بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه صنعتی شاهرود
دانشکده کشاورزی
گروه آب و خاک

بررسی تاثیر قارچ میکوریز و زئولیت برجذب گیاهی و آبشویی نیتروژن و فسفر درخاک

فاطمه مولایی

اساتید راهنما:
دکتر هادی قربانی
دکتر حمیدرضا اصغری

اساتید مشاور:
دکتر خلیل اژدری
دکتر محمدرضا عامریان

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد
بهمن ماه ۱۳۹۱

تشکر و قدردانی

سپاس خدای را که سخنوران، در ستودن او بمانند و شمارندگان، شمردن نعمت های او ندانند و آدمیان حق او را گزاردن نتوانند. و سلام و درود بر محمّد و خاندان پاک او، طاهران معصوم، هم آنان که وجودمان وامدار وجودشان است. بدون شک جایگاه و منزلت معلم، اجّل از آن است که در مقام قدردانی از زحمات بی شائبه ی او، با زبان قاصر و دست ناتوان، چیزی بنگاریم. اما از آنجایی که تجلیل از معلم، سپاس از انسانی است که هدف و غایت آفرینش را تامین می کند و سلامت امانت هایی را که به دستش سپرده اند، تضمین؛ بر حسب وظیفه و از باب "من لم یشکر المنعم من المخلوقین لم یشکر الله عزّ و جلّ: نخست از پدر و مادر گرامی ام تشکر و قدرانی می نمایم. این دو معلم بزرگوارم، که همواره بر کوتاهی و درشتی من، قلم عفو کشیده و کریمانه از کنار غفلت هایم گذشته اند و در تمام عرصه های زندگی یار و یاوری بی چشم داشت برای من بوده اند؛ از همسر فداکار و فرزندان صبورم که با قبول مسئولیتهایم در خانواده فرصت تحصیل را برایم فراهم آوردند صمیمانه تشکر و قدردانی می نمایم. از اساتید گرانقدر؛ جناب آقای دکتر هادی قربانی و جناب آقای دکتر حمیدرضا اصغری که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این رساله را در حالی متقبل شدند که بدون مساعدت ایشان، این پروژه به نتیجه مطلوب نمی رسید، لذا از محبت های بی دریغ آنان صمیمانه سپاسگزارم. باشد که این خردترین، بخشی از زحمات آنان را سپاس گوید.

از اساتید مشاور پایان نامه آقای دکتر محمدرضا عامریان و آقای دکتر خلیل اژدری به سبب راهنمائیهای علمی شان و از اساتید محترم داور این پایان نامه که زحمت بازخوانی آن را را به عهده داشتند صمیمانه تشکر و قدردانی می نمایم.

از ریاست محترم دانشکده کشاورزی و کارکنان آموزش دانشکده، کارشناس های آزمایشگاه های خاکشناسی، گیاهشناسی و زراعت آقای مهندس شاکری، آقای مهندس حسین پور و آقای مهندس مطهری نژاد، سایر دوستان و سرورانی که به نحوی از الطاف بی ریایشان بهره مند گشتم تشکر و قدردانی می نمایم.

فاطمه مولایی

بهمن ماه ۱۳۹۱

چکیده

دستیابی به کشاورزی پایدار در کنار افزایش عملکرد محصولات کشاورزی و تامین سلامت جامعه از اهداف محققین در بخش کشاورزی است. درچند دهه اخیر مصرف نهاده های شیمیایی در اراضی کشاورزی موجب معضلات زیست محیطی عدیده ای از جمله آلودگی منابع آب و خاک، کاهش حاصلخیزی و از بین رفتن تعادل عناصرشیمیایی در خاک گردیده است. از جمله روشهای جدید برای جلوگیری از این معضلات،کاربرد اصلاح کننده های بیولوژیکی و شیمیایی در خاک است. بر همین اساس، آزمایشی به منظور ارزیابی اثر قارچ میکوریز و زئولیت بر جذب گیاهی و آبشویی نیتروژن و فسفر خاک تحت کشت گیاه شبدر برسیم، به صورت فاکتوریل با طرح پایه بلوک های کامل تصادفی و با ۴ تکرار، در شرایط گلخانه ای در دو بخش خاک استریل و غیر استریل به اجرا در آمد. فاکتور های آزمایش عبارتند از: میکوریز در دو سطح (تلقیح با گونه *Glomus intraradices* و بدون تلقیح)، زئولیت در دو سطح (صفر و ۵ درصد وزنی در اختلاط با خاک) و فاکتور ماده غذایی در سه سطح شامل سطح نیتروژن (نیترات آمونیم به میزان۱۴۳ میلی گرم به هر ستون یا۲۸۰کیلوگرم در هکتار)، سطح فسفر (فسفات پتاسیم به میزان۱۱۰۰ میلی گرم به هر ستون یا ۴۸۵ کیلوگرم در هکتار) و شاهد بودند. نتایج حاصل نشان داد اثر تلقیح میکوریز بر ارتفاع گیاه، وزن خشک ریشه و اندام هوایی گیاه معنی‌دار بود و زئولیت به تنهایی اثر معنی‌داری بر این صفات نداشت ولی کاربرد توأم آن با میکوریز سبب تأثیر مثبت بر برخی از این صفات گردید. همچنین کاربرد زئولیت سبب کاهش درصد کلونیزاسیون ریشه گردید. اما درصد کلونیزاسیون ریشه با افزایش کود فسفر و نیتروژن افزایش یافت. تلقیح میکوریز و کاربرد زئولیت اثر معنی داری بر ذخیره و کاهش آبشویی نیتروژن و فسفر خاک داشت، در این تحقیق، اثرات متقابل دو گانه و سه‌گانه فاکتورهای مورد آزمایش بر روی صفات رویشی، نیتروژن و فسفر خاک، محلول آبشویی شده وگیاه معنی‌دار گردید. با توجه به عملکرد مناسب میکوریز و زئولیت در کاهش آبشویی نیتروژن و فسفر، می‌توان نتیجه گرفت که میکوریز و زئولیت، بالاخص در شرایط مصرف کودهای شیمیایی فسفر و نیتروژن، قادرند سبب تأثیرات مثبت بر صفات

مورد بررسی شوند. در واقع برطبق این نتایج، استفاده از کود زیستی میکوریز ضمن آنکه باعث کاهش مصرف کودهای شیمیایی فسفر و نیتروژن می‌گردد، از سوی دیگر موجب کاهش آبشویی این عناصر نیز می‌شود. بنابراین میکوریز می‌تواند به عنوان جایگزینی مناسب برای کودهای شیمیایی (بالاخص در گیاهان همزیست) استفاده گردد. با مصرف مقدارمناسب کودهای نیتروژن و فسفر توأم با کود بیولوژیک و زئولیت، عملکرد محصول نسبت به استفاده از کودهای شیمیایی افزایش می یابد که این نتایج در کاهش مصرف کودها،کاهش هزینه تولید و در جهت جلوگیری از آلودگی خاک و نیز آبهای زیر زمینی کاربرد دارد.

کلمات کلیدی: شبدر، زئولیت، میکوریز، نیتروژن، فسفر

مقالات مستخرج

بررسی اثر زئولیت و قارچ میکوریز بر برخی صفات رویشی شبدر برسیم (*Trifolium alexandrium*) (۱۳۹۱). دوازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه کرج،کرج.

بررسی اثر زئولیت بر آبشویی نیتروژن و فسفر خاک تحت کشت شبدر برسیم (*Trifolium alexandrium*) (۱۳۹۱). ششمین همایش تخصصی محیط زیست، دانشگاه تهران ، تهران.

بررسی اثر قارچ میکوریز بر آبشویی نیتروژن و فسفر خاک تحت کشت شبدر برسیم (*Trifolium alexandrium*) (۱۳۹۱). ششمین همایش تخصصی محیط زیست، دانشگاه تهران ، تهران.

بررسی اثر برهم کنش زئولیت و قارچ میکوریز بر آبشویی نیتروژن و فسفر خاک تحت کشت شبدر برسیم (*Trifolium alexandrium*) (۱۳۹۱). ششمین همایش تخصصی محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه ۱

فصل دوم:کلیات و بررسی منابع ۷

۲-۱- شبدر برسیم.. ..... ۸
۲-۱-۱- مشخصات گیاهشناسی شبدر برسیم ۸
۲-۱-۲- خواص زراعی ۹
۲-۲- فسفر ۹
۲-۲-۱- اهمیت فسفر ۹
۲-۲-۱- اشکال مختلف فسفر درخاک ۹
۲-۲-۲- نقش و اهمیت فسفر در گیاه ۱۰
۲-۲-۳- تأمین فسفر برای گیاهان درکشاورزی رایج ۱۲
۲-۲-۴- اثر کودهای شیمیایی فسفر بر محیط زیست ۱۳
۲-۳- نیتروژن ۱۴
۲-۳-۱- نیتروژن، نقش و اهمیت آن در گیاه ۱۴
۲-۳-۲- کودهای شیمیایی نیتروژن دار ۱۵
۲-۳-۳-تاثیر کود نیتروژن بر رشد بقولات ۱۶
۲-۳-۴- اثرات نامطلوب کودهای شیمیایی نیتروژن دار بر محیط زیست ۱۷
۲-۳-۵- تثبیت زیستی نیتروژن ۱۸
۲-۴-زئولیت ۱۸
۲-۴-۱- تعریف وشناخت زئولیت ۱۸
۲-۴-۲- اهمیت و ضرورت زئولیت ۱۹
۲-۴-۳- طبقه بندی و کاربرد زئولیت ۲۱
۲-۴-۴- تأثیر زئولیت بر عملکرد محصول ۲۲
۲-۴-۵- نقش زئولیت در افزایش ذخیره عناصر و کاهش آبشویی نیتروژن و فسفر خاک ۲۳
۲-۵- میکوریز ۲۷
۲-۵-۱- تعریف و شناخت میکوریز ۲۷
۲-۵-۲- طبقه بندی قارچهای میکوریز ۲۸
۲-۵-۳- اثر همزیستی میکوریز بر جذب عناصر غذایی ۲۹
۲-۴-۴- فاکتورهای مؤثر بر همزیستی میکوریزی ۳۰

۲-۴-۵- قارچهای میکوریز و اثرات همزیستی میکوریز آربوسکولار (AM) بر خاک و گیاه ۳۱
۲-۴-۷- میکوریز و جذب فسفر ۳۳
۲-۴-۸- میکوریز و جذب نیتروژن ۳۵
۲-۴-۹- اثر میکوریز آربوسکولار (AM) بر بهبود خواص فیزیکی خاک ۳۶
۲-۴-۱۰- میکوریز و آبشویی نیتروژن و فسفر ۳۹

فصل سوم: مواد و روشها ۴۱

۳-۱- زمان و محل آزمایش ۴۲
۳-۲- خصوصیات خاک گلدان ۴۲
۳-۳- انتخاب گونه بذر و تهیه مایه تلقیح ۴۲
۳-۴- انتخاب و آماده سازی گلدانها ۴۲
۳-۵- آماده سازی خاک برای آزمایش گلخانه‌ای ۴۲
۳-۶- طرح آزمایشی در گلخانه و شرایط رشد ۴۳
۳-۷- تعیین ظرفیت زراعی خاک گلدانها و نحوه آبیاری ۴۴
۳-۸- نحوه کاشت در گلدانها ۴۴
۳-۹- نمونه گیری گیاهی ۴۴
۳-۱۰- مرحله آبشویی و نمونه گیری از محلول جمع آوری شده ۴۵
۳-۱۱- نمونه گیری خاک و ریشه ۴۶
۳-۱۲- اندازه گیری درصد کلونیزاسیون ریشه‌ای ۴۷
۳-۱۳- بررسی اثر تیمار میکوریز، زئولیت و ماده غذایی بر مقدار نیتروژن و فسفر خاک وگیاه ۴۸
۳-۱۴- اندازه گیری نیترات در خاک و محلول آبشویی شده ۴۸
۳-۱۵- اندازه گیری فسفر قابل جذب خاک و محلول آبشویی شده ۴۸
۳-۱۶- اندازه گیری درصد نیتروژن کل و درصد فسفر گیاه ۴۹
۳-۱۷- تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها ۴۹

فصل چهارم: نتایج و بحث ۵۰

الف: خاک استریل ۵۱
۴-۱- اثرات تیمارهای میکوریز و زئولیت و ماده غذایی بر خصوصیات رویشی شبدر برسیم ۵۱
۴-۱-۱- ارتفاع گیاه ۵۱
۴-۱-۲- وزن خشک اندام هوایی ۵۳
۴-۱-۳- وزن خشک ریشه ۵۶

۴-۱-۴- درصد کلونیزاسیون ریشه ۵۷
۴-۲- تأثیر تیمارهای مورد مطالعه بر فسفر خاک ومحلول آبشویی شده ۵۸
۴-۲-۱- مقدار فسفر قابل دسترس خاک در عمق ۱۰ سانتیمتری ۵۸
۴-۲-۲-مقدار فسفر قابل دسترس خاک در عمق ۲۰ سانتیمتری ۶۰
۴-۲-۳- مقدار فسفر آبشویی شده ۶۲
۴-۳- اثرات تیمارهای مورد مطالعه بر نیترات خاک و محلول آبشویی شده ۶۴
۴-۳- ۱- مقدار نیترات خاک در عمق ۱۰ سانتیمتری ۶۴
۴-۳- ۲- مقدار نیترات خاک در عمق ۲۰ سانتیمتری ۶۵
۴-۳- ۳- مقدار نیترات آبشویی شده ۶۷
ب: خاک غیر استریل ۶۹
۴-۴- اثر تیمارهای مورد مطالعه بر خصوصیات رویشی شبدر برسیم ۶۹
۴-۴-۱-ارتفاع گیاه ۶۹
۴-۴-۲- وزن خشک اندام هوایی ۷۰
۴-۴-۳- وزن خشک ریشه ۷۲
۴-۴-۴- درصد کلونیزاسیون ریشه ۷۳
۴-۵- تأثیر تیمارهای مورد مطالعه بر فسفر خاک، محلول آبشویی شده و گیاه ۷۴
۴-۵-۱- مقدار فسفرقابل دسترس خاک در عمق ۱۰ سانتیمتری ۷۴
۴-۵-۲- مقدار فسفر قابل دسترس خاک در عمق ۲۰ سانتیمتری ۷۶
۴-۵-۳- مقدار فسفر آبشویی شده ۷۸
۴-۵-۴- مقدار فسفر گیاه ۸۰
۴-۶- اثر تیمارهای مورد مطالعه بر نیترات خاک، محلول آبشویی شده و نیتروژن گیاه ۸۲
۴-۶-۱- مقدار نیترات خاک در عمق ۱۰ سانتیمتری ۸۲
۴-۶-۲- مقدار نیترات خاک در عمق ۲۰ سانتیمتری ۸۳
۴-۶-۳- مقدار نیترات آبشویی شده ۸۵
۴-۶-۴- مقدار نیتروژن کل گیاه ۸۸

فصل پنجم:

نتیجه گیری..... ۹۰

۵-۱- نتیجه گیری..... ۹۱
۵-۲- پیشنهادات..... ۹۴
۵-۲-۱-پیشنهادات اجرایی..... ۹۴

۵-۲-۲- پیشنهادات پژوهشی.....۹۴

پیوست ها.....۹۵
منابع.....۱۱۷

فهرست شکل ها

عنوان **صفحه**

شکل۳-۱- نمایی از گلدانهای آزمایش در ابتدای فصل رشد ۴۲
شکل۳-۲- اضافه نمودن آب مقطر به گلدانها جهت آبشویی ۴۵
شکل ۳-۳- جمع آوری محلول آبشویی شده ۴۵
شکل ۳-۴- نمونه گیری خاک ۴۶
شکل ۳-۵- نمایی از ریشه در زیر میکروسکوپ ۴۷
شکل ۳-۶- شبدرهای برسیم در اواسط دوره رشد ۴۹
شکل ۴-۱- اثر متقابل زئولیت و میکوریز بر ارتفاع گیاه (سانتیمتر) ۵۳
شکل ۴-۲- تیمارهای شاهد و زئولیت - میکوریز ۵۳
شکل ۴-۳- اثر متقابل میکوریز، زئولیت و ماده غذایی بر وزن خشک اندام هوایی (g) ۵۵
شکل ۴-۴- اثر متقابل میکوریز، زئولیت و ماده غذایی بر وزن خشک ریشه (g).....۵۶
شکل ۴-۵- اثر متقابل میکوریز، زئولیت و ماده غذایی بردرصد کلونیزاسیون ۵۸
شکل ۴-۶- اثر متقابل زئولیت و ماده غذایی برمقدار فسفر خاک عمق ۱۰ سانتیمتری (mg/kg) ۶۰
شکل۴-۷- اثر متقابل میکوریز-زئولیت-ماده غذایی برمقدار فسفر خاک عمق ۲۰ سانتیمتری (mg/kg) ۶۱
شکل ۴-۸- اثر متقابل میکوریز و ماده غذایی بر مقدار فسفر آبشویی شده (mg/l).....۶۳
شکل ۴-۹- اثر متقابل میکوریز و زئولیت بر مقدار فسفر آبشویی شده (mg/l) ۶۴
شکل۴-۱۰-اثر متقابل میکوریز و زئولیت و ماده غذایی برمقدارنیترات خاک در عمق ۱۰ سانتیمتری (mg/kg) ۶۵
شکل ۴-۱۱- اثر متقابل زئولیت و ماده غذایی بر مقدار نیترات خاک در عمق ۲۰ سانتیمتری (mg/kg) ۶۶
شکل ۴-۱۲- اثر متقابل میکوریز و ماده غذایی برمقدارنیترات آبشویی شده (mg/l) ۶۸
شکل ۴-۱۳- اثر متقابل میکوریز و زئولیت برمقدارنیترات آبشویی شده (mg/l) ۶۸
شکل ۴-۱۴- اثر متقابل میکوریز و زئولیت برارتفاع (cm) ۷۰
شکل ۴-۱۵- اثر متقابل میکوریز و زئولیت و ماده غذایی بر وزن خشک اندام هوایی گیاه (g)..... .....۷۲

شکل ۴-۱۶- اثر متقابل میکوریز و زئولیت و ماده غذایی بر وزن خشک ریشه گیاه (g) ۷۳
شکل ۴-۱۷- اثر متقابل میکوریز و زئولیت بر درصد کلونیزاسیون ریشه ۷۴
شکل ۴-۱۸- اثر متقابل میکوریز و زئولیت و ماده غذایی بر فسفر خاک در عمق ۱۰ سانتیمتری (mg/kg) ۷۶
شکل ۴-۱۹- اثر متقابل میکوریز و زئولیت و ماده غذایی بر فسفر خاک در عمق ۲۰ سانتیمتری (mg/kg) ۷۷
شکل ۴-۲۰- اثر متقابل میکوریز و زئولیت و ماده غذایی بر فسفر آبشویی شده (mg/l) ۷۹
شکل ۴-۲۱- اثر متقابل میکوریز و ماده غذایی برﷺرصد فسفر گیاه ۸۱
شکل ۴-۲۲- اثر متقابل میکوریز و زئولیت بردرصد فسفر گیاه ۸۱
شکل ۴-۲۳- اثر متقابل میکوریز و ماده غذایی برمقدار نیترات خاک در عمق ۱۰ سانتیمتری (mg/kg) ۸۳
شکل ۴-۲۴- اثر متقابل میکوریز،زئولیت و ماده غذایی برمقدار نیترات خاک در عمق ۲۰ سانتیمتری (mg/kg) ۸۵
شکل ۴-۲۵- اثر متقابل میکوریز و زئولیت بر مقدار نیترات آبشویی شده (mg/l) ۸۷
شکل ۴-۲۶- اثر متقابل میکوریز،زئولیت و ماده غذایی برمقدار نیترات آبشویی شده (mg/l) ۸۷
شکل ۴-۲۷- اثر متقابل میکوریز، زئولیت و ماده غذایی بردرصد نیتروژن گیاه ۸۹

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۴-۱- جدول تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در خاک استریل ۹۶
جدول ۴-۲- جدول تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه (فسفر) در خاک استریل ۹۷
جدول ۴-۳- جدول تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه (نیترات) در خاک استریل ۹۸
جدول ۴-۴- مقایسه میانگین صفات مورد بررسی شبدر در سطوح مختلف ماده غذایی، تلقیح میکوریزا و زئولیت در خاک استریل ۹۹
جدول ۴-۵- مقایسه میانگین اثرات متقابل زئولیت - ماده غذایی و میکوریزا - ماده غذایی بر برخی از صفات مورد مطالعه درخاک استریل ۱۰۰
جدول ۴-۶- مقایسه میانگین اثرات متقابل زئولیت و تلقیح میکوریزا بر برخی از صفات مورد مطالعه در خاک استریل ۱۰۱
جدول ۴-۷- مقایسه میانگین صفات مورد بررسی (فسفر و نیترات) در سطوح مختلف ماده غذایی، تلقیح میکوریز و زئولیت در خاک استریل ۱۰۲
جدول ۴-۸- مقایسه میانگین اثرات متقابل زئولیت - ماده غذایی و میکوریزا - ماده غذایی بر برخی از صفات مورد مطالعه (فسفر و نیترات) درخاک استریل ۱۰۳

جدول ۴-۹- مقایسه میانگین اثرات متقابل زئولیت و تلقیح میکوریزا بر برخی از صفات مورد مطالعه (فسفر و نیترات) در خاک استریل ۱۰۴
جدول ۴-۱۰- جدول تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در خاک غیراستریل ۱۰۵
جدول ۴-۱۱- جدول تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه (فسفر) در خاک غیراستریل ۱۰۶
جدول ۴-۱۲- جدول تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه (نیترات خاک و محلول آبشویی شده، نیتروژن کل گیاه) در خاک غیراستریل ۱۰۷
جدول ۴-۱۳- مقایسه میانگین صفات مورد بررسی شبدر در سطوح مختلف ماده غذایی، تلقیح میکوریز و زئولیت در خاک غیراستریل ۱۰۸
جدول ۴-۱۴- مقایسه میانگین اثرات متقابل زئولیت - ماده غذایی و میکوریزا - ماده غذایی بر برخی از صفات مورد مطالعه درخاک غیر استریل ۱۰۹
جدول ۴-۱۵- مقایسه میانگین اثرات متقابل زئولیت و تلقیح میکوریزا بر برخی از صفات مورد مطالعه در خاک غیر استریل ۱۱۰
جدول ۴-۱۶- مقایسه میانگین صفات مورد بررسی(فسفر) در سطوح مختلف ماده غذایی، تلقیح میکوریز و زئولیت در خاک غیراستریل ۱۱۱
جدول ۴-۱۷- مقایسه میانگین اثرات متقابل زئولیت - ماده غذایی و میکوریز - ماده غذایی بر برخی از صفات مورد مطالعه (فسفر) درخاک غیر استریل ۱۱۲
جدول ۴-۱۸- مقایسه میانگین اثرات متقابل زئولیت و تلقیح میکوریزا بر برخی از صفات مورد مطالعه (فسفر) در خاک غیر استریل ۱۱۳
جدول ۴-۱۹- مقایسه میانگین صفات مورد بررسی (نیترات خاک و محلول آبشویی شده، نیتروژن کل گیاه) در سطوح مختلف ماده غذایی، تلقیح میکوریز و زئولیت در خاک غیراستریل ۱۱۴
جدول ۴-۲۰- مقایسه میانگین اثرات متقابل زئولیت - ماده غذایی و میکوریزا - ماده غذایی بر نیترات خاک و محلول آبشویی شده، نیتروژن کل گیاه درخاک غیر استریل ۱۱۲
جدول ۴-۲۱- مقایسه میانگین اثرات متقابل زئولیت و میکوریز بر نیترات خاک و محلول آبشویی شده، نیتروژن کل گیاه در خاک غیر استریل ۱۱۵

فصل اول: مقدمه

مقدمه

در سالهای اخیر نگرانیهای جهانی درباره عواقب و اثرات جانبی برخی از فعالیتهای کشاورزی نوین بر محیط زندگی انسان افزایش یافته و محققان را به تفکر بیشتر ونگاهی عمیق تر واداشته است. از آنجائیکه با افزایش جمعیت جهان نیاز به مواد غذایی بیشتر می شود و از سویی افزایش فرسایش و کاهش بازدهی خاک بر تولید محصولات کشاورزی اثر خواهد داشت، به طور حتم در آینده ای نزدیک تولید مواد غذایی در جهان با بحران مواجه خواهد شد. 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). برای افزایش تولید از روش‌های گوناگون استفاده شده است، اما به کارگیری مستمر و زیاد این روش‌ها موجب تغییر در خواص فیزیکی و شیمیایی خاک شده است و در چند دهه اخیر مصرف نهاده‌های شیمیایی در اراضی کشاورزی موجب معضلات زیست محیطی عدیده‌ای از جمله آلودگی منابع آب، افت کیفیت محصولات کشاورزی و کاهش حاصلخیزی خاک‌ها گردیده است (شارما، ۲۰۰۲). هدف اصلی کشاورزی پایدار که به وجود آمدن آن برای حیات انسانی یک ضرورت است، کاهش نهاده‌های مصرفی، افزایش چرخه داخلی عناصر غذایی خاک از طریق کاهش خاک ورزی و استفاده از کودهای زیستی بجای کودهای شیمیایی در جهت افزایش عملکرد محصولات کشاورزی و تولید غذای بیشتر است (لگرید و همکاران، ۱۹۹۹؛ کوچکی و همکاران، ۲۰۰۸). مدیریت پایدار خاک نیز شامل نوعی از مدیریت است که تأمین کننده نیازهای فعلی است بدون آنکه توانایی نسل‌های آتی را برای تأمین نیازهای خود از آن خاک، به خطر اندازد. بنابراین مدیریت خاک وقتی پایدار است که ظرفیت خاک برای تأمین نیازهای آیندگان را تغییر ندهد (اسدی‌رحمانی و همکاران۱۳۸۶).

امروزه زیان‌های اقتصادی و زیست محیطی ناشی از استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی در کشاورزی در سطح جهانی شناخته شده و بدیهی است که باید جایگزین مناسبی برای این نوع

کودها در نظر گرفته شود (ابوت و مورفی، ۲۰۰۷). افزایش مصرف برخی از این کودها، نظیر کودهـای نیتروژن دار و نیز به دلیل شستشوی راحت نیترات از خاک، منجر به افزایش آلودگی آبهای زیرزمینی شده است که غلظتهای نامطلوب نیتروژن در آب جنبـه هـای مسـتقیم بهداشـتی و هـم چنـین بـوم شناختی دارد. جنبه اول ایجاد بیماریهای مت هموگلوبینمیا، سرطان، سیانوسیس در نوزادان است و علائمی از چند بیماری در دامها نظیر مت هموگلوبینمیا، کمبود ویتامین آ، اشکالاتی در تولید مثـل و سقط جنین، نیزدیده شده است. جنبه دوم نگرانی از افزایش غلظت نیتروژن در آب، ترس از اوتروفی شدن (Eutrophication) آبهای سطحی است که به معنی غنی شدن آبها ازعناصـر غـذایی اسـت کـه باعث رشد سریع گیاهان آبزی و رشد پر دردسر پلانکتون های گیاهی می‌شود. از این منظر جلوگیری از آبشویی نیترات و نیز جلوگیری از هـدر رفـت کودهـای داده شـده بـرای حفـظ امنیـت غـذایی در کشورهای در حال توسعه مانند ایران به طور خاص مطرح می‌شود.

از روشهای نوین جلوگیری از آبشویی نیتروژن و فسفر، می توان به استفاده از کودهـای بیولوژیـک در خاک مانند قارچهای میکوریزای آرباسکولار (Arbuscular Mycorrhiza) و کاربرد اصلاح کننده هـای شیمیایی نظیر زئولیت در خاک اشاره کرد. در نتیجه به کارگیری این روشها، آبشـویی نیتـرات در اثـر جذب تدریجی آن توسط گیاه کاهش می یابد. بنابراین حاصل این عملکرد، تولید مواد غذایی سـالم و با کیفیت بالا و نیز جلوگیری از آلوده شدن آبهای زیرزمینی به نیترات می‌باشد.

کودهای زیستی حاوی مواد نگهدارنده با جمعیت متراکم یک یا چند ارگانیسم مفید خاکزی می‌باشند که به منظور بهبود حاصلخیزی خاک و عرضه مناسب عناصر غذایی مورد نیاز گیـاه در یـک سیسـتم کشاورزی پایدار به کار می‌روند (صالح راستین، ۱۳۸۰). قارچهای میکوریزا دارای روابط همزیسـتی بـا ریشه اغلب گیاهان زراعی می‌باشند و از طریق افزایش جذب عناصر غذایی مثل فسفر و برخی عناصـر کم مصرف، افزایش جذب آب، کاهش تأثیر منفی تنش‌های محیطی و افزایش مقاومت در برابر عوامل بیماری‌زا، سبب بهبود در رشد و عملکرد گیاهان میزبان می‌شوند (شارما، ۲۰۰۲).

با افزایش تحقیقات در زمینه نوع مواد قابل تبادل بین گیاهان میزبان و قارچ همزیست مشخص گردید که مواد آلی مورد نیاز قارچ از محصولات فتوسنتزی گیاه تامین شده و در مقابل عناصر معـدنی و آب توسط قارچ از خاک جذب گردیده و به گیاه منتقل می‌شوند. قارچها در مقابل دریافت منابع کـربن از گیاه جذب عناصر معدنی مانند فسفر، روی، مس و آهـن و... را بـرای گیـاه تسـهیل میکننـد. ارتبـاط همزیستی میکوریزی یکی از فراوانترین فعالیتهای همزیستی در شاخه گیـاهی اسـت کـه در بیشـتر اکوسیستمها حضور دارد (مهرورز و همکاران، ۲۰۰۸). قارچهای میکوریز آربوسکولار تغذیه معدنی گیاه را از طریق تغییرات در سیستم ریشه ای مانند افزایش طـول کـل ریشـه و تعـداد ریشـه هـا افـزایش می‌دهند. نتایج تحقیقات نشان میدهد که میکوریز آربوسکولار نه تنها میزان نیتروژن گیاه میزبان را از طریق غیر مستقیم افزایش می دهد (افزایش گره زایـی و تثبیـت ازت) بلکـه ممکـن اسـت بـه طـور مستقیم و از طریق جذب ازت خاک نیز افزایش دهد (شارما و جوهری، ۲۰۰۲).

جهت تثبیت نیتروژن در ریشه گیاهان تثبیت کننده نیتروژن، فراهم کـردن فسـفر کـافی بـرای گیـاه الزامی است (بارآو همکاران، ۱۹۸۹). مکانیزم های مختلفی در جذب بیشتر فسفر بـه وسـیله گیاهـان میکوریزی حدس زده میشود که عبارت اند از :

- استخراج حجم بالاتر فسفر از خاک
- حرکت سریع فسفر در داخل ریسه های میکوریز
- تغییر در میزان حلالیت فسفر در خاک

بولان (۱۹۹۱) طی تحقیقاتی دریافت که گیاهان میکوریزی افزایش جذب را از منابع فسفر بسیار کـم محلول مانند فسفاتهای آهن و آلومینیوم و فسفاتهای معدنی انجام میدهد.

از سوی دیگر استفاده از برخی مواد افزودنی به خاک مثل زئولیت که دارای عناصر غذایی مورد نیاز گیاه بوده و یا شرایط را برای جذب عناصر غذایی موجود در خاک فراهم می کنند می تواند بر حاصلخیزی خاک تاثیر بسزایی داشته باشد.

استفاده از زئولیت نیز در اراضی کشاورزی به دلیل افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک و تمایل زیاد آن برای جذب و نگهداری آمونیوم، می تواند نقش مؤثری در کاهش شستشوی عناصر غذائی خـاک به ویژه نیتروژن داشته باشد.

زئولیتها در اصل مواد آلومینو سیلیکاتی هستندکه دارای ساختاری کریستالی میباشند. کاربرد زئولیت به عنوان جذب کننده بدین‌گونه است که مولکولهایی که به قدر کافی کوچک هستند، میتوانند شدیدا به زئولیتها متصل شوند. این مسئله بویژه در مورد آب و سایر مولکوهای قطبی صدق میکند. زئولیتهـا میتوانند در محیط زندگی آبزیان، آمونیوم را که وجودآن‌در حد چند گرم درتن مسمومیت زا میباشـد جذب کنند. زئولیتها به دلیل منافذ زیاد و ساختار کریستالی شان ممکن اسـت بـیش از ۶۰ درصـد وزنشان، آب را در خود نگه دارند. مولکولهای آب در منافذ زئولیت به آسانی تبخیر یا جذب میشوند، بدون آنکه به ساختار آن آسیبی برسد. زئولیتها یک منبع آب همیشگی را تضمین میکننـد و بـرای دوره خشکی، رطوبت طولانی تری را فراهم میکنند. آنها همچنین سرعت مرطـوب شـدن دوبـاره و بهبود گسترش جانبی آب به ناحیه ریشه در طول آبیاری را افزایش میدهند، که این منجر به ذخیره مقدار آب مورد نیاز برای آبیاری میشود. علاوه براین ظرفیت جذب بالا، زئولیت را یک حمل کننـده آفت کشهای کشاورزی کرده است. برخلاف دیگر اصلاح کننده های خاک (مثل آهک)، زئولیتهـا در طی زمان تجزیه نمیشوند، بلکه در خاک باقی می مانند و نگهداری مواد غذایی را بهبود می بخشـند (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۹). بنابراین اضافه کردن آنها به خاک به میزان قابل تـوجهی هزینـه هـای کود و آب را به دلیل حفظ مواد غذایی سودمند در ناحیه ریشه، کاهش خواهد داد. ساختار متخلخل و منفذدار طبیعی به حفظ هوادهی خاک و رطوبت برای یک دوره طولانی مدت کمک میکند (پلات و همکاران، ۲۰۰۴). بررسی برخی از تحقیقات نشان می دهد کـه زئولیـت نقـش مهمـی در کـاهش آبشوئی عناصر غذایی خصوصا آمونیوم و نیترات در خاکها دارد (رادسر و سپاسخواه، ۱۳۸۵).

