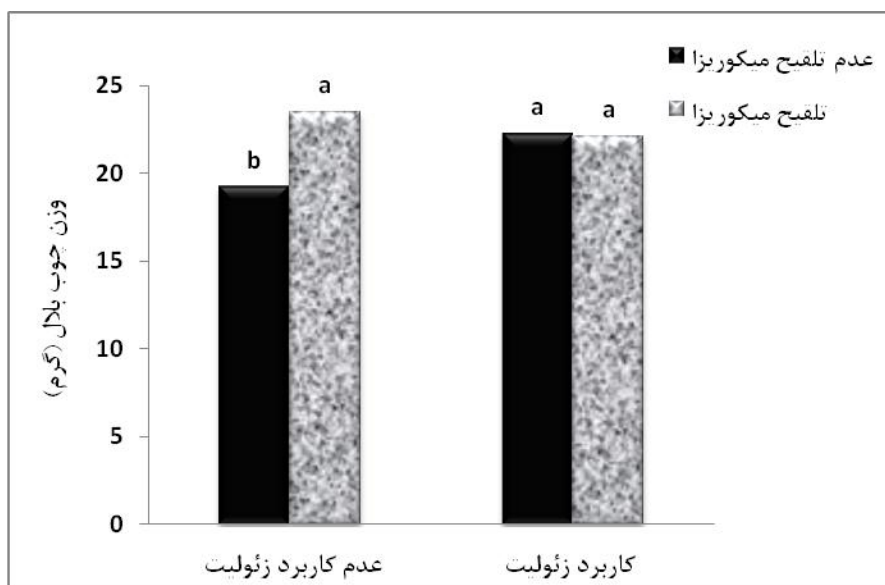
نتایج آنالیز داده‌ها نشان می‌دهد که اثر اصلی کود شیمیایی فسفر و تلقیح قارچ میکوریزا بر وزن چوب بلال معنی دار است ($p \leq 0.05$). همچنین اثرات متقابل زئولیت و میکوریزا نیز در همین سطح احتمال بر وزن چوبه بلال معنی دار می‌باشد (جدول پیوست ۳).

کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر توانست به میزان ۱۳/۱۸٪ افزایش وزن چوب بلال را نسبت به شاهد منجر شود (شکل ۴-۱۷).



شکل ۴-۱۷- تاثیر کاربرد کود شیمیایی سوپر فسفات تریپل بر وزن چوب بلال

اثر متقابل میکوریزا و زئولیت بر افزایش وزن چوب بلال مثبت و معنی دار بود. کاربرد توام میکوریزا و زئولیت توانست نسبت به شاهد منجر به افزایش وزن چوب بلال شود (شکل ۴-۱۸).

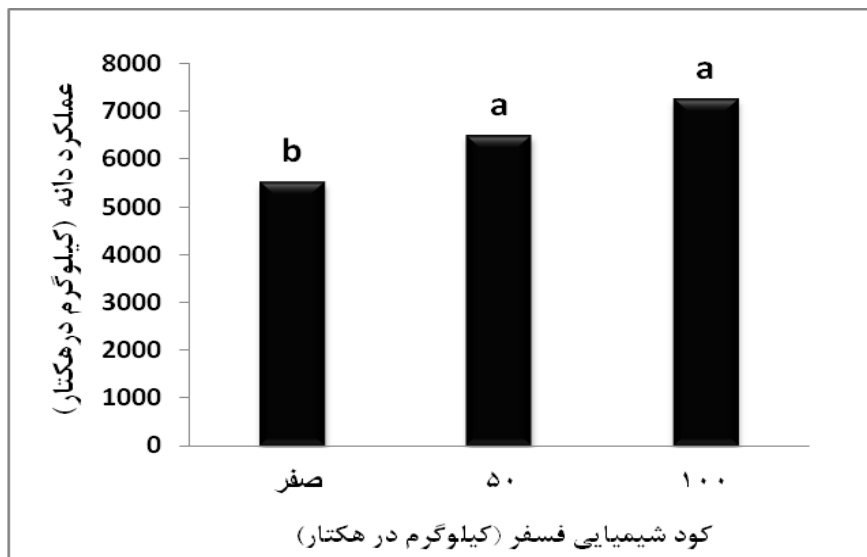


شکل ۴-۱۸- اثر متقابل میکوریزا و زئولیت بر وزن چوب بلال

۴-۱۰ عملکرد دانه

نتایج تجزیه داده‌ها نشان می‌دهد تیمارهای فسفر و میکوریزا بر افزایش عملکرد دانه ذرت در هکتار در سطح احتمال ۱ درصد اثر معنی داری داشتند (جدول پیوست ۳). فسفر عامل مهمی در گرده افشانی ذرت می‌باشد با فراهم بودن آن گرده افشانی گیاه به موقع و به طور کامل انجام می‌شود (خدابنده، ۱۳۷۷)، همچنین فسفر نقش مهمی در فعالیت‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان مانند فتوسنتز، تبدیل قند به نشاسته و انتقال خصوصیات ژنتیکی ایفا می‌کند (مهرورز و چایچی، ۲۰۰۸). بنابراین در اختیار بودن و افزایش جذب فسفر و انتقال آن به سلولهای گیاه، سبب بهبود رشد و افزایش فتوسنتز و تولید مواد فتوسنتزی گشته و در نتیجه در مرحله پر شدن دانه شیره پرورده کافی به بلال انتقال یافته موجب افزایش تعداد دانه در بلال و عملکرد دانه در هکتار می‌گردد. میلر و همکاران (۱۹۷۸) با بررسی کاربرد سطوح مختلف کود فسفر در مزرعه ذرت اظهار داشتند که قابلیت دسترسی به فسفر با کاربرد فسفر، افزایش پیدا کرد و عملکرد دانه نیز با مصرف کود فسفر، افزایش یافت. تحقیقات نشان داد شاخص سطح برگ و فتوسنتز گیاه نیز با افزایش میزان مصرف فسفر افزایش

می‌یابد و در نهایت موجب افزایش عملکرد می‌گردد (کولومب و همکاران، ۲۰۰۰). نتایج آزمایش حسن‌زاده و همکاران (۲۰۰۸) نیز نشان داد که اثر کود فسفر بر عملکرد دانه جو معنی دار بود به طوری که بیشترین عملکرد دانه با مصرف ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر به دست آمد. در اثر کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم کود فسفر در هکتار موجب افزایش عملکرد دانه ذرت در هکتار شده است، از طرفی بین سطوح ۵۰ کیلوگرم و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار اختلاف معنی داری بر عملکرد دانه وجود ندارد از این رو کاربرد ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر در هکتار از نظر هزینه به صرفه و منجر به استفاده بهینه این کود شیمیایی در مزارع می‌شود (شکل ۴-۱۹).

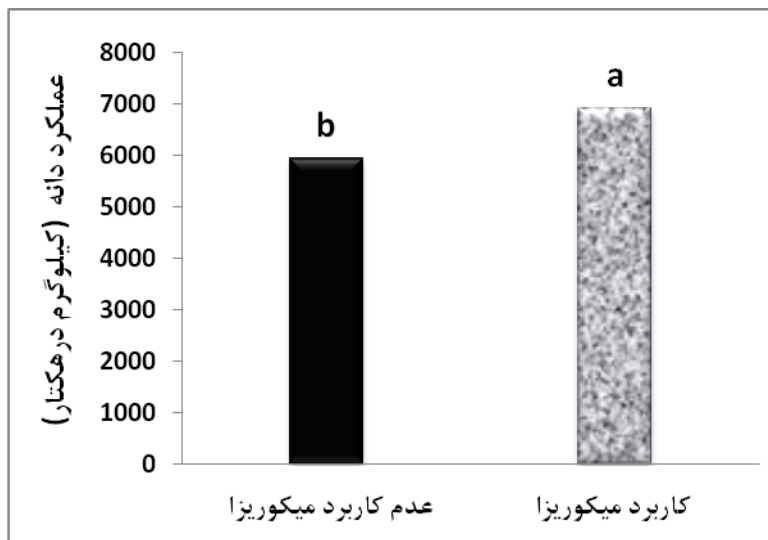


شکل ۴-۱۹- تاثیر کود سوپر فسفات تریپل بر عملکرد دانه ذرت در هکتار

تلقیح ریشه گیاه ذرت با قارچ میکوریزا سبب افزایش معنی دار عملکرد دانه در هکتار شد (شکل ۴-۲۰). استفاده از قارچ میکوریز با جذب فسفر و دیگر عناصر غذایی سرعت رشد گیاه را افزایش می‌دهد و بر تخصیص و انتقال عناصر غذایی بین ریشه و ساقه اثر می‌گذارد، به طوری که با افزایش جذب عناصر غذایی و انتقال آنها وزن خشک اندام هوایی افزایش می‌یابد (ارتاس و هریس،

(۱۹۹۶). همچنین تاثیر انواع قارچ‌های میکوریز بر افزایش فعالیتهای میکروبی خاک، افزایش مقدار فسفر قابل دسترس گیاهان و در نتیجه افزایش رشد گیاهی بخوبی به اثبات رسیده است (احمدخان و همکاران، ۲۰۰۷؛ دوپنویس و همکاران، ۲۰۰۵؛ کوچکی و همکاران، ۲۰۰۸؛ کنگ یو و همکاران، ۲۰۰۸؛ مهرورز و همکاران، ۲۰۰۸ و شارما و جهری، ۲۰۰۲). مک‌گوئین و همکاران (۱۹۸۸)، در بررسی خود بیان کردند که افزایش تلقیح AM منجر به ۳۷ درصد افزایش عملکرد گیاهان می‌شود. لکبرگ و همکاران (۲۰۰۵) نیز در سویا، گندم، جو و ذرت، بیان کردند عملکرد در پی تلقیح میکوریزا افزایش یافت. تلقیح ریشه گیاه ذرت با قارچ میکوریزا سبب افزایش ۱۶/۵٪ عملکرد دانه در هکتار شده است (شکل ۴-۲۰)

لازم به ذکر است زئولیت با فراهم کردن شرایط بهتر در محیط ریشه و اثر مثبت بر خصوصیات مورفولوژیک گیاه ذرت توانست عملکرد را بهبود ببخشد ولی این افزایش از لحاظ آماری معنی دار نبود.



شکل ۴-۲۰- اثر تلقیح میکوریزا بر عملکرد دانه در هکتار

۴-۱۱ عملکرد بیولوژیک

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول پیوست ۳) اثر اصلی تیمارهای میکوریزا، زئولیت و کود شیمیایی فسفر بر عملکرد بیولوژیک گیاه ذرت در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار می باشد. همچنین اثرات متقابل زئولیت و کود شیمیایی فسفر، میکوریزا و کود شیمیایی فسفر ($p \leq 0.01$) و اثر متقابل سه گانه کود فسفر، زئولیت و میکوریزا ($p \leq 0.05$) نیز بر عملکرد بیولوژیک گیاه ذرت معنی دار می باشد (جدول پیوست ۳).

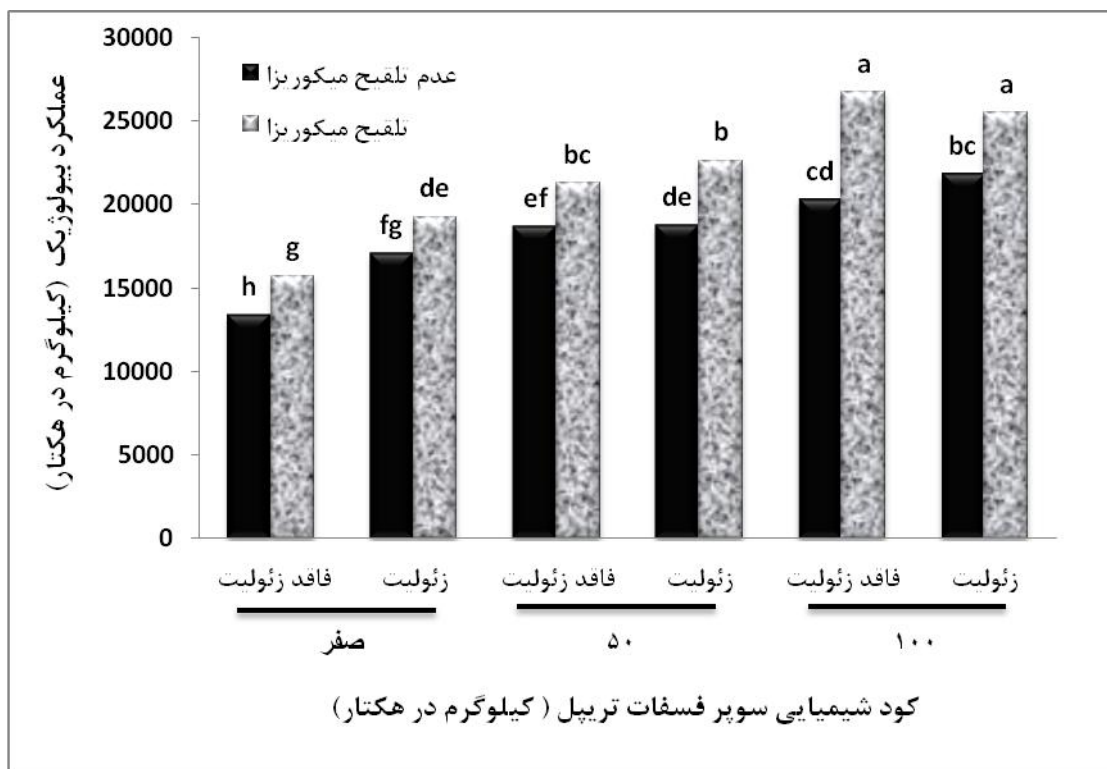
کاربرد سطوح مختلف کود شیمیایی فسفر در هکتار سبب افزایش عملکرد بیولوژیک گیاه ذرت شده است که این افزایش در تجزیه واریانس داده ها معنی دار گشته است ($p \leq 0.01$). میلر و همکاران (۱۹۷۸) با بررسی کاربرد سطوح مختلف کود فسفر در مزرعه ذرت اظهار داشتند که قابلیت دسترسی به فسفر با کاربرد سطوح فسفر بالاتر، افزایش یافت و همچنین عملکرد بیولوژیک نیز با کاربرد سطوح بالاتر کود فسفر، افزایش در پی داشت. نتایج تحقیقات گورمانی و همکاران (۲۰۰۶) نشان می دهد با افزایش مصرف کود فسفر در هکتار عملکرد علوفه تر افزایش می یابد که علت آن را می توان افزایش ارتفاع گیاه، تعداد شاخه در هر بوته، افزایش طول برگ و بیشتر شدن تعداد برگ در بوته دانست. رشید و همکاران (۲۰۰۷) مشاهده نمودند که با افزایش مصرف فسفر، میزان عملکرد علوفه خشک افزایش یافت، به گونه ای که مصرف ۹۸ کیلوگرم در هکتار نسبت به عدم مصرف فسفر عملکرد علوفه خشک را ۱۱/۱۸٪ افزایش داد.

کاربرد زئولیت به عنوان اصلاح کننده معدنی خاک با ویژگی های منحصر به فرد از قبیل تبادل کاتیونی بالا و خاصیت جذب بالای کاتیون های مفید و آزادسازی آنها به هنگام نیاز گیاه و از طرفی با تاثیر بر فراهمی فسفر قابل دسترس خاک برای گیاه موجب افزایش عملکرد بیولوژیک گیاه ذرت شده است. از طرفی زئولیت می تواند آب فراوانی را در خود جذب و ذخیره سازی کنند که این امر سبب ذخیره آب مصرفی گیاه می شود تا در هنگام لزوم از زئولیت به خاک منتقل شده و مورد استفاده قرار

گیرد. از سویی دیگر به علت ذخیره سازی آب از شسته شدن و هدر رفتن مواد غذایی و کودها به سطوح پایین خاک جلوگیری می‌کند، که این به نوبه خود باعث ذخیره عناصری مانند نیتروژن و فسفر در خاک می‌شود و حاصل خیزی خاک حفظ شده و منجر به افزایش عملکرد می‌شود. خصوصیات ساختمان زئولیت‌ها، از نظر داشتن خلل و فرج بسیار، سبب بهبود شرایط تهویه اراضی در طولانی مدت شده که این مساله برای افزایش فعالیت‌های بیولوژیک خاک و افزایش حاصل خیزی و فراهم بودن عناصر غذایی خاک در طول فصل رشد کمک کرده و در نهایت در بهبود رشد گیاه موثر است.