از آنجا که فسفر و نیتروژن به عنوان عناصر غذایی اصلی مورد نیـاز گیاهـان، نقـش مهمـی در تولیـد محصولات کشاورزی داشته و از طرف دیگر اطلاعات در مورد اثرات کودهای زیستی و اصـلاح کننـده

های شیمیایی نظیر زئولیت بر روی محصولات زراعی از جمله شبدر و تأثیرات آنها در جلوگیری از آبشویی این عناصر غذایی، بسیار اندک می‌باشد. تحقیق حاضر در راستای قدم گذاری در مسیر توسعه و ترویج سیستم کشاورزی پایدار و استفاده از زئولیت به عنوان یک اصلاح کننده و کودهای زیستی مانند میکوریز به جای کودهای شیمیایی وتأثیر آنها بر ذخیره گیاهی و آبشویی نیتروژن و فسفرخاک انجام شده است.

فصل دوم:

کلیات و بررسی منابع

۲-۱- شبدر برسیم

۲- ۱-۱-مشخصات گیاهشناسی شبدر برسیم

شبدر برسیم یا شبدر مصری (*Trifolium alexanderium*) گیاهی یکساله، بهاره، مقاوم در برابر شرایط نامساعد و از خانواده بقولات یا نخودیان (*Fabaceae*) است.

شبدر برسیم دارای ریشه های عمیق، ضخیم و با انشعابات کم زیرزمینی است که تا عمق ۶۰-۴۰ سانتی متری خاک نفوذ می نماید. در ریشه اغلب گیاهان تیره نخودیان از جمله شبدر، گره هایی وجود دارد که میانگین آنها حدودا بیش از ۲۰ عدد می باشد. این گره ها پر از باکتری ریزوبیوم با اشکال مختلف است که ازت مولکولی هوا را جذب و آنرا در ریشه گیاه تثبیت می کنند. این باکتریها نسبت به pH اسیدی خاک بسیار حساس هستند و واکنش خنثی تا اسیدی ضعیف را ترجیح می دهند. دارای ساقه هایی راست نازک، ظریف، مدور و منشعب و تو خالی است که پس از برداشت، رشد دوباره کرده و جوانه هایی از قاعده هر ساقه زده می شود. طول ساقه به ۷۰-۶۰ سانتی متر و گاهی بیشتر از یک متر میرسد. قاعده ساقه اغلب صاف و براق و قسمت فوقانی دارای کرک است. فاصله گره های ساقه ۲۰-۱۰ سانتی متر است (کریمی ۱۳۷۹).

برگهای شبدر برسیم از نوع مرکب، سه برگچه ای، کرکدار و معمولا بزرگ و کشیده و به رنگ سبز روشن می باشند. برگ وسطی اندکی کوچکتر از دو برگ کناری است. برگچه ها دارای شکل تخم مرغی معکوس یا بیضی کشیده هستند. گلهای شبدر برسیم کوچک، سفید و یا زرد کم رنگ و کاملا دگرگشن است که گرده افشانی آن بوسیله حشرات صورت می گیرد. گل آذین مخروطی تا تخم مرغی و در مرحله میوه تا ۱/۵ سانتی متر عرض دارد.

فصل گلدهی اوایل تا اواسط بهار است. میوه آن نیام است که با دو شکاف باز می شود. بذر شبدر برسیم در ابتدا زرد مایل به سبز بوده و سپس به تدریج قرمز مایل به قهوه ای می شود (کریمی ۱۳۷۹).

۲-۱-۲-خواص زراعی

شبدر مصری یکی از شبدرهای بسیار مناسب جهت کشت در مناطق مختلف کشور است. از خصوصیات مهم شبدر رشد سریع آن است. از این گیاه می توان در مناطقی که علوفه کاری کم است استفاده آنی زیادی نمود. این گیاه علوفه مورد نیاز دامداری ها را می تواند برطرف نماید.کشت مخلوط شبدر مصری با نباتات علوفه ای گندمیان یا غلات تولید عملکرد کاملا رضایت بخشی را می نماید.

شبدر برسیم در خاکهای نرم و در شرایط pH (۴/۹ – ۷/۸) سازگاری داشته اما در شرایط خاکهای اسیدی و شور حساس می باشد. بهترین شرایط مناسب جهت کاشت شبدر مصری خاکهای سبک و نسبتا سنگین، در آب و هوای نسبتا مرطوب است و دراین خاکها محصول رضایت بخشی تولید میکند (کریمی ۱۳۷۹).

۲-۲- فسفر

۲-۲-۱- اهمیت فسفر

فسفر بعد از نیتروژن مهمترین عنصر مورد نیاز گیاهان و ریزجانداران می‌باشد و در کلیه فرآیندهای بیوشیمیایی، ترکیبات انرژی‌زا و ساخت غشاءهای سلول و کارهای انتقال انرژی دخالت دارد، افزون بر آن فسفر در ساختار بیوشیمیایی فسفولیپیدها، نوکلئوتیدها و اسیدهای نوکلئیک نقشی ویژه دارد (ملکوتی و همایی، ۱۳۷۳). خصوصیاتی مانند pH، کاتیونهای محلول و تبادلی (مانندCa^{+2}،Mg^{+2}،Fe^{+2}،Al^{+3})، نوع ذرات و سطح آنها، اشکال مختلف فسفر در خاک را تعیین می کنند (ملکوتی و همایی ۱۳۸۳).

۲-۲-۲- اشکال مختلف فسفر درخاک

فسفر در خاک به اشکال مختلفی حضور دارد که می توان آنها را بصورت کلی به دو گروه فسفر آلی و فسفر غیر آلی (معدنی) از یکدیگر تفکیک نمود (دلال،۱۹۷۷). پراکنش نسبی این دو گروه در خاک‌ها بستگی به فاکتورهای مختلفی مانند نوع خاک، نوع پوشش گیاهی، پیشینهٔ کود دهی،

فعالیت میکروبی، کشت و زرع و غیـره دارد (هدلی و همکاران، ۱۹۸۲). شکل معـدنی ایـن عنصـر در خاک شامل ۱۷۰ کانی مختلف شامل ترکیبات کلسیم، آهن، آلومینیوم و فلوئـور میباشد.

فسفـر غیـر آلی خاک ممکنست به یکی از اشکال : I- حضور در محلول خـاک II- جـذب شـده بـه ذرات خاک و III- به شکل مواد معدنی رسوب کرده، دیده شود.

اگر چه فسفر غیر آلی محلول خاک فقط بخش کوچکی از کل فسفر خاک (۱٪>) را تشکیل میدهـد، لیکن گیاهان اغلب نیازمندی فسفری خود را از این منبع اخذ می‌کنند. بیشتر فسفر غیر آلی خاک در سطح خاک جذب شده و یا بعنوان فسفاتهای آهن و آلومینیم در خاکهای اسیدی و فسفاتهای کلسیم و منیزیم در خاکهای آهکی و قلیایی رسوب کرده‌اند. پراکنش نسبی و قابلیت دسترسـی گیـاهی ایـن اشکال بستگی اساسی به pH خاک دارد (سمپل و همکاران ۱۹۸۰، بولان ۱۹۹۱). فسفر آلـی نیـز در خاک به سه شکل قابل حل در محلول خاک، بعنوان فسفر غیر محلول جذب شده به ذرات خاک و یـا بعنوان جزئی از مواد آلی خاک دیده می شود (آندرسون، ۱۹۸۰).

اگر چه بیش از ۳۰ نوع فسفر آلی از خاکها جدا شده اسـت لـیکن ترکیبـات فیتـین، فسـفولیپیدها و اسیدهای نوکلئیک از اجزاء اصلی به شـمار مـی‌رونـد کـه اسـید فیتیـک (هگـزا فسـفات انیوسـتیول) مهمترین ترکیب آلی است. این ترکیبات از طریق تجزیه مواد گیاهی ایجاد می‌شوند. لذا خاکهایی کـه مواد آلی زیادی دارند از نظر شکل آلی فسفر غنی هستند. برای جذب و قابلیت دسترسی گیاهـان بـه فسفر، ابتدا باید فسفر آلی به فسفر معـدنی تبـدیل شـود. معـدنی شـدن از طریـق هضـم سـاده و یـا فسفوریلاسیون آنزیمی توسط میکرو ارگانیسم های خاک صورت می‌گیرد (بولان، ۱۹۹۱).

۲-۲-۳- نقش و اهمیت فسفر در گیاه

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). کمبود فسـفر سـرعت رشـد و نمـو را کنـد کرده و از عملکرد محصول می‌کاهد. گیاهان از همان مراحل اولیه رشد برای تولید محصول بهینه، نیاز به فسفر کافی دارند (گرنت و همکاران، ۲۰۰۵). فسفر به مقدار زیاد در بذر و میوه یافت می‌شود. فسفر

عامل زودرسی محصولات، بویژه غلات است. کمبود فسفر در کیفیت میوه و دانه اثر سوء برجـای مـی گذارد (ملکوتی و همایی ۱۳۸۳، ملکوتی ۱۳۷۹). فسفرکه از درشت مغذیهای کلیدی مورد نیـاز بـرای رشد و متابولیسم گیاه است بخاطر تشکیل استرفسفاتهای غنی از انرژی نقش مهمی در انتقال انـرژی در گیاه بر عهده دارد. این عنصر جزء مهمی از ماکرو مولکولهایی ماننـد نوکلئوتیـدها، فسـفولیپیدها و فسفاتهای قندی است (مارشنر۱۹۹۵، یاهییا و ال‌آزاوی ۱۹۸۹).

آندسته از بقولات علوفه‌ای که در اراضی مرتعی کود فسفری دریافت نکـرده باشـند، از رشـد چنـدان رضایت بخشی برخوردار نیستند. مصرف فسفر به میزان کافی، تعداد گره‌های تشکیل شده در بقـولات و میزان ازت تثبیت شده را افزایش می‌دهـد (ملکـوتی و همـایی ۱۳۸۳، لاگریـد و همکـاران ۱۹۹۹). فسفر از جمله عناصری است که در خاکها به آبشویـی مقاوم است ولی با اینحال کمبـــود آن در اکثـر خاکها باعـث کاهش تولیدات کشاورزی می‌گردد (خاوازی و ملکوتی ۱۳۸۰). زیـرا ایـن عنصـر بعـد از ورود به خاک، بیش از ۸۰ درصد آن غیرمتحرک شده و با جذب، رسوب و یا تبدیل بـه شـکل آلـی از دسترس گیاه خارج می‌شود (تورک و همکاران ۲۰۰۶، اسچاچتمن و همکاران ۱۹۹۸). کمبـود فسـفر یکی از محدودیت‌های عمده برای رشد لگومها در بسیاری از خاکهاست و سطوح ناکافی فسفر در خاک تثبیت نیتروژن را محدود می‌کند (صالح و همکاران۱۹۸۶).

در پژوهش تورک و تاواها (۲۰۰۲) با کاربرد مقادیر مختلـف فسـفر، بـالاترین عملکـرد گیـاه بـاقلا در بالاترین سطح فسفر (۵۲/۵ کیلوگرم در هکتار) بدست آمد. علاوه بر عملکرد، اجـزای عملکـرد شـامل وزن صد دانه، تعداد دانه در غلاف، طول غلاف، تعداد غلاف در بوته به طور معنی‌داری با کـاربرد کـود فسفر در مقایسه با عدم کاربرد آن افزایش یافت و بالاترین مقدار تعداد دانه در غـلاف در سـطح ۵۲/۵ کیلوگرم در هکتار فسفر بدست آمد، ولی لوپز بلید و همکاران (۲۰۰۵) بر این باورند که تعداد دانه در غلاف به وسیله ژنوتیپ تعیین می‌شود و کمتر شرایط محیطی بر روی آن تأثیرگذار است.

کاظمی پشت مساری و همکاران (۱۳۸۶) نیز گزارش کردند که تعداد دانه در غـلاف و وزن صـد دانـه گیاه باقلا با کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات تریپل به طور معنی‌داری نسبت به تیمار

شاهد افزایش یافت. گیاهان زراعی در سال بین ۱۰ تا ۳۰ کیلوگرم در هکتار فسفر جذب می‌کنند. شواهدی در دست است که 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). همچنین شارما (۲۰۰۲) بیان کرد یکی از فواید کود فسفر این است که باعث می‌شود گیاهان ریشه‌های بیشتر و عمیق‌تری تولید کنند و فسفر با دخالت در طول، ظرافت و تراکم ریشه به طور غیر مستقیم موجب افزایش عملکرد می‌گردد.

۲-۲-۴- تأمین فسفر برای گیاهان درکشاورزی رایج

از آنجا که کودهای آلی تولید شده در مناطق مختلف تکافوی برآورده نمودن تولیدکنندگان را نکرده و همچنین به لحاظ دانش اندک کشاورزان در مورد علم بیولوژی خاک، تقاضا برای استفاده و بکارگیری انواع کودهای شیمیایی بسیار بالاست تا جایی که در بعضی از مناطق استفاده از آنها به حد افراط رسیده است.

دربسیاری ازنقاط جهان (و از جمله ایران) به دلیل بالابودن pH خاک و فراوانی یون کلسیم در آن، به رغم فراوانی برخی عناصر غذایی مانند فسفر، مقدار آن به شکل محلول و قابل جذب، کمتر از مقدار لازم برای تأمین رشد مناسب گیاهان است. روش متداول برای مقابله با این کمبودها، استفاده از انواع کودهای شیمیایی است (بشارتی وصالح راستین ۱۳۸۰).

تقاضای فزاینده برای غذا، نیاز به مصرف کودها برای بهبود حاصلخیزی خاک و احیاء مواد غذایی آن را افزایش داده است (لاگرید و همکاران ۱۹۹۹). گونه‌های گیاهی در مقدار نیاز به فسفر، در روشهای بکار برده شده برای استفاده از فسفر قابل دسترس و در پاسخ آنها به بکارگیری کود فسفر با یکدیگر اختلاف دارند. بنابراین روش‌های مدیریت فسفر باید با توجه به نیازمندی گیاهان زراعی و اهداف مدیریتی برای سیستم های تولیدی طراحی شود.

غالب فسفاتهای غیر آلی بکاربرده شده در خاک بعنوان کود، بسرعت تبدیل به اشکال غیر قابل دسترس گیاه با قابلیت حل پایین می‌شوند (تانگاسوامی و چلاپان ۲۰۰۶).

۲-۲-۵- اثر کودهای شیمیایی فسفر بر محیط زیست

بطورکلی کشاورزی مدرن با تکیه بر استفاده وسیع از کودهای شیمیایی، توان بـالقوه مفیـد بعضـی از موجودات زنده خاک را نادیده گرفته است. این امر سبب آلوده شدن جدی برخی از مناطق بـا آفـت-کشها و یا عناصری همچون نیتروژن، فسفر و یا حتی عناصر کم مصرفی مانند مس شده است. امـروزه کشاورزی فشرده که معمولاً با سیر روز افزون استفاده از نهاده‌های مکانیکی و شـیمیایی همـراه مـی-باشد، سبب کاهش تنوع زیستی در خاک شده که تأثیرات مستقیم و غیر مستقیم قابل تـوجهی را بـر عملکرد خاک بر جای می‌گذارد (ابوت و مورفی، ۲۰۰۷).

خاک محیط پیچیده‌ای است که محل تصادم تمامی فاکتورهای بکار گرفته شده در امر تولید اسـت و چنانچه بشر در استفاده از نهاد های کشاورزی (مانند کود ، سم ، شخم و...) رعایت اعتـدال را ننمایـد، زیانهای غیر قابل جبرانی را بر محیط زیست وارد و در عین حال اتلاف سرمایه را نیز به دنبال خواهـد داشت (اسدی رحمانی و فلاح، ۱۳۸۰).

استفاده زیاد از کودهای شیمیایی ممکنست عناصر غذایی اصلی و فعالیت های بیولوژیکی خـاک را از بین ببرد و باعث تهی سازی خاکهایی با حاصلخیزی طبیعی شود (راجا، ۲۰۰۶). اسـتفاده از کودهـای غیر آلی به طور مستقیم و غیر مستقیم، تغییراتی را در جنبه های شـیمیایی، فیزیکـی و بیولـوژیکی خاک باعث شده که این تغییرات در دراز مدت اثر منفی معنی‌داری بر کیفیت و ظرفیت تولیدی خاک خواهد داشت (بلی و همکاران، ۲۰۰۲). مصرف نامتعادل و یا مفرط کودها، اتلاف منابع بوده و می‌تواند منشاء مشکلات زیست محیطی شود (لاگرید و همکاران، ۱۹۹۹).

مشکلات عمده مرتبط با مصرف کودهای فسفاته عبارتند از:

۱- تهی سازی خاک،

۲- انتقال فسفر به جریان های آبی و سرشار سازی آنها،

۳- اتمام ذخایر سنگهای فسفات،

۴- باقی ماندن عناصر نامطلوب موجود در سنگهای فسفات در محیط.

عوارض نامطلوب مصرف دراز مدت و بی رویه کودهای شیمیایی ثابت شده است. یکی از مهمترین آنها کاهش باروری خاک به دنبال از بین رفتن هوموس است. بررسی‌ها نشان می‌دهد بعد از چند دهه استفاده از کودهای شیمیایی، فسفر در خاکهای زراعی تمرکز یافته و به یک تهدید بزرگ برای کیفیت آبهای جاری تبدیل شده است (لیو و همکاران ۲۰۰۳، اصغری و همکاران ۲۰۰۵).

وجود فسفر زیاد در آبهای جاری به اوتریفیکاسیون رودخانه‌ها و دریاچه‌ها منجر خواهد شد (گرنت و همکاران، ۲۰۰۵). مصرف بی‌رویه کودهای فسفاته در ایران، گذشته از هزینه‌های ارزی گزاف خرید کود از خارج کشور، اثرات زیانباری را بدنبال دارد. زیانهای اقتصادی و زیست محیطی ناشی از استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی در کشاورزی در سطح جهانی مطرح است و منطق حکم می‌کند که جایگزین مناسبی برای این کودها در نظر گرفته شود و این به معنی پیدا کردن راههای مؤثر برای رسیدن به تولید زراعی بالا همراه با استفاده ناچیز از کودهای شیمیایی است (لیو و همکاران، ۲۰۰۳).

۲-۳- نیتروژن

۲-۳-۱-نیتروژن، نقش و اهمیت آن در گیاه

نیتروژن عنصری مهم و حیاتی برای گیاه به شمار می رود که عرضه آن به وسیله انسان قابل تنظیم است. نیتروژن به صورت نیترات (NO_3^-) و در شرایط احیاء مقداری نیز به شکل آمونیم (NH^{4+}) جذب گیاه می شود.

نیترات ورودی به درون گیاه با مصرف کار مایه حاصل از سوخت و ساز نوری و با دخالت آنزیمهای احیاء کننده به نیتروژن آمونیاکی تبدیل می شود. نیتروژن آمونیاکی با کربن پایه ای ترکیب و اسید گلوتامیک را می سازد. این اسید نیز به نوبه خود به بیش از ۱۰۰ نوع اسید آمینه تبدیل می شود. اسیدهای آمینه مختلف ازطریق زنجیره پپتیدی با یکدیگر پیوند حاصل کرده و پروتئینها را می سازند. پروتئینهایی که در سلولهای گیاهی بوجود می آیند، اکثرا جزء ساختمان آن نبوده، بلکه به عنوان آنزیمها در امر سوخت و ساز گیاه از جمله احیای نیترات و ساخته شدن پروتئین دخالت می نمایند.

نیتروژن علاوه بر شرکت در ساختمان پروتئینها، در ساختمان شیمیایی کلروفیل نیز مشارکت دارد. یک اتم نیتروژن و چهار اتم کربن در حلقه های درون کلروفیل جای گرفته اند که نیتروژن از سویی با اتمهای کربن و از طرفی با اتم منیزیم پیوند مشترک دارد، لذا کمبود نیتروژن سبب زرد شدن برگهای پیر و در نهایت توقف رشد گیاه می شود (ملکوتی و همایی، ۱۳۸۳).

نیتروژن نخستین عنصر غذایی است که کمبود آن درخاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک مطرح می‌شود (ملکوتی، ۱۳۸۴). فقدان نیتروژن غالباً رشد گیاه را در طبیعت و در کشاورزی محدود می‌سازد (مجنون حسینی، ۱۳۸۷).

منبع اصلی نیتروژنی که به وسیله گیاهان استفاده می‌شود گاز N_2 است که ۷۸ درصد هوا را تشکیل می‌دهد (ملکوتی، ۱۳۸۴). این منبع عظیم نیتروژن تقریباً در دسترس تمامی موجودات زنده وجود دارد ولی این منبع فقط برای تعداد محدودی از پروکاریوت‌ها که از آنها تحت عنوان دیازوتروف‌ها یاد می‌شود قابل استفاده است (استاسی و همکاران، ۱۹۹۲).

نیتروژن برای تمامی فرایندهای حیاتی گیاه ضروری است. فراهمی نیتروژن برای گیاه تعیین کننده رشد، شادابی، رنگ و عملکرد آن است (جامی الاحمدی و همکاران، ۱۳۸۵). این عنصر جزء اصلی ترکیبات حیاتی چون اسیدهای نوکلئیک، پروتئین‌ها، آنزیم ها و ترکیباتی مانند آدنوزین تری فسفات (ATP) که منبع انرژی شیمیایی برای سلول است، می‌باشد (چاندراسکار و همکاران، ۲۰۰۵).

۲-۳-۲ -کودهای شیمیایی نیتروژن دار

کودهای نیتروژن از آمونیاک منشأ می‌گیرند که خود از هیدروژن و نیتروژن به روش صنعتی ساخته می‌شود. هیدروژن اغلب از واکنش آب و سوخت‌های فسیلی بدست می‌آید، و نیتروژن از هوا گرفته می‌شود. عناصر غذایی موجود در این نوع از کودها معمولا در شکل‌های بسیار قابل جذب هستند، هر چند که نیتروژن کودی حتی تحت شرایط مطلوب هرگز به طور کامل به وسیله گیاه جذب نمی‌شود. گیاه تنها بخشی از نیتروژن را جذب می‌کند، در حالی که بخشی از آن به صورت نیتروژن آلی در

بقایای گیاهی، میکروب‌ها و غیره در خاک‌ها رها شده و مقداری نیز از طریق تبخیر، آبشویی و دنیتریفیکاسیون از نظام خارج می‌شود (جامی الاحمدی و همکاران، ۱۳۸۵).

۲-۳-۳ -تأثیر کود نیتروژن بر رشد بقولات

افزایش عرضه نیتروژن به گیاه باعث افزایش جذب فسفر می شود. اثر مثبت نیتروژن را در جذب فسفر می توان عمدتا ناشی از فزونی رشد (توسعه ریشه) در اثر افزایش نیتروژن دانست. دسترسی بیشتر به نیتروژن، قابلیت جذب، تجمع ماده خشک و انتقال مواد غذایی را در مراحل اولیه رشد را به نحو چشمگیری افزایش می‌دهد که به نوبه خود صفات عملکرد را بهبود می‌دهد (کومار و همکاران، ۲۰۰۲؛ شارما و همکاران، ۲۰۰۳). رشد رویشی بهتر و در نتیجه استفاده مناسب‌تر از تشعشع خورشیدی در فتوسنتز متأثر از نیتروژن قابل جذب است (مارشچنر، ۱۹۹۵).

کودهای نیتروژن، مقدار تخصیص نیتروژن از قسمت‌های رویشی به دانه را در مقایسه با کربوهیدرات‌ها افزایش داده و موجب افزایش غلظت نیتروژن دانه و درصد پروتئین آن می‌گردند (کیم و پالسن، ۱۹۸۶). اما در مقادیر زیاد کود نیتروژن، بخش قابل توجهی از کل محتوی نیتروژن به جای اسیدهای آمینه یا پروتئین‌ها به صورت یون‌های نیترات خواهد بود (امام و نیک نژاد، ۱۳۷۲).

دسترسی میزان نیتروژن برای گیاه و اثر مثبت آن در طی پر شدن دانه از طریق افزایش دوام شاخص سطح برگ و تخصیص بیشتر مواد سبب افزایش تعداد دانه در شرایط آزمایش می گردد (گراهام و رنالی، ۱۹۹۷). کاربرد نیتروژن به صورت کود به مقدار کم باعث افزایش کل نیتروژن در گیاه یا در واحد سطح می‌شود ولی کاربرد زیاد نیتروژن به صورت کود اثرات مهار کنندگی بر روی فعالیت آنزیم تثبیت کننده نیتروژن دارد. تجمع غلظت‌های منفی نیترات در گرهک‌ها منتهی به کاهش فعالیت باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن (کاهش آنزیم نیتروژناز) می‌شود (مجنون حسینی، ۱۳۷۵). تحقیقات محققین نشان داد که تولید ماده خشک اندام هوایی در سویا در مرحله گلدهی و در مرحله رسیدن تحت تاثیر کاربردهای کودهای شیمیایی بود (یو و همکاران، ۲۰۰۲).

مصرف غلظت‌های کم نیتروژن، از طریق تحریک تشکیل گره‌زایی، تحریک فعالیت نیتروژناز و افـزایش رشد گیاه می‌تواند اثر تشدید کنندگی بر تثبیت نیتـروژن داشـته باشـد (لینـد و انسـون، ۱۹۹۰). امـا افزودن مقدار زیاد نیتروژن باعث کاهش نفوذ باکتری به تارهای کشنده ریشه، کـاهش تعـداد و تـوده گره و کاهش فعالیت تثبیت نیتروژن ریشه‌های گره‌دار و مقدار کل نیتروژن تثبیـت شـده در بقـولات گردد (اگلیشام و همکاران، ۱۹۸۳).

۲-۳-۴- اثرات نامطلوب کودهای شیمیایی نیتروژن دار بر محیط زیست

میزان نیتروژن زیاد در خاک (به صورت نیترات یا آمونیوم)، آلودگی ریشه توسط باکتری‌ها، تشـکیل و رشد گرهک‌ها و تثبیت نیتروژن را مختل و متوقف می‌سازد (مجنون حسینی، ۱۳۸۷). کاربرد نیتـرات به طور مداوم وزن گره‌ها را کاهش می‌دهد (مجنون حسینی، ۱۳۸۷). نتـایج الکسـاندر (۱۹۷۸) بیـان کرد نیتروژن معدنی بیش از حد، گره‌زایی، تارهای کشنده ریشه و سـنتز لـگ هموگلـوبین را کـاهش می‌دهد و این اثر بازدارندگی برگره‌زایی سبب کاهش تعـداد گـره نیـز مـی‌شـود (الیـاس و همکـاران، ۲۰۰۸).

کودهای شیمیای نمک‌های مقوی و مخربی هستند که خصوصیات فیزیکوشـیمیایی خـاک را در دراز مدت تخریب، نفوذپذیری خاک را کاهش داده، وزن مخصـوص ظـاهری را افـزایش داده، نفـوذ ریشـه گیاهان را دچارمشکل ساخته و در نهایت سبب کاهش عملکرد می شوند. بدیهی است که ایـن اثـرات تخریبی کودهای شیمیایی یک طرف قضیه را تشکیل می‌دهند، از طرف دیگـر موضـوع مسـایل مهـم تری است که همانا خصوصیات کیفی تولیدات، مسائل زیست محیطی و آلـودگی آب‌هـای زیرزمینـی می‌باشد (ملکوتی، ۱۳۸۴).

کاربرد کودهـای شـیمیایی بـه میـزان زیـاد، بـه ویـژه کودهـای نیتـروژن دار سـبب ایجـاد تغییـرات فیزیولوژیکی در گیاه شده، نشو و نمای بعضی از حشرات، کنه‌ها و عوامل بیماری‌زا را گسترش می‌دهد (ملکوتی، ۱۳۸۴). علاوه بر آن تلفات نیتروژن و پیامدهای محیطی آن از قبیل افزایش مقادیر نیتـرات در آب‌های سطحی و زیرزمینی، سرشارسازی (Eutrophication) منـابع آب و کـاهش متعاقـب تنـوع

زیستی در آب‌های سطحی و بوم نظام‌های خشکی، اسیدی شدن خاک و آب‌های سطحی، به دلیل ته نشست آمونیاک و اکسیدهای نیتروژن و افزایش میزان گاز N_2O را در جو به عنوان یک گاز گلخانه‌ای به دنبال دارد (جامی الاحمدی و همکاران، ۱۳۸۵).

۲-۳-۵- تثبیت زیستی نیتروژن

وجود ترکیبات نیتروژن در خاک می‌تواند کاهش یا افزایش دهنده فرآیند تثبیت نیتروژن باشد. تثبیت زیستی نیتروژن بهترین و مهمترین راهی است که خاک به طور طبیعی از نیتروژن سرشار می‌شود. در طی این فرآیند زیستی که توسط گونه‌های متعددی از میکروارگانیسم های پروکاریوت و به کمک سیستم آنزیمی نیتروژناز صورت می‌گیرد. سالانه به طور طبیعی مقادیر زیادی نیتروژن اتمسفری (حدود ۱۷۰ میلیون تن) به اکوسیستم‌های طبیعی وارد می‌شود. این نیتروژن عمدتا به فرم آلی می باشد که هیچ یک از مشکلات اقتصادی و زیست محیطی ناشی از مصرف کودهای شیمیایی نیتروژن دار را به همراه ندارد. در این میان سیستم همزیستی لگوم-ریزوبیوم از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است زیرا حدود ۵۰ درصد کل تثبیت نیتروژن را در سطح جهانی بر عهده دارد و ارزش اقتصادی این مقدار نیتروژن سالانه بالغ بر ۸۵ میلیارد تخمین زده‌اند (پیرولی بیرانوند، ۱۳۷۸).

۲-۴-زئولیت

۲-۴-۱-تعریف وشناخت زئولیت

امروزه، بیش از هر زمان دیگری مشخص شده است که تهیه مواد کافی برای تغذیه گیاهان به منظور تضمین تولید کافی، اهمیت دارد. کشاورزان به طور مداوم در تلاشند که با رفع کمبود های غذایی و استفاده از عملیات مدیریت صحیح، تولید محصول را افزایش دهند. ولی با مصرف کود شیمیایی بیشتر، منجر به افزایش هدر روی آن و سرانجام آلودگی منابع زیست محیطی می شوند. بنابراین ارائه روش هایی بالاخص به منظور کنترل مصرف کود های شیمیایی نیتروژن دار و افزایش تاثیر گذاری آنها در کنار حصول به عملکرد مناسب، به ویژه در زمین های زراعی دارای بافت سبک (به دلیل پتانسیل ذاتی این خاک ها در هدر روی عناصر غذایی) مهم می باشد.

از جمله راه کارهای جدیدی که برای افزایش تاثیرگذاری و جلوگیری از هدر روی کودهای شیمیایی مورد استفاده قرار گرفته است، به کارگیری ترکیبات طبیعی چون کانی های زئولیت در مزارع کشاورزی می باشد (پلات و همکاران ۲۰۰۴). استفاده از این ترکیبات در اراضی کشاورزی به دلیل افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک و تمایل آنها برای جذب و نگهداری آمونیوم، می تواند نقش موثری در کاهش شستشوی عناصر غذایی خاک به ویژه نیتروژن داشته باشد.

زئولیت ها مواد متخلخلی هستند که با ساختمان کریستالی خود مانند غربال مولکولی عمل کرده و به دلیل داشتن کانال های باز در شبکه خود، اجازه عبور بعضی از یون ها را داده و مسیر عبور بعضی از یون های دیگر را مسدود می کنند (مامپتون ۱۹۹۹).

۲-۴-۲-اهمیت و ضرورت زئولیت

میزان عناصر غذایی موجود درخاک در طول دوره رشد گیاهان و همچنین با گذشت زمان دائما در حال تغییرمی باشند. روند تغییرات عناصر مختلف با یکدیگر متفاوت می باشد. از طرف دیگر اثرات مواد اضافه شده به خاک ممکن است کوتاه بوده و یا اینکه تا سالها در خاک باقی بماند. اثرات سودمند انسان روی خاکها به مراتب کمتر از جنبه های مخرب آن بوده است. به عنوان نمونه می توان از جذب عناصر غذایی به وسیله گیاه بدون جایگزین کردن آن، کاهش مقدار ماده آلی خاک، افزودن مواد سمی به خاک، شتاب دادن به فرسایش، انهدام ساختمان خاک، افزایش تراکم خاک در اثر عبور ماشینهای کشاورزی، اسیدی و شور کردن خاک نام برد. این فعالیتها به صورت کاهش حاصلخیزی خاک و در نهایت از دست رفتن کامل این منبع طبیعی متجلی می شود. هر کدام از این ضایعه ها، با اختلالهای تدریجی و سپس با در هم ریختن کامل تعادل در نظام طبیعی خاکها شکل می گیرد و ناگزیر، هرگونه چاره اندیشی در برابر این خطر روبه افزایش، مستلزم شناخت واقع بینانه تر از خاک و رعایت اصول پایدار و متعادل در استفاده از این منبع طبیعی است که بایستی به دقت از آن بهره برداری شود تا برای نسلهای بعدی بماند. برای تحقق این مهم تلاشهای وسیعی توسط محققین در اقصی نقاط دنیا در زمینه های مختلف از جمله بیولوژی خاک (مصرف کودهای زیستی و تامین عناصر

غذایی مورد نیاز گیاه با استفاده از موجودات خاکزی و کاهش مصرف کودهای شیمیایی)، مدیریت خاک ورزی (کشت با حداقل شخم، کشت بدون شخم، ....) و همچنین استفاده از مواد افزودنی به خاک (مواد اصلاحی) که دارای عناصر غذایی مورد نیاز گیاه بوده و یا شرایط را برای جذب عناصر غذایی موجود در خاک فراهم می کنند در حال انجام می باشد. انتخاب ماده اصلاح کننده بستگی به تاثیر نسبی آن در احیای خاک، رشد گیاه و همچنین قیمت ماده اصلاحی و زمان مورد نیاز جهت اصلاح خاک دارد (برزگر۱۳۷۹).

به طورکلی برخی از خواص زئولیتها از دید مهندسی کشاورزی به قرار زیر است:

- قدرت تبادل یونی بالا
- انتخاب و جذب شدید گازهایی چون NH_4^+ و CO_2
- قابلیت بازیافت یا شستشوی زئولیتها
- جذب انتخابی برخی از کاتیونها
- قدرت جذب آب به شکل مایع و بخار
- تکمیل و یا اصلاح دانه بندی یا بافت خاک
- متعادل کردن پتاس، ازت، فسفر خاک و لذا افزایش حاصلخیزی
- جذب و نگهداری کود و مواد غذایی مازاد در خاک و در نتیجه حذف اثرات نامطلوب آنها
- جذب و نگهداری آب مازاد در اطراف ریشه و تحویل به موقع آن به گیاه و در نتیجه کاهش محسوس نیاز آبیاری
- جذب عناصر غذایی و تحویل به موقع آن به گیاه و در نتیجه ممانعت از هرز روی و شستشوی کودها و لذا حفظ بهداشت زه آب کشاورزی و همچنین کاهش مصرف انواع کودها
- زئولیت میتواند با جذب بخار آب هوا در هنگام شب، بخشی از آب مورد نیاز ریشه را فراهم آورد که این خاصیت در مناطق خشک حائز اهمیت بوده و نیاز آبیاری را کاهش میدهد

- افزایش کیفیت و کمیت محصولات و زود رسی آنها
- کاهش زمان تخمیر کودهای دامی و حذف بوی نامطلوب آنها
- افزایش یکنواختی در محصولات
- قابل استفاده کردن برخی از کاتیونهای پتاس و فسفر که به طور طبیعی برای گیاهان قابل استفاده نمیباشد.

۲-۴-۳- طبقه بندی و کاربرد زئولیت

به طور کلی زئولیتها شامل دو دسته طبیعی و مصنوعی (سنتزی) می باشند که امروزه تقریبا اکثر گونه های طبیعی بفرم سنتزی نیز تهیه شده اند. اولین گونه زئولیت طبیعی در حدود دو قرن پیش توسط یک معدن شناس سوئدی بنام کرونستد (Cronstedt) کشف و ثبت شده است. ابعاد حفرات و کانالهای هر زئولیت از مشخصه های آن می باشد که باعث ایجاد پدیده جذب گزینشی، یعنی جذب یک یون یا مولکول خاص در حضور گونه های دیگر می شود. اگر چه انواع مصنوعی زئولیتها بدلایلی از جمله درجه خلوص بالا، قابل دسترس بودن و نیز اندازه حفرات قابل تغییر و تنظیم به کمک شرایط ویژه سنتز، برانواع طبیعی برتری دارند ولی بدلیل کشف منابع و ذخایر عظیم و نسبتا خالص انواع گونه های طبیعی در اقصی نقاط جهان و بدلیل ارزانی و عدم انحصار آنها در دست شرکتها و کمپانیهای بزرگ، نظر بسیاری از محققین رشته های مختلف علوم و صنایع گوناگون را به خود جلب کرده اند و نتایج امید بخشی را بدنبال داشته اند (کاظمیان و فقیهیان۱۳۷۷).

از نظر منشاء، زئولیتها در محیطهای آتشفشانی (تحت شرایط هیدروترمال) در بستر دریاچه های نمکی و نیز در لایه های رسوبی یافت می شوند (بالدار و ویتینگ ۱۹۶۸). در مجموع عوامل مهمی چون ساختمان شیمیایی، فراوانی و قابلیت دسترسی و نیز ارزش اقتصادی، تعیین کننده زمینه های کاربرد زئولیت هاست. زئولیت دارای مواد اولیه مانند پتاسیم، کلسیم، سدیم، آلومنیوم، منیزیم، سیلسیوم، فسفر، گوگرد، مس، آهن، منگنز می باشدکه به عنوان بهترن مکمل غذایی دامی و کودهای

کشاورزی محسوب شده و در بهره برداری و تولید بیشتر محصولات کشاورزی و دامی نقش مهمی ایفا می نماید. تاکنون از زئولیت ها در صنایع مختلف اعم از 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 فسفاتها، صنایع کشاورزی بعنوان حاصلخیزکننده و افزاینده رطوبت خاک، در دامپروری بدلیل جذب گازهای موجود در جهاز هاضمه حیوانات و کمک به هضم راحت تر، در تصفیه و پاکسازی فاضلابهای شهری صنعتی و هسته ای استفاده شده است (کاظمیان و فقیهیان۱۳۷۷).

۲-۴-۴-تأثیر زئولیت بر عملکرد محصول

جذب انتخابی و آزاد سازی کنترل شده عناصر غذایی از زئولیت باعث می شود در صورت انتخاب صحیح نوع زئولیت مصرفی، هنگامی که این مواد به عنوان اصلاح کننده به خاک اضافه می شوند، از طریق افزایش فراهمی طولانی مدت عناصر غذایی به بهبود رشد گیاه کمک کنند (پلات و همکاران، ۲۰۰۴). با توجه به ویژگی های منحصر به فرد زئولیت ها از قبیل قابلیت تبادل کاتیونی بالا (کاظمیان، ۱۹۹۸)، جذب انتخابی کاتیون های مفید مانند آمونیوم و آزادسازی کنترل شده آنها، ثبات چارچوب ساختمانی در دراز مدت (برخلاف کانی های رسی) (شاو و اندرو، ۲۰۰۱)، وفور قابل توجه زئولیت های طبیعی در کشور (کاظمیان، ۲۰۰۰)، استخراج آسان و سرانجام قیمت اقتصادی مناسب به کار گیری این ترکیبات همراه با کود های شیمیایی می تواند تاثیر کودهای شیمیایی را بیشتر کند و باعث مصرف بهینه این دسته از نهاده ها شود. نتایج علیزاده و همکاران (۱۳۸۹) نشان میدهد با وجود آنکه زئولیت سبب حفظ بیشتر رطوبت خاک میشود اما نمیتواند مانند بقایای گیاهی یا سایراصلاح کننده های دارای منشاء آلی سبب بهبود خصوصیات خاک گردد.

نتایج تحقیقات غلامحسینی وهمکاران (۱۳۸۷) حاکی از آن است که با افزایش کاربرد زئولیت از ۳ تن در هکتار به ۹ تن در هکتار، باعث کاهش غلظت نیتروژن در توده گیاهی شد. ولی استفاده از ۲۷۰ کیلوگرم نیتروژن با ۹ تن زئولیت در هکتار توانست بیشترین افزایش را در صفات کمی و کیفی کلزا

ایجاد کند. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از زئولیت های طبیعی افزون بر تاثیر غیر مستقیم برای حصول عملکردهای مطلوب، مانع هدر روی نیتروژن از خاکهای زراعی می گردد.

کاوسی و رحیمی (۱۳۸۲) در خصوص تاثیر کاربرد زئولیت بر عملکرد برنج گزارش دادند که اثر زئولیت بر عملکرد دانه برنج در سطح یک درصد و بر عملکرد کاه و کلش در سطح پنج درصد معنی دار بوده است. او در نتایج خود اعلام نمود که کاربرد ۲۴ تن در هکتار زئولیت بدون مصرف ازت نسبت به تیمار شاهد باعث کاهش عملکرد دانه می شود. در حالیکه در کلیه تیمارهای با مصرف مقادیر مختلف زئولیت به همراه کود ازته نسبت به تیمار شاهد و تیمار ۶۰ کیلوگرم ازت خالص در هکتار افزایش معنی داری در عملکرد دانه برنج مشاهده گردیده است. عملکرد دانه برنج با تیمار مصرف ۸ تن زئولیت به همراه ۶۰ کیلوگرم ازت نسبت به تیمار شاهد ۱۳۲۷ کیلوگرم و نسبت به تیمار ۶۰ کیلوگرم ازت خالص از منبع اوره ۵۷۰ کیلوگرم در هکتار افزایش داشت.

هم چنین او در نتایج تحقیقات خود بیان کرد که کاربرد زئولیت باعث افزایش معنی دار غلظت نیتروژن در دانه و کاه و کلش گردید. کاربرد ۸ تن زئولیت در هکتار باعث افزایش راندمان بازیافت ازت از ۴۰ درصد به ۶۳ درصد گردید. راندمان زراعی مصرف ازت نیز از ۱۲/۶ کیلوگرم دانه به ازای هر کیلوگرم مصرف ازت تحت تاثیر مصرف ۸ تن زئولیت در هکتار به ۲۲/۱ کیلوگرم دانه به ازای مصرف هر کیلوگرم ازت خالص در هکتار افزایش یافت.

۲-۴-۵-نقش زئولیت در افزایش ذخیره عناصر و کاهش آبشویی نیتروژن و فسفر خاک

زئولیتها آلومینو سیلیکاتهای معدنی کریستالی و با شبکه سه بعدی می باشند، اسکلت باز آنها شامل کانالها و حفراتی حاوی کاتیونها و مولکولهای آب است و به علت تحرک این کاتیونها، پدیده تبادل یون که یکی از ویژگیهای زئولیتهاست میسر می گردد. از خصوصیات بارز زئولیتها قابلیت آنها در دهیدراسیون برگشت پذیر و نیز تبادل کاتیونها بدون تغییر ساختمانی است. دهیدراسیون برگشت پذیر به همراه جذب مایعات و گازها دلایلی محکم بر وجود خلل و فرج در ساختمان زئولیت می باشد. تشکیل چارچوب زئولیتها از خلل و فرج میباشد (کاظمیان و فقیهیان، ۱۳۷۷).

زئولیت قابلیت فراوان در جذب و ذخیره سازی آب دارد که این امر باعث می شـود: اولا آب مصـرفی گیاه ذخیره شود تا در هنگام لزوم از زئولیت به خاک تزریق شده و مورد استفاده قرار گیـرد. ثانیـا بـه علت ذخیره سازی آب از شسته شدن و هرز رفتن مواد مغذی کودها به سطوح پایین خاک جلـوگیری به عمل می آورد، که این مورد خود به تنهایی باعث ذخیره عناصری مانند نیتروژن و فسـفر در خـاک می شود و از فقیر شدن خاک از مواد غذایی ممانعت می نماید.

نتایج تحقیقات غلامحسینی وهمکاران (۱۳۸۷) حاکی از آن است که بکارگیری زئولیت در سطوح ۶ و ۹ تن در هکتار، باعث کاهش معنی دار غلظت نیترات در نمونه زه آب شد. اما سطوح مختلف زئولیـت تاثیر معنی داری بر کاهش شستشوی آمونیوم نداشت.

پپر و همکاران (۱۹۸۲) در یک پژوهش با اضافه کردن زئولیت نوع کلینوپتیلولایت (Clinoptilolite) به خاک شنی که از آنها برای کاشت چمـن اسـتفاده مـی شـد، بـه بررسـی اثـر زئولیـت در خـاک پرداختند. آنها نتیجه گرفتند که زئولیت باعث کاهش آبشویی نیترات و آمونیوم می شود. همچنین با افزودن زئولیت به خاک های شنی قابلیت نگهداری آب افزایش یافت. آبشویی نیترات که از کـاربرد کود اوره حاصل شده بود در تیمار های حاوی زئولیت کم شد و آمونیوم در زه آب ها به مقدار بسیار کمی مشاهده گردید.

رقیمی و همکاران (۱۳۸۶) برای کاهش نیتـرات از چـاه هـای آلـوده آب شـرب گرگـان در شـرایط آزمایشگاهی، از نوعی زئولیـت طبیعـی بـا کـانی غالـب کلینوپتیلولایـت و کـانی فرعـی هیولانـدیت (Hyolandite) استفاده کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که این نوع زئولیت سبب کاهش نیتـرات به میزان ۱۳ میلی گرم بر لیتر و همچنین کاهش سختی آنها، با عبور یک لیتر آب از بستر زئولیت (به مقدار یک کیلوگرم) در مدت زمان ماند ۳۰ دقیقه خواهد شد. آنهـا دریافتنـد کـه مـی تـوان از زئولیت طبیعی (کلینوپتیلولایت) جهت کاهش نیترات آب چاه های منـابع آب شـرب آلـوده کشـور استفاده نمود.

آلن و همکاران (۱۹۹۵) در نتایج خود بیان نمودند که زئولیت می تواند بـا جـذب کلسـیم از محلـول خاک، یون آمونیم و پتاسیم موجود در خود را به صورت انتشار آزاد نماینـد. تیمـار زئولیـت بـا جـذب یونهای آمونیوم که دارای سایز هیدراته مشابهی با یونهای پتاسیم هستند پس از کود دهی و زمانیکـه غلظت یون آمونیوم در خاک بالاست می تواند آمونیم را جذب و از آبشوئی آن جلـوگیری نمـوده و بـا کاهش غلظت یون آمونیوم در خاک، بتدریج آنرا آزاد نماید. عمادی و همکاران (۲۰۰۱) میزان جذب آمونیوم و اثر زمان را در جـذب ایـن یـون توسـط فیلتـر هـای کانسـاری بـا کـانی غالـب زئولیـت کلینوپتیلولایت بررسی کردند. نتایج نشان داد پس از ۲۴ ساعت تماس کـانی بـا محلـول هـایی بـا غلظت های۱، ۳ و۵ میلی گرم در لیتر میزان جذب به ترتیب ۵۸/۸ و ۶۵/۴ و ۸۰/۸ درصد بود.

لی و همکاران (۲۰۰۳) نشان دادند که برای جذب آنیون ها نیاز است تا بار سطح زئولیت ها به بـار مثبت تغییر یابد و برای ایـن عمـل از سـورفاکتانت هـای آلـی ماننـد HDTMA BA یـا تترامتیـل آمونیوم۲ و یا ستیل پریدیم ۳ استفاده کردند. فقیهیان و همکاران (۲۰۰۱) با مطالعه جذب یون های نیتریت و نیترات به وسیله زئولیت کرمان به این نتیجه رسیدند که اسـتفاده از ترکیبـات تترامتیـل آمونیوم وتترا اتیل آمونیوم باعث افزایش جذب این یون ها توسط این کانی از آبهای آلوده می گردد. باربارایک و همکاران (۱۹۹۰) در آزمایش تاثیر سنگ فسفات و زئولیـت بـر سـورگوم سـودان گـراس نتیجه گرفتند که با افزایش نسبت مصـرف زئولیـت و سـنگ فسـفات در تیمارهـای آزمایشـی مقـدار برداشت فسفر توسط گیاه و فسفر قابل جذب خاک افزایش یافت. در پروسه تبدیل آمونیوم زئولیت به نیترات (نیتریفیکاسیون) pH کاهش می یابد که در نتیجه آن فسفر قابل جذب خاک افزایش یافتـه و جذب کلسیم از سنگ فسفات توسط زئولیت باعث می گردد تا فسفر قابـل جـذب خـاک زیـاد گـردد (فسفر رها شده از سنگ فسفات).

کیتهام و همکاران (۱۹۹۸) در مطالعه جذب و رها سازی آمونیوم توسط زئولیت طبیعی نتیجه گرفتند که جذب و رها سازی آمونیوم توسط زئولیت به وسیله پدیده پخشیدگی کنترل مـی شـود. همچنـین نتایج حاصل نشان داد که زئولیت طبیعی آزمایش شده می تواند به عنـوان یـک جـذب کننـده یـون

آمونیوم و کنترل کننده آمونیوم آزاد شده از کود مورد استفاده قرار گیرد. آلن و همکـاران (۱۹۹۵) در آزمایش مـدل سـازی حرکتهـای انتقـالی در سـنگ فسـفات و زئولیـت بـا ایـن فرضـیه کـه زئولیـت کلینوپتیلولایت وقتی همراه با سنگ فسفات مصرف شود می تواند کلسیم را از سـنگ فسـفات جـذب کند و این عمل باعث آزاد شدن فسفر قابل جذب برای گیاه از سنگ فسفات خواهـد شـد و بـا جـذب کلسیم توسط زئولیت مقداری آمونیوم و پتاسیم برای گیاه از زئولیت آزاد خواهد شد را مـورد بررسـی قرار دادند. این نظریه به کمک چند مدل مورد بررسی قرار گرفت و نتیجه اینکـه مـدلها، آزاد سـازی آمونیم، پتاسیم و فسفر از سیستم زئولیت - سنگ فسفات را مورد تایید قرار دادنـد. همچنـین مـدلها نشان دادند که آزاد سازی مواد غذایی از سیستم مخلوط زئولیت و سنگ فسفات توسط انتشار کنتـرل می گردد.

زئولیت های مصنوعی معمولاً از محلول های سیلیکون- آلومینیوم یا زغال سنگ ساخته شده و بـه عنوان جاذب یا ابزار تعویض یونی در کارتریج یا فیلترهای ستونی به کار مـی رونـد. زئولیـت هـا را میتوان به طور ارزان تولید نمود زیرا منبع آنها به طور طبیعی و فراوان در دسترس میباشد.

کاربرد زئولیت در یک خاک شنی و در شرائط گلدانی میـزان شستشـوی آمـونیم را ۸۶ و شستشـوی نیترات را تا ۹۹ درصد کاهش داد، آنیون نیترات به صورت جذب غیر مشخص(الکترواستاتیک) توسـط زئولیت نگهداری می شود. نتیجه اینکه زئولیت می تواند به عنوان یک ماده کند رها عمل کند (هانگ و پترویک ۱۹۹۴). رادسر و سپاسخواه (۱۳۸۵) گزارش دادند که مقدار کل یون نیترات خارج شده در تیمارهای بدون زئولیت تقریباً برابر مقدار ماده اضافه شده به سطح خاک می باشد که نشان دهنده

شسته شدن تمامی یون نیترات در طی آزمایش می باشد اما در تیمارهای حاوی زئولیت مقدار کـل نیترات خارج شده در تیمارهای۲ و۴ و ۸ گرم زئولیت در کیلوگرم خاک به ترتیب ۸۷/۷ و۷۴/۷ و ۶۳ درصد از مقدار اضافه شده به خاک می باشد. در یک پژوهش با افزایش مقـدار کـاربرد زئولیـت بـه میزان ۸ گرم در کیلوگرم خاک، یون نیترات خارج شده از ستون خاک کاهش می یابد، بصورتی که

اثر نگه داشت زئولیت بر یون نیترات کاملا درتیمارها مشهود است (یوسفی و سپاسخواه، ۱۳۸۳). پپر و فرگوسن (۱۹۸۲) با استفاده از پنج تا ده درصد زئولیت در خاک، مشاهده کردند با افزایش مقـدار زئولیت در خاک میزان آبشویی فاکتورهای NH^{4+} و NO^{3-} کاهش می یابـد، همچنـین میـزان تـوده چمن نیز با افزایش زئولیت افزایش یافت. در تحقیق دیگری فرگوسن و پپر (۱۹۸۷) نتیجه گرفتند که در اثر حرکت آب از ستون خاک میزان آبشویی فاکتور NH^{4+} با افزایش مقـدار زئولیـت در خـاک، کاهش مییابد. عباسی و همکاران (۱۳۸۶) درطی تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که با افـزایش میزان زئولیت میتوان تا حد مطلوبی از هدر رفت یونهای نیترات و آمونیوم از خاک به صورت زه آب جلوگیری کرد. از نتایج این طرح، کاهش میزان آبشویی آمونیوم و نیترات با افزایش زئولیت بود.

۲-۵- میکوریز

۲-۵-۱- تعریف و شناخت میکوریز

میکوریز (Mycorrhizae) را می توان بعنوان یک ساختار زنده که در آن همزیستی بـین قـارچ وریشـه گیاه بوجود آمده و منجر به افزایش توان ماندگاری هردو موجود می گردد نام بـرد. کلمـه همزیسـتی اولین بار توسط دی باری (۱۸۸۷) برای زندگی مشترک یک پارازیت با میزبان بکار رفت (علی‌اصغرزاده و صالح راستین ۱۳۸۰). در این حالت دو موجود زنده با هم رابطه متقابلی دارندکه هـر دو از آن سـود می‌برند و بدون وجود یکدیگر نمی‌توانند به زندگی ادامه دهند و درصورت دور بودن ازیکـدیگر هـر دو زیان می‌بینند (اردکانی، ۱۳۸۴). اصطلاح میکوریز اولین بار توسط فرانـک (گیـاه شـناس آلمـانی) در ۱۸۸۵ برای توصیف رابطه همزیستی بین ریشه گیاهان و قارچها مورد استفاده قرار گرفـت. قبـل از او نیز برخی بیولوژیست‌های گیاهی چنین ارتباطـاتی راگـزارش کـرده بودنـد. ریسـک در ۱۸۷۴ وجـود ریسه های قارچی را در نهاندانگان مختلف و مخصوصاً ارکیداسه شرح داد. او برای اولین بار عنوان کرد که در همزیستی میکوریزی، موادی که از خاک جذب گیاه می‌شوند بایستی از لایه قارچی عبور کنند. فرانک در سال ۱۸۹۴در مقاله خود نشان داد که درختان کاج میکوریزی سریع تر از غیـر میکـوریزی رشد می کنند. میکوریز بصورت تحت لفظی به معنی قارچ ریشه است (اسمیت و رید، ۱۹۹۷).

مواد آلی مورد نیاز قارچ از محصولات فتوسنتزی گیاه تأمین شده و در مقابل عناصر معدنی توسط قارچ از خاک جذب گردیده و به گیاه منتقل می‌شوند. غالب گونه‌های گیاهی درارتباط با قارچهای خاکزی معینی زندگی می‌کنند که ریشه‌های آنها را کلونیزه کرده‌اند. وجود همزیستی میکوریزی بخاطر فرآیندهای اکولوژیکی کلیدی برای بهبود وضعیت گیاه وکیفیت خاک حیاتی است (پاکووسکی و همکاران ۱۹۸۶و التیری ۱۹۹۴). میکوریز می‌تواند دراغلب انواع خاک و اکوسیستم-های سطح کره زمین یافت شود. گفته می‌شود میکوریز در۸۰ تا ۹۰ درصدگیاهان خشکی دیده میشود.

۲-۵-۲- طبقه بندی قارچ‌های میکوریز

بر اساس تفاوت‌های مرفولوژیک، انواع میکوریز به دو گروه کلی اکتومیکوریز و اندومیکوریز تفکیک شده‌اند. نوع اول اکثراً در ریشه درختان جنگلی و نوع دوم بیشتر در ریشه گیاهان زراعی و مرتعی دیده می‌شوند. اکتومیکوریزها اغلب از انواع قارچهای بازیدیومیستها و آسکومیستها هستندکه بطور معمول، یک غلاف یا پوشش را اطراف ریشه‌های گیاه تشکیل داده و بین سلولهای اپیدرم و سلولهای سطحی پوست ریشه نفوذکرده ودر فضای بین سلولها پخش شده، که نتیجه آن تولید یک شبکه ریسه‌ای بنام هارتیگ است. شبکه هارتیگ با داشتن سطح تماس زیاد، درواقع اندام مبادله کننده آب ومواد غذایی بین قارچ وگیاه است (جکسون ۱۹۸۴، بولان ۱۹۹۱ ، تیزدال و همکاران ۱۹۹۵).

یکی از مهمترین انواع اندومیکوریزها، میکوریز آرباسکولار (AM) می‌باشد که از نظر کشاورزی اهمیت فوق العاده زیادی دارد (شارما و جوهری، ۲۰۰۲).

قارچ‌های اندومیکوریز 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 و وزیکول را در داخل ریشه بوجود می آورند. آربوسکول از انشعابات مکرر انتهای هیف در داخل سلول به وجود می‌آید و محل تبادل متابولیت‌ها بین سلول گیاهی و قارچ می‌باشد. وزیکول 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). البته وزیکـول در همـه گونـه هـای میکـوریز آرباسکولار مشاهده نمی شود.

۲-۵-۳ - اثر همزیستی میکوریز بر جذب عناصر غذایی

قارچ‌های میکوریز دارای کارکرد چند منظوره‌ای در بوم نظام های زراعی هستند به طوری که طبیعتـاً سبب بهبود کیفیت فیزیکی (از طریق گسترش ریسه‌های قارچ)، کیفیت شیمیایی (از طریـق افـزایش جذب عناصر غذایی) و کیفیت زیستی خاک (از طریق شبکه غذایی خاک) می‌گردند (کاردوسو و کوپر، ۲۰۰۶).

افزایش جذب فسفر به وسیله میکوریز، گره‌زایی به وسـیله ریزوبیـوم را افـزایش مـی‌دهـد و بـه طـور غیرمستقیم عنصر نیتروژن را در گیاه افزایش می‌دهد (لکبرگ و کاید، ۲۰۰۵). قـارچ میکـوریز جـذب عناصری دیگری مانند سولفور، بور، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، سدیم، روی، مس، منگنز، آهن، آلومینیوم را نیز افزایش می‌دهد (کلارک و زتو، ۲۰۰۰) که این پدیده در محیط‌هایی که مواد معدنی مـورد نیـاز کم است، بسیار اهمیت دارد و به بقای گیاه کمک می‌کند. اثر قارچ میکوریز روی این عناصر می‌توانـد مثبت، خنثی یا منفی باشد که به نوع خاک، گیاه میزبان و دیگر عوامل بستگی دارد.

قارچ‌های میکوریز می تواند بر جذب عناصر سـنگین تـاثیر داشـته باشـد (کـلارک و زتـو، ۲۰۰۰). در کالیفرنیای ایالات متحده آمریکا کاواگنارو و همکاران (۲۰۰۶) در گیاه گوجه‌فرنگی تلقیح میکـوریزای جهش یافته و نوع وحشی آن را مقایسه کردند و دریافتند که میکوریز اثر اندکی روی عملکرد داشـت، اما غلظت روی را تا حدود ۲۴ درصد افزایش داد.

همزیستی میکوریزی 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 تغذیـه گیاهان میزبان، افزایش در تولیدات هورمون‌های گیاهی و بهبود خصوصیات فیزیکـی خـاک مـی‌شـود (هارش و همکاران، ۲۰۰۶).

۲-۵-۴- فاکتورهای مؤثر بر همزیستی میکوریزی

میکروارگانیسم‌های خاک گسترش و استقرار همزیستی قارچ میکوریز را تحت تاثیر قرار می‌دهند هر چند الگوی پاسخ گویی به وضوح روشن نگردیده است در برخی موارد اشاره به روابط منفی (ویس و همکاران، ۱۹۹۲) و در برخی به روابط مثبت (میر و لیندمان، ۱۹۸۶) و در سایر مطالعات به عدم اثر متقابل بین میکروارگانیسم‌ها و قارچ اشاره گردیده است (ادواردز و بتر، ۱۹۹۲).

درخاک‌های 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، لیکن در خاک‌هایی که به شدت از نظر عناصر غذایی فقیر می‌باشند کود دهی گاهاً افزایش کلونیزاسیون ریشه را در پی دارد (هایمن، ۱۹۷۵). این نتایج ضد و نقیض نشان می‌دهد که تغذیه گیاه تعیین کننده نوع پاسخ قارچ‌های میکوریزی به اضافه کردن کودهای شیمیایی می‌باشد (اسدی رحمانی و همکاران، ۱۳۸۶).

با کود دهی محدودیت ناشی از عناصر غذایی مرتفع شده و بنابراین گیاه مقدار کمتری از ترکیبات کربنه را به مصرف ریشه، تراوه‌های ریشه‌ای و قارچ‌های میکوریز آربوسکولار اختصاص می‌دهد. همراه با این عامل خصوصیت شیمیایی خاک‌ها و کودهای شیمیایی اضافه شده نیز کنترل کننده وضعیت عناصر معدنی جذب شده توسط گیاهان بوده و در نهایت تعیین کننده نوع عکس العمل قارچ‌های میکوریزی به کود دهی می‌باشند (اسدی رحمانی و همکاران، ۱۳۸۶). همچنین نسبت P:N یکی از عوامل مهم و تعیین کننده نحوه عکس‌العمل قارچ‌های میکوریزی به غنی سازی خاک یا عناصر غذایی است (هپر، ۱۹۸۳).

برخی از بررسی‌های اولیه مؤید آن است که گونه‌های مختلف قارچ AM نسبت به کودهای شیمیایی، واکنش های متفاوتی از خود نشان می‌دهند (هایمن، ۱۹۷۵). نتایج سیلویا و شنگ (۱۹۸۳) نشان داد گونه قارچ *G.intraradices* به کودهای شیمیایی غیر حساس هستند.

عموماً، افزایش کودهای فسفر، کربوهیدرات‌های محلول در ترشحات ریشه را کاهش می‌دهد (گراهام و همکاران،۱۹۸۱). نتایج مطالعات مورتیمر و همکاران (۲۰۰۹) نشان داد استفاده از NH^{4+} درگیاهان میکوریزی لوبیا، کاهش درصد کلونیزاسیون قارچ AM، رشدگره و وزن خشک گره را در برداشت. از طرفی این محققین گزارش کردند لگوم های گره‌دار تلقیح شده با میکوریز، هنگامی که درمعرض یک منبع N خارجی قرار گرفته باشند وابستگی کمتری به تثبیت زیستی نیتروژن نشان می‌دهند (مورتیمر و همکاران، ۲۰۰۹).

۲-۵-۵- قارچهای میکوریز و اثر همزیستی میکوریز آربوسکولار (AM) بر خاک و گیاه

محققان اظهار نمودند که یکی از مهمترین آثار کاربرد قارچهای میکوریزی افزایش عملکرد گیاهان زراعی خصوصاً در خاک‌هایی با حاصلخیزی پایین است (کارلینگ و برون، ۱۹۸۲). این 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).

همزیستی میکوریز بر چندین جنبه فیزیولوژیکی گیاه مانند ریشه گیاه، کسب مواد مغذی، حفاظت گیاه و چرخه مواد غذایی تاثیر دارد (کاپولینگ و دودز، ۲۰۰۰). همچنین از طریق فرآیندهای کلیدی اکولوژیکی برای بهبود رشد اندام‌های گیاه و کیفیت خاک بسیار اهمیت دارد (واندرهجدن و ساندرز، ۲۰۰۲). میکوریزها همیاری‌های قارچ-گیاه هستندکه تقریباً در همه جا حضور داشته و از اجزاء مهم حاصلخیزی خاک به شمار می‌روند (اسدی‌رحمانی و همکاران۱۳۸۶).

توانایی گونه های مختلف قارچهای میکوریز آربوسکولار در افزایش حاصلخیزی خاک بسیار متفاوت بوده عموماً این تفاوتها ناشی از اختلاف در توانایی این قارچها در بوجود آوردن اندامهای درون و برون ریشه‌ای گیاه میزبان است (ابوت و مورفی۲۰۰۷) .

قارچ میکوریز آربوسکولار از طریق مکانیزمهای مختلف قادر به جذب فسفر بیشتری بوده که پس از جذب آنرا در اختیار سیستم ریشه‌ای گیاه میزبان قرار می‌دهد. ریسه‌های خارجی میکوریز آربوسکولار

از سطح ریشه و منطقه تهی از فسفر به مناطق دورتر گسترده شده و بنابراین حجم بسیار بیشتری از خاک را نسبت به ریشه‌های غیرمیکوریزی در اختیار سیستم ریشه‌ای قرار می‌دهند (شارما و جوهری، ۲۰۰۲).

همچنین قطر کوچک ریسه‌ها (۲۰-۵۰μm) دسترسی به منافذی از خاک را امکانپذیر می‌سازند که نمی‌تواند بوسیله ریشه مورد کاوش قرار گیرند. بنابراین سیستم ریشه‌ای که دارای یک شبکه میکوریزی است، منطقه سطحی بزرگتر و مؤثری را برای جذب عناصر غذایی و جستجوی حجم بیشتری از خاک را نسبت به ریشه‌های غیر میکوریزی در اختیار دارد (گرنت و همکاران، ۲۰۰۵). همچنین کلونیزاسیون میکوریز ممکن است تشکیل ریشه‌های جانبی را تحریک کرده و یا انشعابات ریشه‌ای را افزایش دهند (سیترنسی و همکاران، ۱۹۹۸).

گیاهان میکوریزی میتوانند فسفر را در غلظت پایین در محلول خاک نسبت به گیاهان غیرمیکوریزی جذب کنند. زمانیکه شعاع ریسه خیلی کوچکتر از ریشه‌های مویین است (۰/۰۰۵ میلیمتر در برابر ۰/۱۵ میلیمتر)، از اینرو غلظت فسفر در محلول خاک اطراف ریسه نسبت به منطقه تهی شده اطراف ریشه همیشه بالاتر است و ریسه ممکنست فسفر بیشتری را حتی بدون داشتن وابستگی بالاتر به آن، در مقدار کم فسفر محلول خاک جذب کند (گرنت و همکاران، ۲۰۰۵). سیستم ریشه‌ای گیاهان زراعی و خودرو معمولاً بوسیله یک یا تعدادی قارچ میکوریز که بطور طبیعی در خاک حضوردارند کلونیزه شده و باعث افزایش جذب عناصر غذایی و اصلاح ساختمان خاک می‌شوند (علی آبادی فراهانی و همکاران ۲۰۰۸).