به نظر می‌رسد همزیستی میکوریزایی با افزایش فراهمی فسفر مورد نیاز و بهبود شرایط فیزیکی و بیولوژیک خاک، ضمن ایجاد یک محیط مناسب برای رشد ریشه، موجبات افزایش رشد اندام‌های هوایی نظیر ساقه، برگ و در نتیجه آن افزایش معنی‌دار ($p \leq 0.01$) تولید ماده خشک (عملکرد بیولوژیک) را فراهم آورده است. کاتلین و کراس (۲۰۰۶) اعلام کردند عملکرد بیولوژیک بسیاری از گیاهان که با قارچ میکوریزا همزیستی دارند نسبت به گیاهان که در محیط رشدشان قارچ میکوریزا وجود ندارد بالاتر است. قارچ‌های میکوریزا قادرند با بسیاری از گیاهان رابطه همزیستی برقرار نمایند و در افزایش مقاومت گیاه به عوامل بیماری‌زای ریشه، افزایش تولیدات فیتوهورمونی، افزایش رشد ریشه‌های مویین، افزایش جذب فسفر، تشدید فعالیت تثبیت ازت و با تشدید میزان فتوسنتز باعث افزایش رشد و نمو گیاه میزبان گردند (وارکاپ ۱۹۹۷). کاربرد میکوریزا در سطوح مختلف کود فسفر در گیاه ذرت سبب افزایش عملکرد بیولوژیک این گیاه شده است که می‌توان گفت میکوریزا افزایش جذب فسفر و عناصر دیگر سبب شده در نتیجه افزایش عملکرد بیولوژیک را همراه داشته است. اثر متقابل فسفر، میکوریز و زئولیت (شکل ۴-۲۱) بیانگر اثر مثبت و معنی‌دار ($p \leq 0.05$) در نتیجه افزایش عملکرد بیولوژیک می‌باشد که این امر در سطوح پایین فسفر بیشتر قابل مشاهده است و با افزایش سطح فسفر این اثر افزایشی کاهش می‌یابد. کاربرد توام زئولیت به همراه میکوریزا در

حضور کاربرد صفر ، ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار به ترتیب معادل ۴۴٪ ، ۶۹٪ و ۹۲٪ افزایش در عملکرد بیولوژیک نسبت به شاهد منجر شده است. در حالی که کاربرد به تنهایی کود فسفر به مقدار ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به ترتیب ۳۹٪ و ۵۲٪ نسبت به شاهد افزایش عملکرد بیولوژیک مشاهده شد. بنابراین مصرف توام زئولیت و میکوریز در حضور و یا عدم حضور فسفر توانست عملکرد بیولوژیک ذرت را بطور معنی داری افزایش دهد. به نظر می رسد کاربرد قارچ میکوریزا به عنوان کود بیولوژیک توانسته با فراهمی فسفر مورد نیاز گیاه سبب افزایش رشد و در نتیجه افزایش عملکرد بیولوژیک گیاه ذرت شود. همچنین کاربرد زئولیت به عنوان اصلاح کننده معدنی خاک با ویژگی های منحصر به فرد از قبیل تبادل کاتیونی بالا و خاصیت جذب بالای کاتیون های مفید و آزادسازی آنها به هنگام نیاز گیاه و از طرفی با تاثیر بر فراهمی فسفر قابل دسترس خاک برای گیاه موجب افزایش عملکرد بیولوژیک گیاه ذرت شده است. کاربرد توام میکوریزا و زئولیت همراه با کود شیمیایی فسفر می تواند تاثیر این کود را بیشتر افزایش دهد و باعث افزایش کارایی آن شود و از این رو باعث مصرف بهینه این کود در مزارع می شود.



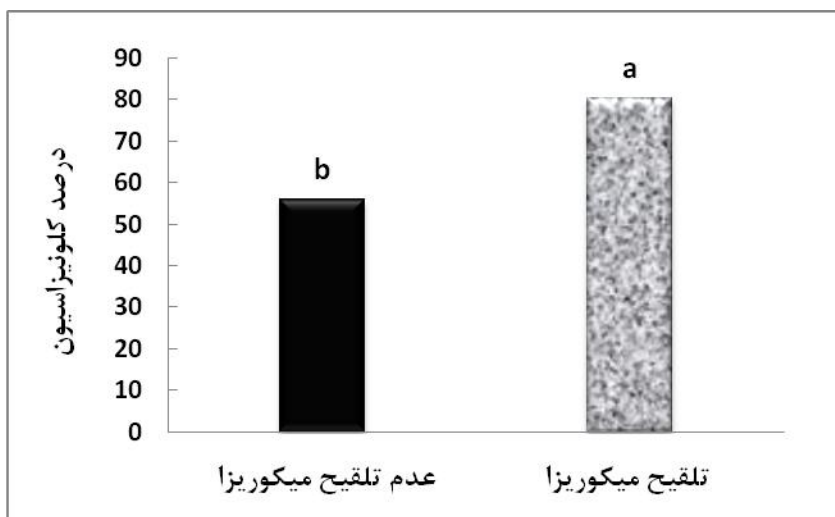
شکل ۴-۲۱- اثر متقابل سه گانه کود فسفر، زئولیت و میکوریزا بر عملکرد بیولوژیک

۱۲-۴ شاخص برداشت

نسبت توزیع مواد فتوسنتزی بین عملکرد اقتصادی و عملکرد کل، شاخص برداشت می‌باشد. عملکرد یک گیاه را می‌توان از طریق افزایش کل ماده خشک تولید شده در مزرعه یا افزایش سهم عملکرد اقتصادی (شاخص برداشت) و یا هر دو بالا برد (کوچکی و سرمدنی، ۱۳۷۷). تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین کود شیمیایی فسفر، زئولیت و میکوریزا مشاهده نشد و هیچکدام از این تیمارهای آزمایشی بر شاخص عملکرد معنی دار نشده است (جدول پیوست ۳).

۴-۱۳ کلونیزاسیون میکوریزایی

نتایج آنالیز واریانس داده‌ها نشان می‌دهد (جدول پیوست ۴) که کاربرد مایه تلقیح قارچ میکوریزا سبب معنی‌داری درصد کلونیزاسیون این قارچ با ریشه گیاه شده است ($p \leq 0.01$). قارچ میکوریزا توانست در این آزمایش میزان همزیستی با ریشه را به میزان قابل توجهی افزایش دهد (شکل ۴-۲۲). برین و همکاران (۱۳۸۴) با بررسی اثر تلقیح قارچ میکوریزا بر روی خصوصیات رشدی و تغذیه‌ای گوجه‌فرنگی به این نتیجه رسیدند که گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا نسبت به گیاهان تلقیح نشده با قارچ میکوریزا از درصد کلونیزاسیون بالاتری برخوردار بودند. نتایج تحقیقات ارمان و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد ریشه‌های تلقیح شده با قارچ (*Rhizophagus irregularis*) در نخود باعث افزایش معنی‌داری در کلونیزاسیون ریشه به میزان ۴۳/۸٪ گردید. به نظر می‌رسد اضافه کردن مایه تلقیح قارچ میکوریزا سبب افزایش جمعیت میکوریزایی خاک شده است و در نتیجه باعث افزایش ۲۵٪ همزیستی با ریشه گیاه ذرت نسبت به شاهد شده است. شکل (۴-۲۲) نشان دهنده اثر کاربرد میکوریزا در افزایش درصد کلونیزاسیون ریشه از ۵۵٪ به ۸۰٪ می‌باشد. لازم به ذکر است که در تیمار عدم تلقیح مقادیر مشاهده شده، مربوط به جمعیت میکوریزای بومی خاک می‌باشد که قبلاً در خاک حضور داشته‌اند. اثر متقابل سطوح تیمارهای کود فسفر و زئولیت در مقدار کلونیزاسیون میکوریزا معنی‌دار نشد.



شکل ۴-۲۲- تاثیر کاربرد مایه تلقیح میکوریزا بر افزایش درصد کلونیزاسیون

۴-۱۴ فسفر قابل دسترس خاک

نتایج تجزیه واریانس داده‌های جدول (پیوست ۴) نشان می‌دهد کود شیمیایی فسفر و ژئولیت اثر معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد و قارچ میکوریزا در سطح احتمال ۵ درصد بر فسفر قابل دسترس خاک دارند.

با اضافه شدن کود شیمیایی فسفر، دسترسی فسفر قابل جذب خاک به طور معنی داری ($p \leq 0.01$) افزایش را در پی داشته است. قول لرعطا (۱۳۸۴) نیز در پژوهش خود مشاهده کرد افزایش فسفر خاک به طور معنی داری فسفر قابل جذب خاک را افزایش می‌دهد. کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم کود فسفر نسبت به شاهد افزایش چشم گیری در فسفر قابل دسترس خاک ایجاد کرد (شکل ۴-۲۳).

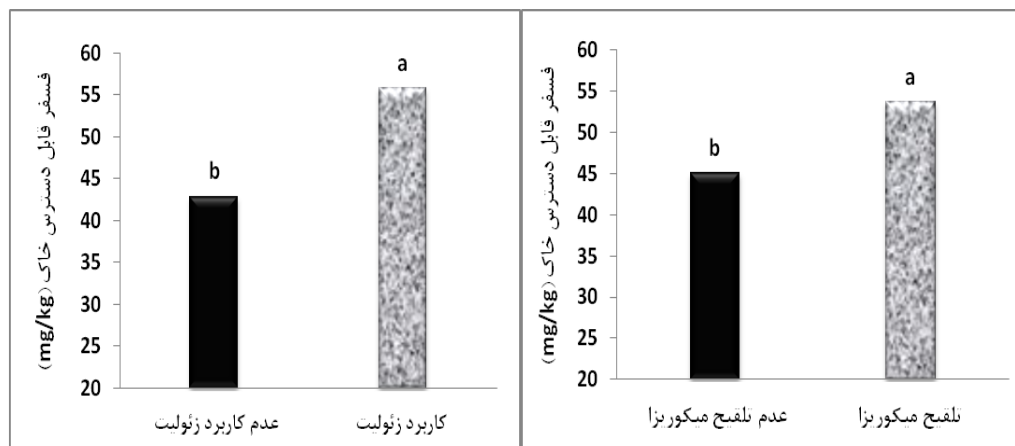


شکل ۴-۲۳- اثر کاربرد کود شیمیایی فسفر بر فسفر قابل دسترس خاک

بر اساس نتایج حاصل از آنالیز داده‌ها (جدول پیوست ۴)، کاربرد زئولیت سبب افزایش معنی‌دار فسفر قابل دسترس خاک شده است ($p \leq 0.01$). هوانگ و همکاران (۱۹۹۵) در تحقیقات خود نشان دادند که زئولیت‌ها نقش مهمی در سهولت جذب عناصر خصوصاً فسفر در خاک‌های آهکی دارند. قسمت اعظم کود فسفر در خاک‌های آهکی به وسیله کلسیم تثبیت شده و تشکیل فسفات کلسیم می‌گردد (سمپل و همکاران ۱۹۸۰، بولان ۱۹۹۱). باربایک و همکاران (۱۹۹۰) در آزمایش تحت تاثیر سنگ فسفات و زئولیت بر سورگوم سودان گراس نتیجه گرفتند که با افزایش نسبت مصرف زئولیت و سنگ فسفات در تیمارهای آزمایشی مقدار فسفر قابل جذب خاک افزایش یافت، با این فرضیه که زئولیت کلینوپتیلولایت هنگامی که همراه با سنگ فسفات مصرف می‌تواند کلسیم را از سنگ فسفات جذب کند و این عمل باعث آزاد شدن فسفر قابل جذب برای گیاه از سنگ فسفات خواهد شد. آلن و همکاران (۱۹۹۵) در نتایج خود بیان نمودند که زئولیت می‌تواند با جذب کلسیم از محلول خاک، یون آمونیم و پتاسیم موجود در خود را به صورت انتشار آزاد نمایند. از این رو زئولیت کلینوپتیلولایت هنگامی که کلسیم را از خاک جذب کرد، این عمل باعث آزاد شدن فسفر قابل جذب برای گیاهان می‌شود. از طرفی دیگر در پروسه تبدیل آمونیوم زئولیت به نترات (نیتریفیکاسیون) pH

کاهش می یابد که در نتیجه آن فسفر قابل جذب خاک می تواند افزایش پیدا کند (بارباریک و همکاران ۱۹۹۰).

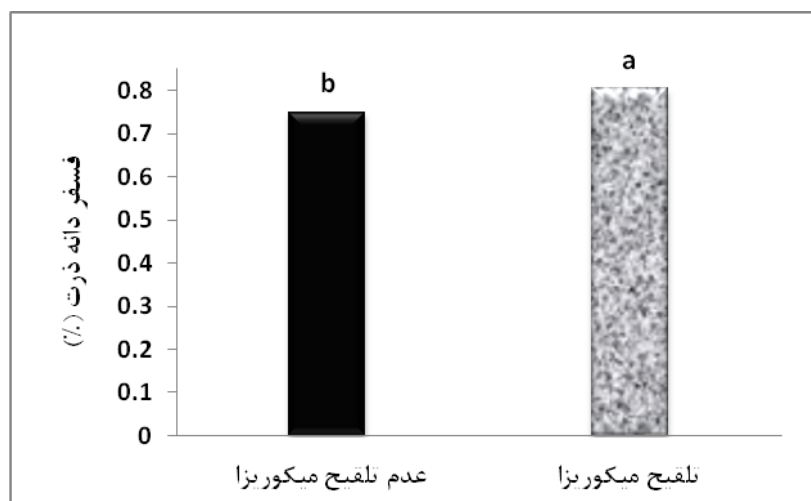
تلقیح میکوریزا افزایش معنی داری در فسفر قابل دسترس خاک نسبت به عدم تلقیح آن ایجاد کرده است ($p \leq 0.05$) (شکل ۴-۲۴). خان و زیدی (۲۰۰۷) اظهار داشتند که فسفر قابل جذب خاک در اثر تلقیح میکوریزا به طور معنی داری در خاک مزرعه افزایش می یابد. همچنین نتایج تحقیقات وئو و همکاران (۲۰۰۵) و زیدی و همکاران (۲۰۰۳) نیز بیانگر افزایش فسفر قابل جذب در اثر تلقیح میکوریزا می باشد. قارچ میکوریزا با ترشح آنزیم فسفاتاز باعث افزایش حلالیت فسفر در خاک می شود (طرفدار و مارشور، ۱۹۹۴). نتایج این تحقیق نشان داد تلقیح میکوریزا سبب افزایش فسفر قابل دسترس خاک می شود که می تواند به دلیل ترشح آنزیم فسفاتاز و اسیدهای آلی محلول کننده فسفر نظیر اسید مالیک از ریشه گیاهان تلقیح یافته باشد و از سویی دیگر در گیاهان میکوریزایی، افزایش مجموع سطح ریشه به دلیل تشکیل میسیلیوم در منطقه تارهای کشنده و تغییرات شیمیایی و تغییرات pH در ریزوسفر در فراهمی فسفر قابل دسترس خاک تاثیر معنی داری داشته است.



شکل ۴-۲۴- تاثیر زئولیت و میکوریزا بر فسفر قابل دسترس خاک

۴-۱۵ غلظت فسفر دانه

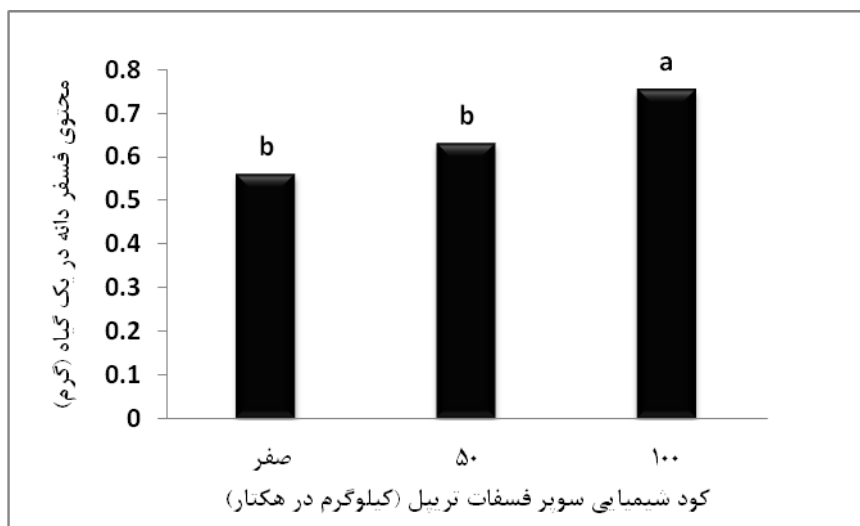
در بین تیمارهای آزمایش تنها قارچ میکوریزا بر غلظت فسفر بذر ذرت اثر معنی دار ($p \leq 0.01$) داشت (جدول پیوست ۴). نتایج نشان می‌دهد کاربرد قارچ میکوریزا توانست غلظت فسفر بذر را نسبت به عدم کاربرد آن افزایش دهد. کاپور و همکاران (۲۰۰۴) در تحقیق خود بیان کردند که میانگین غلظت فسفر در تلقیح رازیانه با دو گونه قارچ میکوریزای آرباسکولار نسبت به شاهد به طور معنی داری بیشتر است. همچنین آنها بیان کردند که همزیستی میکوریزا از طریق بهبود گسترش هیف‌های قارچ در منافذ خاک به طور فیزیکی موجب افزایش جذب فسفر در پیکره رویشی رازیانه شده و در پی آن با افزایش وزن خشک گیاه سبب بهبود غلظت فسفر در دانه رازیانه شده است. ارتاس (۲۰۱۰) بیان کرد که مقدار روی و فسفر در گیاهان تلقیح شده با میکوریزا افزایش می‌یابد. نتایج محققین بر روی گیاه نخود نشان می‌دهد محتویات فسفر دانه و گیاه در گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا بیشتر از گیاهان تلقیح نشده بود (استانچوا و همکاران، ۲۰۰۶؛ ارمان و همکاران، ۲۰۱۱). در پژوهش دیگری غلظت فسفر در اندام‌های هوایی گیاه سورگوم در اثر تلقیح با قارچ میکوریزا افزایش یافت (ویدادا و همکاران، ۲۰۰۷).



شکل ۴-۲۵- تاثیر کاربرد میکوریزا بر درصد غلظت فسفر دانه

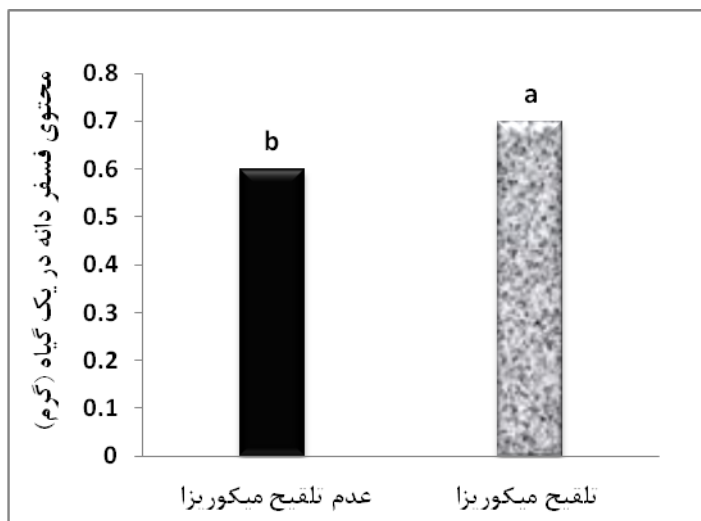
۱۶-۴ محتوای فسفر گیاه

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثر تیمارهای کود فسفر و میکوریزا به ترتیب در سطوح احتمال ۱ و ۵ درصد بر محتوای فسفر گیاه ذرت معنی دار می‌باشد (پیوست ۴). کاربرد ۱۰۰ کیلو گرم در هکتار کود فسفر، محتوای فسفر گیاه را به میزان ۳۴/۵۲٪ نسبت به شاهد افزایش داده است (شکل ۴-۲۶). یافته‌های توگای و همکاران (۲۰۰۸) و آلوش و همکاران (۲۰۰۰) بر روی گیاه نخود نشان داد که کاربرد سطوح مختلف کود فسفر سبب معنی دار شدن فسفر دانه شده است.



شکل ۴-۲۶- اثر کاربرد کود فسفر بر محتوای فسفر گیاه ذرت

گیاهان تلقیح یافته با میکوریزا دارای محتوای فسفر بیشتری نسبت به گیاهان شاهد بودند، به طوری که همزیستی با میکوریزا محتوای فسفر گیاه را به میزان ۱۶/۵٪ در این گیاهان افزایش داد (شکل ۴-۲۷). همچنین تلقیح گیاه شبدر با قارچ میکوریزا به طور معنی داری باعث افزایش رشد اندام هوایی و همچنین افزایش غلظت و محتوای فسفر گیاه گردید (اصغری، ۱۳۸۶).



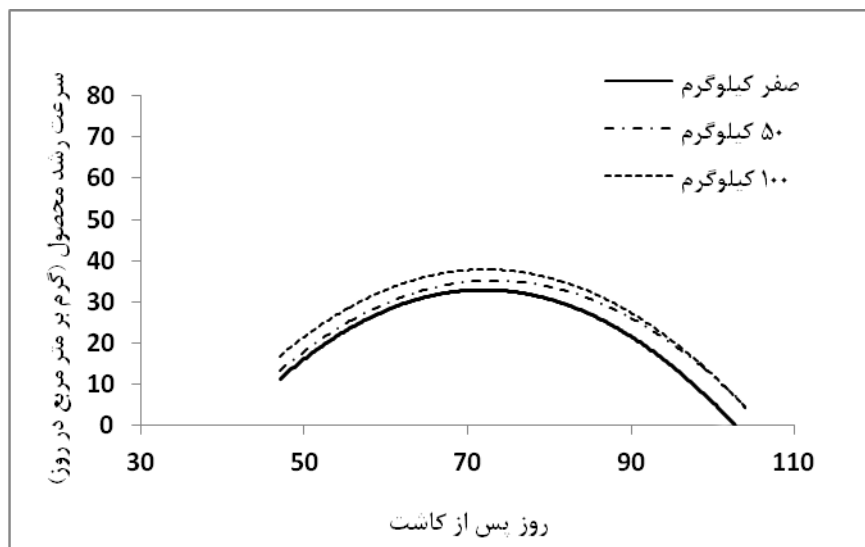
شکل ۴-۲۷- تاثیر تلقیح میکوریزا بر محتوای فسفر گیاه

۱۷-۴ شاخص‌های رشد

۱-۱۷-۴ سرعت رشد محصول (CGR) ۱

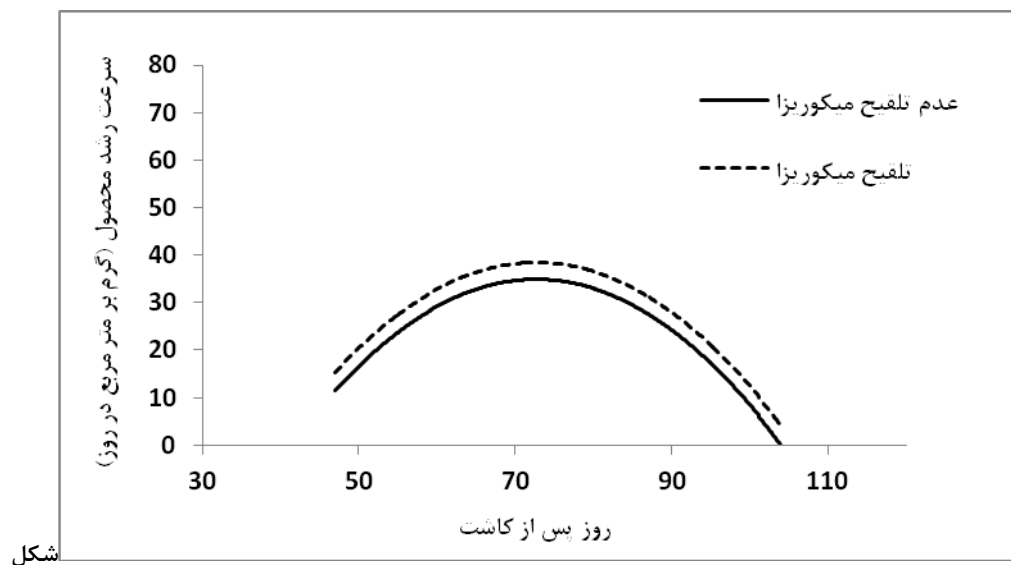
افزایش وزن ماده خشک یک جامعه گیاهی در واحد سطح و در واحد زمان می‌باشد که معمولاً بر حسب گرم در مترمربع در روز بیان می‌شود، پارامتر سرعت رشد محصول یکی از شاخص‌هایی است که با عملکرد گیاهان زراعی همبستگی بالایی نشان می‌دهد (کوچکی و سرمدنی، ۱۳۷۷). مطالعه بررسی تغییرات سرعت رشد محصول در واکنش به کود شیمیایی فسفر در طول فصل رشد نشان می‌دهد که سرعت رشد محصول در مراحل اولیه به دلیل کافی نبودن پوشش گیاهی، درصد کمی از نور خورشید توسط گیاهان جذب می‌شود، سپس همراه با افزایش سطح برگ به سرعت افزایش می‌یابد و در زمان گل دهی به حداکثر خود می‌رسد و از آن پس با رسیدن گیاه به حد نهایی رشد در اثر سایه‌اندازی اندام‌های فوقانی بر روی برگ‌ها، کاهش قدرت فتوسنتزی گیاه، پیری و ریزش برگ‌ها، سرعت رشد محصول شدیداً کاهش پیدا می‌کند. حداکثر سرعت رشد محصول در ۷۰ روز پس از کاشت در زمان گل دهی مشاهده شد و با رسیدن بیشتر گیاه به دلیل توقف رشد رویشی و پیر شدن

برگ‌ها کاهش می‌یابد. بیشترین سرعت رشد محصول مربوط به تیمار کودی ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد (شکل ۴-۲۸). همچنین در تحقیقی بر روی گیاه ذرت، کود فسفر سرعت رشد محصول را به طور معنی‌داری افزایش داده است (رستمی و عباسدخت، ۱۳۸۹).



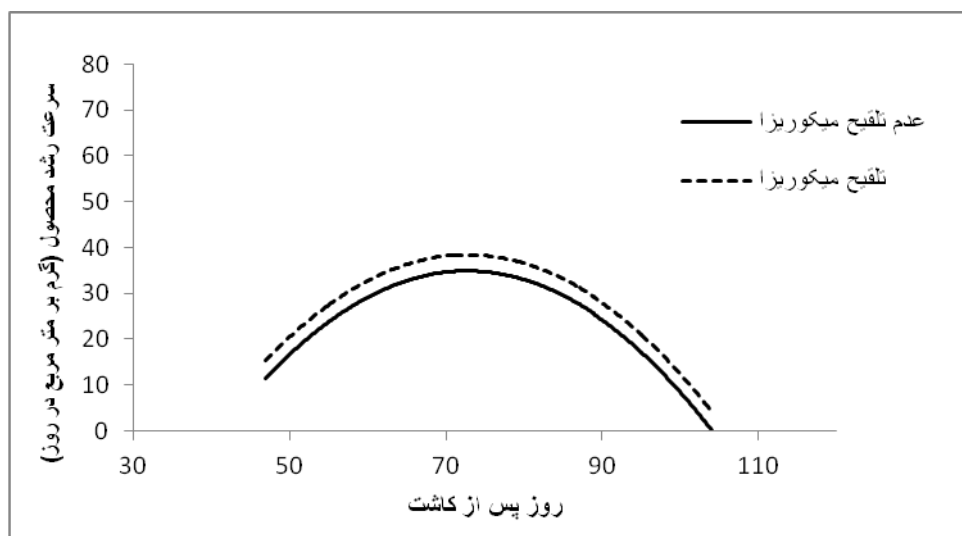
شکل ۴-۲۸- تاثیر کود فسفر (کیلوگرم بر هکتار) بر سرعت رشد محصول

سرعت رشد محصول در اثر کاربرد ژئولیت نسبت به عدم کاربرد آن افزایش یافته است (شکل ۴-۲۹)، که می‌توان گفت ژئولیت با تاثیر مثبت بر رشد گیاه سبب افزایش سطح برگ و اندام‌های هوایی شده در نتیجه منجر به افزایش CGR این گیاهان شده است. بیشترین CGR در ۷۰ روز پس از گل دهی مشاهده شد که به میزان ۱۰/۹ درصد نسبت به عدم کاربرد ژئولیت سرعت رشد محصول را افزایش داده است.



۴-۲۹- تاثیر کاربرد زئولیت بر سرعت رشد محصول

بررسی روند تغییرات CGR تحت تاثیر تلقیح گیاهان با میکوریزا در طول دوره رشد ذرت حاکی از آن است که بیشترین رشد محصول را گیاهان تلقیح یافته داشتند و میکوریزا با تاثیر مثبت سبب بهبود رشد گیاه نسبت به گیاهان تلقیح نیافته شده است (شکل ۴-۳۰). همچنین بیشترین سرعت رشد محصول در ۷۰ روز پس از کاشت بدست آمد که به میزان ۴۸/۴۵ گرم در روز بر متر مربع با افزایش ۱۶/۵ درصدی نسبت به گیاهان تلقیح نیافته سبب افزایش رشد محصول شده است. و همکاران (۲۰۰۵) بیان کردند در گیاه ذرت تلقیح میکوریزا باعث افزایش معنی دار CGR گردید، همچنین آنان دلیل افزایش سرعت رشد گیاه را بهبود جذب مواد غذایی توسط گیاه دانستند.