میکوریزها همچنین خصوصیات بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی خاصی دارندکه آنها را از ریشه‌ها متفاوت می‌سازد و می‌تواند قابلیت دسترسی به فسفر را برای ریسه افزایش دهند. ریسه‌ها می‌توانند ریزوسفر را از طریق افزایش جریان پروتون اسیدی کنند (ریگو و میگنارد، ۱۹۹۴) که می‌تواند فسفر را بویژه در خاکهای خنثی یا آهکی متحرک نماید (باگو و آزکون-آگولار ۱۹۹۷).

در خاکهای اسیدی، جائیکه فسفر با آهن یا آلومینیوم پیوسته شده است، دفع عامل کلاته کننده (اسید سیتریک یا سیدروفورها) بوسیله میکوریز می‌توانند ذخیره فسفر زیستی در دسترس را در خاک افزایش دهد (هاسلوانتر، ۱۹۹۵). بعلاوه میکوریز، فسفاتازها را تولید می‌کنند که می‌تواند فسفر را از منابع آلی متحرک کند (طرفدار و مارشن، ۱۹۹۴). این مطالعات بیان می‌کند که میکوریز می‌تواند از روشهای گوناگون به منابع فسفر خاک که برای گیاهان غیر میکوریزی غیر قابل دسترس هستند دسترسی داشته باشند (گرنت و همکاران، ۲۰۰۵).

هتریک (۱۹۸۹) در مقاله مروری خود در رابطه با جذب فسفر بوسیله قارچهای میکوریز بیان می‌کند که حجم زیادی از شواهد که بصورت تصادفی بدست آمده است نشان می‌دهد که قارچ میکوریز یا میکروفلور همراه آن ممکنست قابلیت دسترسی به فسفر خاک را بوسیله حل کردن اشکال غیر آلی فسفر و یا بوسیله معدنی کردن فسفر آلی افزایش دهند.

افزایش رشد گیاه بوسیله همزیستی میکوریزی به مقدار زیادی ناشی از افزایش جذب عناصر غذایی از محلول خاک است. اغلب گزارش شده که نرخ جذب بوسیله گیاهان میکوریزی از ریشه‌های غیر میکوریزی سریعتر است (بولان، ۱۹۹۱).

افزایش در جذب فسفر می‌تواند از راههای زیر صورت بگیرد (بولان، ۱۹۹۱) :

افزایش جستجوی فیزیکی خاک، افزایش حرکت فسفر به داخل ریسه‌ها، تغییر محیط زندگی ریشه ها، افزایش ذخیرهٔ فسفر جذب شده، مصرف کافی فسفر توسط گیاه.

۲-۵-۶- میکوریز وجذب فسفر

عناصری که جذب آنها بوسیله قارچ میکوریز آربوسکولار افزایش می‌یابد اغلب عناصری هستند که تحرک پایینی داشته و یا قابلیت حل ناچیزی دارند. اگر چه معمولاً گزارش شده است ماده غذایی که جذب آن توسط میکوریز آربوسکولار افزایش یافته، عنصر فسفر است اما جذب بسیاری از عناصر غذایی دیگر مانند Zn، Cu، N، S، Ca، Mg، K نیز ممکنست بوسیله میکوریز آربوسکولار افزایش پیدا کند (کلارک، ۱۹۹۷).

قارچ میکوریز درهمزیستی با ریشه‌های گیاه از طریق جستجوی کامل حجم بیشتری از خاک جذب فسفر را افزایش می‌دهد که نتیجهٔ آن تبدیل یک موقعیت غیر قابل دسترس به قابل دسترس است. این موضوع بطور عمده ناشی از افزایش حجم خاک مورد جستجو بوسیله ریسه های میکوریز آربوسکولار نسبت به مقداری که توسط ریشه های مویین انجام می‌گیرد، می‌باشد. ریسه‌های میکوریز آربوسکولار معمولاً فسفر را از فواصل دورتر از ریشه‌ها نسبت به ریشه‌های غیرمیکوریزی انتقال میدهند. برای مثال، ناحیه تهی‌سازی فسفر خاک در ریزوسفر گیاه شبدرسفید غیرمیکوریزی حدود ۱۰ میلیمتری ریشه‌ها بوده در صورتیکه برای گیاه میکوریزی این فاصله به بیشتر از ۲۰ میلیمتر رسیده است (تینکر و همکاران، ۱۹۹۲). این امر بوسیله کاهش فاصله برای انتشار یون فسفات و نیز افزایش سطح جذب حاصل می‌شود (تینکر، ۱۹۷۸).

نازکی ریسه‌ها مزیتی دو برابر دارد. اولاً، سطح منطقه ریسه‌ای را برای جذب بیشتر عناصر غذایی افزایش می‌دهد. ثانیا، آنکه ریسه‌ها را قادر به نفوذ در داخل منافذ خاک و مواد آلی می‌کند که ریشه-های مویین نمی‌توانند به آنها نفوذ کنند و بنابراین منطقه جستجو را افزایش می‌دهد (بجورکمن ۱۹۴۹)

ساینز و آرینز (۱۹۸۸) مشاهده کردند که در یک خاک اسیدی با تثبیت بالای فسفر، گیاه شبدر قرمز غیرمیکوریزی هنگامیکه مقدار کمی فسفر دریافت کرد، عملکردی قابل اندازه‌گیری نداشت ولی گیاهان میکوریزی نسبت به غیرمیکوریز در همان سطح فسفر عملکردی چهار برابر بیشتر داشتند. آستانه غلظت پایینتر برای جذب فسفر در گیاهان میکوریزی همچنین باید نتیجه‌ای ازجستجوی حجم بیشتری از خاک نیز باشد (بولان، ۱۹۹۱).

میکوریز آربوسکولار قادر است برای دسترسی بیشتر به فسفر خاک و یا تسهیل در تغییر اجزاء کم محلول فسفر خاک به اشکال قابل دسترس برای افزایش جذب در گیاه میزبان، ریسه هایی با طول زیاد تولید نماید. این ریسه‌ها ممکنست موادی مانند اتیلن، فلاونوئیدها، مواد فرّار و اجزاء تنظیم کنندهٔ رشد مانند سیتوکینین‌ها را برای تحریک رشد و بطور بالقوه، برای افزایش رشد ریسه‌ای تولید نمایند.

تشکیل و دفع مواد آلی بوسیله ریسه ها یا ریشه های میکوریزی، ممکنست برای حل اشکال غیر قابل دسترس فسفر و تسهیل دسترسی گیاه میزبان به فسفر قابل دسترس دارای اهمیت باشد (ایشی و همکاران، ۱۹۹۶).

گیاهان میکوریزی افزایش جذبی را از منابع فسفر بسیار کم محلول مانند فسفات های آهن و آلومینیوم و فسفاتهای معدنی نشان می‌دهد (بولان و همکاران، ۱۹۸۷). اغلب مشاهده شده است که ریشه‌های میکوریزی در یک واحد وزن مشخص، مقدار بسیار بالاتری از فسفر را نسبت به گیاهان غیر میکوریزی جذب کرده‌اند. چنین حدس زده می‌شود که ریسه‌های قارچ میکوریز وابستگی بالاتری به یونهای فسفات داشته و آستانه غلظت پایین‌تری برای جذب فسفر نسبت به ریشه‌ها دارند (کرس و همکاران ۱۹۷۹، بولان و همکاران ۱۹۸۷).

۲-۵-۷- میکوریز و جذب نیتروژن

همراه با افزایش جذب فسفر در گیاهان میکوریزی، افزایش جذب نیتروژن نیز اغلب برای این گیاهان گزارش شده است. افزایش جذب نیتروژن در گیاهان میکوریزی بدلیل نیاز به نیتروژن بالا جهت افزایش جذب فسفر قابل توضیح است.

تحقیقات نشان داده است که ممکنست جذب نیتروژن در گیاهان میکوریزی حتی وقتیکه گیاهان فسفر کافی در اختیار دارند نیز افزایش یابد (جورج و همکاران، ۱۹۹۵). جذب نیترات آمونیم بوسیله گیاهان میکوریزی نسبت به نیتریت آمونیم بدلیل تحرک کمتر نیترات آمونیم نسبت به نیتریت آمونیم دارای اهمیت بیشتری است. اگر چه جذب هر دو شکل نیتروژن ممکنست در گیاهان میکوریزی افزایش یابد. همچنین تحقیقات نشان داده که قارچ‌های میکوریزا قادرند مقدار بیشتری از نیتروژن را به گیاه انتقال دهند (گووینداراجلو و همکاران، ۲۰۰۵) و بعضی گزارشات وجود دارد که قارچ میکوریزا عنصر نیتروژن را در گیاهان لگوم و غیر لگوم افزایش می‌دهد (گار و ادهولیا، ۲۰۰۲).

ریسه‌های میکوریز آربوسکولار، ظرفیت زیادی برای جذب و انتقال نیتروژن از خاک به ریشه‌ها دارند (بارآ و آزکون- آگولار، ۱۹۹۳). بعنوان مثال گزارش شده است که میکوریز آربوسکولار گره‌زایی و

تثبیت ازت را در گیاه یونجه چندساله (*Medicago sativa* L.) افزایش می‌دهد (بارآ و آزکون آگـولار، ۱۹۸۳).

در بعضی موارد حتی اهمیت فسفر از نیتـروژن نیـز بیشـتر اسـت، زیـرا بعضـی از میکروارگانیسـم‌هـا می‌توانند نیتروژن اتمسفر را برای گیاهان فراهم کنند ولی برخلاف نیتـروژن، منـابع اتمسـفری بـرای فسفر وجود ندارد تا آن را در اختیار گیاهان قرار دهد (ایزاوا، ۲۰۰۲).

۲-۵-۸- اثر میکوریز آربوسکولار (AM) بر بهبود خواص فیزیکی خاک

خواص فیزیکی خاک در تعیین قابلیت استفاده از آن برای مقاصد گوناگون حـائز اهمیـت مـی باشـد. قدرت ذخیره رطوبت، سهولت نفوذ ریشه گیاهان در خاک، تهویه و قابلیت نگهـداری عناصـر غـذایی گیاهان در خاک همگی ارتباط نزدیکی با خواص فیزیکی خاک دارند. خـاک ترکیبـی از ذرات شـن، لوم و رس است که به یکدیگر با اندازه‌های متفاوت بوسیله مواد آلی و غیرآلی چسبیده‌اند. در طبیعت، پایداری این دانه‌ها نسبت به آب و خلل و فرج بین آنها بر نفوذپذیری، زهکشی، ذخیـره آب، فعالیـت زیستی، فرسایش سطحی و رشد گیاهان درخاک اثر می‌گذارد. بـرای حفـظ یـک سیسـتم پایـدار و سودمند کشاورزی، باید خاک را بعنوان یک سیستم اکولوژیکی مدیریت کنیم. بعبارتی بایـد بهتـرین ساختمان خاک را برای گیاهان فراهم نمود (شارما و جوهری، ۲۰۰۲).

خاکدانه‌ها که از ذرات اولیه و عامل پیوستگی آنها بوجود آمده‌اند، واحدهای پایه‌ای ساختمان خاک‌اند (بتی، ۱۹۷۴). اندازه، شکل و پایداری خاکدانه‌ها، وسعت منافذ خاک را تعیین می‌کند و به نوبه خود، برخصوصیات فیزیکی خاک اثر می‌گذارد. میزان پایـداری خاکدانـه‌هـا، توانـایی خـاک در حمایـت از سرعت نفوذ خوب آب، زراعت خوب و هوا دهی کافی برای رشد گیاه است (امرسون و همکاران۱۹۸۶، کمپر و روزمن۱۹۸۶). خاکدانه یک فرآیند پیچیده است که با ترکیـب ذرات خـاک درخاکدانـه‌هـای میکرو (با قطر ۰/۲۵ میلیمتر) شروع می‌شود و به طرف تشکیل خاکدانه‌های ماکرو از ایـن واحـدهای کوچک پیش می‌رود (تیس دال و اُدس، ۱۹۸۲).

قارچ میکوریز آربوسکولار ریشه گیاهان را کلونیزه کرده و تودهٔ خاک را فرا می‌گیرد. ریسه‌های قارچ میکوریز آربوسکولار علاوه برنفوذ به داخل و بین سلولهای ریشه، از سطح ریشه‌ها نیز بداخل توده خاک اطراف گسترش یافته و به ذرات خاک متصل شده و میکرو و ماکرو دانه‌های خاک را افزایش می‌دهند (اگه، ۲۰۰۱).

ریسه‌های میکوریز آربوسکولار با یک پوشش پلی‌ساکاریدی میکرودانه‌ها را بطور فیزیکی گرفتار نموده و آنها را محکم به یکدیگر می‌چسباند (جفریز و بارآ ۲۰۰۱، جفریز و همکاران ۲۰۰۳).

میلر و جسترو (۱۹۹۰) عنوان کردند که ریسه‌های قارچ میکوریز، دانه‌های خاک را از طریق سه فرآیند تشکیل و پایدار می‌کنند:

۱- ریسه قارچ ذرات اولیه خاک را بطور فیزیکی گرفتار می‌کند،

۲- ریشه‌ها و ریسه‌ها شرایطی را برای قادر کردن میکرو ذرات به تشکیل خاک می‌آفرینند،

۳- ریشه‌ها و ریسه‌ها میکرو ذرات و ماکرو ذرات کوچکتر را گرفتار کرده و پس از اتصال آنها به یکدیگر ماکرو ذرات بزرگتر را می سازند.

در خاک زیر پوشش گیاهان، ماکرو ذرات بوسیله ریشه‌ها و ریسه‌ها به شکل کاملی پایدار می‌شوند (تیس دال و اودس، ۱۹۸۲). ریشه‌ها و ریسه‌ها یک شبکه گسترده در داخل خاک تشکیل داده و برای آنکه ماکرو ذرات را به محکمی نگهدارند با پلی ساکاریدهای خارج سلولی پوشیده می‌شوند. در حقیقت یک شبکه از ریشه‌ها و ریسه‌های پوشش‌دار ماکروذرات را نگه می‌دارند تا اینکه آنها در آب متلاشی نشوند. ذرات رس در سطح ریشه‌ها و ریسه‌ها، آنها را از تجزیه میکروبی محافظت می‌کند، اما زمانیکه ریشه‌ها و ریسه‌ها می‌میرند، شبکه بوسیله جانوران یا شخم شکسته می‌شود و ماکرو ذرات در آب متلاشی می‌شوند، قطعات روکش شده بعنوان میکرو ذرات باقی می‌مانند (اُودس و واترز، ۱۹۹۱).

بیشتر قارچهای میکوریز آربوسکولار، ریسه‌های کم انشعاب یا رشته‌های ریسه‌ای را در خاک تولید می‌کنند و سیستم ریشه‌ای گیاهان را گسترش می‌دهند. پایداری چندین نوع خاک با طول این ریسه‌ها در خاک رابطه دارد (تیس دال و اودس ۱۹۸۰، میلر و جسترو۱۹۹۰).

در داخل هر ماکرو ذره، ریسه‌های قارچ یک شبکه را با بیشتر از ۵۰ متر ریسه در هر گرم دانهٔ پایدار و یا بیشتر از ۱۴ متر ریسه خارجی در هر سانتیمتر ریشه تشکیل می‌دهند (بارآ ۱۹۹۱، تیس دال ۱۹۹۱).

گزارش شده که ریسه‌های خارجی قارچهای میکوریز آربوسکولار، بیوماس قابل توجهی در بیشتر خاکها دارند (ریلیگ و همکاران، ۲۰۰۲).

قارچ میکوریز آربوسکولار می‌تواند ذرات خاک را بخاطر رشد متراکم میسلیومها به یکدیگر چسبانده و متراکم کند. میسلیوم خارجی میکوریز، خاکدانه‌های پایدار در آب تشکیل می‌دهد که برای یک خاک خوب زراعی ضروری است (میلر و جسترو ۲۰۰۰، جفریز و بارآ ۲۰۰۱، جنیفر و همکاران ۲۰۰۲). ساتن و شفرد (۱۹۷۶) نشان دادند که رشد گیاهان میکوریزی درخاکهای شنی باعث شد که ریشه آنها پنج برابر شن بیشتری به خود نسبت به ریشه‌های گیاهان غیرمیکوریزی که از نظر بیوماس با هم برابر بودند بچسبانند.

تشکیل خاکدانه‌ها می‌تواند برای اصلاح شرایط فیزیکی خاک با اهمیت باشد. بعلاوه اتصال ذرات خاک بوسیله قارچ میکوریز آربوسکولار یک مکانیزم در کنترل فرسایش خاک است. مشخص شده است که میسلیوم میکوریز آربوسکولار نه تنها ذرات خاک را به یکدیگر سست نمی‌چسباند بلکه آنها را بخاطر پلی‌ساکاریدهای غیر متبلور به یکدیگر محکم متصل می‌کند (اسمیت و رید، ۱۹۹۷).

مطالعات انجام شده، وجود ارتباطی قوی بین پایداری خاکدانه‌ها و گلومالین که یک گلیکوپروتئین تولید شده بوسیله ریسه‌های قارچ میکوریز آربوسکولار است، را نشان داده است (رایت و اپادهیایا ۱۹۹۸).

پیوترواسکی و همکاران (۲۰۰۴) نتیجه گرفته‌اند که تشکیل خاکدانه، عملی است که مربوط به قارچ و گیاه میزبانش است. زیرا خصوصیات ریسه ممکنست در قابلیت توده‌ای شدن ذرات خاک دخالت داشته باشد و گیاهانی با سیستم ریشه‌ای فیبری و متراکم (مانند گراسها) در تشکیل این خاکدانه ها کمک می‌کنند.

۲-۵-۹-میکوریز و آبشویی نیتروژن و فسفر

همانطور که ذکر شد قارچ های میکوریز قادرند با بسیاری از گیاهان رابطه همزیستی برقرار نمایند و با افزایش در تولیدات هورمون‌های گیاهی و تشدید میزان فتوسنتز باعث افزایش رشد و نمو گیاه میزبان گردند.

از مهمترین دلایل کاهش آبشویی عناصر نیتروژن و فسفر توسط میکوریز عبارتند از:

افزایش رشد ریشه های موئین (هارش و همکاران، ۲۰۰۶) و دسترسی به حجم وسیعی از خاک، افزایش جذب عناصر غذایی فسفر و نیتروژن خاک (کلارک، ۱۹۹۷) و تغذیه بهتر گیاه، همچنین افزایش جذب آب و کارایی بیشتر استفاده از آب (هارش و همکاران، ۲۰۰۶)، تأثیر بر دانه بندی خاک (اگه، ۲۰۰۱)، بهبود خصوصیات فیزیکی خاک (هارش و همکاران، ۲۰۰۶)، تشدید فعالیت تثبیت بیولوژیک نیتروژن (بارآ و آزکون آگولار، ۱۹۸۳).

اصغری و کاواگنارو (۲۰۱۱) نیز در بررسی یک تحقیق دریافتند که میکوریز آربوسکولار بر روی رشد و تغذیه گیاه *Phalaris aquatica* و کاهش آبشویی عناصر غذایی درخاک تحت کشت این گیاه، تأثیر بسزایی داشته است، به طوریکه همزیستی قارچ میکوریز در گیاه *P.aquatica*، رشد گیاه و جذب عناصر غذایی را افزایش داد و در نمونه های حاوی قارچ میکوریز مقادیر کمی از نیترات و آمونیوم و فسفر قابل جذب در خاک و مایع شسته شده از خاک مشاهده شد و تأثیر مهم قارچ میکوریز در جلوگیری از کاهش عناصر غذایی از طریق آبشویی مشخص گردید.

در تحقیقی دیگر اصغری و همکاران (۲۰۰۵) در یک خاک لومی شن تحت کشت گیاه *Trifolium subterraneum* به بررسی آبشویی فسفر پرداختند. در تیمارهای تلقیح با میکوریز، همزیستی میکوریزی توانست به طور قابل توجهی مقدار فسفر گیاه را افزایش دهد و فسفر قابل دسترس خاک و فسفر آبشویی شده را کاهش دهد. در این تحقیق، میکوریز در شرایط کمبود فسفر قابل دسترس خاک، توانست رشد گیاه را افزایش دهد. آنان در نتایج خود کاهش فسفر خاک و محلول آبشویی را به

جذب بالای فسفر از خاک، توسط ریشه های گیاه و ریسه های خارجی میکوریز نسبت دادند. در این مطالعه، بالاترین مقدار آبشویی فسفر به تیمار کود فسفر و فاقد میکوریز اختصاص یافت.

نتایج اصغری وکاواگنارو (۲۰۱۲) نشان داد که نیترات آبشویی شده در یک خاک شنی تحت کشت گیاه گوجه فرنگی، در تیمارهای میکوریزی حدود ۴۰ برابر کمتر از تیمارهای فاقد میکوریز است.

فصل سوم: مواد و روشها

۳-۱- زمان و محل آزمایش

آزمایش، در بهار ۱۳۹۱ در شهرستان شاهرود و تحت شرایط گلخانه ای اجرا شد.

۳-۲- خصوصیات خاک گلدان

خاک دارای بافت لومی شنی، با pH = ۷/۳ و EC = ۱/۰۹ دسی زیمنس بر متر بود.

۳-۳- انتخاب گونه بذر و تهیه مایه تلقیح

از بین گونه‌های مختلف شبدر، گونه شبدر مصری یا برسیم (*Trifolium alexandrium*) برای این تحقیق انتخاب شد. مایه تلقیح از شرکت زیست فناور توران تهیه شد که مخلوطی از اسپورها، ریسه‌ها و ریشه‌های میکوریزی قارچ *Glomus intraradices* بود که توان آلوده‌کنندگی بالایی داشت.

۳-۴- انتخاب و آماده سازی گلدانها

از آنجا که یکی از اهداف مورد نظر در این آزمایش، بررسی آبشویی نیتروژن و فسفر در خاک بود لذا گلدانهای پلی اتیلنی استوانه ای شکلی تهیه گردید. قطر هر گلدان ۱۳سانتیمتر و ارتفاع آن ۴۰ سانتیمتر بود (شکل ۳-۱).

شکل۳-۱- نمایی از گلدانهای آزمایش در ابتدای فصل رشد

۳-۵ -آماده سازی خاک برای آزمایش گلخانه‌ای

جهت آزمایش گلخانه‌ای نیاز به خاکی بود که ضمن فراهم نمودن شرایط رشد گیاه، در مرحلهٔ برداشت، به سهولت بتوان به سیستم ریشه‌ای گیاه بدون آنکه صدمه ای به آن وارد آید دسترسی

داشت. یعنی آنکه بافت خاک حتی الامکان سبک باشد. بدین منظور، پس از الک نمودن مقدار کافی ازخاک مزرعه و ماسه آبرفتی شسته شده (با الک دومیلیمتری) و جدا نمودن قطعات سنگ و خار و خاشاک و سایر اضافات، مخلوطی کافی از خاک مزرعه + ماسه آبرفتی شسته شده به نسبت ۱به ۱ تهیه شد. بخشی از خاک تهیه شده به ستون های کشت انتقال داده شد و الباقی پس از استریل شدن به ستون ها منتقل گردید.

جهت مقایسه و بررسی اثر بخشی قارچ میکوریز اضافه شده به خاک در تولید محصول، خاک باید دارای وضعیتی می‌شد که تنها اثر این میکروارگانیسم را بر گیاه مورد نظر نشان دهد. این هدف نیازمند عاری نمودن خاک از وجود هر نوع موجود زندهٔ دیگری است. لذا خاک سترون شد. اینکار از طریق قرار دادن کیسه‌های ده کیلوگرمی از مخلوط خاک فوق در دستگاه اتوکلاو با فشار ۲۴۰ کیلو پاسکال و حرارت ۱۱۰ درجه سانتیگراد بمدت یکساعت وبصورت دو بار در دو روز متوالی به منظور حذف سایر میکروارگانیسم انجام شد. پس از پایان کار، کیسه‌های حاوی خاک به داخل کیسه‌های نایلونی سربسته منتقل تا از سرایت هر گونه آلودگی به آنها تا شروع کشت خودداری شود.

۳-۶- طرح آزمایشی در گلخانه و شرایط رشد

این طرح شامل دو آزمایش گلخانه ای جداگانه در شرایط استریل و غیر استریل بود. هر آزمایش گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل با طرح پایه بلوک های کامل تصادفی در چهار تکرار اجرا گردید. فاکتور های آزمایش شامل فاکتور زئولیت در ۲ سطح (حاوی زئولیت و فاقد آن)، میکوریز در۲ سطح (تلقیح با گونه *Glomus intraradices* و بدون تلقیح) و فاکتور ماده غذایی در سه سطح شامل یک سطح نیتروژن (نیترات آمونیم به میزان۱۴۳میلی گرم به هر ستون یا۲۸۰کیلوگرم در هکتار) و یک سطح فسفر (فسفات پتاسیم به میزان۱۱۰۰ میلی گرم به هر ستون یا ۴۸۵ کیلوگرم در هکتار) و یک سطح شاهد بودند. با توجه به تعداد تیمار و تکرار، تعداد ۴۸ عدد گلدان سه لیتری (با قطر ۱۳سانتیمتر وارتفاع ۴۰ سانتیمتر) بعنوان واحد کشت خاک استریل و همین تعداد در خاک غیر استریل تحت کشت قرار گرفت. درجه حرارت و نور گلخانه تحت شرایط کنترل شده قرارگرفت.

۳-۷- تعیین ظرفیت زراعی خاک گلدانها و نحوه آبیاری

برای تعیین مقدار آب مورد نیاز در آبیاری گلدانها در آزمایش گلخانه‌ای (و جلوگیری از آبشویی ناخواسته) از روش تعیین ظرفیت زراعی (سیلویا ۱۹۹۴) استفاده شد. میزان آب گلدانها هر دو روز یکبار با توزین تعدادی از گلدانها کنترل شده و همواره سعی گردید رطوبت خاک آنها در حد ۸۰ درصد ظرفیت زراعی باقی بماند. به منظور تامین نیاز غذایی گیاهان از محلول لانگ اشتون بدون فسفر و نیتروژن استفاده شد که به طور یکسان در تمام گلدانها در ۴ نوبت طی فصل رشد اضافه گردید (اصغری و همکاران، ۲۰۰۵).

۳-۸- نحوه کاشت در گلدانها

پس از آماده سازی خاک مورد نیاز و مشخص شدن تیمارهای مربوط به هر گلدان، ۴۸ عدد از گلدانها با خاک سترون و ۴۸ عدد دیگر از خاک غیرسترون پر شدند (شکل ۵-۳). سپس در تیمارهای میکوریزی مایه تلقیح به مقدار ده درصد خاک هرگلدان و در تیمارهای حاوی زئولیت به میزان پنج درصد وزن خاک گلدانها به آن افزوده شده و کاملا مخلوط گردید. پس از پر کردن گلدانها از خاک (به میزان ۳/۵ کیلوگرم و تا ارتفاع پایینتر از ۳ سانتیمتری لبه گلدان)، تعداد ۴ عدد بذر با فاصله مناسب از یکدیگر، در نقطه مرکزی گلدان کاشته شدند. سپس گلدانها آبیاری شده و رطوبت آنها همواره در حد ۸۰ درصد ظرفیت زراعی باقی نگهداشته شد. نمایی از شبدرهای برسیم در اواسط دوره رشد در شکل ۳-۶ دیده می شود.

۳-۹- نمونه گیری گیاهی

هشت هفته پس از کاشت، نمونه‌گیری از گونه‌ی تحت کشت (*Trifolium alexandrium*) در تیمارهای مختلف صورت گرفت. در نمونه برداری مراحل ابتدایی، پایه‌های گیاهی از سطح خاک بریده شده و پس از اندازه‌گیری طول ساقه هر پایه به سانتیمتر، در داخل پاکت کاغذی شماره‌دار ریخته شده و به آزمایشگاه منتقل شدند. در آزمایشگاه پس از انتقال به دستگاه آون، در حرارت ۷۵ درجه سانتیگراد بمدت ۴۸ ساعت نگهداری شدند تا کاملاً خشک شوند. پس از این مدت از آون خارج و پس

از گذشت مدت زمان بیست دقیقه ای جهت رسیدن به تعادل دمایی با محیط، با ترازوی حساس با دقت ۰/۰۱ گرم توزین شدند.

۳-۱۰- مرحله آبشویی و نمونه گیری از محلول جمع آوری شده

بنابر اهداف این آزمایش، هفت هفته بعد از رشد گیاه، نیترات آمونیم به میزان۱۴۳میلی گرم به هر ستون (۲۸۰کیلوگرم در هکتار) و فسفات پتاسیم به میزان۱۱۰۰ میلی گرم به هر ستون (۴۸۵ کیلوگرم در هکتار) جهت بررسی آبشویی نیتروژن و فسفر افزوده شد.

یک هفته پس از افزودن عناصر غذایی، برداشت گیاه انجام شد. جهت آبشویی خاک در این مرحله، به میزان۵۰۰ میلی لیتر آب مقطر به هر گلدان افزوده شد (شکل ۳-۲) و مدت زمان لازم جهت خروج محلول آبشویی شده لحاظ گردید و پس از این مدت محلول آبشویی در ظروف تعبیه شده زیرین، جمع آوری شد (شکل ۳-۳). سپس محلول جمع آوری شده برای هر نمونه توزین و ثبت گردید و نمونه برداری از آنها انجام شد. مقادیری از محلول جمع آوری شده، جهت جلوگیری از هدررفت نیترات تا زمان آزمایش، درظروف دربسته و در یخچال نگهداری گردید.

شکل۳-۲- اضافه نمودن آب مقطر به گلدانها جهت آبشویی

شکل ۳-۳- جمع آوری محلول آبشویی شده

۳-۱۱- نمونه گیری خاک و ریشه

جهت نمونه گیری خاک، هر گلدان در دو عمق ۱۰ و ۲۰ سانتیمتری نمونه گیری شد (شکل ۳-۴) و خاک نمونه گیری شده در ظروف دربسته و در یخچال (جهت جلوگیری از خروج نیترات) تا زمان آزمایش نگهداری گردید.

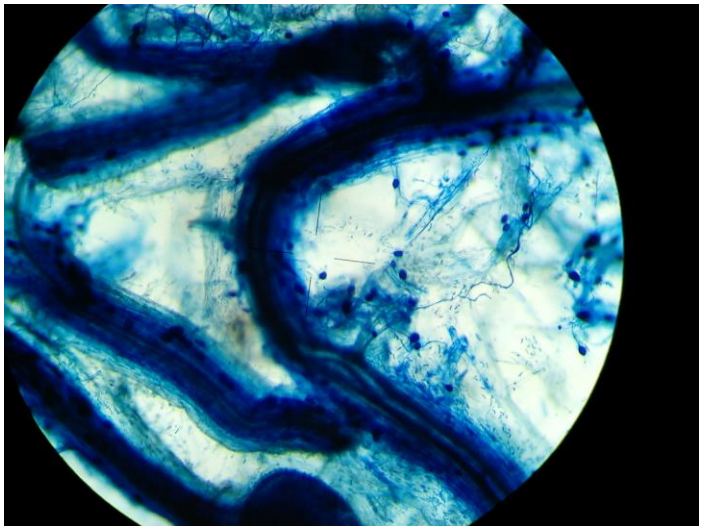
برای نمونه گیری ریشه سعی گردید حتی الامکان، ریشه‌ها دست نخورده و سالم باقی بمانند. سپس اندام های هوایی و ریشه‌های آنها با آب بصورت کامل شستشو داده شده و از گل و لای عاری شدند.

نمونه ها پس از اندازه گیری طول ساقه به دستگاه آون در آزمایشگاه منتقل و بترتیب شرح داده شده در فوق، خشک شده و سپس پارامترهای وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه برای هر نمونه اندازه گیری و ثبت شد.

شکل ۳- ۴- نمونه گیری از خاک

۳-۱۲-اندازه گیری درصد کلونیزاسیون ریشه‌ای

برای اندازه گیری میزان کلونیزاسیون ابتدا باید ریشه ها رنگ آمیزی شده تا اندامهای قارچی احتمالی قابل رؤیت گردند. برای اینکار، از ریشه های نمونه گیری شده در هرگلدان یک نمونه با وزن حدود ۰/۱ گرم برداشت و پس از شستشوی کامل با آب، به قطعات یک سانتیمتری بریده شده و سپس جهت رنگبری در محلول KOH ده درصد به مدت ۴۸ ساعت در دمای آزمایشگاه نگهداری شدند. جهت رنگ آمیزی نمونه‌ها از روش تغییر یافته فیلیپس و هایمن (۱۹۷۰) استفاده شد. به این ترتیب که نمونه‌های رنگ‌بری شده در محلول یک درصد تریپان‌بلو قرارگرفته و بمدت ده دقیقه در حمام بن ماری با حرارت ۱۰۰ درجه سانتیگراد گذاشته شدند. بعد از این زمان، نمونه ها با آب شسته شده و جهت نگهداری طولانی مدت در محلول گلیسیرین + اسید لاکتیک قرارگرفتند. برای تعیین درصد کلونیزاسیون نیز از روش جییووانی و موس (۱۹۸۰) استفاده شد. بدین منظور نمونه ها دریک پتری دیش شبکه بندی شده ریخته شده و با مشاهدهٔ آن ها در زیر استرئومیکروسکپ با بزرگنمایی ۴۰× تعداد برخورد نقاطی از ریشه که میکوریزی شده است نسبت به کل نقاط برخورد ریشه با خطوط شبکه، درصد کلونیزاسیون را مشخص کرد(شکل ۳- ۵).