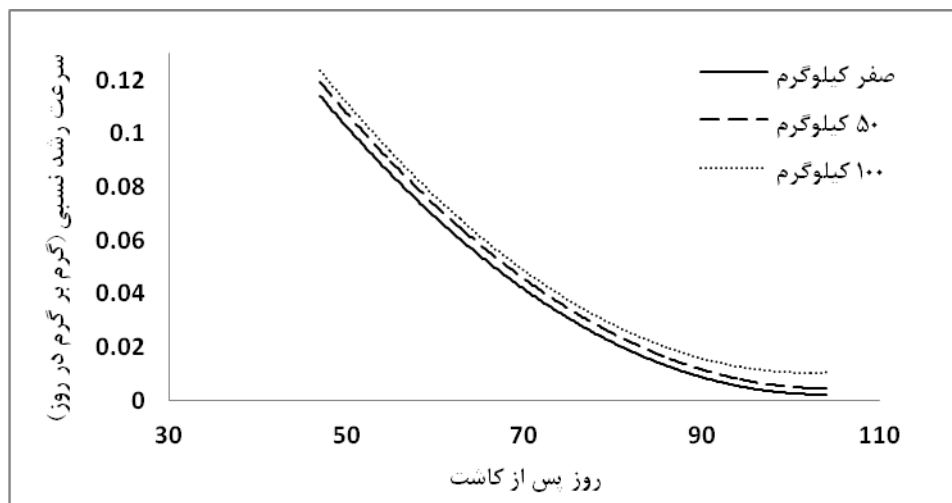
شکل ۴-۳۰- تاثیر تلقیح میکوریزا بر سرعت رشد محصول

۴-۱۷-۲ سرعت رشد نسبی (RGR) ۱

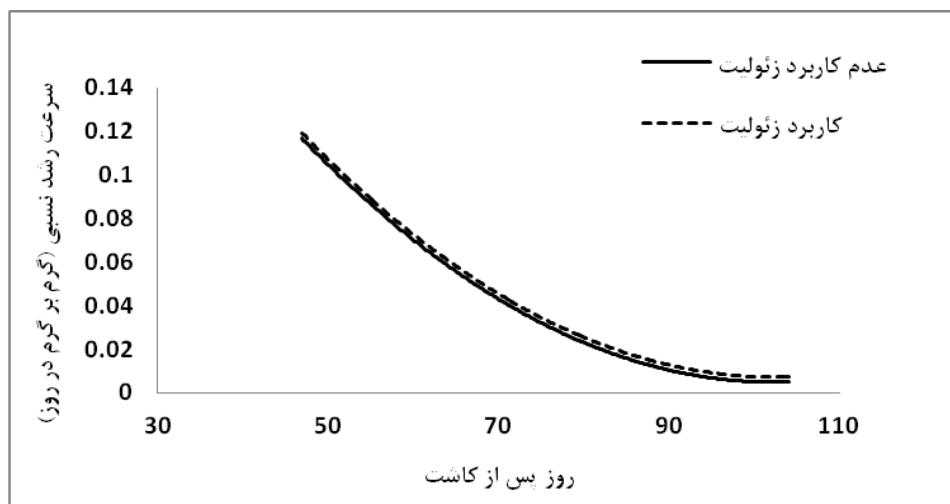
سرعت رشد نسبی بیان کننده وزن خشک اضافه شده نسبت به وزن خشک اولیه در یک فاصله زمانی است. مقدار RGR در ابتدای فصل رشد به دلیل رشد سریع گیاهان، وجود حداکثر بافت‌های جوان و فتوسنتز کننده و وزن اولیه کم گیاه نسبت به زمان‌های دیگر بیشتر است. با گذشت زمانه هر چند مقدار وزن خشک گیاه افزایش پیدا می‌کند اما سرعت افزایش به دلیل افزایش نسبت بافت‌های بالغ به بافت‌های مریستمی کاهش می‌یابد از جهتی برگ‌های پایینی گیاه به دلیل پیری و در سایه قرار گرفتن، قادر به فتوسنتز مناسب نمی‌باشند، لذا جذب و ترکیبات تولید شده به کل وزن خشک کاهش می‌یابد (هاشمی دزفولی و همکاران، ۱۳۷۴).

تاثیر کود فسفر، زئولیت و قارچ میکوریزا بر روند تغییرات رشد نسبی نشان می‌دهد که در هر سه تیمار میزان سرعت رشد نسبی در اولین نمونه برداری (۴۷ روز پس از کاشت)، مقدار RGR در

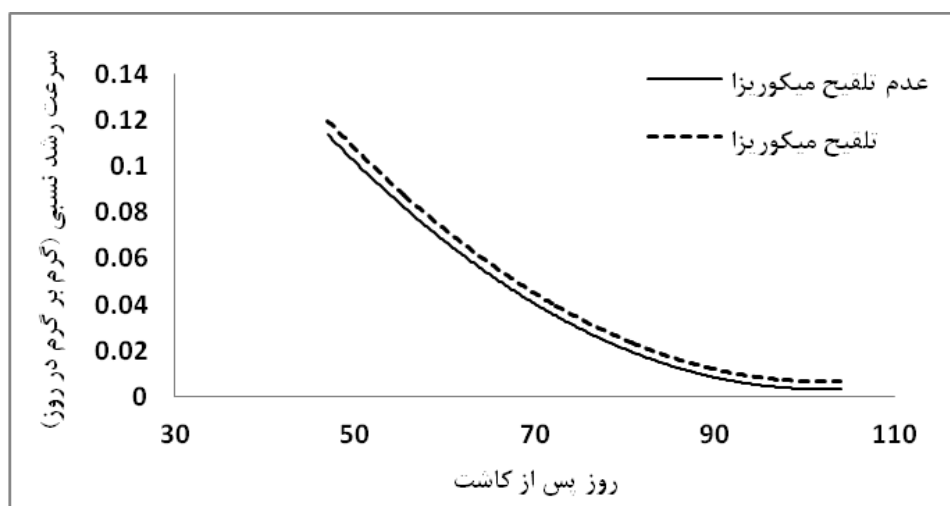
بالاترین حد خود قرار دارد. با گذشت زمان و رشد بیشتر گیاه و به علت افزایش سایه‌اندازی مقدار سرعت رشد نسبی کند شده و کاهش پیدا نموده است. بیشترین رشد نسبی در اثر کاربرد کود فسفر، به تیمار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. رستمی و عباسدخت (۱۳۸۹) در گیاه ذرت مشاهده کردند که کاربرد کود فسفر اثر معنی‌داری بر سرعت رشد نسبی داشته است (شکل ۴-۳۱). کاربرد زئولیت توانست سرعت رشد نسبی گیاه را نسبت به عدم کاربرد آن بهبود ببخشد (شکل ۴-۳۲). همچنین در اثر تلقیح میکوریزا با ریشه گیاهان سرعت رشد نسبی نسبت به عدم تلقیح آن افزایش یافته است و مقدار سرعت رشد نسبی در اوایل دوره رشد بیشترین مقدار بوده و در طول دوره رشد کاهش یافت (شکل ۴-۳۳).



شکل ۴-۳۱- تاثیر کاربرد کود فسفر (کیلوگرم در هکتار) بر سرعت رشد نسبی



شکل ۴-۳۲- تاثیر کاربرد زئولیت بر سرعت رشد نسبی



شکل ۴-۳۳- اثر تلقیح میکوریزا بر سرعت رشد نسبی

۳-۱۷-۴ شاخص سطح برگ (LAI) ۱

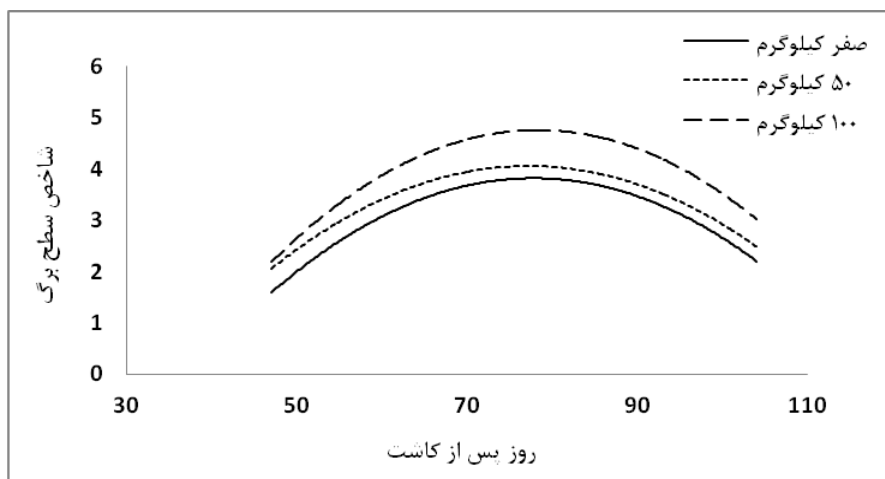
مجموع سطح برگ یک بوته به ازای واحد سطح زمین اشغال شده توسط آن بوته را شاخص سطح برگ گویند (سرمدنیا و کوچکی، ۱۳۷۸). چون تشعشع خورشیدی به طور یکنواختی روی سطح زمین پخش می‌شود لذا LAI یک معیار تقریبی از مساحت برگ‌ها در واحد سطح است که تشعشع خورشید برای آنها قابل دسترس می‌باشد. افزایش شاخص سطح برگ سبب افزایش در فتوسنتز گیاه

می‌شود و در پی آن عملکرد ماده خشک و دانه نیز بیشتر خواهد بود. به طور کلی تغییرات منحنی شاخص سطح برگ برای تمامی تیمارها مشابه بوده و در ابتدای دوره رشد گیاه، شاخص سطح برگ دارای رشد آهسته‌ای بود و با گذشت زمان افزایش می‌یابد و تقریباً مصادف با ظهور به حداکثر مقدار خود می‌رسد، و در رسیدن به انتهای چرخه زندگی ذرت دوجار کاهش می‌شود. این کاهش به خاطر زرد شدن برگ‌ها و ریزش آنها است.

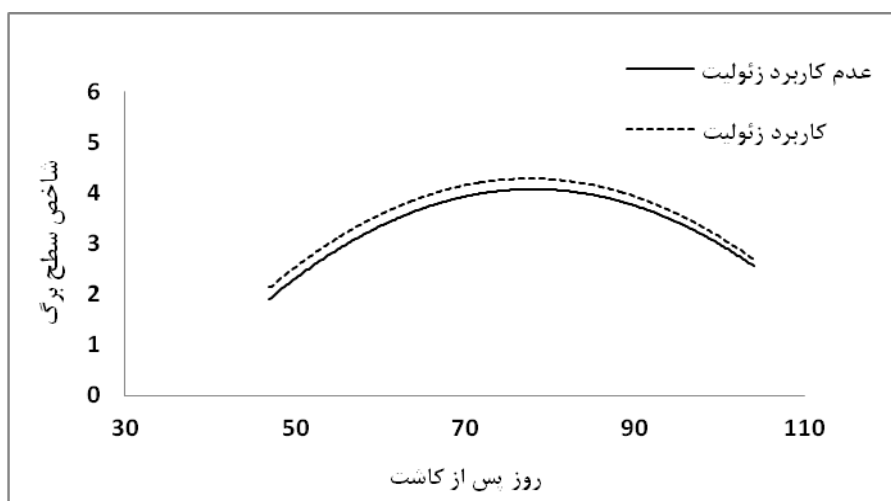
تغییرات شاخص سطح برگ در واکنش به کاربرد سطوح مختلف کود فسفر در طول دوره رشد (شکل ۴-۳۴) نشان می‌دهد بیشترین شاخص سطح برگ در نمونه برداری چهارم و ۸۰ روز پس از کاشت مشاهده شده است و از آن پس با رسیدن به انتهای فصل رشد به دلیل زرد شدن و همچنین ریزش برگ‌ها روند نزولی دارد. بیشترین میزان LAI در ۸۰ روز پس از کاشت در اثر کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر و کمترین میزان از شاهد بدست آمد. بررسی یحیها و همکاران (۱۹۹۵) نشان داد که در اثر کاربرد کود فسفر شاخص سطح برگ نخود افزایش یافته است.

کاربرد زئولیت سبب افزایش شاخص سطح برگ گیاه ذرت نسبت به شاهد شده است (شکل ۴-۳۵). آلن و همکاران (۱۹۹۵) در نتایج خود بیان نمودند که زئولیت می‌تواند با جذب کلسیم از محلول خاک، یون آمونیم و پتاسیم موجود در خود را به صورت انتشار آزاد نمایند که می‌تواند مورد استفاده گیاه قرار گیرد و موجب بهبود خصوصیات رشدی گیاه شود.

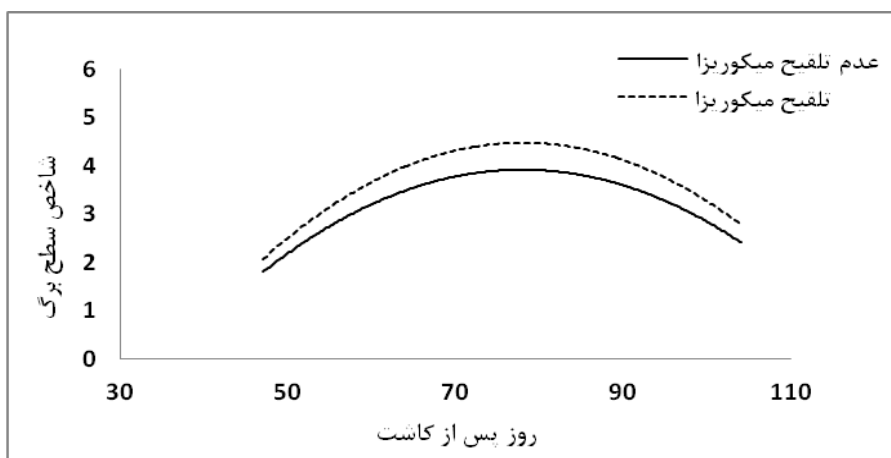
همچنین قارچ میکوریزا شاخص سطح برگ را در گیاه ذرت نسبت به شاهد افزایش داده است که بیشترین افزایش در نمونه برداری چهارم و ۸۰ روز پس از کاشت می‌باشد که پس از آن یک روند کاهشی در بر گرفت (شکل ۴-۳۶). اصلانی و همکاران (۱۳۸۷) اظهار داشتند که تلقیح بذره‌ای ریحان با میکوریزا باعث افزایش تعداد برگ، سطح برگ و شاخص سطح برگ گردید.



شکل ۳۴-۴- تاثیر کاربرد کود فسفر (کیلوگرم بر هکتار) بر شاخص سطح برگ



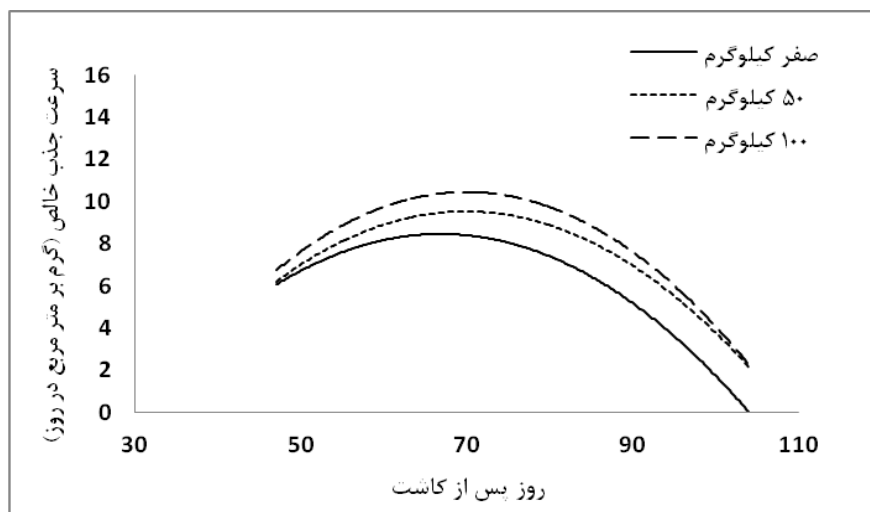
شکل ۳۵-۴- تاثیر زئولیت بر شاخص سطح برگ



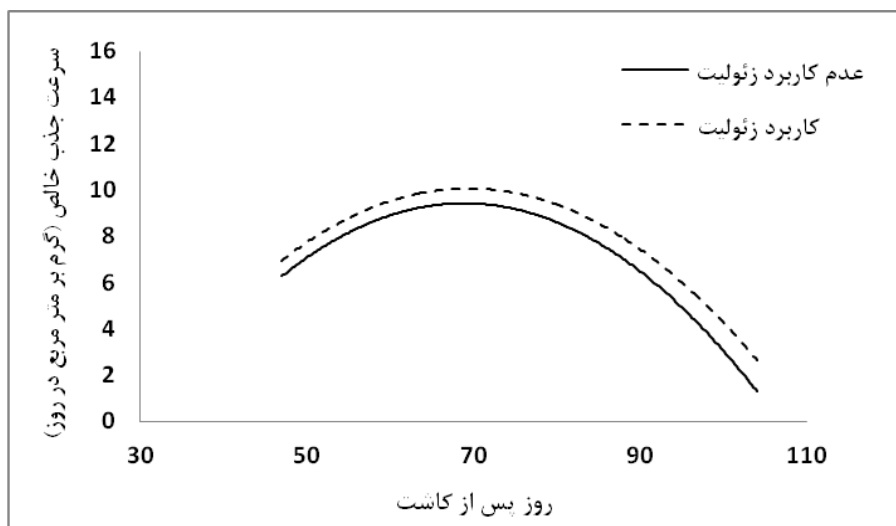
شکل ۳۶-۴- تاثیر تلقیح میکوریزا بر شاخص سطح برگ

۴-۱۷-۴ سرعت جذب خالص (NAR) ۱

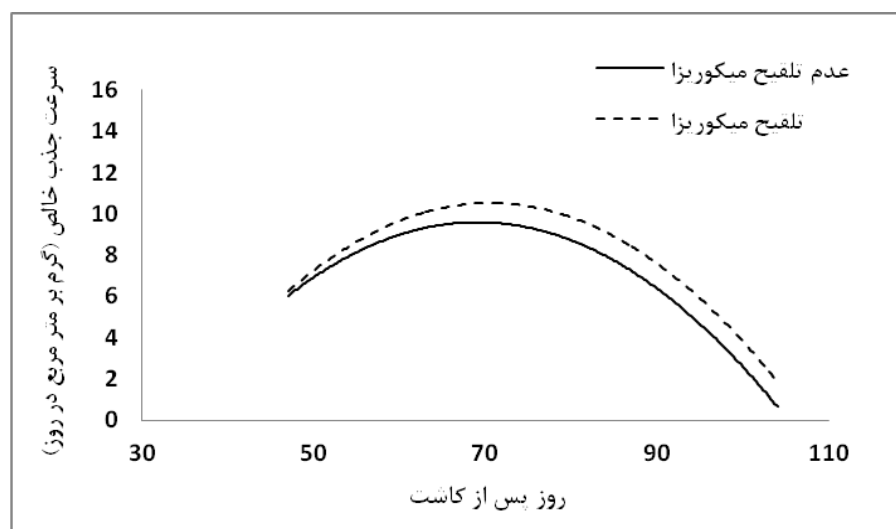
این شاخص معیاری از مدل کارایی فتوسنتزی برگ‌ها در یک جامعه گیاهی می‌باشد (سبحانی، ۱۳۸۰). سرعت جذب خالص عبارت است از ماده^۱ خشک تولید شده یا میزان مواد فتوسنتزی خالص تولید شده در واحد سطح برگ در مدت زمان معین که واحد آن گرم در متر مربع در روز یا هفته می‌باشد. این شاخص بیان کننده مواد ساخته شده خالص در واحد زمان و در واحد سطح برگ است. کاربرد تیمارهای کود فسفر، زئولیت و میکوریزا منجر به افزایش سرعت جذب خالص شده‌اند. کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم کود فسفر بیشترین سرعت جذب را در بین سطوح مختلف کود فسفر داشته است (شکل ۴-۳۷). همچنین با کاربرد زئولیت و میکوریزا میزان سرعت جذب خالص نسبت به عدم کاربرد آنها افزایش یافته است (شکل ۴-۳۸ و ۴-۳۹). سرعت فتوسنتز خالص یک معیار مناسب برای بیان ویژگی‌های رشد گیاهان است و از آنجائیکه برگ‌ها، عمده ترین عامل فتوسنتز کننده گیاه می‌باشند لذا بیان رشد براساس سطح برگ مطلوب به نظر می‌رسد (حیدری شریف‌آباد، ۱۳۸۲).



شکل ۴-۳۷- تاثیر کاربرد کود فسفر بر سرعت جذب خالص



شکل ۴-۳۸- تاثیر زئولیت بر سرعت جذب خالص



شکل ۴-۳۹- تاثیر تلقیح میکوریزا بر سرعت جذب خالص

نتیجه گیری

کاربرد اصلاح کننده خاک زئولیت به همراه تلقیح میکوریزا در سطوح مختلف فسفر خاک بر بسیاری از صفات زراعی و مورفولوژیکی گیاه ذرت تاثیر مثبت و معنی داری بجا گذاشته است. کاربرد به تنهایی زئولیت با توجه به ویژگی های منحصر به فرد از قبیل قابلیت تبادل کاتیونی بالا، جذب انتخابی کاتیون های مفید و آزادسازی کنترل شده آنها، ثبات چارچوب ساختمانی در دراز مدت (برخلاف کانی های رسی) و ایجاد شرایط بهتر در خاک رایزوسفر ضمن افزایش فسفر قابل دسترس خاک منجر به افزایش ارتفاع گیاه، قطر ساقه، سطح برگ، وزن صد دانه گیاه ذرت شده است.

محققان در بررسی های اکولوژیک بیان کردند که استفاده بیش از حد از کودهای شیمیایی بخصوص کودهای فسفاته سبب تخریب اکوسیستم های زراعی و برهم زدن تعادل اکولوژیکی در خاک می گردد، از این جهت استفاده از جایگزین های مناسب از جمله اهداف نوین کشاورزی اکولوژیک می باشد، زیرا استفاده از کودهای بیولوژیک از جمله میکوریزا تاثیر نامناسبی بر بیولوژی و اکولوژی خاک ندارد بلکه سبب بهبود آن می شود. نتایج این بررسی نشان داد که کاربرد قارچ میکوریزا به تنهایی بر تمامی صفات اندازه گیری شده این پژوهش به غیر از شاخص عملکرد تاثیر مثبتی و معنی داری داشته است. تاثیر تلقیح میکوریزا به همراه کاربرد زئولیت و کود فسفر بر افزایش عملکرد بیولوژیک و تعداد ردیف در بلال مثبت و معنی دار بوده است. کاربرد توام میکوریزا و زئولیت همراه با کود شیمیایی فسفر می تواند تاثیر این کود را بیشتر افزایش دهد و باعث افزایش کارایی آن شود و از این رو باعث مصرف بهینه این کود در مزارع می شود.

افزایش نیاز روز افزون به فرآورده های کشاورزی در پی رشد سریع جمعیت نیازمند تولید بیشتر محصولات کشاورزی می باشد. این امر با افزایش سطح زیر کشت و یا افزایش تولید در واحد سطح ممکن می شود. از جهتی با توجه به قرار گرفتن کشور در کمربند خشک و نیمه خشک امکان زیر کشت بردن زمین های جدید به سادگی وجود ندارد، همچنین برای زمین های در حال کشت نیز با کمبود آب

مواجه هستیم، به نظر می‌رسد امکان افزایش سطح زیر کشت پایین و حداکثر تلاش محققان در بخش کشاورزی باید روی افزایش تولید در واحد سطح تمرکز یابد. کاربرد توام میکوریزا و ژئولیت همراه با کود شیمیایی فسفر می‌تواند تاثیر این کود را افزایش دهد و باعث کارایی بهتر آن شود و از این رو منجر به مصرف بهینه این کود در مزارع می‌شود. بنابراین به نظر می‌رسد با کاربرد اصلاح کننده‌های معدنی خاک و کودهای بیولوژیک می‌توان به تعادل اکولوژیک خاک کمک کرد و جذب عناصر غذایی و تعادل مصرف آنها را در خاک مهیا نمود. همچنین کاربرد میکوریزا به همراه سطوح مختلف کود فسفر در این آزمایش با تاثیر مثبت بر اکثر صفات مورد بررسی از جمله عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ذرت شده است و توانست عملکرد در واحد سطح نسبت به شاهد افزایش معنی دار دهد و نشان داد جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی فسفره می‌باشد. نتایج این تحقیق می‌تواند در سیستم‌های کشاورزی ارگانیک و پایدار کاربرد داشته باشد.

پیشنهادهات

کاربرد سطوح مختلف ژئولیت در مزارع کشت ذرت

کاربرد توام ژئولیت و کودهای شیمیایی مختلف از جمله کودهای نیتروژنه و پتاسه

استفاده از سایر کودهای بیولوژیک از قبیل باکتری‌های حل کننده فسفات و PGPR همراه با

ژئولیت در زراعت گیاهان

کاربرد توام قارچ میکوریزا و باکتری‌های همزیست ریشه گیاهان در سطوح مختلف ژئولیت

انجام این آزمایش طی دو سال پیاپی

پیوست

جدول پیوست ۱- جدول تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه تحت تاثیر کود شیمیایی فسفر ، قارچ میکوریزا و ژئولیت

منابع تغییرات	df	ارتفاع گیاه	قطر ساقه	سطح برگ	وزن بلال
تکرار	۲	۹۹۱/۷۵ ^{**}	۰/۰۴۹ [*]	۱۱۶۴۱۵۳/۰۸ ^{**}	۱۴۹۱/۵۲ [*]
فسفر	۲	۲۸۳۵/۸۹ ^{**}	۰/۱۱۵ ^{**}	۸۵۹۴۴۱/۱۸ ^{**}	۳۱۶۸/۸۸۵ ^{**}
ژئولیت	۱	۲۱۵/۱۱ [*]	۰/۰۷۶ ^{**}	۴۱۹۲۵۶/۲۵ [*]	۳۴۷/۸۰ ^{ns}
فسفر×ژئولیت	۲	۱۱۳/۸۴ [*]	۰/۰۶۳ ^{**}	۸۱۳۵۶/۵۲ ^{ns}	۳۷۷/۹۹ ^{ns}
میکوریزا	۱	۱۴۸۲/۲۵ ^{**}	۰/۲۴۲ ^{**}	۱۲۰۴۸۷۲/۱۱ ^{**}	۱۶۳۵/۰۲ [*]
فسفر×میکوریزا	۲	۶/۲۷ ^{ns}	۰/۰۱۲ ^{ns}	۷۹۹۹۷/۷۹ ^{ns}	۲۴/۴۲۶ ^{ns}
ژئولیت×میکوریزا	۱	۸۷۰/۲۵ ^{**}	۰/۰۱۶ ^{ns}	۶۵۰/۲۵ ^{ns}	۹۳۲/۱۷ ^{ns}
فسفر×ژئولیت×میکوریزا	۲	۲۳/۷۷ ^{ns}	۰/۰۰۵ ^{ns}	۳۱۴۳۱/۲۷ ^{ns}	۳۶/۸۵ ^{ns}
خطا	۲۲	۳۱/۸۱	۰/۰۰۹	۶۷۰۷۳/۵۰	۳۱۱/۸۷۳
ضریب تغییرات		٪۳/۳۴	٪۳/۳۷	٪۷/۲۷	٪۱۵/۷۶

ns و * و ** به ترتیب غیرمعنی داری، معنی داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول پیوست ۲- جدول تجزیه واریانس ادامه صفات مورد مطالعه تحت تاثیر کود شیمیایی فسفر ، قارچ میکوریزا و زئولیت

منابع تغییرات	Df	تعداد ردیف بلال	دانه در ردیف	دانه در بلال	وزن صد دانه
تکرار	۲	$0/842^{ns}$	$17/40^{ns}$	$3600/11^{ns}$	۱۲/۶۹۱
فسفر	۲	$1/70^{ns}$	$30/84^{ns}$	$26618/17^{**}$	$48/87^{**}$
زئولیت	۱	$0/458^{ns}$	$4/65^{ns}$	$1790/99^{ns}$	$36/89^{**}$
فسفر×زئولیت	۲	$2/05^{ns}$	$75/19^*$	$985/29^{ns}$	$8/41^{ns}$
میکوریزا	۱	$0/364^{ns}$	$77/82^*$	$42108/88^{**}$	$148/24^{**}$
فسفر×میکوریزا	۲	$0/099^{ns}$	$2/04^{ns}$	$645/09^{ns}$	$15/16^{ns}$
زئولیت×میکوریزا	۱	$0/11^{ns}$	$64/24^*$	$6196/65^{ns}$	$12/94^{ns}$
فسفر×زئولیت×میکوریزا	۲	$3/120^*$	$3/86^{ns}$	$3770/53^{ns}$	$13/51^{ns}$
خطا	۲۲	$0/76$	$13/53$	$3752/10$	$4/575$
ضریب تغییرات		$5/91\%$	$10/81\%$	$11/81\%$	$9/81\%$

ns و * و ** به ترتیب غیرمعنی داری، معنی داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول پیوست ۳- جدول تجزیه واریانس ادامه صفات مورد مطالعه تحت تاثیر کود شیمیایی فسفر ، قارچ میکوریزا و زئولیت

منابع تغییرات	df	وزن چوبه بلال	عملکرد دانه در هکتار	عملکرد بیولوژیک	شاخص برداشت
تکرار	۲	^{ns} ۱/۲۹	* ۴۵۲۹۹۸۹/۹۹	^{ns} ۱۰۹۴۶۳۴/۳۳	* ۹۸/۷۳۸
فسفر	۲	* ۲۳/۳	** ۹۲۱۰۸۴۸/۰۶	** ۱۵۷۹۰۸۷۴۲/۱۳	^{ns} ۲۳/۴۳۴
زئولیت	۱	^{ns} ۶/۰۱۹	^{ns} ۱۴۴۳۱۸۵/۳۵	** ۱۹۹۸۳۳۸۲/۴۴	^{ns} ۳/۰۰۶
فسفر×زئولیت	۲	^{ns} ۷/۹۷۶	^{ns} ۲۲۴۸۸۹/۷	** ۱۰۳۶۲۲۵۸/۵۴	^{ns} ۱۵/۴۳۳
میکوریزا	۱	* ۳۸/۷۱۲	** ۸۶۸۹۵۵۶/۷۹	** ۱۱۲۲۳۲۲۲۲/۱۵	^{ns} ۱/۴۴۲
فسفر×میکوریزا	۲	^{ns} ۹/۲۳۵	^{ns} ۱۰۴۲۱۳/۴۷	** ۵۸۶۳۱۶۳/۵۵	^{ns} ۵/۳۵۴
زئولیت×میکوریزا	۱	* ۴۴/۶۳۸	^{ns} ۱۴۰۲۸۴۲/۸۴	^{ns} ۶۹۷۱۱۶/۲۸	^{ns} ۲۱/۱۵۲
فسفر×زئولیت×میکوریزا	۲	^{ns} ۸/۶۳	^{ns} ۱۷۵۳۲۲/۰۱	* ۳۱۲۶۴۹۰/۰۱	^{ns} ۰/۸۳۶
خطا	۲۲	۶/۵۰	۱۰۵۳۵۸۰/۹۸	۹۰۱۷۱۳/۹۷	^{ns} ۲۷/۳۱۶
ضریب تغییرات		٪۱۱/۷۱	٪۱۵/۹۸	٪۴/۷۳	٪۱۶/۲۴

ns و * و ** به ترتیب غیرمعنی داری، معنی داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول پیوست ۴- جدول تجزیه واریانس ادامه صفات مورد مطالعه

منابع تغییرات	df	کلونیزاسیون میکوریزا	فسفر قابل دسترس خاک	درصد غلظت فسفر بذر	محتوی فسفر بذر تک بوته
تکرار	۲	۱۰/۰۳ ^{ns}	۲۲۵/۸۰ ^{ns}	۰/۰۱۲ ^{**}	۰/۱۴۵ ^{**}
فسفر	۲	۲/۵۴ ^{ns}	۵۸۸۰/۲۱ ^{**}	۰/۰۰۲ ^{ns}	۰/۱۱۵ ^{**}
زئولیت	۱	۳۲/۱۳ ^{ns}	۱۵۰۹/۰۵ ^{**}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۱۲ ^{ns}
فسفر×زئولیت	۲	۰/۸۲ ^{ns}	۷۴/۷۲ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}
میکوریزا	۱	۵۳۳۰/۲۱ ^{**}	۶۷۹/۲۹ [*]	۰/۰۲۷ ^{**}	۰/۰۸۹ [*]
فسفر×میکوریزا	۲	۳۲/۶۹ ^{ns}	۱۹۱/۰۲ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۷ ^{ns}
زئولیت×میکوریزا	۱	۲۸۱/۵۱ ^{ns}	۳۶/۴۳ ^{ns}	۰/۰۰۰ ^{ns}	۰/۰۲۵ ^{ns}
فسفر×زئولیت×میکوریزا	۲	۱۱۴/۲۱ ^{ns}	۱۰۹/۶۲ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۰ ^{ns}
خطا	۲۲	۱۲۰/۳۶	۱۴۱/۲۶	۰/۰۰۲	۰/۰۱۵
ضریب تغییرات		%۱۶/۱۴	%۲۴/۱۱	%۵/۳۸	%۱۸/۹۸

ns و * و ** به ترتیب غیرمعنی داری، معنی داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