شکل۳- ۵- نمایی از ریشه در زیر میکروسکوپ

۳-۱۳- بررسی اثر تیمار میکوریز، زئولیت و ماده غذایی بر مقدار نیتروژن و فسفر خاک و گیاه

برای بررسی و مقایسه اثر قارچ میکوریز و زئولیت و ماده غذایی، برذخیره میزان نیتروژن و فسفر اندامهای هوایی، پس از رسیدگی کامل گیاهان، اقدام به نمونه گیری شد و با ارسال نمونه های آسیاب شده اندام هوایی به آزمایشگاه تجزیه گیاه، خصوصیات درصد ازت و درصد فسفر در نمونه‌ها با استفاده از روشهای استاندارد موجود، اندازه گیری شد و به منظور تعیین میزان نیترات و فسفر قابل جذب نمونه های خاک و محلول جمع آوری شده، نمونه ها به آزمایشگاه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود منتقل و مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفت.

۳-۱۴-اندازه گیری نیترات در خاک و محلول آبشویی شده

ابتدا عصاره گیری از خاک بدین صورت انجام شد: مقدار ۱۰ گرم خاک مرطوب را در داخل تیوب ۵۰ cc ریخته و مقدار ۲۵ میلی لیتر kcl دو مولار (۱۴۹/۱۲ گرم kcl در یک لیتر آب) اضافه می نماییم. سپس تیوب را در یک شیکر افقی به مدت ۳۰ دقیقه با سرعت ۲۰۰ دور در دقیقه شیک می کنیم. آنگاه تیوب را داخل دستگاه سانتریفوژ با سرعت ۲۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۵ دقیقه قرار می دهیم. پس از ته نشین شدن ذرات خاک، مایع شفاف بالایی را برداشته، در فریزر نگهداری میکنیم.

برای اندازه گیری نیترات خاک و محلول آبشویی شده، ابتدا از محلولهای زیر استفاده گردید:

محلول یک مولار اسید کلریدریک، محلول (شماره یک) حاوی ۵۰ میلی لیتر اسیدکلریدریک یک مولار + ۰/۴ گرم وانادیم کلراید (احیاکننده)، محلول (شماره دو) ۰/۲ گرم سولفانیلامید + ۰/۰۱ گرم Ned[N(1-Naphtyl)ethylenediamine dihydrochloride] + ۴۰۰ میلی لیتر آب مقطر.

محلول شماره یک و دو با یکدیگر مخلوط شدند. در مرحله بعد با استفاده از پیپتور، از عصاره خاک و مخلوط محلول شماره ۱ و ۲ به هرکووت منتقل گردید. کووت ها به مدت یک شب در محیط

آزمایشگاه و در زیر هود قرار داده شد و بعد از کامل شدن رنگ ارغوانی با دستگاه اسپکتروفتومتر روی طول موج ۵۴۰ نانومتر قرائت گردید (میرندا و همکاران ،۲۰۰۱).

۳-۱۵-اندازه گیری فسفر قابل جذب خاک و محلول آبشویی شده

فسفر قابل جذب خاک و محلول آبشویی شده به روش اولسن اندازه گیری شد (مرکز اطلاعات و منابع بین المللی خاک [ISRIC]، ۱۹۸۶).

۳-۱۶- اندازه گیری درصد نیتروژن کل و درصد فسفر گیاه

در این روش نمونه ها پس از آماده سازی، در مخلوط اسید سولفوریک، اسید سالیسیلیک وآب اکسیژنه و سلنیم هضم شدند (کتنی، ۱۹۸۸). سپس در عصاره حاصله، میزان فسفر با روش کالریمتری، با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (چاپمن و پرات،۱۹۶۱ و جکسون، ۱۹۶۷) و نیتروژن با استفاده از روش کجلدار (تقطیر در اسید بوریک و تیتراسیون با اسید سولفوریک) با استفاده از دستگاه کجل تک اتوماتیک [Kjeltec Auto- Foss] (چاپمن و پرات، ۱۹۶۱ و ایساک و رابرت، ۱۹۹۰ و کتنی، ۱۹۸۸ و جکسون، ۱۹۶۷) انجام شد.

۳-۱۷- تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تجزیه و تحلیل آماری داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS وMSTATC انجام شد. برای رسم شکل‌ها از نرم‌افزار Excel استفاده شد و مقایسه میانگین‌ها با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) و در سطح احتمال ۵ و۱درصد انجام گرفت.

شکل۳- ۶- شبدرهای برسیم در اواسط دوره رشد

فصل چهارم: نتایج و بحث

همانطور که در بخش مواد و روش ها ذکر شد این طـرح در قالـب دو آزمـایش در شـرایط اسـتریل و غیر استریل انجام شد. در این بخش نتایج هر کدام از این آزمایش هـا بصـورت جداگانـه آورده شـده است:

الف – خاک استریل

۴-۱- اثر تیمارهای میکوریز وزئولیت و ماده غذایی بر خصوصیات رویشی شبدر برسیم

خصوصیات مورد اندازه‌گیری عبارت بودند از: وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، ارتفاع گیاه و درصد همزیستی میکوریزی در ریشه. نتایج آزمایش انجام شده نشان داد که کاربرد زئولیت و تلقیح قارچ میکوریز ومصرف ماده غذایی (استفاده از کود شیمیایی فسفر و کود نیتروژن) بر برخی صفات مورد بررسی در این گونه، تأثیر داشته و بر بعضی خصوصیات بی‌تأثیر بوده است. اثرات تیمارهای قارچ میکوریز، زئولیت، ماده غذایی، قارچ میکوریز- ماده غذایی و زئولیت- ماده غذایی، زئولیت- میکوریز- ماده غذایی بر هر یک از این صفات به شرح ذیل است:

۴-۱-۱-ارتفاع گیاه

ارتفاع جزء مهمی در تعیین عملکرد نمی‌باشد، ولی احتمالاً ارقام با ارتفاع بلندتر عملکرد ماده خشـک بیشتری دارنـد (سـلیمی، ۱۳۸۹). بـر اسـاس نتـایج تجزیـه واریـانس (جـدول ۴-۱) ارتفـاع گیـاه در تیمارهای زئولیت، میکوریز و زئولیت- میکوریز، تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد نشـان داد. امـا ماده غذایی و اثرات متقابل بین این فاکتور با زئولیت و میکوریز و نیز اثر متقابل سه گانه آنها بر ارتفاع گیاه معنی‌دار نشد.

مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴-۴) نشان داد که ارتفاع گیاه در تیمارهـای تلقـیح بـا میکـوریز (۲۹/۲۷ سانتی‌متر) حدود ۳/۴ برابر بیشتر از عدم تلقیح (۸/۴۷ سانتی‌متر) بود.

نمودار اثر متقابل تیمارهای زئولیت- میکوریز (شکل ۴-۱)، نشان از اختلاف معنی دار بین تیمارهـای میکوریز- فاقد زئولیت، زئولیت- میکوریز با تیمار شاهد دارد، به طوریکه ارتفاع گیاه در تیمارمیکوریز-

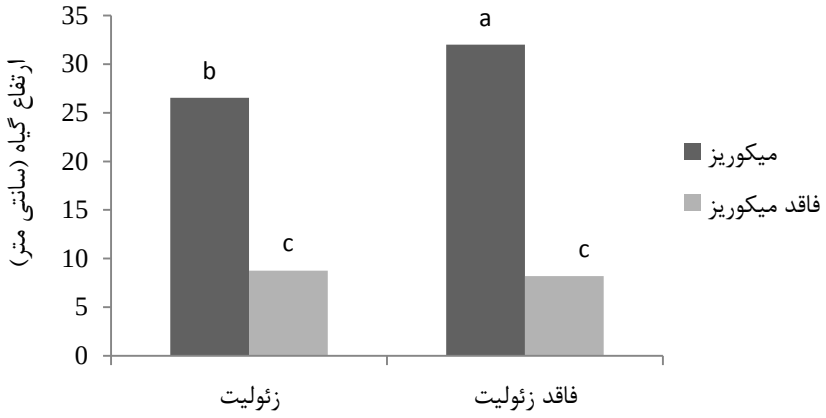
فاقد زئولیت (با میانگین ۳۲ سانتیمتر) ۳/۹ برابر و درتیمار میکوریز -زئولیت (با میانگین ۲۶/۵۴ سانتیمتر) ۳/۲ برابر شاهد (با میانگین۸/۲ سانتیمتر) می‌باشد. این نتایج نشان می دهد که استفاده تؤام زئولیت با میکوریز باعث افزایش ۶۷/۰۳ درصد در ارتفاع گیاه نسبت به تیمار زئولیت-فاقد میکوریز شده است.

نتایج حاصل از تحقیقات مدنی و همکاران (۱۳۸۸) نشان داد افزایش تدریجی ارتفاع بلندترین ساقه در بوته، همزمان با افزایش مصرف زئولیت در گیاه بود که بیشترین ارتفاع ساقه اصلی مربوط به تیمار مصرف ۶ تن زئولیت در هکتار بود. هرچند در این آزمایش مصرف زئولیت تاثیری بر ارتفاع گیاه نداشت.

توران (۲۰۰۶) در بررسی مقادیر مختلف زئولیت برخصوصیات کمی و کیفی یونجه در شرایط گلخانه ای به این نتیجه رسید که ارتفاع و وزن خشک کل گیاه به طور معنی داری تحت تاثیر مصرف زئولیت قرار گرفت.

تحقیقات دیگر نشان می‌دهد استفاده از قارچ میکوریز سبب افزایش رشد و بیوماس گیاه می‌گردد. این قارچ‌ها افزایش بیوماس را به وسیله افزایش جذب آب، مواد معدنی و تولید هورمون‌های رشد انجام می‌دهند. تولید هورمون‌های رشد مانند اکسین، سیتوکنین و جیبرلین به وسیله این قارچ‌ها اثبات شده است (اسویفت، ۲۰۰۴). در نتیجه، این امر موجب تولید فرآورده بیشتر و بهبود رشد نظیر ارتفاع گردید.

در مطالعات ویدادا و همکاران (۲۰۰۷) در مورد گیاه سورگوم تلقیح میکوریز ارتفاع گیاه را به طور معنی‌داری افزایش داد. مرادی و همکاران (۱۳۸۸) نیز بیان داشتند که گیاه نخود تلقیح شده با میکوریز دارای ارتفاع بیشتری بود.



شکل۴-۱-اثر متقابل زئولیت و میکوریز بر ارتفاع گیاه (سانتی متر)

شکل ۴-۲- تیمارهای شاهد (گیاه سمت راست) و میکوریز- زئولیت (گیاه سمت چپ)

۴-۱-۲- وزن خشک اندام هوایی

نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول۴-۱) نشان می دهند که اثر تیمارهای میکوریز، ماده غذایی، زئولیت، میکوریز- ماده غذایی و میکوریز- زئولیت بر وزن خشک اندام هوایی در سطح یک درصد و اثر متقابل زئولیت- ماده غذایی و اثر سه گانه آنها در سطح پنج درصد معنی دارگردید. نمودار مقایسه میانگین های اثر متقابل سه گانه تیمارهای مورد استفاده (شکل ۴-۳) نشان می‌دهدکه بالاترین

میانگین وزن خشک اندام هوایی مربوط به تیمار میکوریز-کود فسفر- فاقد زئولیت (با میانگین۲/۰۰۴ گرم بر هر پایه) و کمترین میانگین (با میانگین ۰/۱۲۲ گرم بر هر پایه) به تیمار شاهد (فاقد زئولیت، ماده غذایی و میکوریز) اختصاص دارد.

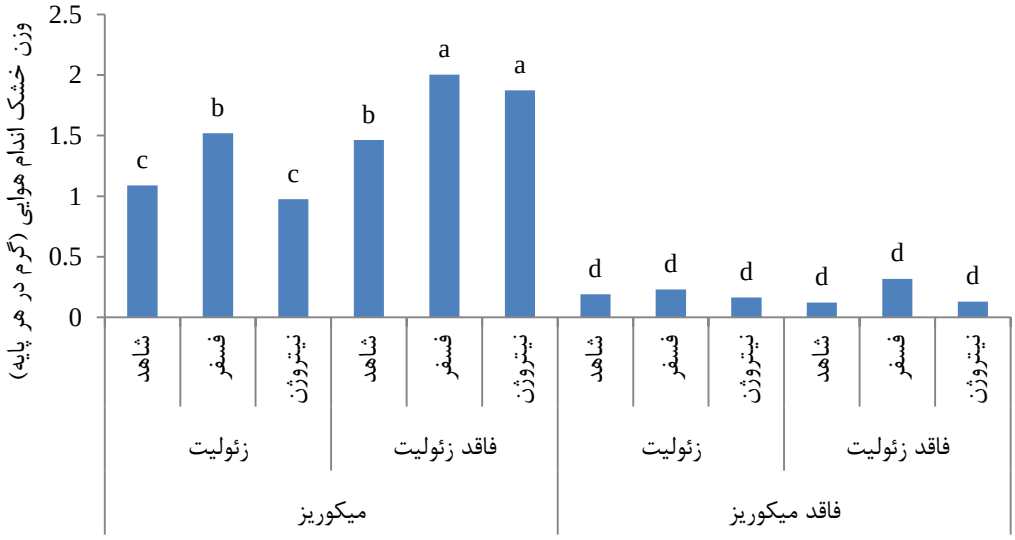
بر اساس این نتایج، کاربرد زئولیت تأثیری بر افزایش رشد و وزن خشک اندام هوایی گیاه نداشت و کاربرد توأم آن با میکوریز سبب تأثیر منفی بر عملکرد قارچ میکوریز گردید. با توجه به نمودار (شکل ۴-۳) تیمار میکوریز -کود فسفر- فاقد زئولیت (با میانگین ۲/۰۰۴ گرم بر هر پایه) نسبت به تیمار میکوریز- فاقد زئولیت - فاقد کود (با میانگین ۱/۴۶۳ گرم بر هر پایه) وزن خشک اندام هوایی را ۴۲ درصد افزایش داد و تیمار میکوریز-زئولیت-کود فسفر (با میانگین تولید ۱/۵۱۹ گرم در هر پایه) نسبت به تیمار میکوریز- زئولیت - فاقد کود (با میانگین ۱/۰۹ گرم بر هر پایه) باعث افزایش ۵۰ درصدی این صفت گردید.

نتایج هانی و همکارانش (۱۳۸۱) نیز حاکی از آن بود که تیمارهای میکوریز، فسفر و میکوریز- فسفر تأثیرمثبت و معنی داری بر روی صفت میانگین وزن خشک کل بوته ها و ارتفاع گیاه داشتند.

گوپتا و همکاران (۲۰۰۲) نیز در تحقیقات خود به نتایج مشابهی دست یافت. هم چنین بین تیمار زئولیت -کود فسفر - فاقد میکوریز (با میانگین تولید ۰/۲۲۸ گرم در هر پایه) و تیمار کود فسفر - فاقد زئولیت - فاقد میکوریز (با میانگین تولید ۰/۳۱۶ گرم در هر پایه) اختلاف معنی داری وجود ندارد، اما این دو تیمار با تیمار میکوریز-کود فسفر - فاقد زئولیت (با میانگین تولید ۲/۰۰۴ گرم در هر پایه) و میکوریز- زئولیت-کود فسفر (با میانگین تولید۱/۵۱۹گرم در هر پایه) دارای اختلاف معنی داری هستند. به نظر می رسد که تلقیح میکوریز موجب گردیده که آب و مواد غذایی بیشتری به اندام هوایی منتقل شده و سبب افزایش وزن آن گردد.

ارمان و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند تلقیح قارچ میکوریز درگیاه نخود سبب افزایش معنی‌داری در وزن خشک ساقه نسبت به عدم تلقیح گردید. همچنین نتایج آراموگام و همکاران (۲۰۱۰) بر روی گیاه لوبیا چشم بلبلی نیز حاکی از افزایش وزن خشک ساقه در اثر تلقیح با میکوریز بود. استفاده از

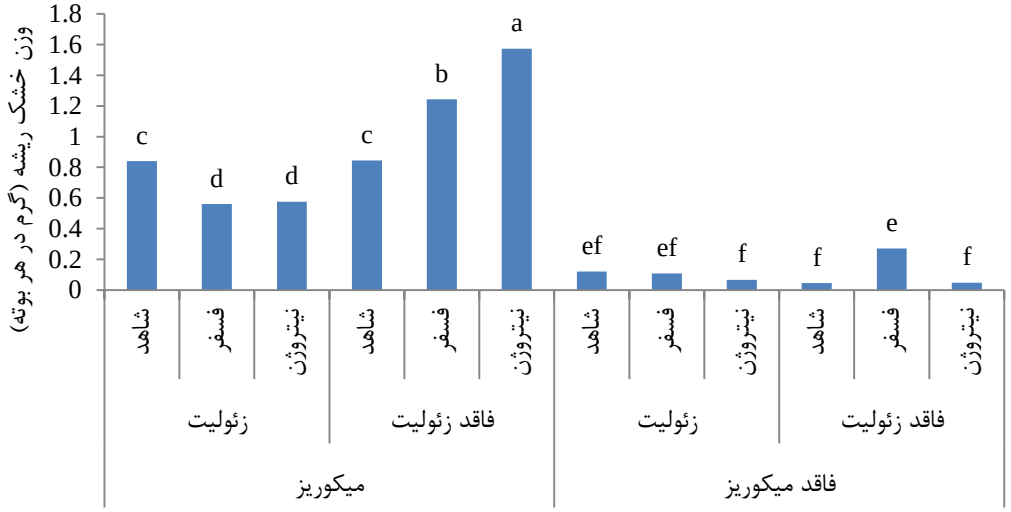
قارچ میکوریز سبب افزایش سرعت رشد گیاه شده و بر تخصیص و انتقال عناصر غذایی بین ریشه و ساقه اثر می‌گذارد، به طوری که با افزایش جذب عناصر غذایی و انتقال آن‌ها، وزن خشک اندام‌های هوایی افزایش می‌یابد (اورتاس و هریس، ۱۹۹۶). نتایج حاکی از آن بود که کاربرد زئولیت به تنهایی و یا همراه با مصرف کود نیتروژن و فسفر تأثیری در افزایش رشد گیاه نداشت. علت این امر را میتوان به دلیل توانایی تدریجی زئولیت در آزادسازی عناصر خاک دانست. این آزمایش در مدت دو ماه به طول انجامید و بررسی برخی منابع نشان میدهد که زئولیت درمدت زمان زیادتری عناصر را از سایتهای تبادلی خود آزاد می کند. مامپتون (۱۹۹۹) در نتایج خود اعلام نمود که اثرات متقابل سطوح مختلف نیتروژن و زئولیت، در مراحل رشد گیاه بر تعداد ساقه اصلی و وزن خشک اندام هوایی فاقد اثر معنی دار بود، نتیجه تحقیقات او نشان داد که افزایش تدریجی وزن خشک کل اندام های هوایی در بوته همزمان با افزایش مصرف زئولیت در گیاه است، بیشترین وزن خشک کل اندام های هوایی مربوط به تیمار مصرف ۶ تن زئولیت در هکتار و در زمان رشد رویشی و گلدهی کامل گیاه بود.



شکل۴-۳-اثر متقابل میکوریز، زئولیت و ماده غذایی بر وزن خشک اندام هوایی(g)

۴-۱-۳- وزن خشک ریشه

تجزیه واریانس داده های بدست آمده (جدول ۴-۱) گویای آنست که اثر تیمارهای استفاده شده بر این صفت رویشی در سطح یک درصد معنی دار($P<۰/۰۱$) بود. جدول مقایسه میانگین اثر اصلی میکوریز (۴-۴) بیانگر آن است که وزن خشک ریشه در تلقیح میکوریز (با میانگین ۰/۹۳۹گرم بر هر پایه) ۸/۶ برابر عدم تلقیح (با میانگین ۰/۱۰۹گرم بر هر پایه) است. نمودار مقایسه میانگین اثرات متقابل سه گانه تیمارهای میکوریز، زئولیت، ماده غذایی (شکل۴-۴) نشان میدهد که تیمار میکوریز- کود نیتروژن- فاقد زئولیت (با میانگین ۱/۵۷۲گرم بر هر پایه) بالاترین میانگین وزن خشک ریشه و تیمار شاهد (با میانگین ۰/۰۴۵گرم بر هر پایه) کمترین میانگین را داشته است. نتایج بیانگر تأثیر بسیار معنی دار قارچ میکوریز در افزایش وزن خشک ریشه بوده است. رجالی و همکاران (۱۳۹۰) گزارش کردند، افزایش درصد کلونیزاسیون ریشه گندم توسط میکوریز از طریق جذب بهتر آب و مواد معدنی باعث افزایش رشد گیاه و افزایش وزن خشک ریشه و اندام هوایی گیاه گردید.



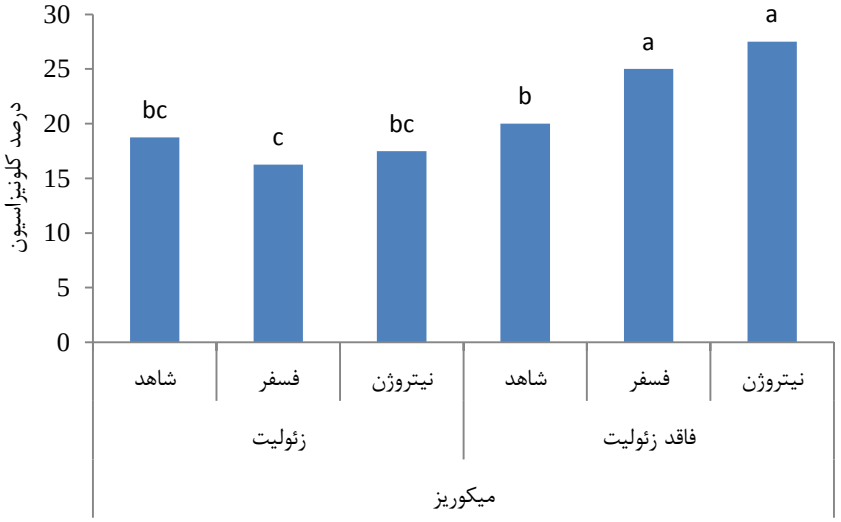
شکل ۴-۴-اثر متقابل میکوریز، زئولیت و ماده غذایی بر وزن خشک ریشه (g)

۴-۱-۴- درصد کلونیزاسیون ریشه

همانطور که انتظار می رفت استریل نمودن خاک سبب حذف میکروارگانیزم های مفید خاک شده و باعث کاهش صفات رویشی گیاه و درصد کلونیزاسیون گردید، به طوریکه در تیمارهای عدم تلقیح میکوریز، درصد کلونیزاسیون صفر بود (جدول۴-۴). تأثیر تیمار ماده غذایی و میکوریز- ماده غذایی بر درصد کلونیزاسیون ریشه در سطح پنج درصد و سایر تیمارهای مورد مطالعه در سطح یک درصد معنی دار بود (جدول ۴-۱). نمودار اثر متقابل سه گانه (شکل۴-۵) نشان داد که با مصرف کود فسفر و نیتروژن درصد کلونیزاسیون ریشه افزایش یافت، به طوری که درصد کلونیزاسیون در تیمار میکوریز - کود نیتروژن - فاقد زئولیت (۲۷/۵درصد) و تیمار میکوریز - کود فسفر- فاقد زئولیت (۲۵ درصد) به ترتیب در حدود ۳۷/۵ و ۲۵ درصد بیشتر از میکوریز- فاقد کود - فاقد زئولیت (۲۰ درصد) بود. درخاک‌های 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، لیکن در خاک‌هایی که به شدت از نظر عناصر غذایی فقیر می‌باشند کود دهی گاهاً افزایش کلونیزاسیون ریشه را در پی دارد (هایمن، ۱۹۷۵). آلوش و همکاران (۲۰۰۰) گزارش نمودند که با افزایش کود فسفر درصد کلونیزاسیون ریشه در گیاه نخود کاهش یافت و در پژوهش دیگری در گیاه یونجه مصرف ۶۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر درصد کلونیزاسیون *Glomus intraradices* را به طور معنی‌داری کاهش داد (ساغری و همکاران، ۱۳۸۸).

براساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴-۱) عامل زئولیت تأثیر معنی‌داری در سطح یک درصد بر میزان کلونیزاسیون ریشه ایجاد کرد، مقایسه میانگین‌های اثر متقابل زئولیت- میکوریز (جدول ۴-۶) نشان داد که درصد کلونیزاسیون ریشه در تیمار میکوریز- فاقد زئولیت ۲۲/۹ درصد و در تیمار میکوریز - زئولیت ۱۷/۵ درصد بود. بنابراین کاربرد زئولیت سبب کاهش میزان کلونیزاسیون میکوریزی شد. نتایج پژوهش اختر و صدیقی (۲۰۰۸) و آلوش و همکاران (۲۰۰۰) بیانگر افزایش درصد کلونیزاسیون ریشه نخود با تلقیح میکوریز بود. همچنین در نتایج تحقیقات سبنور و لکشمن

(۲۰۰۹) و ثواقبی و همکاران (۱۳۸۹)، تلقیح قارچ میکوریز اثر معنی‌داری بر درصد کلونیزاسیون گیاه کنجد و گندم داشت.



شکل ۴-۵- اثر متقابل میکوریز، زئولیت و ماده غذایی بر درصد کلونیزاسیون

۴-۲-تأثیر تیمارهای مورد مطالعه بر فسفر خاک و محلول آبشویی شده

۴-۲-۱- مقدار فسفرقابل دسترس خاک در عمق ۱۰ سانتیمتری

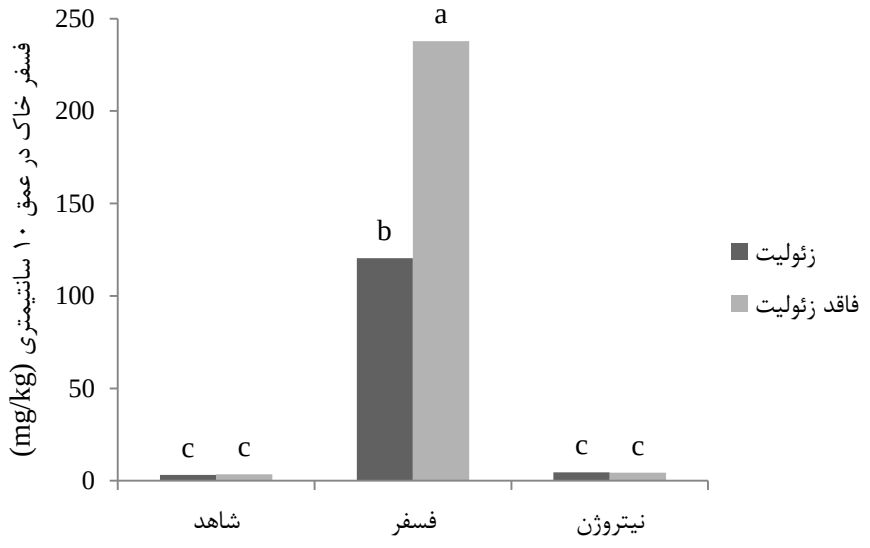
نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول۴-۲) نشان می‌دهد که اثر اصلی تیمارهای قارچ میکوریز، ماده غذایی و زئولیت بر این صفت در سطح یک درصد معنی‌دار بود. جدول مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای زئولیت- ماده غذایی و میکوریز- ماده غذایی (جدول ۴-۸) نشان می‌دهد که بین تیمارها با تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری وجود دارد. مقایسه میانگین‌های اثر متقابل میکوریز - ماده غذایی (جدول ۴-۸) نشان داد که تیمار میکوریز توأم با کود فسفر (با میانگین ۱۲۸/۹۷mg/kg) نسبت به تیمار کود فسفر - فاقد میکوریز (با میانگین۲۲۹/۱۵ mg/kg) مقدار فسفر قابل دسترس خاک را در حدود ۸۰ درصد کاهش داد. اصغری (۱۳۸۶) نیز گزارش کرد که خاک حاوی گیاهان میکوریزی

میزان کمتری فسفر قابل جذب داشت. زیرا از مهمترین عناصری که توسط میکوریز بطور فعال و در سطح وسیع جذب می شود عنصر فسفر است.

قارچ میکوریز آربوسکولار از طریق مکانیزمهای مختلف قادر به جذب فسفر بیشتری بوده که پس از جذب، آنرا در اختیار سیستم ریشه‌ای گیاه میزبان قرار می‌دهد. ریسه‌های خارجی میکوریز آربوسکولار از سطح ریشه و منطقه تهی از فسفر به مناطق دورتر گسترده شده و بنابراین حجم بسیار بیشتری از خاک را نسبت به ریشه‌های غیرمیکوریزی در اختیار سیستم ریشه‌ای قرار می‌دهند (شارما و جوهری ۲۰۰۲). این مطالعات بیان می‌کند که میکوریز می‌تواند از روشهای گوناگون به منابع فسفر خاک که برای گیاهان غیر میکوریزی غیر قابل دسترس هستند دسترسی داشته باشند (گرنت و همکاران ۲۰۰۵). بنابراین در تیمارهای میکوریزی کاهش فسفر در خاک، به دلیل جذب سریع و فراوان ریسه های میکوریز میباشد. در نتیجه این عمل، میزان فسفر بالاتری در گیاه ذخیره می گردد و از آبشویی وتثبیت آن در خاک جلوگیری می شود.

مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل زئولیت- ماده غذایی (جدول ۴-۸) و نمودار آن (شکل۴-۶) نشان داد که میزان فسفر قابل جذب خاک در تیمار کود فسفر - فاقد زئولیت (با میانگین۲۳۷/۷۴mg/kg) دو برابر فسفر خاک در تیمار زئولیت-کود فسفر (با میانگین۱۲۰/۳۸mg/kg) بود.

استفاده از زئولیت ها به عنوان بهبود دهنده حاصلخیزی خاک بدین صورت است که زئولیت ها قادرند عناصری نظیر پتاسیم، آمونیم، فسفر، آهن، مس و منگنز را جذب و به آرامی در اختیار ریشه گیاهان قرار دهند (مامپتون، ۱۹۹۹). به نظر می رسد کاهش فسفر خاک در تیمارهای حاوی زئولیت، به سبب قدرت جذب سریع و رهاکردن تدریجی آن باشد. آزاد سازی کنترل شده عناصری نظیر آمونیم و فسفر توسط زئولیتها صورت میگیرد (مامپتون، ۱۹۹۹). زئولیت به سبب دارا بودن شبکه مشبک و نیز قدرت جذب و تبادل بالا در جلوگیری از آلودگی آبهای زیر زمینی بسیار کارا بوده است (رادسر و سپاسخواه، ۱۳۸۵). با توجه به جدول تجزیه واریانس (جدول ۴-۲) تیمار میکوریز - زئولیت و تیمار میکوریز - زئولیت- ماده غذایی اثر معنی‌داری بر فسفر قابل دسترس خاک در عمق ۱۰ سانتیمتری نداشت.



شکل ۴-۶- اثر متقابل زئولیت و ماده غذایی برمقدار فسفر قابل دسترس خاک در عمق ۱۰ سانتیمتری (mg/kg)

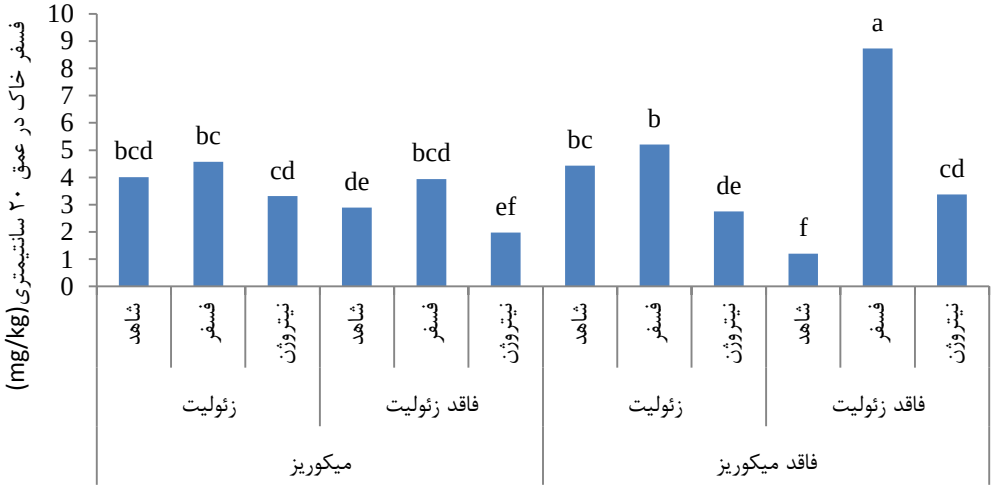
۴-۲-۲- فسفر قابل دسترس خاک در عمق ۲۰ سانتیمتری

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۴-۲) گویای آن بود که تأثیر ماده غذایی و میکوریز به تنهایی در سطح یک درصد و نیز اثر متقابل تیمارها بر فسفر قابل جذب خاک در عمق ۲۰ سانتیمتری معنی‌دارگردید ولی اثر زئولیت به تنهایی معنی دار نشد. به طور کلی نتایج نشان می دهد که با افزایش عمق، مقدار فسفر خاک به شدت کاهش می یابد. نمودار اثرات متقابل سه گانه تیمارهای مورد استفاده (شکل ۴-۷) نشان می‌دهد که بالاترین میانگین فسفر قابل جذب خاک، مربوط به تیمار کود فسفر-فاقد میکوریز- فاقد زئولیت (با میانگین ۸/۷۳۲ mg/kg) وکمترین میانگین (با میانگین۱/۱۹۷ mg/kg) به تیمار شاهد اختصاص دارد.

تیمار زئولیت- کود فسفر- فاقد میکوریز (با میانگین۵/۲۱ mg/kg) دارای میانگین فسفر قابل جذب خاک بالاتری نسبت به تیمار میکوریز-زئولیت-کود فسفر (با میانگین۴/۵۷ mg/kg) و تیمار میکوریز-کود فسفر- فاقد زئولیت (با میانگین۳/۹۴ mg/kg) بود ولی نتایج مقایسه میانگین نشان داد که با یکدیگر اختلاف معنی داری ندارند.

جدول مقایسه میانگین (۴-۷) بیانگر آن است که تیمارهـای حـاوی کـود فسـفر، فسـفر قابـل جـذب کمتری در عمق ۲۰ سانتیمتری، نسبت به فسفر قابل جذب خاک در عمق ۱۰ سانتیمتری دارند. علت این امر را می توان به تثبیت فسفر خاک در لایه های بالایی نسبت داد که این امر مـی توانـد توسـط عامل خاک، ریشه گیاهان، زئولیت یا قارچ میکوریز به وجود آمده باشد.

باربارایک و همکاران (۱۹۹۰) در آزمایش تاثیر سنگ فسفات و زئولیـت بـر سـورگوم سـودان گـراس نتیجه گرفتند که با افزایش نسبت مصـرف زئولیـت و سـنگ فسـفات در تیمارهـای آزمایشـی مقـدار برداشت فسفر توسط گیاه و فسفر قابل جذب خاک افزایش یافت.



شکل ۴-۷- اثر متقابل میکوریز- زئولیت- ماده غذایی برمقدار فسفر خاک عمق ۲۰ سانتیمتری (mg/kg)

۴-۲-۳- فسفر آبشویی شده

نتایج بدست آمده در جدول تجزیه واریانس(جدول۴-۲) گویای آنست که تیمار قارچ میکوریز، ماده غذایی، زئولیت وتیمار میکوریز- ماده غذایی اثر معنی‌داری در سطح یک درصد و تیمارهای زئولیت- ماده غذایی و میکوریز- زئولیت اثر معنی‌داری در سطح پنج درصد بر این صفت داشته‌اند.

جدول مقایسه میانگین اثر اصلی میکوریز (جدول ۴-۷) نشان داد که میزان فسفر آبشویی شده در تیمار تلقیح با میکوریز (با میانگین ۰/۰۲۶ mg/l) در حدود نیمی از فسفر آبشویی شده در تیمار عدم تلقیح (با میانگین ۰/۰۵۹ mg/l) بود. نتایج اصغری و کاواگنارو (۲۰۱۱) نیز نشان داد که میکوریز آربوسکولار بر روی رشد و تغذیه گیاه *Phalaris aquatica* و کاهش آبشویی عناصر غذایی درخاک تحت کشت این گیاه، تأثیر بسزایی داشته است، به طوریکه همزیستی قارچ میکوریز در گیاه P.aquatica، رشد گیاه و جذب عناصر غذایی را افزایش داد و در نمونه های حاوی قارچ میکوریز مقادیر کمی از نیترات و آمونیوم و فسفر قابل جذب در خاک و مایع شسته شده از خاک مشاهده شد و تأثیر مهم قارچ میکوریز در جلوگیری از کاهش عناصر غذایی از طریق آبشویی مشخص گردید.

جدول مقایسه میانگین اثر اصلی زئولیت (جدول ۴-۷) نشان داد که میزان فسفر آبشویی شده در تیمارمصرف زئولیت (۰/۰۳۶mg/l) و عدم مصرف آن (۰/۰۴۹mg/l) تفاوت قابل توجهی وجود داشت، به نحوی که فسفر آبشویی شده در تیمار عدم مصرف زئولیت حدود ۲۶/۵ درصد بیشتر بود.

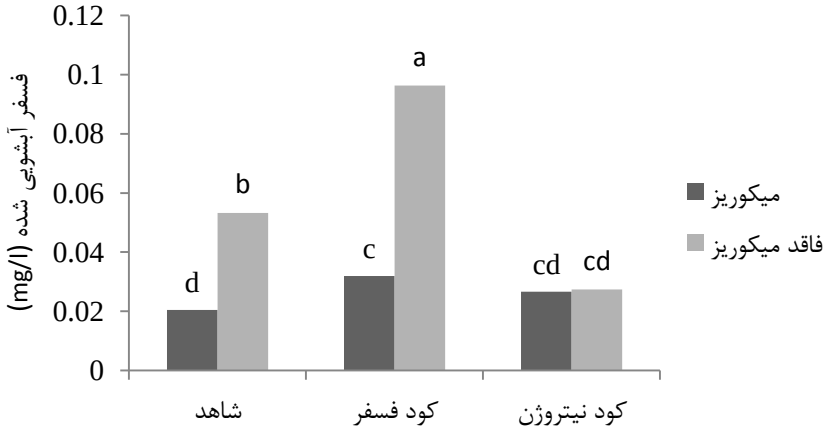
نتایج نشان داد که مصرف کود فسفر، میزان فسفر را در محلول آبشویی به طور معنی داری افزایش داد. نکته قابل توجه اینکه ستونهای آزمایشی که میکوریز در آنها تلقیح شده بود،کاهش قابل ملاحظه ای در مقدار فسفر محلول آبشویی آنها پدید آمد (شکل۴-۸). به نظر می رسد میکوریز توانسته با جذب فسفر (در ریسه ها و گیاه) مقادیر کمتری را در فرآیند آبشویی به سطوح پایین تر انتقال دهد.

همچنین می توان این مسئله را در توانایی گسترش ریسه های میکوریز در خاک و بهبود کیفیت خاک دانست. عقیده بر این است که میکوریز از طریق تولید گلومالین سبب افزایش میزان چسبندگی

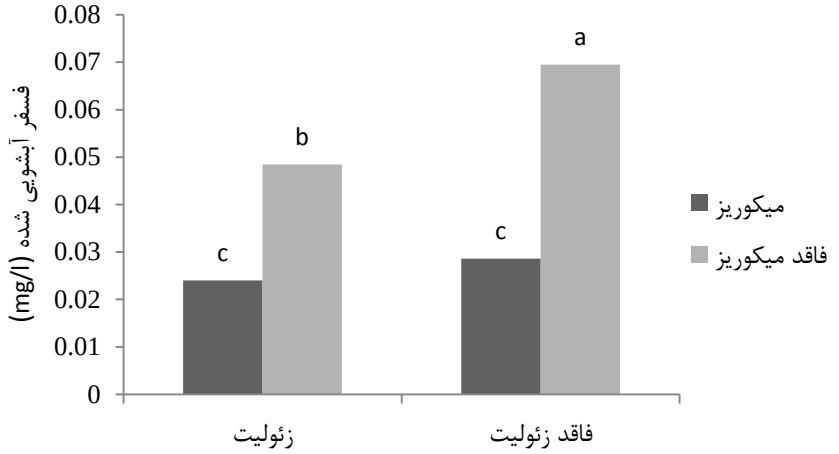
ذرات خاک و پایداری ساختمان خاک می شود (رایت و اپادهیایا ۱۹۹۸). بنابراین به نظر می رسد میکوریز از این طریق سبب نگهداری آب بیشتر ودرنتیجه ذخیره بهتر عناصر در خاک و جلوگیری از آبشویی آنها میگردد.

فسفر از جمله عناصری است که در خاکها به آبشویی مقاوم است (خاوازی و ملکوتی ۱۳۸۰) در این تحقیق نیز مقادیر بسیار کمی از آن در معرض شستشو قرار گرفت.

نتایج جدول مقایسه میانگین اثر متقابل زئولیت- میکوریز و نمودارآن (جدول ۴-۹، شکل ۴-۹) نشان می دهد که بیشترین مقدار فسفر آبشویی شده (۰/۰۶۹ mg/l) در تیمار عدم مصرف زئولیت و بدون تلقیح *Glomus intraradices* (شاهد) بدست آمد. استفاده از زئولیت باعث ماندگاری بیشتر آب می شود و کیفیت خاک را از نظر حفظ رطوبت بهبود می بخشد (عابدی کوپای و اسد کاظمی، ۲۰۰۶). می توان کاهش آبشویی فسفر خاک را در توانایی سایتهای تبادلی زئولیت در جذب عناصری مانند فسفر و نیز جذب و نگهداشت آب و جلوگیری از خروج عناصر و در نتیجه جذب تدریجی آنها توسط گیاه دانست. بنابراین زئولیتها در نتیجه نگهداری آب بیشتر، سبب ذخیره بهتر و جلوگیری از خروج این عناصر از خاک میگردند. نتایج صمدی و همکاران (۱۳۸۸) نشان داد که نانو زئولیت Y را می توان به عنوان جاذبی مناسب با کارآیی بالا، جهت حذف فسفر از منابع آب آلوده به فسفر معرفی نمود.



شکل ۴-۸- اثر متقابل میکوریز و ماده غذایی بر مقدار فسفر آبشویی شده (mg/l)



شکل ۴-۹- اثر متقابل میکوریز و زئولیت بر مقدار فسفر آبشویی شده (mg/l)

۴-۳-اثر تیمارهای مورد مطالعه بر نیترات خاک و محلول آبشویی شده

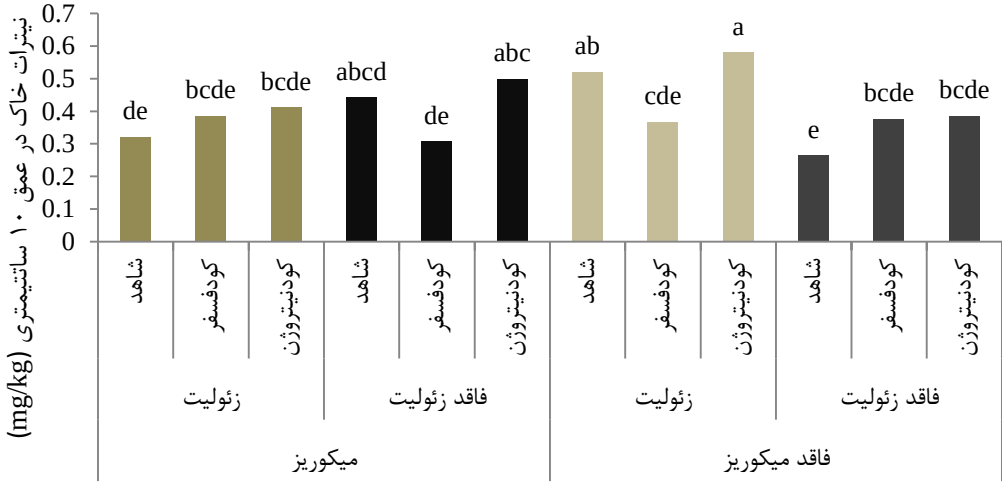
۴-۳-۱-نیترات خاک در عمق ۱۰ سانتیمتری

نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول۴-۳) نشان می‌دهد که اثر اصلی ماده غذایی بر این صفت در سطح پنج درصد و اثر متقابل زئولیت- میکوریز و اثر سه جانبه آنها در سطح یک درصد معنی‌دار شده است. نمودار اثر متقابل تیمارهای قارچ میکوریز- ماده غذایی- زئولیت (شکل ۴-۱۰) نشان می‌دهد که بین تیمارها با یکدیگر اختلاف معنی‌داری وجود دارد. بالاترین میزان نیترات خاک در تیمار زئولیت- کود نیتروژن- فاقد میکوریز (با میانگین ۰/۵۸ mg/ kg) حدود دو برابر مقدار نیترات خاک در تیمار شاهد (با میانگین ۰/۲۶ mg/ kg) بود. درنتیجه زئولیت با ظرفیت منحصر بفرد خود در جذب نیترات (یوسفی و سپاسخواه ۱۳۸۳)، توانسته است بالاترین مقدار نیترات را در عمق ۱۰ سانتیمتری حفظ نماید.

جدول مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای زئولیت-میکوریز (جدول۴-۹) نشان می‌دهد که تیمار زئولیت- فاقد میکوریز (با میانگین۰/۴۸۹mg/kg)، تلقیح میکوریز- فاقد زئولیت (با میانگین ۰/۴۱۵ mg/kg) و تیمار زئولیت- میکوریز (با میانگین۰/۳۷۲mg/kg) بترتیب سبب افزایش ۳۰، ۱۷/۵ و ۸

درصدی میزان نیترات خاک نسبت به تیمار شاهد (با میانگین۰/۳۴۲ mg/kg) شده‌اند. علاوه بر فسفر، نیتروژن نیز جزء عناصری است که تحقیقات نشان داده گیاهان میکوریزی جذب آن را بالا برده اند (مارشنر و دل، ۱۹۹۴).

هیفهای گیاهان میکوریزی این توانایی را دارند که نیتروژن خاک را جذب و به ریشه گیاهان منتقل کنند (جورج و همکاران ۱۹۹۴). به همین دلیل به نظر می رسد که جذب نیترات در خاک توسط ریسه های میکوریزی صورت گرفته است. البته دیده شده که هیفهای قارچ جذب نیتروژن ازنوع آمونیم را به نیترات ترجیح می دهند (مارشنر و دل، ۱۹۹۴).



شکل ۴-۱۰- اثر متقابل میکوریز و زئولیت و ماده غذایی برمقدارنیترات خاک در عمق ۱۰ سانتیمتری (mg/kg)

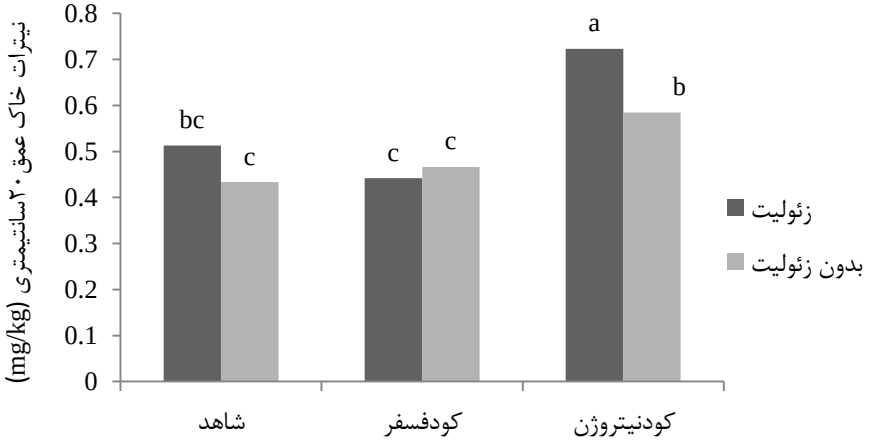
۴-۳-۲- نیترات خاک در عمق ۲۰ سانتیمتری

از نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول۴-۳) چنین استنباط می‌گردد که تیمار قارچ میکوریز و تیمار ماده غذایی درسطح یک درصد ($P\leq۰/۰۱$) و تیمار زئولیت و تیمار زئولیت- ماده غذایی در سطح پنج درصد ($P\leq۰/۰۵$) اثر معنی‌داری بر این صفت داشته است. نمودار اثر متقابل تیمارهای زئولیت- ماده غذایی (شکل ۴-۱۱) نشان می‌دهد که میزان نیترات خاک در این عمق، ۶۷ درصد در اثر تیمار زئولیت-کود نیتروژن (با میانگین ۰/۷۲۳ mg/kg) و ۳۴ درصد در اثر تیمار کود نیتروژن - فاقد زئولیت

(با میانگین ۰/۵۸۴mg/kg) نسبت به تیمار شاهد (با میانگین ۰/۴۳۳mg/kg) افـزایش داشـت و بـین سایر تیمارهایی که کود نیتروژن دریافت نکرده بودند اختلاف معنی داری نبـود. مـرادزاده و همکـاران (۱۳۸۷) نیز در خصوص نگهداشت بیشتر یون نیترات در خاک توسط زئولیت به نتایج مشابهی دست یافتند. پارک و همکاران (۲۰۰۱) در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که یکی از دلایـل کـارایی کانی های زئولیت در جذب نمک هایی مانند نیترات آمونیوم، محبوس شدن یـون هـای ایـن نـوع نمک ها در منافذ کانی می باشد.

نتایج جدول مقایسه میانگین اثر اصلی میکوریز (جدول۴-۷) گویای آن اسـت کـه میـزان نیتـرات در عمق ۲۰ سانتیمتری در تیمار عدم تلقیح میکـوریز (بـا میـانگین ۰/۵۸۹mg/kg) ۲۶ درصـد از تیمـار تلقیح با میکوریز (با میانگین ۰/۴۶۴mg/kg) بیشتر است.

قارچ میکوریز آربوسکولار می‌تواند ذرات خاک را بخاطر رشد متراکم میسلیومها به یکدیگر چسبانده و متراکم کند (میلر وجسترو۲۰۰۰، جفریز و بارآ۲۰۰۱، جنیفر و همکاران ۲۰۰۲). از این روی میکوریز ظرفیت نگهداری مقدار آب بیشتری را داشته و در نتیجه می تواند از خروج نیترات از خاک جلوگیری نماید، بنابراین به نظر میرسد میکوریز توانسته است فرصت کافی برای جذب را در اختیار گیاه قرار دهد.



شکل ۴-۱۱- اثر متقابل زئولیت و ماده غذایی برمقدارنیترات خاک در عمق ۲۰ سانتیمتری (mg/kg)

۴-۳-۳-نیترات آبشویی شده

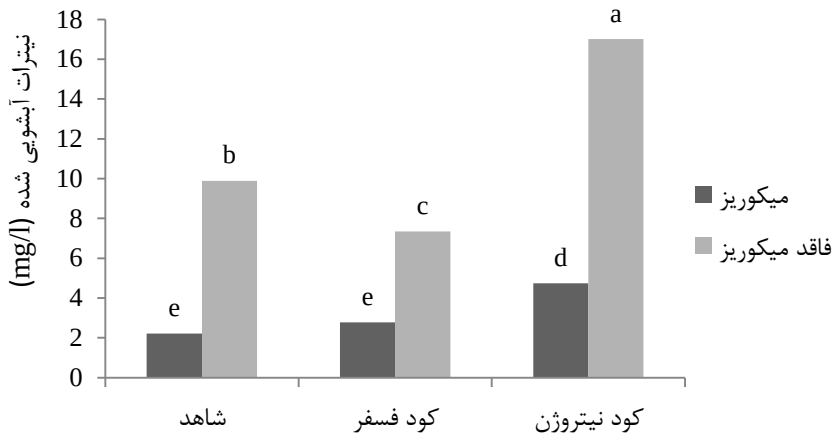
از نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول۴-۳) چنین استنباط می‌شود که تیمار میکوریز، ماده غذایی، تیمار میکوریز- ماده غذایی، میکوریز- زئولیت اثر معنی‌داری در سطح یک درصد و تیمار زئولیت اثر معنی داری درسطح پنج درصد بر این صفت داشتند ولی تأثیر تیمار زئولیت- ماده غذایی و تیمار میکوریز - زئولیت- ماده غذایی بر نیترات آبشویی شده معنی دار نبود.

جدول مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای میکوریز- ماده غذایی (جدول۴-۸) و نمودار آنها (شکل۴-۱۲) نشان می‌دهد که بین تیمارها با تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری وجود دارد. با توجه به نتایج، تیمار کود نیتروژن - فاقد میکوریز (با میانگین ۱۷/۰۰۵ mg/l) بالاترین میزان نیترات و تیمار میکوریز - فاقد کود (با میانگین ۲/۲۱۷ mg/l) کمترین مقدار را در محلول آبشویی شده داشته است. تیمار کود نیتروژن- فاقد میکوریز (با میانگین ۱۷/۰۰۵ mg/l) ۱/۸ برابر نیترات آبشویی شده را نسبت به شاهد (با میانگین ۹/۸۸۸ mg/l) می باشد.

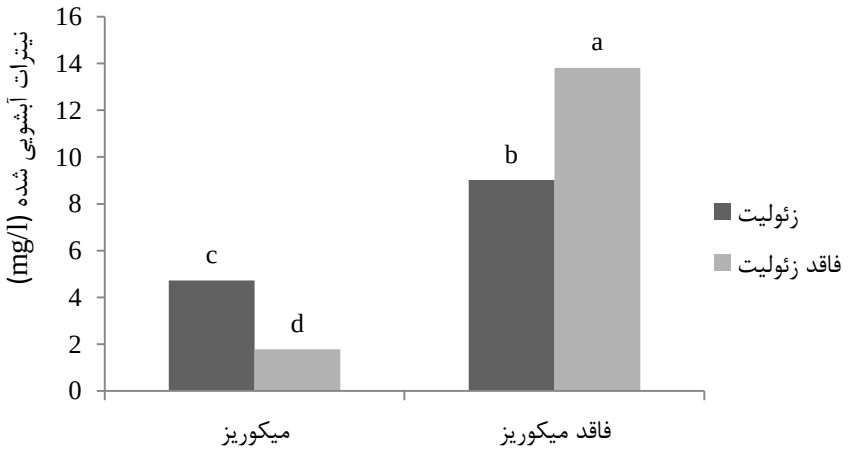
تیمار میکوریز-کود نیتروژن، تیمار میکوریز-کود فسفر، تیمارکود فسفر- فاقد میکوریز و تیمار میکوریز- فاقد کود (بترتیب با میانگین ۴/۷۴۷، ۲/۷۸۲، ۷/۳۵ و۲/۲۱۷ mg/l) میزان نیترات آبشویی شده را نسبت به شاهد کاهش داد.

مقایسه میانگین‌های اثر متقابل میکوریز- زئولیت (جدول۴-۹) و نمودار آن (شکل ۴-۱۳) نشان داد که میزان نیترات آبشویی شده در تیمار شاهد (تیمار عدم مصرف زئولیت و بدون تلقیح *Glomus intraradices* با میانگین ۱۳/۸۱۱ mg/l) ۱۳برابر مقدار آن در تیمار میکوریز- فاقد زئولیت (۱/۷۸ mg/l) و ۱/۴ برابر تیمار زئولیت- فاقد میکوریز (با میانگین ۹/۰۱۸ mg/l) و ۲/۹ برابر زئولیت- میکوریز (با میانگین ۴/۷۱۷ mg/l) است. کمترین مقدار میانگین نیترات آبشویی شده، مربوط به تیمار میکوریز بود. جدول مقایسه میانگین اثر اصلی زئولیت (جدول۴-۷) نشان داد که میزان نیترات آبشویی شده را تیمار زئولیت (با میانگین ۶/۸۶۷ mg/l) ۱۳درصد نسبت به تیمار عدم کاربرد زئولیت (با میانگین ۷/۷۹۶ mg/l) کاهش داد. زئولیت سرعت مرطوب شدن دوباره و بهبود گسترش جانبی

آب به ناحیه ریشه در طول آبیاری را افزایش میدهد، که این امر منجر به ذخیره مقدار آب مورد نیاز برای آبیاری میشود و از طرفی می تواند مقدار نیترات بیشتری را در خاک ذخیره کند. عباسی و همکاران (۱۳۸۶) درطی تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که با افزایش میزان زئولیت میتوان تا حد مطلوبی از هدر رفت یونهای نیترات و آمونیوم از خاک به صورت زه آب جلوگیری کرد و از نتایج طرح ایشان، کاهش میزان آبشویی آمونیوم و نیترات با افزایش زئولیت بود.



شکل ۴-۱۲- اثر متقابل میکوریز و ماده غذایی برمقدارنیترات آبشویی شده (mg/l)



شکل ۴-۱۳- اثر متقابل میکوریز و زئولیت برمقدارنیترات آبشویی شده (mg/l)

ب – خاک غیر استریل

۴-۴- اثر تیمارهای مورد مطالعه بر خصوصیات رویشی شبدر برسیم

۴-۴-۱- ارتفاع گیاه

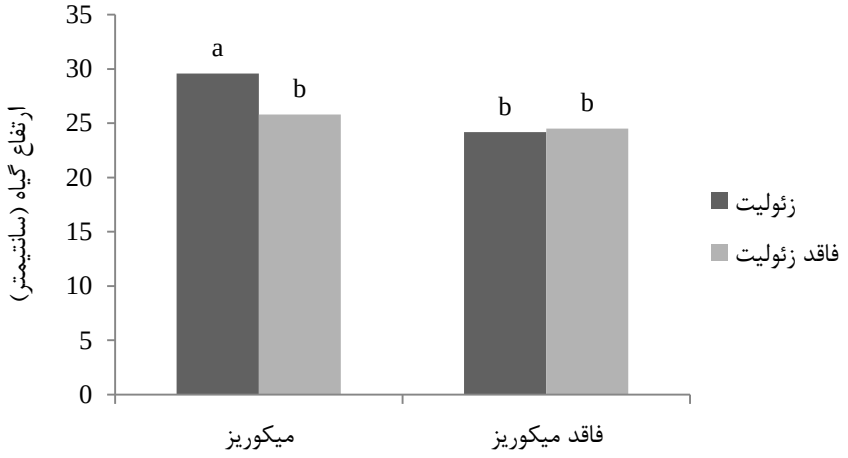
بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول۴-۱۰) ارتفاع گیاه در تیمارهای میکوریز، ماده غذایی در سطح یک درصد و زئولیت- میکوریز در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌داری را نشان داد. اما اثر سایر تیمارها بر ارتفاع گیاه معنی‌دار نشد.

مقایسه میانگین اثر اصلی ماده غذایی (جدول۴-۱۳) نشان داد که ارتفاع گیاه با مصرف کود فسفر(با میانگین ۲۷/۵۹ سانتی‌متر) حدود ۱۶ درصد و با مصرف کود نیتروژن (با میانگین ۲۶/۷۱ سانتی‌متر) ۱۲/۶درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد (با میانگین ۲۳/۷۱ سانتیمتر) را نشان داد. جدول مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای زئولیت- میکوریز (جدول ۴-۱۵) و نمودار آن (شکل ۴-۱۴)، نشان می‌دهد که بین مقدار میانگین ارتفاع گیاه در تیمارهای زئولیت-فاقد میکوریز، تیمار تلقیح میکوریز-فاقد زئولیت و تیمار شاهد (بترتیب با میانگین ۲۴/۱۶، ۲۵/۷۹ و ۲۴/۵ سانتیمتر) تفاوت معنی‌داری وجود ندارد، اما تفاوت میانگین این تیمارها با تیمار میکوریز-زئولیت (با میانگین۲۹/۵۸۳ سانتیمتر) معنی‌دار است، به طوریکه افزایش ۱۷ درصدی تیمار میکوریز -زئولیت نسبت به تیمار شاهد مشاهده می شود. در نتیجه کاربرد توأم میکوریز و زئولیت موجب این افزایش ارتفاع شده است ولی زئولیت به تنهایی تأثیری بر ارتفاع گیاه نداشته است.

غلامحسینی و همکاران (۱۳۸۷) به این نتیجه رسیدند که استفاده از کود نیتروژن (۲۷۰ کیلوگرم در هکتار) با زئولیت (۹ تن در هکتار) می تواند بیشترین افزایش را در صفات کمی و کیفی کلزا ایجاد کند.

خواست خدایی و همکاران (۱۳۸۹) نتایج تحقیقات خود را این گونه بیان نمودند که بیشترین ارتفاع گیاه مربوط به مصرف میکوریز می باشد، بطوریکه بین تیمار مصرف میکوریز وعدم مصرف تفاوت

معنی داری دیده می شود. اگرچه با افزایش کود ارتفاع گیاه افـزایش پیـدا مـی کنـد، امـا در تیمـار مصرف کود شیمیایی به میزان کم و تلقیح با میکوریز در مقایسه بـا مصـرف کـود شـیمیایی زیـاد و تلقیح با میکوریز تفاوت معنی داری مشاهده نکردند و هردو در یک کلاس آماری قرار گرفتند. نتـایج تحقیقات آنان نشان داد که با مصرف کود به میزان بالا، عملا میکوریز کمتر اثر داشته و نقش کمـی درافزایش ارتفاع گیاه دارد و در مصرف کود به میزان کم میکوریز بـر ارتفـاع گیـاه مـؤثر مـی باشـد. مهرورز و همکاران (۲۰۰۸) در نتایج تحقیق خود بیان کردند که تلقیح میکـوریزی اثـری بـر افـزایش طول گیاه جو یکساله نداشته است. آنان ابراز کرده اند که احتمالا فسفر نقش مهمی در افزایش طـول گیاه ندارد.



شکل ۴-۱۴- اثر متقابل میکوریز و زئولیت برارتفاع (cm)

۴-۴-۲-وزن خشک اندام هوایی

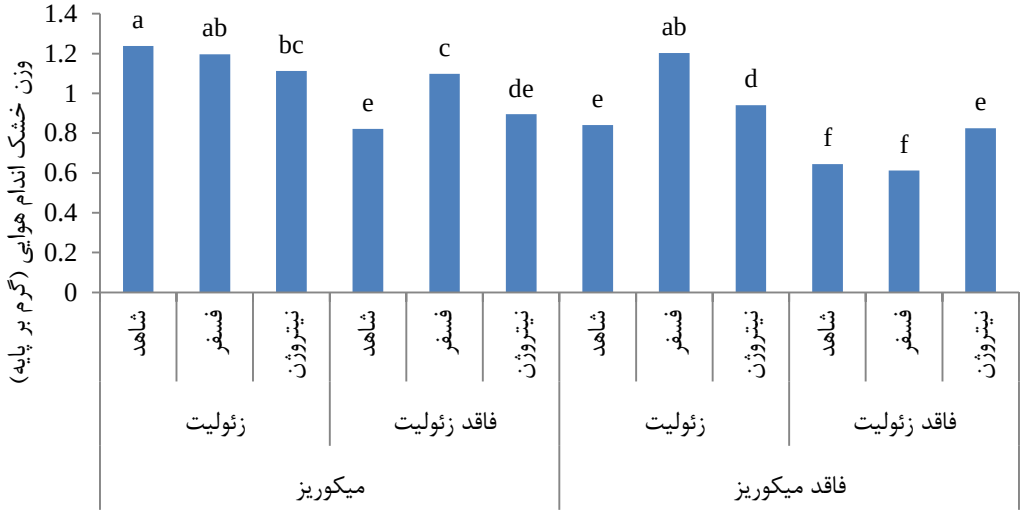
نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۴-۱۰) نشان می‌دهند که تیمار قارچ میکوریز و زئولیت در سطح یک درصد و تیمار میکوریز-زئولیت- ماده غذایی در سطح پنج درصد اثـر معنـی‌داری بـر ایـن صـفت داشتند وکاربرد تؤام زئولیت و میکوریز، تأثیرمعنی داری بر وزن خشک اندام هوایی گیاه نداشت.

نمودار اثرات متقابل سه گانه تیمارهای مورد استفاده (شکل۴-۱۵) نشان می‌دهد که بالاترین میانگین وزن خشک اندام هوایی، مربوط به تیمارهای میکوریز -زئولیت - فاقد کود و زئولیت- کود فسفر - فاقد میکوریز (به ترتیب با میانگین ۱/۲۳۸ و۱/۲۰۲ گرم بر هر پایه) و کمترین میانگین ها (با میانگین ۰/۶۱۲ و ۰/۶۴۵ گرم بر هر پایه) به ترتیب به تیمار کود فسفر - فاقد زئولیت - فاقد میکوریز و تیمار شاهد اختصاص دارد. در مقدار وزن خشک اندام هوایی تیمار میکوریز- فاقد زئولیت - فاقد کود (با میانگین تولید ۰/۸۲۱گرم در هر پایه) اختلاف معنی داری با تیمار کود فسفر - فاقد زئولیت - فاقد میکوریز (با میانگین تولید ۰/۶۱۲گرم در هر پایه) مشاهده می شود.

در واقع نتایج حاصل از این تحقیق حاکی از آن است که استفاده از کود زیستی میکوریز ضمن آنکه باعث کاهش مصرف کود شیمیایی فسفر می‌گردد، از سوی دیگر موجب افزایش عملکرد نیز می‌شود. به نحوی که عملکرد محصول در تیمار تلقیح با میکوریز (بدون کود) نسبت به تیمار مصرف کود فسفر بارز می باشد.

شکل (۴-۱۵) گویای آن است که تیمار میکوریز - کود فسفر - فاقد زئولیت (با میانگین ۱/۰۹۸ گرم بر هر پایه) نسبت به تیمار میکوریز- فاقد زئولیت - فاقد کود (با میانگین ۰/۸۲۱ گرم بر هر پایه) مقدار وزن خشک اندام هوایی را ۲۵/۲ درصد افزایش داد و تیمار میکوریز - زئولیت- کود فسفر(با میانگین تولید ۱/۱۹۷گرم در هر پایه) و تیمار زئولیت -کود فسفر - فاقد میکوریز (با میانگین تولید ۱/۲۰۲گرم در هر پایه) به ترتیب ۱/۸ و ۲ برابر افزایش را نسبت به تیمار کود فسفر- فاقد میکوریز - فاقد زئولیت (با میانگین تولید ۰/۶۱۲گرم در هر پایه) نشان می دهد.

بنابراین با تلفیق کودهای نیتروژن و فسفر با کود بیولوژیک و زئولیت، عملکرد محصول نسبت به استفاده از کودهای شیمیایی بالاتر است که این نتایج در کاهش مصرف کودها ،کاهش هزینه تولید و افزایش سود خالص کاربرد دارد.