منابع

۱. احمدی ع، احسان زاده پ. و جباری ف، (۱۳۸۳). مقدمه‌ای بر فیزیولوژی گیاهی (ترجمه)، جلد اول، انتشارات دانشگاه تهران.
۲. اصغری ح. ر، (۱۳۸۶)، بررسی اثر همزیستی قارچ میکوریزا با گیاه شبدر در میزان فسفر قابل دسترس خاک. دهمین کنگره علوم خاک ایران ۴. تا ۶ شهریورماه. ص ۱۲۲-۱۲۳. کرج.
۳. اصلانی ز، حسنی ع، رسولی صدقیانی م. ح، برین م. و غیبی س. ع، (۱۳۸۷)، پاسخهای رشدی گیاه ریحان به همزیستی دو گونه قارچ میکوریزا تحت شرایط تنش خشکی، سومین همایش یافته‌های پژوهشی کشاورزی و منابع طبیعی (غرب کشور)، دانشگاه کردستان، کردستان.
۴. امیرآبادی م، رجالی ف، اردکانی م. ر. و برجی م، (۱۳۸۸)، تأثیر کاربرد مایه تلقیح ازتوباکتر و قارچ میکوریزی بر جذب برخی عناصر معدنی توسط ذرت علوفه‌ای (رقم سینگل کراس ۷۰۴) در سطوح مختلف فسفر، مجله پژوهشهای خاک (علوم خاک و آب)، شماره ۱، جلد ۲۳، ص ۱۰۷.
۵. بانی نسب ب، حجتی م، زراعی م. و سیم کش زاده ن، (۱۳۸۶)، تأثیر کاربرد مقادیر مختلف زئولیت طبیعی بر رشد گیاه شنبلیله، چکیده مقالات، پنجمین کنگره علوم باغبانی ایران. ۳۹۶ ص.
۶. بحرینی طوحان م، رضایی م. و موحدی نائینی س. ع، (۱۳۸۷)، اثر زئولیت بر خصوصیات فیزیکی و حاصلخیزی خاک. مجموعه مقالات همایش مجموعه بین المللی زئولیت ایران. تهران. دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

۷. پور ابراهیمی م، زواره م. و احتشامی م. ر، (۱۳۸۹)، بررسی عملکرد دو رقم ذرت علوفه‌ای در پاسخ به تلقیح بذر با قارچ میکوریزا و باکتری سودوموناس، یازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران، ص ۳۷۴، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.
۸. پور صالح م، (۱۳۷۳)، غلات (گندم، جو، برنج، ذرت). انتشارات صفار، تهران. چاپ دوم. ۱۴۴ صفحه.
۹. توحید نیا م. ع، مظاهری د، حسینی س. م ب. و مدنی ح، (۱۳۹۲)، اثر مصرف توأم کود زیستی بارور ۲ و کود شیمیایی فسفر بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد ذرت رقم سینگل کراس (Zea mays) ۷۰۴. مجله علوم زراعی ایران. جلد ۱۵. شماره ۴. صفحه ۲۹۵-۳۰۷.
۱۰. ثمر بخش س، (۱۳۸۵)، پایان نامه کارشناسی ارشد: تاثیر سموم قارچ کش بر کارایی همزیستی سویه‌های مختلف قارچ میکوریز آربسکولار با گیاه ذرت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج.
۱۱. حسینی ابری س. ع، کاوه م. ا. و صالح پرهیزکار م. ص، (۱۳۸۶)، بررسی ساختار شیمیایی ژئولیت های طبیعی و مزایای استفاده از آن ها به عنوان اصلاح کننده خاک های کشاورزی، مجله علوم پایه دانشگاه آزاد اسلامی، شماره ۶۲.
۱۲. حق شناس گرگابی م، بیگی هرچگانی ح. و کریمی ا، (۱۳۸۷)، اثر ژئولیت به عنوان یک ماده جاذب رطوبت بر شکل و ضرایب رطوبتی یک خاک شنی، مجموعه مقالات همایش مجموعه بین المللی ژئولیت ایران. تهران. دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
۱۳. حسین زاده ح، (۱۳۸۳)، گزارش اثر کود زیستی فسفات بارور-۲ روی عملکرد حبوبات، انتشارات جهاد دانشگاهی تهران و فناوری سبز، ۲۵ صفحه.
۱۴. حیدری شریف آباد ح، (۱۳۸۳)، جذب آب و تعرق، وزارت جهاد کشاورزی، معاونت زراعت، کمیته ملی خشکی و خشکسالی کشاورزی، تهران، ۱۹۴ صفحه.

۱۵. جمشیدی ا، صالحی ا، زارع م. ج. و جمشیدی ع. ر، (۱۳۸۷)، اثر میکوریزا آرباسکولار بر عملکرد، اجزای عملکرد و صفات گیاهی آفتابگردان (*Helianthus annuus*) در شرایط تنش خشکی، مجله علوم زراعی ایران. جلد ۱۱. شماره ۲ (پیاپی ۴۲). صفحات ۱۳۶-۱۵۰.
۱۶. خاشعی سیوکی ع، (۱۳۸۵)، پایان نامه کارشناسی ارشد: تأثیر ژئولیت طبیعی بر برنامه ریزی آبیاری و عملکرد گیاه ذرت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.
۱۷. خاشعی سیوکی ع، کوچک زاده م. و شهبابی فر م، (۱۳۸۷)، تأثیر کاربرد ژئولیت طبیعی کلینوپتیلولایت و رطوبت خاک بر اجزای عملکرد ذرت، مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، جلد ۲۲، شماره ۲، صفحه ۲۳۶-۲۴۱.
۱۸. خاوازی ک و ملکوتی م، (۱۳۸۰)، ضرورت تولید صنعتی کودهای بیولوژیک در کشور (مجموعه مقالات)، نشر آموزش کشاورزی، ۵۸۹ ص.
۱۹. خدابنده ن، (۱۳۷۷)، غلات، انتشارات دانشگاه تهران، صفحه ۴۷-۱.
۲۰. خدابنده ن، (۱۳۸۲)، غلات، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ هفتم، ۵۹۲ صفحه.
۲۱. خوشخوی م، صالحی ح. و عبدی غ، (۱۳۸۶)، بررسی اثرات ژئولیت و تنش خشکی بر رشد و نمو چمن کنتاکی بلوگراس. چکیده مقالات پنجمین کنگره علوم باغبانی ایران. ۳۹۶ ص.
۲۲. درزی م. ت، قلاوند ا، رجالی ف. و سفیدکن ف، (۱۳۸۵)، بررسی کاربرد کودهای زیستی بر عملکرد و اجزاء عملکرد گیاه دارویی رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.)، فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، شماره ۴، جلد ۲۲، ص ۲۷۶.
۲۳. رستمی م. و عباسدخت ح، (۱۳۸۹)، مطالعه تأثیر اسموپرایمینگ، هیدروترمال پرایمینگ و سطوح مختلف کود فسفره بر خصوصیات فیزیومرفولوژیک و عملکرد دانه ذرت، یازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران، ص ۳۱، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.

۲۴. رفیعی م، نادیان ح. ا، نورمحمدی ق. و کریمی م، (۱۳۸۳)، اثرات تنش خشکی و مقادیر روی و فسفر بر غلظت و کل جذب عناصر در ذرت، مجله علوم کشاورزی ایران، شماره ۱، جلد ۳۵، ص ۲۳۵.
۲۵. رنجبر م. م، اصفهانی م، قدوسی و. و یزدانی م. ر، (۱۳۸۳)، تأثیر آبیاری و مصرف زئولیت طبیعی بر عملکرد کمی و کیفی توتون کوکر ۳۴۷، پژوهشنامه علوم کشاورزی، جلد ۱، شماره ۲، صفحه ۶۳-۷۵.
۲۶. ساجدی ن. ع. و مدنی ح، (۱۳۸۷)، برهمکنش تنش خشکی، روی و میکوریزا بر عملکرد، اجزای عملکرد و شاخص برداشت ذرت، یافته های نوین کشاورزی، سال ۲، شماره ۳، صفحه ۲۷۲-۲۸۴.
۲۷. سبحانی ع ر، (۱۳۸۰)، رساله دکتری رشته زراعت: بررسی جنبه های فیزیولوژیک تنش کم-آبی و تغذیه پتاسیم در گیاه سیب زمینی، واحد علوم تحقیقات تهران.
۲۸. سرمندیا غ و کوچکی ع، (۱۳۷۱)، جنبه های فیزیولوژیکی زراعت دیم، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۴۲۸ صفحه.
۲۹. سلیمی ح، (۱۳۸۹)، پایان نامه ارشد: بررسی اثرات پرایمینگ، باکتری ریزوبیوم و کود آلی بر عملکرد و اجزای عملکرد نخود، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود.
۳۰. سیادت س.ع. و شایگان ع، (۱۳۷۳)، مقایسه عملکرد و برخی صفات زراعی ارقام ذرت تابستانه در تاریخ کشت های مختلف درخوزستان، مجله علمی کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز، جلد ۱۷، صفحات ۷۵ تا ۹۱.
۳۱. شاه حسینی ز، غلامی ا، اصغری ح. ر، قلی پور م. و فلاح ع، (۱۳۸۹)، تأثیر قارچهای میکوریزای آرباسکولار بر روی برخی از شاخص های رشد و عملکرد در ذرت تحت شرایط

تنش کم آبی، یازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران، ص ۳۷۷، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.

۳۲. شیرانی راد ا، مرادی اقدام ا، طاهرخانی ت، اسکندری ک. و نظری گلشن ا، (۱۳۹۰)، ارزیابی واکنش گیاه کلزا به مقادیر نیتروژن و رژیم های رطوبتی در شرایط کاربرد و عدم کاربرد زئولیت. اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی. ۳(۴): ۲۹۶-۳۰۶.

۳۳. صالح راستین ن، (۱۳۷۷)، کودهای بیولوژیک. مجله علوم آب و خاک. ۱۲ (۳): ۱-۳۶.

۳۴. عابدی کوپایی ج، موسوی س. ف. و معتمدی آ (۱۳۸۹)، بررسی تاثیر کاربرد زئولیت کلینوپتی لولایت در کاهش آبهویی کود اوره از خاک، نشریه آب و فاضلاب، شماره ۳ صفحه ۵۱-۵۷.

۳۵. علیزاده ا. و خواست خدایی ا (۱۳۸۷)، بررسی کاربرد توام میکوریزا و آزوسپریلیوم با هدف بهینه سازی مصرف کود نیتروژن و فسفر در زراعت پایدار ذرت، یافته های نوین کشاورزی، سال ۳، شماره ۱: ۵۵-۶۵.

۳۶. علیزاده م، میرزایی ف، سهرابی ت. و کاووسی م، (۱۳۸۹)، بررسی آزمایشگاهی تأثیر زئولیت روی خصوصیات فیزیکی و هیدرولیکی خاک های شالیزاری در ارائه راهکارهای مدیریتی آبیاری تناوبی، مجموعه مقالات ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی، اهواز، دانشگاه شهید چمران.

۳۷. علیزاده اسکوئی پ، (۱۳۸۰)، پایان نامه ارشد: تأثیر قارچ های میکوریز VA بر عملکرد، جذب P، Fe، Mn و غلظت ویتامین C میوه گوجه فرنگی در سطوح مختلف فسفر، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

۳۸. غازانшаھی ج، (۱۳۷۶)، آنالیز خاک و گیاه (ترجمه)، چاپ اول، نشر مترجم، ۳۱۲ صفحه.

۳۹. کاظمیان ح، باقری ف، (۱۳۸۶)، زئولیت ها بستری مطلوب برای کشاورزی پایدار، مجموعه مقالات ششمین همایش سراسری علوم پایه، شهر ری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر ری، باشگاه پژوهشگران جوان.
۴۰. غلامحسینی م، آقاعلیخانی م. و ملکوتی م. ج، (۱۳۸۷)، تاثیر سطوح مختلف نیتروژن و زئولیت بر عملکرد کمی و کیفی کلزا پاییزه، علوم فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال ۱۲، شماره ۴۵، صفحه ۵۳۷-۵۴۷.
۴۱. قلی پور آ، (۱۳۸۳)، پایان نامه کارشناسی ارشد زراعت و اصلاح نباتات: بررسی اثرات زئولیت و تنش خشکی بر رشد و نمو گیاه دارویی بادرشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان.
۴۲. قهرمانی ی، حسینی ابری س. ع. و هانی ع، (۱۳۸۹)، اثرات کاربرد زئولیت به عنوان اصلاح کننده خاک بر بهبود رشد گیاه ذرت و نقش آن بر عملکرد اجزاء عملکرد دانه، همایش ملی مدیریت کمبود آب و تنش خشکی در زراعت. دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارسنجان.
۴۳. قول لرعطا م، (۱۳۸۴)، پایان نامه ارشد: اثر تلقیح میکوریزایی بر عملکرد شبدر برسیم و جذب عناصر غذایی در سطوح مختلف شوری و فسفر خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.
۴۴. کاظمیان ح. و فقیهیان ح، (۱۳۷۷)، بررسی امکان استفاده از زئولیت های طبیعی ایران جهت حفظ و افزایش رطوبت خاک و نیز تصفیه فاضلابهای شهری و صنعتی برای مصارف کشاورزی و صنعتی. مجموعه مقالات نهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. تهران.
۴۵. کاوسی م. و رحیمی م، (۱۳۸۲)، تأثیر کاربرد زئولیت بر عملکرد برنج. چکیده مقالات هشتمین کنگره علوم خاک ایران، انتشارات دانشگاه گیلان، صفحه ۶۴۶-۶۴۵.
۴۶. کوچکی ع. و سرمدنی غ، (۱۳۷۷)، فیزیولوژی گیاهان زراعی (ترجمه)، چاپ هفتم، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ۴۰۰ صفحه.