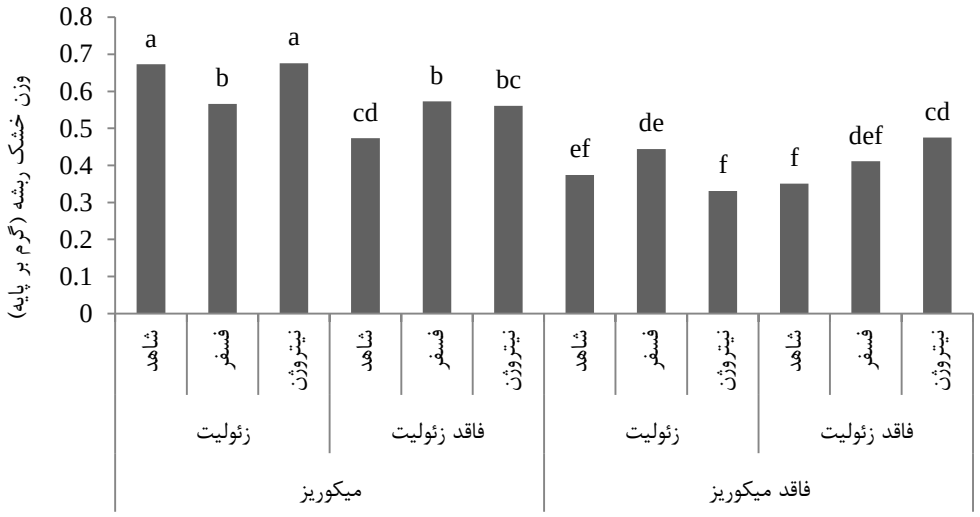


شکل ۴-۱۵- اثر متقابل میکوریز و زئولیت و ماده غذایی بر وزن خشک اندام هوایی گیاه (گرم بر پایه)

۴-۴-۳-وزن خشک ریشه

نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۴-۱۰) نشان میدهد که اثر تیمار میکوریز، میکوریز - زئولیت، میکوریز -زئولیت- ماده غذایی بر این صفت در سطح یک درصد معنی دار و اثر زئولیت- ماده غذایی در سطح پنج درصد معنی‌دار شد.

نمودار مقایسه میانگین اثر متقابل سه گانه تیمارهای میکوریز، زئولیت، ماده غذایی (شکل ۴-۱۶) نشان میدهد که تیمار میکوریز-زئولیت-کود نیتروژن با (میانگین ۰/۶۷۶گرم بر هر پایه) بالاترین میانگین وزن خشک ریشه و تیمار شاهد و تیمار زئولیت-کود نیتروژن- فاقد میکوریز به ترتیب (با میانگین ۰/۳۵۱گرم و۰/۳۳۱ گرم بر هر پایه) کمترین میانگین ها را داشته اند. بنابراین کاربرد توأم میکوریز و زئولیت بالاترین میانگین وزن خشک ریشه را به خود اختصاص داد.



شکل ۴-۱۶- اثر متقابل میکوریز و زئولیت و ماده غذایی بر وزن خشک ریشه گیاه (گرم بر پایه)

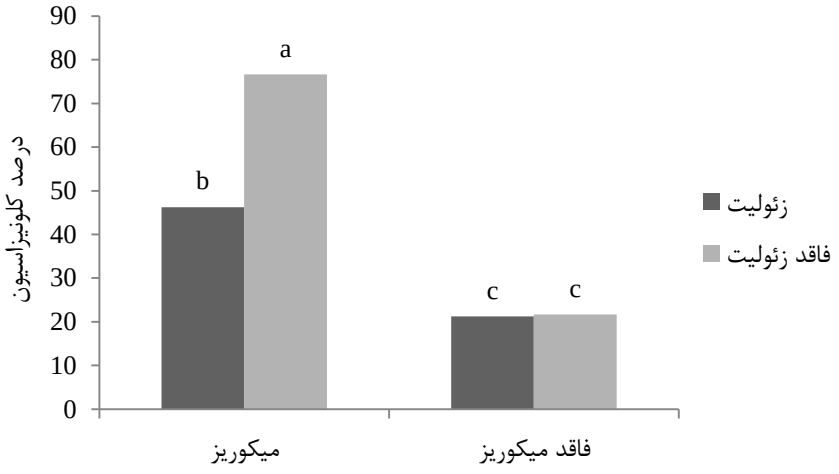
۴-۴-۴-درصد کلونیزاسیون

نتایج منعکس شده در جدول تجزیه واریانس (جدول ۴-۱۰) نشان میدهد که اثر تیمارهای میکوریز، زئولیت و میکوریز - زئولیت بر این صفت در سطح یک درصد و اثر تیمار زئولیت- ماده غذایی در سطح پنج درصد معنی دار بود. جدول مقایسه میانگین اثر اصلی میکوریز (جدول ۴-۱۳) نیز نشان می‌دهد که درصد کلونیزاسیون در تیمار تلقیح با قارچ میکوریز (با میانگین ۶۱/۴۵ درصد)، ۲/۸ برابر تیمار عدم تلقیح (با میانگین ۲۱/۴۵درصد) است.

لازم به ذکر است که در تیمار عدم تلقیح مقادیر مشاهده شده، مربوط به جمعیت میکوریزی خاک غیر استریل می باشد که قبلا در خاک حضور داشته اند.

مقایسه میانگین اثر متقابل میکوریز - زئولیت (جدول ۴-۱۵) و نمودار مربوط به آن (شکل ۴-۱۷) نشان داد که بین درصد کلونیزاسیون تیمار میکوریز- فاقد زئولیت (۷۶/۶۶درصد) و تیمار میکوریز و زئولیت (۴۶/۲۵ درصد) تفاوت معنی‌داری وجود داشت، به طوری که درصد کلونیزاسیون ریشه با تلقیح *Glomus intraradices* و عدم مصرف زئولیت در حدود ۳/۶ برابر وکاربرد توأم میکوریز و زئولیت ۱/۴ برابر افزایش را نسبت به شاهد (۲۱/۶۶ درصد) نشان داد. کاربرد زئولیت در خاک غیر

استریل نیز سبب کاهش میزان کلونیزاسیون میکوریزی شد. جدول تجزیه واریانس (۴-۱۰) گویای آن است که اثر اصلی تیمار ماده غذایی بر میزان کلونیزاسیون معنی دار نبود. در حالیکه امیرآبادی و همکاران (۱۳۸۸) گزارش کردند افزایش سطوح مختلف فسفر (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) به نحو معنی‌داری سبب کاهش درصد کلونیزاسیون ریشه شد و اثر متقابل قارچ میکوریز و فسفر از نظر تأثیر بر درصد کلونیزاسیون ریشه، عملکرد ماده خشک و غلظت فسفر اختلاف معنی‌داری را نشان داد. در اثر کاربرد قارچ میکوریز به همراه فسفر (تا سطح سوم کاربرد فسفر)، عملکرد ماده خشک و غلظت فسفر در اندام‌های هوایی افزایش یافت ولی درصد کلونیزاسیون ریشه یک روند کاهشی داشته است.



شکل ۴-۱۷- اثر متقابل میکوریز و زئولیت بر درصد کلونیزاسیون ریشه

۴-۵- تأثیر تیمارهای مورد مطالعه بر فسفر خاک، محلول آبشویی شده و گیاه

۴-۵-۱- فسفر قابل دسترس خاک در عمق ۱۰ سانتیمتری

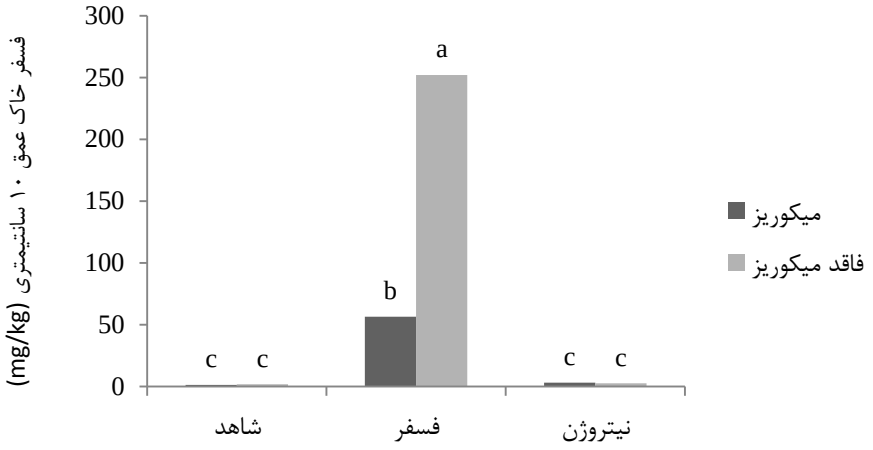
نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۴-۱۱) گویای آن بود که تأثیر تیمارهای زئولیت، ماده غذایی و میکوریز به تنهایی و نیز اثر متقابل تیمارهای میکوریز- ماده غذایی، زئولیت- ماده غذایی بر فسفر قابل

جذب خاک در سطح یک درصد معنی‌دار گردید ولی اثر سه گانه تیمارها و اثر متقابل تیمارهای زئولیت – میکوریز معنی دار نشد.

نمودار مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای میکوریز-ماده غذایی (شکل ۴-۱۸) نشان می‌دهد که بالاترین میانگین فسفر قابل دسترس خاک، مربوط به تیمار کود فسفر- فاقد میکوریز (با میانگین ۲۵۲/۰۴۲ mg/kg) و کمترین میانگین ها به تیمار شاهد و میکوریز - فاقد کود (بترتیب با میانگین ۱/۷۹۵ mg/kg و ۱/۳۳۸ mg/kg) اختصاص دارد. ریسه های میکوریز می تواند مقادیر بیشتری از فسفر جذب شده را نسبت به ریشه های گیاه در خود ذخیره کند، بنابراین ادامه حرکت فسفر را به داخل گیاه امکان پذیر می کند (بولان، ۱۹۹۱). به نظر می رسد به همین دلیل در تیمارهای میکوریزی، مقدار فسفر قابل دسترس خاک کاهش یافته است.

اصغری و همکاران (۲۰۰۵) نیز در نتایج خود بیان نمودند که مقدار فسفر قابل دسترس خاک در تیمارهای فاقد میکوریز و حاوی کود فسفر بیشتر از تیمارهای میکوریزی که کود فسفر دریافت کردند می باشد. آنها هم چنین کاهش فسفر قابل دسترس خاک را به افزایش جذب گیاهی در نتیجه همزیستی میکوریزی نسبت دادند.

مقایسه میانگین اثرات متقابل زئولیت- ماده غذایی (جدول ۴-۱۷) نشان می‌دهد که بالاترین مقدار میانگین فسفر قابل دسترس خاک مربوط به تیمار کود فسفر - فاقد زئولیت (با میانگین ۱۷۰/۷۷۴mg/kg) وکمترین میانگین به تیمار زئولیت - فاقد کود (با میانگین ۱/۵۴۹ mg/kg) اختصاص دارد. تیمار زئولیت- کود فسفر (با میانگین۱۳۷/۸۱۶mg/kg) سبب کاهش ۲۴ درصدی این صفت نسبت به تیمار کود فسفر - فاقد زئولیت گردید. علت کاهش فسفر قابل دسترس خاک در تیمارهای حاوی زئولیت را می توان در تمایل زئولیت برای جذب و نگهداری و آزاد سازی کنترل شده عنصر فسفر توسط آن دانست (مامپتون، ۱۹۹۹)، از طرفی رها کردن تدریجی عناصر از سایتهای تبادلی زئولیت، فرصت لازم برای جذب را در اختیار گیاه قرار می دهد. تیمارهایی که کود فسفر دریافت ننمودند، با یکدیگر اختلاف معنی داری نداشتند.

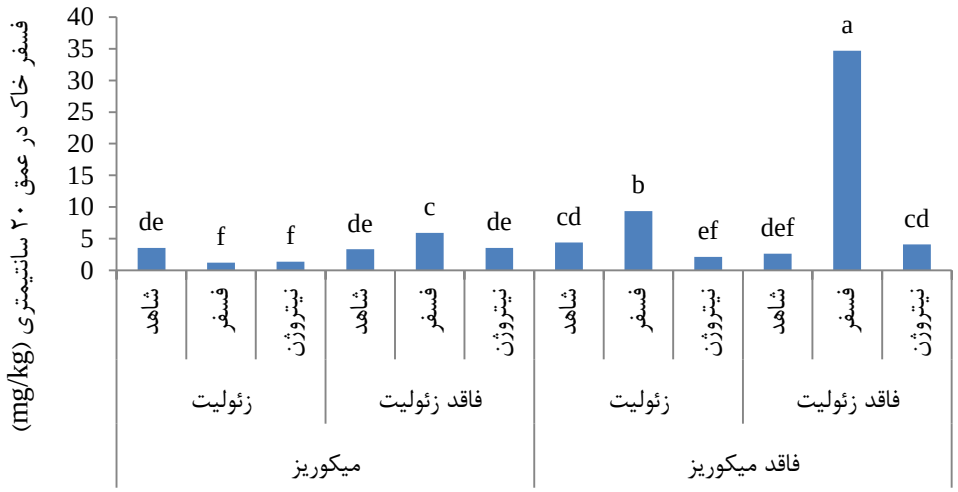


شکل ۴-۱۸- اثر متقابل میکوریز و ماده غذایی بر فسفر خاک در عمق ۱۰ سانتیمتری (mg/kg)

۴-۵-۲-فسفر قابل دسترس خاک در عمق ۲۰ سانتیمتری

نتایج منعکس شده در جدول تجزیه واریانس (جدول ۴-۱۱) نشان دهنده آنست که تیمارها اثر معنی داری در سطح یک درصد (P≤۰/۰۱) بر این صفت داشته‌اند. نمودار مقایسه میانگین (شکل ۴-۱۹) نشان میدهد که بین تیمار کود فسفر- فاقد میکوریز- فاقد زئولیت و بقیه تیمارها اختلاف معنی داری وجود دارد. بالاترین میانگین فسفر خاک در عمق ۲۰ سانتیمتری، مربوط به تیمار کود فسفر - فاقد میکوریز- فاقد زئولیت (با میانگین ۳۴/۶۸۳ mg/kg) و کمترین میانگین به تیمار میکوریز - زئولیت - کود فسفر (بترتیب با میانگین۱/۱۹۷mg/kg) اختصاص دارد. جدول مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای زئولیت - ماده غذایی (جدول۴-۱۷) نشان می دهد که بالاترین میانگین فسفر خاک به تیمار کود فسفر- فاقد زئولیت (با میانگین ۲۰/۲۹ mg/kg) اختصاص دارد که نسبت به تیمار شاهد (با میانگین ۲/۹۵ mg/kg) ۷ برابر افزایش را نشان می دهد. این جدول (جدول۴-۱۷) نتایجی از کاهش فسفر خاک را در تیمارهای حاوی میکوریز نشان می دهد. افزایش جذب فسفر به وسیله میکوریز به دلیل افزایش فسفر قابل دسترس در خاک می‌باشد (بولان، ۱۹۹۱). میکوریز 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)، هیف‌های قارچ به دلیل قطر کم آنها نسبت به تارهای کشنده در منافذ ریزتری از خاک نفوذ می‌کنند (جکوبسن و همکاران، ۲۰۰۵). بنابراین جذب بیشتر فسفر در گیاهان میکوریزی به دلیل گسترش هیف‌ها (شنف و همکاران، ۲۰۰۸) و توانایی رقابت آنها برای جذب فسفر (تیبت و سندرس، ۲۰۰۲؛ کاواگنارو و همکاران، ۲۰۰۵) می‌باشد. نتایج نشان می دهد که استفاده از زئولیت نیز تا حدودی باعث کاهش فسفر خاک شده است. زئولیت ها مواد متخلخلی هستند که با ساختمان کریستالی خود مانند غربال مولکولی عمل کرده و به دلیل داشتن کانال های باز در شبکه خود، اجازه عبور بعضی از یون ها را داده و مسیر عبور بعضی از یون های دیگر را مسدود می کنند (مامپتون ۱۹۹۹). متعادل کردن پتاس، ازت، فسفر خاک و لذا افزایش حاصلخیزی خاک از خصوصیات منحصر به فرد زئولیتهاست. همچنین جذب و نگهداری کود و مواد غذایی مازاد در خاک و در نتیجه حذف اثرات نامطلوب آنها از فواید مصرف زئولیتهاست.



شکل ۴-۱۹- اثر متقابل میکوریز و زئولیت و ماده غذایی بر فسفر خاک در عمق ۲۰ سانتیمتری (mg/kg)

۴-۵-۳-فسفر آبشویی شده

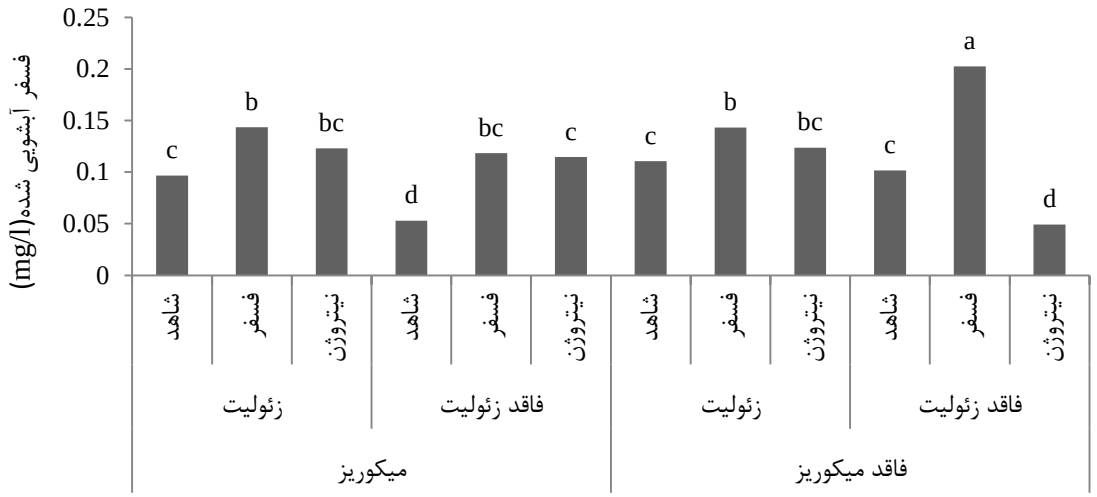
نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۴-۱۱) گویای آنست که اثر تیمارهـای زئولیـت، مـاده غـذایی، زئولیت- ماده غذایی، میکوریز- ماده غذایی، میکوریز- زئولیت - ماده غذایی در سطح یک درصد و اثر اصلی میکوریز در سطح پنج درصد معنی دار گردید و اثر متقابـل میکـوریز - زئولیـت بـر ایـن صـفت معنی‌دار نشد. مقایسه میانگین‌های اثر اصلی میکوریز (جدول ۴-۱۶) نشـان داد کـه در میـزان فسـفر آبشویی شده، بین تیمارهای تلقیح با میکوریز (با میانگین ۰/۱۰۸ mg/l) و عدم تلقیح آن (با میـانگین ۰/۱۲۱ mg/l) تفاوت قابل توجهی وجود داشت، به نحوی که فسفر آبشویی شده در تیمار عدم تلقـیح میکوریز حدود ۲۰ درصد بیشتر بود.

جدول مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمار میکوریز - ماده غذایی (جدول۴-۱۷) بیـانگر تفـاوت قابـل ملاحظه‌ای بین میانگین مصرف کود فسفر، کود نیتروژن و شاهد است. بـه نحـوی کـه میـزان فسـفر آبشویی شده در کود فسفر- فاقد میکوریز (با میانگین ۰/۱۷۲ mg/l) در حدود ۷۰ درصد از شاهد (بـا میانگین ۰/۱۰۶ mg/l) بیشتر بود. هم چنین فسفر آبشویی شده در تیمـار میکـوریز -کـود فسـفر (بـا میانگین ۰/۱۳۰ mg/l) ۸۵ درصد نسبت به تیمـار میکـوریز- فاقـد کـود (بـا میـانگین ۰/۰۷۴ mg/l) افزایش داشت. بالاترین میزان آبشویی به تیمار کود فسفر و پایین ترین مقدار آن بـه تیمـار میکـوریز اختصاص یافت. این نتایج ظرفیت میکوریز را در جهت جلوگیری ازآبشویی فسفر بیان می کند.

نمودار مقایسه میانگین اثرات سه گانه تیمارها (شکل ۴-۲۰) نشان میدهد که بین تیمار کود فسفر و بقیه تیمارها اختلاف معنی داری وجود دارد. بالاترین میزان فسفر آبشویی شده در تیمار کود فسـفر - فاقد میکوریز - فاقد زئولیت (با میانگین ۰/۲۰۲ mg/l) بود که ۲ برابر مقدار میانگین این صفت نسبت به تیمار شاهد (با میانگین ۰/۱۰۱ mg/l) بود. هم چنین تیمار کود فسفر - فاقد میکوریز- فاقد زئولیت (با میانگین ۰/۲۰۲ mg/l) در حدود ۱/۷ برابر فسفر آبشویی شده در تیمار میکوریز -کود فسفر - فاقد زئولیت (با میانگین ۰/۱۱۸ mg/l) و ۱/۴ برابر تیمار زئولیت- کود فسفر - فاقد میکوریز (بـا میـانگین ۰/۱۴۳ mg/l) بود. در واقع استفاده از زئولیت وکود زیستی میکوریز ضمن آنکه باعث کـاهش مصـرف

کودهای شیمیایی می‌گردد، از سوی دیگر موجب کاهش آبشویی و جلوگیری از خروج کود شـیمیایی فسفر از خاک نیز می‌شود.

لیاقت و رحیمیان (۱۳۸۱) به این نتیجه رسیدند که در کرتهای فاقد زئولیـت مقـدار زیـادی کـود، شسته شده و از دسترس گیاه خارج میگردد. یک نشانه برای این مطلـب آلـودگی شـدید رودخانـه سفیدرود در اثر زه آب شالیزارهای اطراف آن است این آب همواره بخشی از کـود مصـرف شـده در زمینهای اطراف را بهمراه دارد. آنان دریافتند که در نتیجه افزودن زئولیت در خاک می توان ضـمن افزایش عملکرد محصول باعث صرفه جویی در کود حتی تا چهل درصد و نیز کاهش آلودگی آبهـا و محیط زیست گردید.



شکل ۴-۲۰- اثر متقابل میکوریز و زئولیت و ماده غذایی بر فسفر آبشویی شده (mg/l)

۴-۵-۴-فسفر گیاه

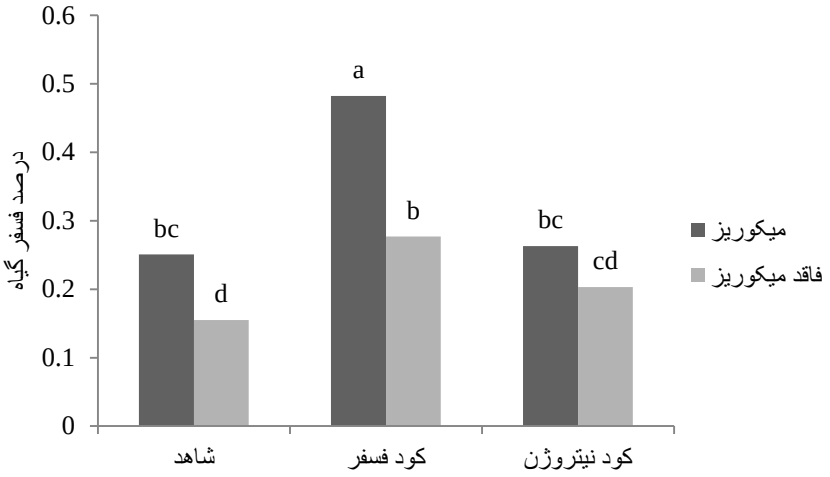
جدول تجزیه واریانس نتایج آزمایش (جدول۴-۱۱) نشان میدهد که تیمارهای زئولیت، تلقیح با قارچ میکوریز و تیمار ماده غذایی، میکوریز -زئولیت اثر معنی داری در سطح یک درصد و تیمار میکوریز – ماده غذایی اثر معنی داری در سطح پنج درصد بر این صفت داشتند. اما اثر تیمارهای متقابل زئولیت- ماده غذایی و اثر سه گانه تیمارها معنی دار نشد. مقایسه نتایج در جدول مقایسه میانگین میکوریز- ماده غذایی (جدول ۴-۱۷) و نمودار آن (شکل۴-۲۱)، بیانگر اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای تلقیح با قارچ میکوریز و تیمار شاهد است که نشان از افزایش ۱/۶ برابری فسفر گیاه در تیمار میکوریز- فاقد کود (با میانگین ۰/۲۵۱ درصد) و۳/۱ برابری آن در تیمار میکوریز -کود فسفر (با میانگین ۰/۴۸۲ درصد) و ۲/۵ برابری آن در تیمار میکوریز -کود نیتروژن (با میانگین ۰/۲۶۳ درصد) نسبت به تیمار شاهد (با میانگین ۰/۱۵۵ درصد) است. کلونیزاسیون ریشه گیاهان بوسیله قارچ میکوریز آربوسکولار جذب فسفر و نیتروژن را توسط گیاهان افزایش می‌دهد (احمدخان و همکاران ۲۰۰۷، ارتاس وآکپینار ۲۰۰۶). در گیاه گندم تلقیح میکوریز باعث شد که جذب فسفر به طور معنی‌داری افزایش پیدا کند (فارودی، ۲۰۱۰).

مقایسه میانگین‌های زئولیت- میکوریز (جدول ۴-۱۸) و نمودار آن (شکل۴-۲۲) نشان داد که بین تیمار میکوریز – عدم کاربرد زئولیت (۰/۳۳۸ درصد) و تیمار زئولیت -عدم تلقیح میکوریز (۰/۲۷۳ درصد) و تیمار میکوریز -زئولیت (۰/۳۲۷ درصد) تفاوت معنی‌داری با شاهد (۰/۱۵۱ درصد) وجود داشت. تیمار تلقیح *Glomus intraradices* و عدم مصرف زئولیت بیشترین تاثیر را در افزایش فسفر گیاه داشته و آنرا ۲/۲ برابر نسبت به تیمار شاهد اضافه نمود. تیمار میکوریز توأم با زئولیت و تیمار زئولیت- فاقد میکوریز به ترتیب باعث افزایش ۲/۱ و ۱/۸ برابری این صفت شدند.

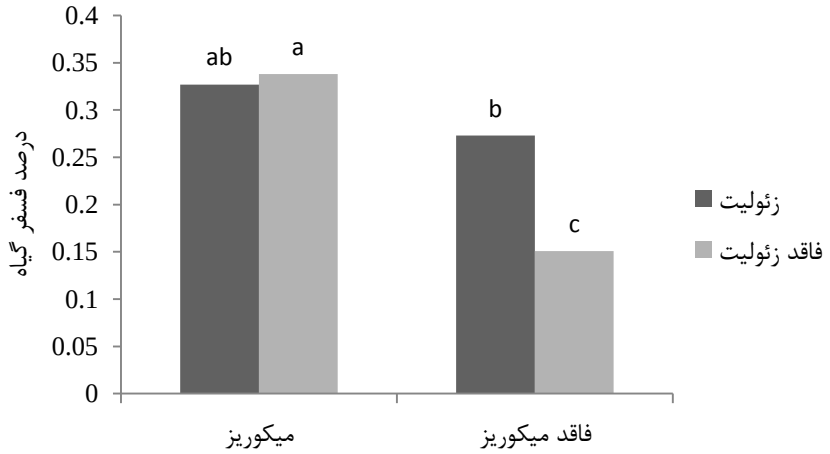
رئیسی و قول لرعطا (۲۰۰۶) اثر تلقیح میکوریزای *Glomus intraradices* را بر جذب فسفر در گیاه شبدر برسیم بررسی کردند و آنها به این نتیجه رسیدند که جذب این عنصر به طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش یافت. در تحقیق دیگری غلظت فسفر در اندام‌های هوایی گیاه سورگوم در اثر تلقیح با

قارچ میکوریز افزایش یافته (ویدادا و همکاران، ۲۰۰۷)، ولی در ریشه غلظت فسفر نسبت به شاهد کاهش یافته بود. همچنین نتایج تحقیق حاجی بلند و همکاران (۲۰۰۹) بر روی گیاه برنج نشان داد که تلقیح میکوریز به طور معنی‌داری جذب فسفر را افزایش داد.

محققان گزارش کردند که همزیستی میکوریزی از طریق بهبود گسترش هیف‌های قارچ در منافذ خاک، به طور فیزیکی موجب افزایش جذب فسفر در پیکره رویشی گیاه رازیانه شد و متعاقب آن با افزایش وزن خشک گیاه سبب بهبود غلظت فسفر در دانه رازیانه گردید (کاپور و همکاران، ۲۰۰۴).



شکل ۴-۲۱- اثر متقابل میکوریز و ماده غذایی بردرصد فسفر گیاه



شکل ۴-۲۲- اثر متقابل میکوریز و زئولیت بردرصد فسفر گیاه

۴-۶- اثرات تیمارهای مورد مطالعه بر نیترات خاک، محلول آبشویی شده و نیتروژن گیاه

۴-۶-۱-مقدار نیترات خاک در عمق ۱۰ سانتیمتری

نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۴-۱۲) نشان میدهد که اثر تیمارهای میکوریز، ماده غذایی، میکوریز - ماده غذایی، زئولیت- ماده غذایی بر این صفت در سطح یک درصد معنی دار شد.

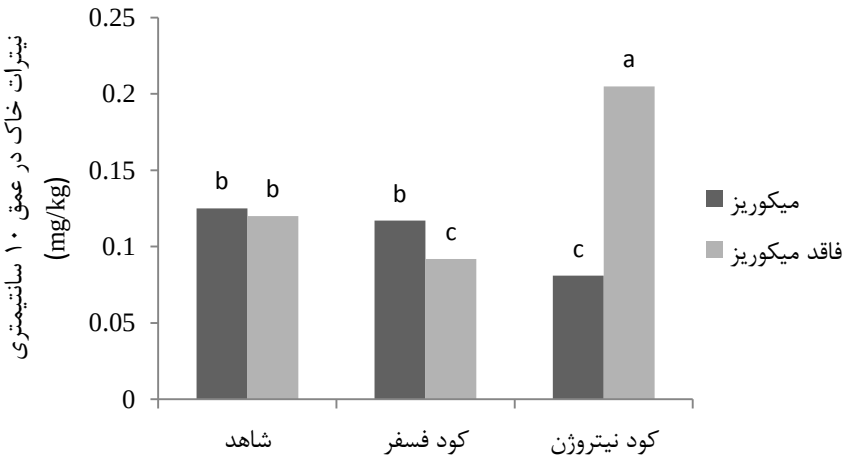
اثرات متقابل سه گانه تیمارهای میکوریز- زئولیت- ماده غذایی و اثرات دوگانه میکوریز -زئولیت و اثر اصلی زئولیت معنی دار نشد.

با توجه به نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل دو گانه تیمارهای زئولیت- ماده غذایی (جدول۴-۲۰)، تیمار زئولیت-کود نیتروژن (با میانگین ۰/۱۵۳mg/kg) بالاترین میانگین نیترات خاک را به خود اختصاص داد که نسبت به تیمار شاهد ۳۳/۳ درصد بالاتر است و با تیمارهای کود فسفر - فاقد زئولیت، کود نیتروژن- فاقد زئولیت، زئولیت - فاقد کود (بترتیب با میانگینهای ۰/۱۵۲ و۰/۱۳۳ و ۰/۱۴۳ mg/kg) اختلاف معنی داری را ندارد.

پارک و همکاران(۲۰۰۱) در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که یکی از دلایل کارایی کانی های زئولیت در جذب نمک هایی مانند نیترات آمونیوم، محبوس شدن یون های این نوع نمک ها در منافذ کانی می باشد. به همین دلیل زئولیت، ظرفیت بالایی درجذب و نگهداشت یون نیترات در خاک دارد. جدول مقایسه میانگین اثر اصلی میکوریز (جدول ۴-۱۹) گویای آن است که در تیمار با تلقیح *Glomus intraradices* (با میانگین ۰/۱۰۷mg/kg) نیترات کمتری در خاک نسبت به تیمار عدم تلقیح (با میانگین ۰/۱۳۹mg/kg) باقی مانده است که این نتایج با نتایج خاک استریل نیز تطابق دارد.

نمودار اثر متقابل میکوریز- ماده غذایی (شکل۴-۲۳) گویای آن است که تیمار کود نیتروژن - فاقد میکوریز (با میانگین ۰/۲۰۵mg/kg) بالاترین مقدار میانگین نیترات خاک را دارد که نسبت به تیمار میکوریز-کود نیتروژن (با میانگین ۰/۰۸۱mg/kg) ۲/۵ برابر افزایش را نشان می دهد. تحقیقات نشان

می دهد که هیفهای گیاهان میکوریزایی این توانایی را دارند که نیتروژن خاک را جذب و به ریشه گیاهان منتقل کنند (بارآ و آزکون- آگولار، ۱۹۹۳). برخلاف دیگر اصلاح کننده های خاک (مثل آهک)، زئولیتها در طی زمان تجزیه نمیشوند، بلکه در خاک باقی می مانند و نگهداری مواد غذایی را بهبود می بخشند (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۹). بنابراین اضافه کردن آنها به خاک به میزان قابل توجهی هزینه های کود و آب را به دلیل حفظ مواد غذایی سودمند در ناحیه ریشه، کاهش خواهد داد. ساختار متخلخل و منفذدار طبیعی به حفظ هوادهی خاک و رطوبت برای یک دوره طولانی مدت کمک میکند (پلات و همکاران، ۲۰۰۴).