۴۷. گنجعلی ع، ذبیحی ح. ر، ثوابی غ. و خاوازی ک، (۱۳۸۸)، رشد و عملکرد گندم در پاسخ به تلقیح باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه در سطوح مختلف فسفر، مجله پژوهشهای زراعی ایران، شماره ۱، جلد ۷، ص ۴۱.
۴۸. لطف الهی م، ملکوتی م. ج، خاوازی ک. و بشارتی ح، (۱۳۸۳)، ارزیابی روشهای مصرف مستقیم خاک فسفات در افزایش عملکرد ذرت علوفه‌ای در کرج، مصرف بهینه کود راهی برای پایداری در تولیدات کشاورزی. ملکوتی م. ج و بلالی م. ر، چاپ اول، نشر آموزش کشاورزی، مؤسسه تحقیقات خاک و آب. ص ۹۵-۸۹.
۴۹. ملکوتی م. ج، (۱۳۷۵)، کشاورزی پایدار و افزایش عملکرد با بهینه سازی کود در ایران. انتشارات مرکز آموزش کشاورزی.
۵۰. ملکوتی م. ج. و همایی م، (۱۳۷۳)، حاصلخیزی خاکهای مناطق خشک (مشکلات و راه حل‌ها)، چاپ اول، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، ۴۹۴ صفحه.
۵۱. ملکوتی م. ج، (۱۳۸۴)، کشاورزی پایدار و افزایش عملکرد با بهینه‌سازی مصرف کود در ایران، نشر سنا. ۴۹۶ ص.
۵۲. محمدی م، مولوی ح، لیاقت ع. و پارسی نژاد م، (۱۳۹۲)، مجله پژوهش آب در کشاورزی، جلد ۲۷، شماره ۱، صفحه ۶۸-۷۵.
۵۳. مؤدب شبستری م. و مجتهدی م، (۱۳۶۹)، فیزیولوژی گیاهان زراعی، انتشارات مرکز دانشگاهی تهران، کل صفحات.
۵۴. میر هادی م. ج، (۱۳۸۰)، ذرت، نشر سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، کل صفحات.
۵۵. نصیری م، کوچکی ع، رضوانی مقدم پ. و بهشتی ع، (۱۳۸۰)، اگرواکولوژی. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

۵۶. نوربخش ف. و حاج عباسی م. ا. (۱۳۷۸)، بیولوژی خاک، انتشارات غزل، ۱۹۸ صفحه.
۵۷. نور محمدی ق، سیادت س. ع. و کاشانی ع. (۱۳۸۰)، زراعت غلات، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز، صفحه ۴۴۶.
۵۸. هاشمی دزفولی ا، کوچکی ع. و بنیان اول م. (۱۳۷۴)، افزایش عملکرد گیاهان زراعی، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۲۸۷ صفحه.
59. Abadzic S. D. and Ryan J. N. (2001). Particle release and permeability reduction in a natural zeolite (clinoptilolite) and sand porous medium. *Environmental Science and Technology*, 35, 4501_4508.
60. Abbott L. K. and Murphy D. V. (2007). A key to sustainable land use in agriculture. *Soil biological fertility*. Springer, 268 pp.
61. Abdi G. H. Khui M. K. and Eshghi S. (2006), Effects on natural zeolite on growth and flowering on strawberry. *International Journal of Agricultural Research*, 1, 384_389.
62. Ahmad khan I. Sh. Ahmad N.M. Sarvat N. Moazzam M. Athar and Sh. Shabir, (2007), rowth response of Buffel Grass (*Cenchrus ciliaris*) to phosphorus and mycorrhizal inoculation. *Agric. conspec. sci*, Vol 72. No:2. 129-132.
63. Akhtar M. S. and Siddiqui Z. A. (2008), "*Glomus intraradices*, *Pseudomonas alcaligenes* and *Bacillus pumilus*: effective agents for the control of root-rot disease complex of chickpea (*Cicer arietinum* L.)" *J. Gen. Plant Pathol.*, 74, pp 53.
64. Al-Karaki G. N. and Clark R. B. (1998), Growth, mineral acquisition and water use by mycorrhizal wheat grown under water stress. *J. Plant Nutr.*, 21, pp 263.
65. Ali H. Khan M. A. and Randhawa S. A. (2004), Interactive effect of seed inoculation and phosphorus application on growth and yield of Chickpea (*Cicer arietinum* L.)" *Int. J. Agri. Biol.*, 6, 1, pp 110

66. Alexander I.J. and Fairley R.I. (1983), Effects of nitrogen on population offine roots and mycorrhizas in sprucehumus. Plant Soil. 71:49-53.
67. Allen E. R. Ming D. W. (1995), Recent progress in the use of natural zeolites in agronomy and horticulture. Natural Zeolites. 93: 477-490.
68. Allen E. R. Ming D. W. Hossner L. R. Henninger D. L. Galindo C. (1995), Growth and nutrient uptake of wheat in a clinoptilolite-phosphate rock substrate. Agron. J. 87: 1052-1059.
69. Alloush G. A. Zeto S. K. and Clark R. B. (2000), Phosphorus source, organic matter, and arbuscular mycorrhizae effects on growth and mineral acquisition of chickpea grown in acidic soil. J. Plant Nutr., 23, 9, pp 1351.
70. Altieri M. A. (1994), Sustainable agriculture, Encyclopedia of agriculture Science. 4: 239 -247.
71. 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*). aspects of applied biology 63.
72. Arumugam R. Rajasekaran S. and Nagarajan M. (2010), Response of Arbuscular mycorrhizal fungi and Rhizobium inoculation on growth and chlorophyll content of *Vigna unguiculata* (L) Walp Var. Pusa 151. J. Appl. Sci. Environ. Manage. 14(4): 113 – 115.
73. Asghari H. R. Chittleborough D. G. Smith F. A. and Smith S. E. (2005), Influence of arbuscular mycorrhizal(AM) symbiosis on phosphorus leaching through soil cores. Plant and soil, 275: 181-193.
74. Bago B. and Azcon-Aguilar C. (1997), Changes in rhizospheric pH induced by arbuscular mycorrhizal formation in onion (*Allium cepa* L.). Z. Pflanz. Bodenkunde. 160: 333-339.
75. Baldar N. A. and Whitting L. D. (1968), Occurrence and synthesis of soil zeolites. Soil. Sci. Soc. Am. Proc. 23: 235-238.
76. Barbarick K. A. Lai T. M and Eberl. D. D. (1990), Exchange fertilizer (Phosphate Rock plus Ammonium- Zeolite) effects on sorghum – sudangrass. Soil.Sci. Soc.Am. J. 54:911-916.
77. Belay A. Claassens A. S. and Wehner F. C. (2002), Effect of direct nitrogen and potassium and residual phosphorus fertilizers on soil chemical properties,

- microbial components and maize yield under long-term crop rotation. *Biol Fertil Soils*. 35: 420- 427.
78. Bolan N. S. (1991), A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. *Plant and Soil*, 134: 189-207.
 79. Bockman O. C. Kaarstad O. Lie O. H and Richards I. (1990), *Agriculture and Fertilizers*. Agricultural Group, Norsk Hydro a.s, Oslo, Norway.
 80. Burriesci N. S. Valente R. Ottana, C. Cimino, and C. Zipelli. (1983), Utilization of zeolites in spinach growing. *Zeolites*, 4: 5-8.
 81. Bolland M. D. A. Siddique K. H. M. and Brennen R. F. (2000), Grain yield responses of faba bean (*Vicia faba* L.) to applications fertilizer phosphorus and zinc, *Aust. J. Exp. Agr.*, 40, 6, pp 849.
 82. Burriesci N. S. Valente C. Zipelli, and J. C. J. Bart. (1984), Studies on zeolite in agriculture. Effect on crop growth of *prunus petersica* and *vitis vinifera*. *Zeolites*, 4: 373-376.
 83. Bouzo L. Lopez M and Villegas R. (1994), Use of natural zeolites to increase yields in sugarcane crop minimizing environmental pollution, *World congress of soil science* (vol. 15, pp. 5-695_5- 701). Acapulco: International Society of Soil Science.
 84. Carling D. E. and Brown M. E. (1982). Anatomy and physiology of vesicular-arbuscular and non mycorrhizal roots. *Phytopathology*. 72:1108-1114.
 85. Cavagnaro T. R. Smith F. A. Smith S. E. and Jakobsen I. (2005), Functional diversity in arbuscular mycorrhizas: exploitation of soil patches with different phosphate enrichment differs among fungal species, *Plant Cell Environ.*, 28, pp 642.
 86. Clark R. B. and Zeto S. K. (2000), Mineral acquisition by arbuscular mycorrhizal plants. *Journal of Plant Nutrition* 23, 867-902.
 87. Colomb B. Kiniv R. and Debaeke P. H. (2000), Effect of soil phosphorus on leaf development and senescence dynamics of field - grown maize, *Agron. J.*, 25, pp 428.
 88. Coombs D. S. Alberto A. Thomas A. Gilberto A. Carmine C. and Ermanno G. et al. (1997), Recommended nomenclature for zeolite minerals: Report of the subcommittee on zeolites of the international mineralogical association,

- commission on new minerals and mineral names. The Canadian Mineralogist, 35, 1571_1606.
89. Douponnois R. A. Colombet and V.H.J. Thioulouse. (2005), The mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* and rock phosphate amendment influence plant growth and microbial activity in the rhizosphere of *Acacia holoserica*. Soil Biol. Biochem, 37:1460-1468
 90. Dwairi J. M. (1998a). Evaluation of Jordanian zeolite tuff as a controlled slow-released fertilizer for NH_4^+ . Environmental Geology, 34(1), 1-4.
 91. Dwairi J. M. (1998b), Renewable, controlled and environmentally safe phosphorous release in soil mixtures of NH_4^+ -phillipsite tuff and phosphate rock. Environmental Geology, 34(4), 293-296.
 92. DeSutter T. M. and Pierzynski G. M. (2005), Evaluation of soils for use as liner materials: A soil chemistry approach. Journal of Environmental Quality, 34, 951_962.
 93. Ehteshami, M. M. Aghaalkhani M. Chaechi and K. Khavazi. (2009). Effects of phosphate biological fertilizer on quantitative and qualitative properties of maize under water stress. J. Agric Sci. 40: 15-26. (In Persian with English abstract).
 94. Ekaterina G. F. Christos, D. T. (2002), Influence of clinoptilolite and compost on soil properties. Taylor and francis publishing. 33(3): 595-607.
 95. Emerson W. W. Foster R. C. and Oades J. M. (1986), Organo-mineral complexes in relation to soil aggregation and structure. In: Interactions of soil minerals with natural organics and microbes. Soil Science Society of America. Special publication No. 17. pp521-548.
 96. Erman M. S. Demir E. Ocak S. Tüfenkçi F. Oğuz and Akköprü A. (2011), Effects of *Rhizobium*, arbuscular mycorrhiza and whey applications on some properties in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under irrigated and rainfed conditions 1—Yield, yield components, nodulation and AMF colonization. Earth Sci. 122: 14-24.
 97. F.A.O. (2000), Tropical Maize, Improvement and production, Food and Agriculture Organization of the United nation Production and Protection Series. No. 28. 363 pp.

98. F.A.O. (2005), Production year book, Food and Agricultural Organization of United Nation, Rome, Italy, 51: 209 pp.
99. Fay P. Mitchell D.T. and Osborne B.A. (1996). Photosynthesis and nutrient- use efficiency of barely in response to low arbuscular mycorrhizal colonization and addition of phosphorus. *New Phytol.* 132:425-433.
100. Grant C. Bittman S. montreal M. Plenchette, C. and Morel, C. (2005), Soil and fertilizer phosphorus: Effects on plant P supply and mycorrhizal development. *Can. J. Plant Sci.* 85: 3-14.
101. Garg N. and Chandel S. (2011). "Effect of mycorrhizal inoculation on growth, nitrogen fixation and nutrient uptake in *Cicer arietinum* (L.) under salt stress" *Turk. J. Agric. For.*, pp 1-35.
102. Grant C. Bittman S. montreal M. Plenchette C. and Morel C. (2005), Soil and fertilizer phosphorus: Effects on plant P supply and mycorrhizal development. *Can. J. Plant Sci.* 85: 3-14.
103. Gavito M. E. and Miller M. H. (1998), "Changes in mycorrhiza development, dry matter partitioning and yield of maize" *Plant Soil.*, 199, pp 177.
104. Gholamhoseini M. Ghalavand A. and Jamshidi E. (2009), The Effect of irrigation regimes and fertilizer treatments on grain yield and elements concentration in leaf and grain of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Pajouhesh & Sazandegi* .No:79 pp: 91-100.
105. Goldstein A. H. (1986), Bacterial solubilization of mineral phosphates: Historical perspectiv and future prospects. *American Journal of Alternative Agriculture*, 1:51-57.
106. Giovannetti M. and Mosse B. (1980). An evaluation of techniques for measuring Vesicular-Arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytologist.* 84: 489-500
107. Gurmani Z. A. Zahid M. S and Bashir M. (2006), Performance of vetch *Vicia Sativa* cultivars for fodder production under rainfed conditions of Pothwar region. *Journal Agriculture Research*, 44(4): 291-297.

108. Ibrahim K. M. Ghrir A. M. and Khoury H. N. (2001), Influence of Jordanian chabazite – philipsite tuffon nutrient concentration and yield of strawberry. Department of geology, University of Jordan, Amman, Jordan.
109. Jeffries P. Gianinazzi S. Perotto S. Turnau K. and Barea, J.M. (2003), The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility, *Biol. Fert. Soils*, 37: 1-16.
110. Joner E. J. van Aarle I. M. and Vosatka M. (2000), "Phosphatase activity of extra-radical arbuscular mycorrhizal hyphae" *Plant Soil.*, 226, pp 199.
111. Graham J. H. Leonard R. T. and Menge J. A. (1981), Membrane- mediated decrease in root exudation responsible for phosphorus inhibition of Vesicular-arbuscular mycorrhizae formation. *Plant Physiol.* 68:548-552.
112. Hanson w.c. (1950), *J. Sci. Food Agric.*: 1, 172-173.
113. Harb E. M. Z. and Mahmoud M. A. (2009), Enhancing of growth, essential oil yield and agriculture. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 12: 183 - 189.
114. Harsh, P. B., Tiffany L. Weir, Laura G. Perry, Simon Gilroy, and Jorge M. Viranco. (2006), The role of root exudates in rhizosphere interactions with plants and other organisms. *Plant. Biol.* 53:233-266.
115. Hasanpour J. Panahi M. Sadeghi Pour Marvi M. Arabsalmani K. (2012), Effect of inoculation with VA mycorrhiza and azotobacter on grain yield, LAI and protein of wheat on drought stress condition . *International Journal of AgriScience.* 2(6): 466-476.
116. Hassan zadeh E. Mazaheri D. Chaichi M. R. and Khavazi K. (2008). Efficiency of phosphorus solubilizing bacteria and phosphorus chemical fertilizer on yield and yield components of barley cultivar (Karooon Dar Kavir). *Pajouhesh & Sazandegi* 77: 111-118. (In Persian).
117. Hayman D. S. (1975). The occurrence of mycorrhiza in crops as affected by soil fertility, In :*Endomycorrhizas*. F.E Sanders, B Mosse and P.B. Tinkey (eds). Academic Press. London. pp. 495-509.
118. Hayman, D.S. (1983). "The physiology of vesicular arbuscular endomycorrhizal symbiosis". *Canadian. J. Botany.* 61: 944-963.

119. Hixon M. M., Bauer M. E. and Scholz D.K., (2003), An assessment of land sat data acquisition history on identification and area estimation of corn and soyabean. Biol. 68.
120. Huang Z. T and Petrovic A. M. (1995), Physical properties of sand a affected by clinoptilolite zeolite particle size and quantity. J. Turfgrass management.1 (1):1-15.
121. Jackson C. R. (1984), Phosphorus nutrition on mycorrhizal colonization, photosynthesis, growth and nutrient composition of *Citrus aurantium*. Plant and Soil. 80:35-42.
122. 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. Turk J. Agric. For., 31, pp 355.
123. Kapoor R. Giri B. and Mukerji K. G. (2004), Improved growth and essential oil yield and quality in *Foeniculum vulgar* Mill. on mycorrhizal inoculation supplement with P fertilizer. Bioresource Technol., 93, pp 307.
124. Kathleen K. T. and A. Cross. (2006), Global distributions of arbuscular mycorrhizal fungi. Ecosystems. 9: 305- 316.
125. Kemper W. D. and Roseman R. C. (1986), Aggregate stability and size distribution. In: Methods of Soil Analysis, Part I, Physiological and Mineral Methods. Agronomy Monograph No. 9, 2nd ed, American Society of Agronomy. Madison. WI. USA. pp. 425-444.
126. Kiston R. S .and Mellon M. G. (1944). Ind. Eng. Chem. Anal. Ed.16, 379-381.
127. Kochaki A. Jahan M. and Nassiri Mahallti M. (2008), Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and free-living nitrogen-fixing bacteria on growth characteristic of corn (*Zea mays* L.) under organic and conventional cropping systems" 2nd conference of the international society of organic agriculture research (ISO FAR). Modona. Italia.
128. Koide R. T. and Kabir Z. (2000), Extraradical hyphae of the mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* can hydrolyse organic phosphate" New Phytol., 148, pp 511.

129. Kung'u B. D. L. Rodel U. D. Loretto E. D. Reynaldo and Husain T. (2008), Effect of vesicular arbuscular mycorrhizal (VAM) fungi inoculation on coppicing ability and drought resistance of *Senna spectabilis*. *Pak. J. Bot*, 40(5): 2217-2224.
130. Laheurte F. Leyval I. and Berthelin J. (1990), Root exudates of maize, pine and beech seedlings influenced by mycorrhizal and bacterial inoculation" *Symbiosis*, 9, pp 111.
131. Lekberg Y. and Koide R. T. (2005), Is plant performance limited by abundance of arbuscular mycorrhizal fungi? A meta-analysis of studies published between 1988 and 2003. *New Phytol.* 168: 189–204.
132. Lopes A. S. (2003), Soils under Cerrado: A success story in soil management In: IFA278 references (Eds.) IFAPPI Regional Conference for Latin America and the Caribbean. International Fertilizer Industry Association, Paris, pp.1-10.
133. Marschner H, (1995), Mineral nutrition of higher plants. Second Edition. Academic Press. New York.
134. Mazur G. A. Medvid G. K, and Gvigora I. T. (1986), Use of natural zeolites to increase the fertilizer of coarse soil. *Soviet Soil Science*, 16, 105_111.
135. McGonigle T. P. (1988), A numerical analysis of published field trials with vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *Func. Ecol.* 2: 473–478.
136. Mehrvarz S. and Chaichi MR. (2008), Effect of phosphate solubilizing microorganisms and phosphorus chemical fertilizer on forage and grain quality of barely (*Hordeum vulgare* L.). *American-Eurasian J Agric & Environ Sci*, 3(6): 855-860.
137. Mehrvarz S. M. R. Chaichi and Alikhani H. A. (2008), Effects of phosphate solubilizing microorganisms and phosphorus chemical fertilizer on yield and yield component of Barley (*Hordeum vulgar*). *American-Eurasian J. Agric & Environ*, 3(6): 822-828.
138. Milla'n G. Agosto F. Va'zquez M. Botto, L. Lombardi L. and Juan L. (2008). Use of clinoptilolite as a carrier for nitrogen fertilizers in soils of the Pampean regions of Argentina. *Ciencia e Investigacio'n Agraria*, 35, 245-254.
139. Miller P. and Fick G. (1978), Influence of plant population on performance of corn hybrids. *plant science*, 58:599–600.

140. Mishra R. R. (2007), Soil microbiology. Translated by: Fallah A. Besharati H. and Khosravi H. Aeeizh publisher. pp: 179. (in Persian).
141. Mobasser H. R. Moradgholi A. Mehraban A. Koohkan S. (2012), Investigation of mycorrhizal effect on agronomic traits and protein percent of corn varieties in Sistan. *International Journal of AgriScience* . 2(2): 108-119.
142. Mumpton F. A. (1999), La roca majica: Uses of natural zeolites in agriculture and industry. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States*, 96, 3463_3470.
143. Muckle G. E. (2003), Ph. D. thesis, "The functioning of arbuscular mycorrhizal fungi in land under different agricultural management intensities, Department of Animal and Plant Sciences, Sheffield University.
144. Nagarathna T. k. Prasad T. G. Bagyaraj D. J. and Shadakshar Y. G. I. (2007), Effects of arbuscular mycorrhiza and phosphorus levels on growth and water use efficiency in Sunflower at different soil moisture stress. *Journal of agricultural technology*, 3(2): 221-229.
145. Olsen S. R. Cole C. V. Watanabe F. S. and Dean L. A. (1954). Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *USDA Circular*, U. S. Government Printing Office, Washington D. C. 939.
146. Ortus I. and Harris P. J. (1996), Enhancement uptake of phosphorus by mycorrhizal sorghum plant as influenced by forms of nitrogen. *Plant and Soil*. 184: 225-264.
147. Ortas I. (2010), Effect of mycorrhiza application on plant growth and nutrient uptake in cucumber production under field conditions. *Spanish Journal of Agricultural Research* 8, S116–S122.
148. Pacovsky R. S. Benthlenfalvay G.J. and Paul E. A. (1986), Comparisons between P-fertilizer and mycorrhizal plants. *Crop Sci*. 26:151-156.
149. Panwar j. D. (1993), Effect of VAM and azspirillum inoculation on metabolic chande and grain yield of wheat under moisture stress condition . *Indian journal of physiology*. 35, 157- 161.
150. Perez R. Caballero J. Gil C. Benitez J. and Gonazalez L. (2008), The effect of adding zeolite to soils in order to improve the N-K nutrition of olive trees: Preliminary results. *Am. J. Agricultural and Biological Sci.*, 2(1), 321-324.

151. Peterso R. L. and Massicotte H. B. (2004), Exploring structural definitions of mycorrhizas, with emphasis on nutrient-exchange interfaces. *Can. J. Bot.*, 82, pp 1074.
152. Phillips J. M. and Hayman D. S. (1970), Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *T. Brit. Mycol. Soc.*, 55, pp 158.
153. Piotrowski J. S. Denich T. Klironomos J. N. Graham J. M. and Rilling M. C. (2004), The effects of arbuscular mycorrhizas on soil aggregation depend on the intraction between plant and fungal species. *New phytol.* 164: 365-373.
154. Polat E. M. Karaca H. Demir and Naci Onus A. (2004). Use of natural zeolita (clinoptilolite) in agriculture. *Journal of Fruit Ornam. Plant Research. Special ed.* 12 :183-189.
155. Poehlman, J. M. (1995), *Breeding Field Crops*. Henry Holt Company, Inc. New York, 427p.
156. Raja P. (2006), Status of endomycorrhizal (AMF) biofertilizer in global market. In: *Handbook of microbial biofertilizers*. Mahendra Rai. (Ed.). Haworth Press. New York. pp. 283-303.
157. Rashid M. A. Ranjha M and Rehim A. (2007), Model based fertilization to improve yield and quality of sorghum (*sorghum bicolor* l) fodder on usthochrept soil. *Pak. J. Agri. Sci*, 44(2),221-227.
158. Richardson A. E. George T. S. Jakobsen I. and Simpson R. J. (2007). Plant utilization of inositol phosphates. pp 242–260, In: "Inositol phosphates: linking agriculture and the environment", Turner B. L., Richardson A. E. and Mullaney E. J., CABI, Wall- ingford, UK.
159. Rigou I. and Mignard E. (1994), Factors of acidification of the rhizosphere of mycorrhizal plants. Measurement of pCO₂ in the rhizosphere. *Acta Bot. Gall.* 141: 533-539.
160. Salih F. A. Ali A. M. and Elmobarak A. A. (1986), Effect of phosphorus application and time of harvest on seed yield and quality of faba bean. *FABIS Newsletter*. 15: 32- 35.
161. Sample E. C. Soper R. J. and Recz G. J. (1980), Reactions of phosphate fertilizers in soils. In: Khasawneh F.E., E. C. Sample and E. J. Kamprath.

- (Eds.), The role of phosphorus in agriculture.(pp. 263-310). Am. Soc. Agron. Madison.WI.
162. Sannazzaro A. I. Ruiz O. A. Alberto E. O. and Menendez A. B. (2006), Alleviation of salt stress in *Lotus glaber* by *Glomus intradices*. Plant Soil., 285, pp 279.
 163. Schachtman D. P. Reid R. J. and Aylin S. M. (1998), Phosphorus uptake by plants from soil to cell. Plant physiology. 116:447-453.
 164. Sharma A. K. and Johri B. N. (2002). Arbuscular mycorrhizae, interaction in plants, rhizosphere and soils. Science Publisher. INC, ENFIELD, NH, USA. 311pp.
 165. Shaw J.W. and R. Andrews. (2001), Cation exchange capacity affects greens turf growth. Golf Course Manag. 73-77.
 166. Shenoy V. V. and Kalagudi G. M. (2005), Enhancing plant phosphorus use efficiency for sustainable cropping, Biotechnol. Adv., 23, pp 501.
 167. Smith SE. Smith FA and Jacobsen I.(2003), Mycorrhizal fungi can dominate phosphate supply to plant irrespective of growth responses. Plant Physiol, 133: 16–20.
 168. Stancheva I. M. Geneva G. Zehirov G. Tsvetkova M. Hristozkova and Georgiev G.(2006). Effects of combined inoculation of pea plants with arbuscular mycorrhizal fungi and Rhizobium on nodule formation and nitrogen fixing activity. Gen. Appl. Plant Physiology. pp. 61-66.
 169. Swift C. E. (2004), Mycorrhiza and soil phosphorus levels. Area Extension Agent. [http:// www. colostate. edu/ Depts/ Coop Ext/ TRA/ Plants/ mycorrhiza](http://www.colostate.edu/Depts/CoopExt/TRA/Plants/mycorrhiza).
 170. Sylvia D. M. and N. C. Schenck. (1983), Soil fungicides for controlling chytridiaceous mycoparasites of *Gigaspora margarita* and *Glomus fasciculatum*. Appl. Environ. Microbiol. 45:1306-139.
 171. Tarafdar J. C. and Marschner, H. (1994), Phosphorus activity in the rhizosphere and hyphosphere of VM mycorrhizal wheat supplied with inorganic and organic phosphorus. Soil Biol. Biochem. 26:387-395.
 172. Tawaraya K. Naito M. and Wagatsuma T. (2006), Solubilization of insoluble inorganic phosphate by hyphal exudates of arbuscular mycorrhizal fungi, J. Plant Nutr., 29, pp 657.

173. Tibbett M. and Sanders F. E. (2002), Ectomycorrhizal symbiosis can enhance plant nutrition through improved access to discrete organic nutrient patches of high resource quality". *Ann. Bot. (London)*, 89, pp 783.
174. Thakur, A. K. and Panwar, I. D. S. (1997), Response of *Rhizobium* vesicular arbuscular mycorrhizal symbionts on photosynthesis, nitrogen metabolism and sucrose translocation in green gram (*Phaseolus radiates*). *Ind.J.Agric.Sci*, 67(6):245-248.
175. Tisdal S. L. Nelson W. L. and Baton J. D. (1995), Soil fertility and fertilizers. Macmillan Publishing Company. USA. 375 p.
176. Tsadilas C. D. N. Voulgarakis and Theophilous M. (1993), Natural Agriculture research foundation. Institute of soil classification and mapping 41335 Larissa Greece.
177. Tollenaar M. and Dwyer L. (1999), Physiology of maize. In: D.L. Smith and C. Hamel (Eds). *Crop Yield, Physiology and Processes*. Springer-Verlag, pp.169-204.
178. Turan Z. M. (2006), Effect of natural zeolite on growth and yield of *Medicago Sativa* L. *Journal of agronomy*. 5: 118-121.
179. Turk M. A. and Tawaha A. R. M. (2002), Impact of seeding rate, seeding date, rate and method of phosphorus application in faba bean (*Vicia faba* L. minor) in the absence moisture stress. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 6, 3, pp 171.
180. Turk M. A. Assaf T. A. Hameed K. M. and Al-Tawaha A. M. (2006), Significance of mycorrhizae. Um, Um. H., P. K. Jung, J, Im, and K. T. Um. 1988. Effect of zeolite application on rice yield by soil texture. *Research reports of the rural development administration (suweom)*. 29 (1 *Plant environ. Mycol. And Farm Util.*): 60-65. *World journal of Agricultural Sciences*. 2: 16-20.
181. Turk M. A. Assaf T. A. Hameed K. M. and Tawaha A. M. (2006), Significance of Mycorrhizae, *World J. Agric. Sci.*, 2, pp 16.
182. Vance C. P. Uhde-Stone C. and Allan D. L. (2003), Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource, *New Phytol.*, 157, pp 423.
183. Vessey J. K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizer. *Plant and soil*, 255: 571 -586

184. Warcup J. H. (1971), Specificity of mycorrhizal association in some Australian terrestrial orchids. *New Phytologist*, 70: 41-46.
185. Widada J. Damarjaya D. I. and Kabirun S. (2007). The interactive effects of arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobacteria on the growth and nutrients uptake of sorghum in acid soil pp 173–177. *First International Meeting on Microbial Phosphate Solubilization*. Vela zquez E. and Rodriguez-Barrueco C. Springer.
186. Wu S. C. Cao Z. H. Li Z. G. Cheung K. C. and Wong M. H. (2005). Effects of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. *Geoderma*. 125:155-166.
187. Yahiya M. Samiullah and Fatma A. (1995), Influence of phosphorus on nitrogen fixation in chickpea cultivars, *J. Plant Nutr.*, 18, 4, pp 719.
188. Yasuda H. Takama K. Fukuda T. Araki Y. Suzuka J. and Fukushima Y. (1998), Effects of zeolite on water and salt control in soil, *Bulletin of the Faculty of Agriculture, Tottori University*, 51, 35-42.
189. Yahya A. J. and Al-Azawi S. K. (1989), Occurance of phosphate solubilizing bacteria in some Iraqi soils, *Plant and Soil*. 117: 135-141.
190. Zeidan M. S. (2007), Effect of organic manure and phosphorus fertilizers on growth, yield and quality of lentil plants in sandy soil. *Res. J. Agric. Biol. Sci.* 3(6): 748-752.
191. Zaidi A. Khan M. S. and Amil M. (2003), Interactive effects of rhizotrophic microorganisms on yield and nutrient uptake of chickpea (*Cicer arietinum* L.), *Eur. J. Agron.*, 19, 15.

Abstract

Sustainable soil fertility plays an important role on agricultural development and preventing the destruction agricultural. The use of soil amendment such as zeolites plays an effective role in achieving optimum yield with efficient Inputs of water and fertilizers to achieve sustainable management of soil. Mycorrhizal fungi is important in Sustainable agricultural and organic production. This study was carried out to consider the effects of mycorrhizal fungi and zeolite at different levels of phosphorus chemical fertilizer on yield and yield component of (SC704). The experiment was performed as factorial based on the randomized complete block design with three replications. The experiment factors were include mycorrhiza at two levels, inoculated and non inoculated, zeolites at two levels, 0 and 9 tons per hectare and triple superphosphate chemical fertilizer at three levels, 0, 50 and 100 kg per hectare. The field experiment was located in faculty agricultural in shahrood university at bastam city (north east of iran).The results showed that the separate usage of mycorrhiza and zeolite was significant on some morphological and agronomic traits such as height, stem diameter, leaf area index, 100-seed weight, cob weight. Mycorrhizal inoculation led to a significant increase in the seed phosphorus concentration and increased seed yield per hectare. Mycorrhizal and zeolite interaction effects were significant on number of seeds per row, plant height and weight Cob. Triple interactions of mycorrhizal, zeolite and phosphorus was significant on the biological yied and the number of kernel rows per cob. The combined use of mycorrhiza and zeolite without using of chemical fertilizers increased biological yield compared to control plant to the amount of 44%, while using only 100 and 50 kg phosphorus fertilizer per hectare increased biological yied about 52% and 39% respectively. Also mycorrhiza application significant increased in seed yield about 16/5%. It seems that the use of mycorrhizal fungi and soil amendments (zeolite) can replace a portion of phosphorus fertilizers on maize cropping. The results can be used in organic and sustainable farming.

key word: soil amendment; single cross 704; mycorrhizal; triple superphosphate



University of Shahrood
Faculty of Agriculture

**Effect of zeolite and arbuscular mycorrhiza fungi in different
phosphorus levels on yield and yield component of maize (*Zea mays*).**

daniel farhadi

Supervisors:

Dr. Hamid Reza Asghari
Dr. Mohammad Reza Ameriyan

Advisor:

Dr. Ali Abbaspour

February 2015