شکل ۴-۲۳- اثر متقابل میکوریز و ماده غذایی برمقدار نیترات خاک در عمق ۱۰ سانتیمتری (mg/kg)

۴-۶-۲-مقدار نیترات خاک در عمق ۲۰ سانتیمتری

داده های بدست آمده در جدول تجزیه واریانس(جدول ۴-۱۲) گویای آنست که تیمارهای مورد مطالعه اثر معنی داری در سطح یک درصد ($P\leq$۰/۰۱) بر این صفت داشتند.

جدول مقایسه میانگین اثر اصلی میکوریز (۴-۱۹) بیانگر آن است که مقدار نیترات خاک در عمق ۲۰ سانتیمتری در تیمار عدم تلقیح (با میانگین ۰/۲۶۱mg/kg) در حدود ۲/۶ برابر تلقیح میکوریز (با میانگین ۰/۱۰۷ mg/kg) بود. نمودار مقایسه میانگین اثرات متقابل سه گانه تیمارهای میکوریز، زئولیت، ماده غذایی (شکل ۴-۲۴) نشان میدهد که تیمار زئولیت- کود نیتروژن - فاقد میکوریز (با

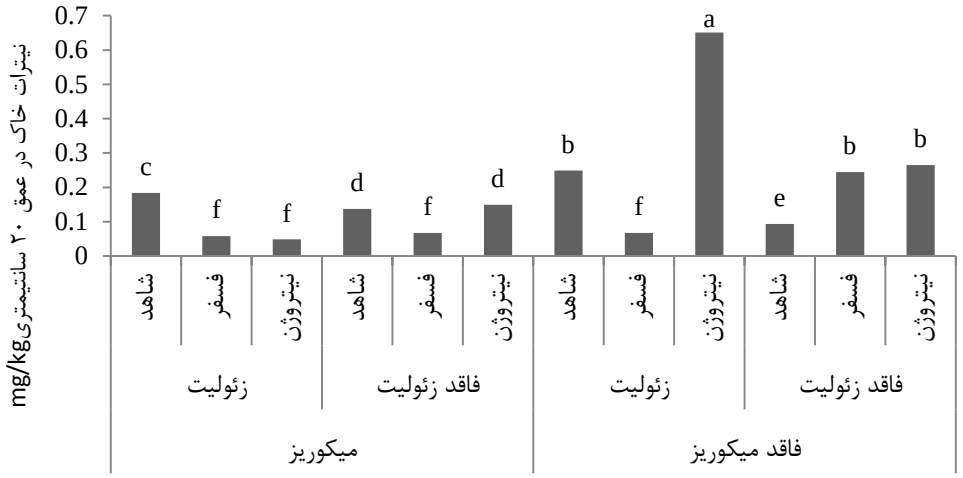
میانگین ۰/۶۵ mg/kg) بالاترین مقدار میانگین نیترات خاک و تیمار میکوریز -زئولیت- کود نیتـروژن (بامیانگین ۰/۰۴۸ mg/kg) کمترین میانگین را داشته است.

این نتایج گویای آن است که زئولیت با خاصیت جذب بـالای نیتـرات و نگهـداری مقـدار آب بیشـتر، توانسته است که از خروج نیترات جلوگیری نموده ومقدار نیترات بیشتری را در خاک حفظ کند.

به نظر می رسد که تیمارهای میکوریز-کود نیتـروژن - فاقـد زئولیـت (بامیـانگین ۰/۱۴۹mg/kg) و تیمار میکوریز-زئولیت -کود نیتروژن (بامیانگین ۰/۰۴۸ mg/kg) توانسته اند فرصت کافی برای جذب در ریسه های میکوریزی را فراهم آورده و مقادیری از نیترات را در ریسه های خود ذخیره و یا به گیاه انتقال دهند.

نتایج مرادزاده و همکاران (۱۳۸۷) نیز نشان می دهد که افزایش استفاده از زئولیت در خـاک باعـث نگهداشت بیشتر یون نیترات در خاک می شود. ایشان علت را در خصوصیات منحصر به فرد زئولیت، مانند ساختار قفس مانند آن و در نتیجه به دام افتادن یون نیترات در شبکه های آن، توانایی زئولیت در جذب و نگهداری آب تا ۷۰ درصد وزنی خود نسبت دادند. همچنین نتایج آنـان نشـان داد کـه افزایش مقدار زئولیت پتاسیمی در خاک باعث کاهش شستشوی نیترات و آمونیوم و نگهداشت آنهـا در خاک شده و از انتقال آنها به آب های زیر زمینی و در نتیجه آلودگی آن جلوگیری نمود. کیتهام و همکاران (۱۹۹۸) در مطالعه جذب و رها سازی آمونیوم توسط زئولیت طبیعـی نتیجـه گرفتنـد کـه جذب و رها سازی آمونیوم توسط زئولیت به وسیله پدیده پخشیدگی کنترل می شود.

همچنین نتایج حاصل نشان داد که زئولیت می تواند به عنوان یک جذب کننده یون آمونیوم و کنترل کننده آمونیوم آزاد شده از کود مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۴-۲۴- اثر متقابل میکوریز، زئولیت و ماده غذایی بر مقدار نیترات خاک در عمق ۲۰ سانتیمتری (mg/kg)

۴-۶-۳-مقدار نیترات آبشویی شده

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴-۱۲) مقدار نیترات آبشویی شده در تمامی تیمارهای مورد مطالعه، تفاوت معنی‌داری را نشان داد. مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴-۱۹) نشان داد که بین تلقیح با میکوریز(۴/۵۴ mg/l) و عدم تلقیح (۱۰/۸۷۴ mg/l) در مقدار نیترات آبشویی شده تفاوت معنی‌داری وجود داشت، به طوری که مقدار آبشویی نیترات در تیمار عدم تلقیح با میکوریز حدود ۲/۴ برابر مقدار آن در تلقیح با میکوریز بود. نتایج اصغری وکاواگنارو (۲۰۱۲) نیز نشان داد که نیترات آبشویی شده در یک خاک شنی تحت کشت گیاه گوجه فرنگی، در تیمارهای میکوریزی حدود ۴۰ برابر کمتر از تیمارهای فاقد میکوریز است. جدول مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای زئولیت- میکوریز (جدول ۴-۲۱) و نمودار آن (شکل ۴-۲۵)، نشان از اختلاف معنی دار بین تیمارهای میکوریز- فاقد زئولیت، زئولیت - فاقد میکوریز، زئولیت- میکوریز با تیمار شاهد دارد، به طوریکه مقدار نیترات آبشویی شده تحت اثر این تیمارها، در تیمار شاهد (با میانگین ۱۳/۳۷۸ mg/l) ۲/۴ برابر مقدار آن در تیمار میکوریز- فاقد زئولیت (با میانگین ۵/۵۳۴ mg/l) و ۱/۵ برابر مقدار آن در تیمار زئولیت- فاقد

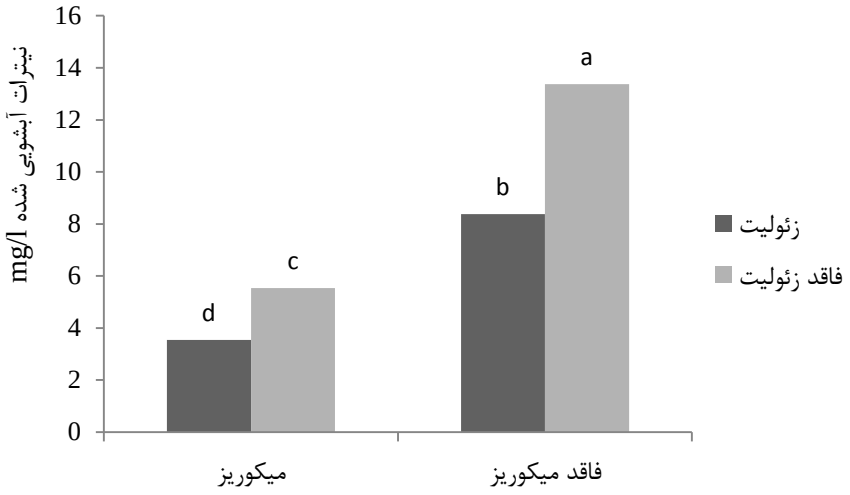
میکوریز (با میانگین ۸/۳۷۱ mg/l) و ۳/۸ برابر مقدار آن در تیمار میکوریز-زئولیت (با میانگین ۳/۵۴۷ mg/l) بود.

نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی زئولیت (جدول۴-۱۹) نشان می دهد که مقدار نیترات آبشویی شده در تیمار زئولیت (با میانگین۵/۹۵۹ mg/l) نسبت به تیمار عدم کاربرد زئولیت (با میانگین۹/۴۵۶ mg/l) در حدود ۵۸ درصد کاهش را نشان داد. علت کاهش آبشویی نیترات در تیمار زئولیت را میتوان در خصوصیات منحصر بفرد آنها دانست. زئولیت ها ترکیبات حفره دار و چارچوب های آلومینوسیلیکاتی و با ساختمان کریستالی خود مانند غربال مولکولی عمل کرده و به وسیله قابلیت تبادل کاتیونی مناسب و از طرفی جذب انتخابی یون آمونیم، باعث ذخیره آن درحفرات و کانال های زئولیت می شوند و اندازه این حفرات و کانال ها به گونه ای است که مانع از ورود باکتری های نیتریفیکاسیون کننده به داخل ساختمان زئولیت می شود، بنابراین در حضور زئولیت کلینوپتیلولایت در خاک نرخ تبدیل آمونیم به نیترات کاهش پیدا می کند و این امر موجب کاهش شستشوی نیتروژن می گردد (مامپتون ۱۹۹۹).

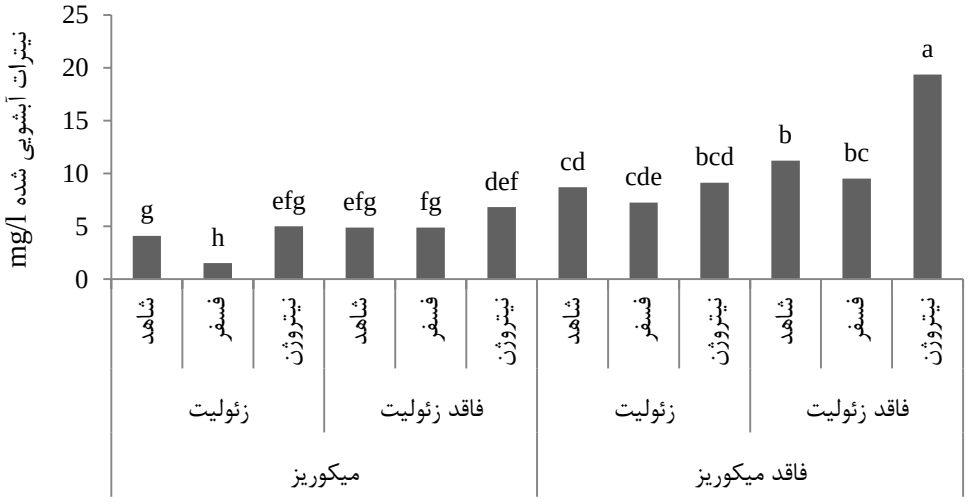
نمودار اثر متقابل سه گانه تیمارها (شکل ۴-۲۶) نشان می دهد که بالاترین مقدار نیترات آبشویی شده در تیمار مصرف کود نیتروژن - فاقد زئولیت - فاقد میکوریز (با میانگین۱۹/۳۸۵ mg/l) می باشد.کمترین مقدار نیترات آبشویی شده در تیمار زئولیت- میکوریز -کود فسفر (با میانگین۱/۵۲۱ mg/l) مشاهده گردید. این نتایج حاکی از آن است که کاربرد توأم میکوریز و زئولیت سبب کاهش معنی داری درمیزان آبشویی نیترات خاک گردید. هم چنین مقدار نیترات آبشویی شده در تیمار کود نیتروژن (با میانگین ۱۹/۳۸۵ mg/l) ۳/۸ برابر تیمار زئولیت- میکوریز -کود نیتروژن (با میانگین۵/۰۱ mg/l)، ۲/۸ برابر تیمار میکوریز -کود نیتروژن - فاقد زئولیت (با میانگین۶/۸۲ mg/l)، ۲/۱ برابر تیمار زئولیت- کود نیتروژن - فاقد میکوریز (با میانگین ۹/۱۴ mg/l) بود.

نتایج یوسفی و سپاسخواه (۱۳۸۳) نشان داد که با افزایش مقدار کاربرد زئولیت به میزان ۸ گرم در کیلوگرم خاک، آبشویی نیترات خاک کاهش یافت.

پپر و همکاران (۱۹۸۲) در یک پژوهش با اضافه کردن زئولیت نوع کلینوپتیلولایت به خاک شنی که از آنها برای کاشت چمن استفاده می شد به بررسی اثر زئولیت پرداختند. آنها نیز نتیجه گرفتند که زئولیت باعث کاهش آبشویی نیترات و آمونیوم می شود. همچنین با افزودن زئولیت به خاک های شنی قابلیت نگهداری آب افزایش یافت. آبشویی نیترات که از کاربرد کود اوره حاصل شده بود در تیمار های حاوی زئولیت کم شد و آمونیوم در زه آب ها به مقدار بسیار کمی مشاهده گردید.



شکل ۴-۲۵- اثر متقابل میکوریز و زئولیت برمقدار نیترات آبشویی شده (mg/l)



شکل ۴-۲۶- اثر متقابل میکوریز، زئولیت و ماده غذایی برمقدار نیترات آبشویی شده (mg/l)

۴-۶-۴-درصدنیتروژن کل گیاه

از نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۴-۱۲) چنین استنباط می‌شود کـه تیمـار میکـوریز، زئولیـت، زئولیت - میکوریز در سطح یک درصد و تیمار زئولیت - میکوریز - ماده غذایی در سطح پـنج درصـد اثر معنی‌داری بر این صفت داشتند. نمودار مربوط به اثرات متقابل تیمارهای بکار رفته (شـکل ۴-۲۷) نشان می‌دهد که تیمار میکوریز-زئولیت-کود فسفر و میکوریز-زئولیت-کود نیتروژن و تیمار میکوریز-کود فسفر - فاقد زئولیت و میکوریز- کود نیتروژن - فاقد زئولیت (بترتیب بـا میـانگین ۲/۶۴، ۲/۹۹ و ۲/۹۲ و۲/۸۹درصد) با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ندارند اما با تیمار شاهد (با میانگین ۱/۳۸۲ درصـد) دارای تفاوت معنی‌داری بوده و ۲ ،۲/۲،۲/۲ و ۲/۱ برابر نیتروژن کل گیاه را نسبت بـه شـاهد افـزایش دادند. با توجه به نمودار (شکل ۴-۲۷) تیمار زئولیت-کود فسفر (با میـانگین ۳/۳۸ درصـد) بیشـترین میانگین درصد نیتروژن کل گیاه و تیمار شاهد (با میانگین ۱/۳۸۲ درصد) کمترین میانگین را داشـته است. به نظر می رسد که خاصیت زئولیت در جذب و تحویل تدریجی عناصر غذایی بـه گیـاه، سـبب شده که بالاترین میانگین نیتروژن کل گیاه را به خود اختصاص دهد.

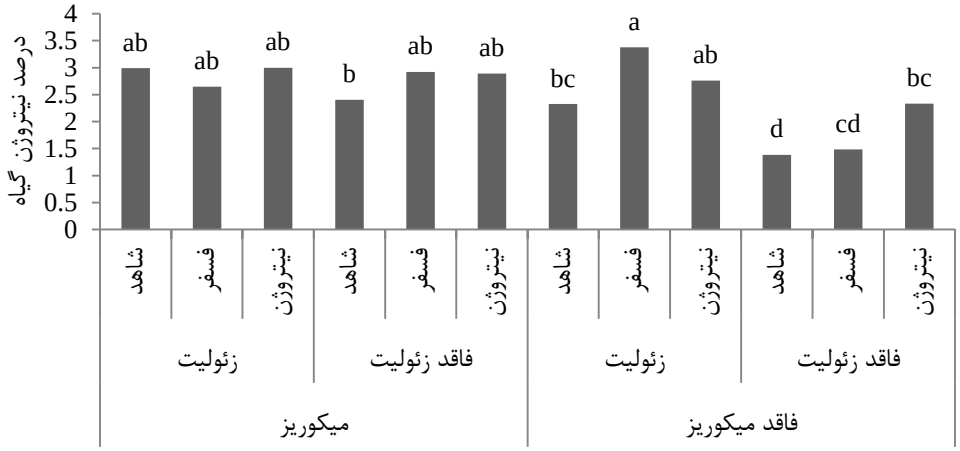
از سوی دیگر فسفر در گره‌بندی، تعداد، حجـم و وزن گـره، رشـد گیاهـان میزبـان و فرآینـد تثبیـت نیتروژن اثر داشته و در صورت وجود مقادیر کافی فسفر در گیاه، تثبیت نیتروژن مولکولی بـه سـرعت شروع شده و با افزایش میزان این عنصر در گیاه مقدار نیتروژن نیز افزایش می‌یابد (اسپرینت، ۱۹۹۰). به نظر می رسد به همین دلیل، بالاترین میزان نیتروژن گیاه به تیماری که کود فسفر دریافت کـرده، اختصاص یافت.

هم چنین تیمار زئولیت-کود نیتروژن- فاقد میکوریز و تیمار کود نیتروژن- فاقد زئولیت - فاقد میکوریز (بترتیب با میانگین ۲/۷۶، ۲/۳۳۲ درصد) نیتروژن کل گیاه را ۱/۹ و ۱/۶۸ برابر نسبت به تیمار شاهد (با میانگین ۱/۳۸۲ درصد) افزایش داد. جدول مقایسه میانگین اثر اصلی میکوریز (۴-۱۹) بیانگر آن است که نیتروژن کل گیاه در تلقیح میکوریز (با میانگین ۲/۸۰۹درصد) نسبت به عدم تلقیح (با میانگین ۲/۲۷۸ درصد) ۲۷ درصد افزایش یافت.

جدایه‌های قارچی زیادی که مورد آزمایش قرار گرفته، جذب فسفر و نیتروژن گیـاه را بوسـیله جـذب فسفات آمونیوم و نیترات از خاک افزایش داده‌اند. در هر حال سـهم میکـوریز آربوسـکولار در جـذب فسفر برای گیاه معمولاً خیلی بیشتر از نسبت جذب نیتروژن است (احمدخان و همکاران ۲۰۰۷).

توسلی و علی اصغرزاده (۱۳۸۸) بیان کردند که تلقیح گیاهچه‌های پیـاز بـا قـارچ میکـوریز عـلاوه بـر افزایش غلظت فسفر، غلظت سدیم، کلر، روی، پتاسیم، مس و کل نیتروژن گیاه افزایش یافت.

کاربرد نیتروژن به صورت کود به مقدار کم باعث افـزایش کـل نیتـروژن در گیـاه یـا در واحـد سـطح می‌شود. ولی کاربرد زیاد نیتروژن به صورت کود اثرات مهار کننـدگی بـر روی فعالیـت آنـزیم تثبیـت کننده نیتروژن دارد.



شکل ۴-۲۷-اثر متقابل میکوریز، زئولیت و ماده غذایی بر درصد نیتروژن گیاه

فصل پنجم: نتیجه گیری

۵-۱- نتیجه گیری

امروزه مهمترین چالش موجود در جهان افزایش تولید غذا همگام با نیازهای جمعیت در حال رشد و در قالب یک نظام کشاورزی پایدار است. بطور کلی سیستم‌های کشاورزی فعلی با تکیه بر استفاده وسیع از نهاده های شیمیایی، توان بالقوه مفید بعضی از موجودات خاک مانند قارچ میکوریز و اصلاح کننده هایی چون زئولیت را نادیده گرفته است. این امر سبب آلوده شدن جدی برخی از مناطق با عناصر غذایی چون نیتروژن و فسفر شده است. در این تحقیق، خاک در دو بخش استریل و غیراستریل مورد آزمایش قرار گرفت. استریل نمودن خاک، تاثیر تنها میکروارگانیسم موجود در بستر کشت گیاهان یعنی قارچ میکوریز موجود در مایه تلقیح را بر خصوصیات گیاهان تحت کشت نشان داد.

تحقیق حاضر نشان داد که افزایش جمعیت قارچهای میکوریز آربوسکولار در خاک، میتواند سبب افزایش تولید در گیاه شبدر برسیم (*Trifolium alexanderium*) شود. همچنین حضور این قارچ توانست به طور چشمگیری مقدار فسفر و نیترات آبشویی شده را کاهش دهد. علت کاهش آبشویی را میتوان در تسهیل جذب فسفر و نیتروژن، افزایش رشد ریشه‌های موئین، افزایش جذب آب و کارایی بیشتر استفاده از آب، تشدید فعالیت تثبیت نیتروژن به دلیل بهبود تغذیه گیاهان میزبان و بهبود خصوصیات فیزیکی خاک تحت تأثیر همزیستی میکوریزی دانست. زئولیت نیز با خاصیت ظرفیت جذب بالای فسفر و نیتروژن در ساختمان کریستالی خود و نگهداری آب بیشتر در منطقه ریشه، از خروج فسفر و نیتروژن خاک جلوگیری نمود و نهایتا سبب افزایش جذب این عناصر در گیاه گردید. با توجه به ویژگی های منحصر به فرد زئولیت ها 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)، وفور قابل توجه زئولیت های طبیعی در کشور، استخراج آسان و سرانجام قیمت اقتصادی مناسب، استفاده از این مواد برای کشاورزان توصیه می شود. به کار گیری این ترکیبات

همراه با کود های شیمیایی می تواند تأثیر کودهای شیمیایی را افزایش دهد و باعث مصرف بهینه این دسته از نهاده ها گردد.

در این تحقیق، استفاده از تیمارهای میکوریز، زئولیت و ماده غذایی توانست بر بسیاری از صفات مورد آزمایش تأثیر مثبت بگذارد. تأثیر میکوریز در کاهش آبشویی نیتروژن و فسفر بسیار بیشتر از زئولیت بود و تأثیر زئولیت در کاهش این صفت نسبت به تیمار شاهد بیشتر بود. مصرف توأم زئولیت وقارچ میکوریز در هر دو خاک استریل و غیر استریل، اثر بازدارنده ای بر روی کلونیزاسیون ریشه های میکوریزی گذاشت و اثر مثبت میکوریز را بر برخی از صفات مورد بررسی کمتر نمود. اثر زئولیت در هردو خاک استریل و غیراستریل بر نیترات خاک معنی دار بود، به صورتیکه تأثیر زئولیت در ذخیره نیترات خاک و گیاه نسبت به دیگر تیمارها بیشتر بود. شایان ذکر است برخی عوامل از قبیل ژنتیک گیاه، وضعیت عناصر خاک، کمبود مواد آلی و برخی عوامل زراعی نیز می‌تواند در نتایج بدست آمده دخیل باشد.

بررسی‌های اکولوژیک نشان داده است که استفاده بیش از حد از کودهای شیمیایی بالاخص کودهای فسفات و نیترات سبب تخریب اکوسیستم‌های زراعی می‌گردد و استفاده از جایگزین‌های مناسب از جمله اهداف کشاورزی اکولوژیک می‌باشد. از سویی بررسی منابع نشان می دهد که استفاده از کودهای بیولوژیک از جمله میکوریز تأثیر نامناسبی بر بیولوژی و اکولوژی خاک ندارد، اما استفاده از کودهای شیمیایی می‌تواند باعث برهم زدن تعادل اکولوژیکی در خاک گردد. در واقع نتایج حاصل از این تحقیق حاکی از آن است که استفاده از کود زیستی میکوریز ضمن آنکه باعث کاهش مصرف کودهای شیمیایی فسفر و نیتروژن می‌گردد از سوی دیگر موجب افزایش عملکرد نیز می‌شود. هم چنین می توان نتیجه گرفت با تلفیق کودهای نیتروژن و فسفر با کود بیولوژیک و زئولیت، عملکرد محصول نسبت به استفاده از کودهای شیمیایی افزایش می یابد که این نتایج در کاهش مصرف کودها، کاهش هزینه تولید و افزایش سود خالص کشاورزان کاربرد دارد. در نتیجه می‌توان بیان نمود که تلقیح میکوریز می‌تواند به عنوان جایگزینی مناسب برای کود شیمیایی فسفر و نیتروژن در زراعت

شبدر پیشنهاد گردد. از سوی دیگر با توجه به تأثیر معنی دار زئولیت و میکوریز بر کاهش آبشویی فسفر و نیتروژن، مصرف این دو اصلاح کننده باید در جلوگیری از آلودگی آبهای زیر زمینی مورد توجه خاص قرار گیرد.

بنابراین به نظر میرسد با اهمیت دادن به نقش عوامل طبیعی (بیولوژیک و آلی) می توان به تعادل اکولوژیک خاک کمک کرده و جذب عناصر غذایی و تعادل مصرف آنها را در خاک انتظار داشت. از طرفی این تعادل جذب و کاهش مصرف کودهای شیمیایی می تواند منجر به کاهش هدر رفت عناصر غذایی خاک و جلوگیری از آبشویی عناصر غذایی در خاک گردد که همگی این موارد در تأمین غذایی و حفاظت محیط زیست بسیار با اهمیت می باشند.

۵-۲- پیشنهادات

با توجه به نتایج حاصله از این پژوهش جهت انجام بهتر و دقیق‌تر این چنین آزمایشاتی پیشنهادات زیر مطرح می گردد که در دو بخش از یکدیگر تفکیک می‌شود:

۵-۲-۱- پیشنهادات اجرایی

الف) استفاده از قارچ میکوریز آربوسکولار گونه *Glomus intraradices* بعنوان کود بیولوژیک جهت افزایش تولید و عملکرد شبدرهای یکساله.

ب) ترویج و آموزش استفاده از کود های بیولوژیک و مواد افزودنی مانند زئولیت جهت تعادل عناصر غذایی خاک، افزایش تولیدات گیاهی و جلوگیری از خروج عناصری مانند فسفر و نیتروژن از خاک.

۵-۲-۲- پیشنهادات پژوهشی

الف) تحقیق و مطالعه در زمینه همزیستی قارچ میکوریز آربوسکولار با دیگر گیاهان علوفه‌ای خانواده بقولات.

ب) تحقیق پیرامون کاربرد سایر سطوح زئولیت در مورد جلوگیری از آبشویی نیتروژن و فسفر در جهت انتخاب مناسب‌ترین سطح زئولیت با کارایی بالاتر.

ج) تحقیق و بررسی درباره تأثیر استفاده و بکارگیری قارچ میکوریز با مقادیر مختلف کود فسفر و نیتروژن بر روی سایر گیاهان.

د) تحقیق پیرامون دستیابی به روشهای قابل اجرا در جهت استفاده از این قارچها ومواد افزودنی همچون زئولیت در سطح وسیع در اراضی زراعی و مرتعی کشور.

پیوست‌ها

جدول ۴-۱- جدول تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در خاک استریل

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		ارتفاع	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	درصد کلونیزاسیون
تکرار (R)	۳	۰/۸۴۷	۰/۰۰۷	۰/۰۱۵	۱۳/۰۲
ماده غذایی(A)	۲	۱۵/۷۹۶	۰/۳۹۹**	۰/۰۴۷	۲۵/۵۲*
زئولیت(Z)	۱	۷۲/۵۲**	۰/۹۹۷**	۱/۰۲**	۸۸/۰۲**
میکوریز (M)	۱	۵۱۸۷/۵۲**	۲۰/۲۰۷**	۸/۲۵۳**	۴۹۰۰/۵۲**
Z×A	۲	۱۸/۴۷۳	۰/۰۷۵*	۰/۳۲۶**	۴۷/۳۹۵**
M×A	۲	۱۴/۴۷۳	۰/۱۳۷**	۰/۱۰۷ **	۲۵/۵۲*
M×Z	۱	۱۰۸**	۱/۰۵۸**	۰/۸۷ **	۸۸/۰۲**
M×Z×A	۲	۲/۱۷۱	۰/۰۹۲*	۰/۲۲ **	۴۷/۳۹۵ **
خطا	۳۳	۷/۶۶۱	۰/۰۲۳	۰/۰۱۷	۵/۰۶۶

* و ** به ترتیب به مفهوم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشد

جدول ۴-۲- جدول تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه (فسفر) در خاک استریل

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		فسفر آبشویی شده	فسفر خاک عمق ۱۰ سانتیمتری	فسفر خاک عمق ۲۰سانتیمتری
تکرار (R)	۳	۰/۰۰۰۱۵	۳۵۰/۷۳۷	۰/۲۷
ماده غذایی(A)	۲	۰/۰۰۵۹۰**	۱۶۳۷۱۵/۶۳۴**	۳۷/۰۱۸**
زئولیت (Z)	۱	۰/۰۰۱۹۷**	۱۸۴۶۳/۶۳۹**	۱/۵۸۸
میکوریز (M)	۱	۰/۰۱۲۷۹**	۱۳۸۸۳/۵۲۸**	۸/۳۳۲**
Z×A	۲	۰/۰۰۰۴۱*	۱۸۳۱۵/۰۵۷**	۱۳/۱۵۲**
M×A	۲	۰/۰۰۴۰۳**	۱۳۱۳۳/۵۸۱**	۱۱/۶۹۴**
M×Z	۱	۰/۰۰۰۸*	۳۱۷/۱۲۲	۵/۳۷۱ *
M×Z×A	۲	۰/۰۰۰۲	۲۷۳/۴۳۸	۱۰/۱۲**
خطا	۳۳	۰/۰۰۰۱۲	۱۴۹/۷۶۹	۰/۷۸۸

* و ** به ترتیب به مفهوم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

جدول ۴-۳- جدول تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه (نیترات) در خاک استریل

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		نیترات آبشویی شده	نیترات خاک عمق ۱۰ سانتیمتری	نیترات خاک عمق ۲۰سانتیمتری
تکرار (R)	۳	۰/۵۲۵۹	۰/۰۲۵۳	۰/۰۰۳۷
ماده غذایی(A)	۲	۱۵۴/۶۴۳۸**	۰/۰۵۳۲*	۰/۱۹۴۸**
زئولیت(Z)	۱	۱۰/۳۴۵*	۰/۰۳۲۷	۰/۰۴۹۷*
میکوریز (M)	۱	۸۰۰/۱۵۳۶**	۰/۰۰۵۸	۰/۱۸۷۱**
Z×A	۲	۲/۲۲۹۶	۰/۰۰۰۹	۰/۰۲۷۱*
M×A	۲	۵۹/۸۷۳۰**	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۴
M×Z	۱	۱۷۹/۲۶۴۰**	۰/۱۰۸۰**	۰/۰۰۰۷
M×Z×A	۲	۲/۶۱۴۱	۰/۰۶۱۲**	۰/۰۰۵۶
خطا	۳۳	۲/۲۷۸۴	۰/۰۱۰۶	۰/۰۰۸۶

* و ** به ترتیب به مفهوم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

جدول ۴-۴- مقایسه میانگین صفات مورد بررسی شبدر در سطوح مختلف ماده غذایی، تلقیح میکوریز و زئولیت در خاک استریل

تیمار	ارتفاع (cm)	وزن خشک اندام هوایی (g/plant)	وزن خشک ریشه (g/plant)	درصد کلونیزاسیون (٪)
میکوریز				
عدم تلقیح	۸/۴۷۹b	۰/۱۸۹b	۰/۱۰۹b	۰/۰b
تلقیح	۲۹/۲۷۰a	۱/۴۸۷a	۰/۹۳۹a	۲۰/۲۰۸a
زئولیت				
۵ درصد وزنی خاک	۱۷/۶۴۵ b	۰/۶۹۴ b	۰/۳۷۸ b	۸/۷۵ b
فاقد زئولیت	۲۰/۱۰۴a	۰/۹۸۲a	۰/۶۷a	۱۱/۴۵۸a
ماده غذایی				
۱۴۳ mg نیترات آمونیم به هر ستون (۲۸۰kg/ha)	۱۹/۰۳۱ ns	۰/۷۸۲b	۰/۵۶۵ a	۱۱/۲۵ a
۱۱۰۰mg فسفات پتاسیم به هر ستون (۴۸۵kg/ha)	۱۹/۷۸۱ ns	۱/۰۱۷a	۰/۵۴۵ab	۱۰/۳۱۲ab
۰ kg/ha	۱۷/۸۱۲ ns	۰/۷۱۶b	۰/۴۶۲b	۸/۷۵b

میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول ۴-۵- مقایسه میانگین اثرات متقابل زئولیت - ماده غذایی و میکوریز - ماده غذایی بر برخی از صفات مورد مطالعه درخاک استریل

تیمار	ارتفاع (cm)	وزن خشک اندام هوایی (g/plant)	وزن خشک ریشه (g/plant)	درصد کلونیزاسیون (٪)
زئولیت × ماده غذایی				
زئولیت × ۰ kg/ha	۱۷/۲۵۰ ns	۰/۶۴۰de	۰/۴۸۱b	۹/۳۷۵ b
فاقد زئولیت × ۰ kg/ha	۱۸/۳۷۵ ns	۰/۷۹۲cd	۰/۴۴۴bc	۸/۱۲۵ b
زئولیت × ۴۸۵ kg/ha فسفات پتاسیم	۱۷/۳۱۲ ns	۰/۸۷۴bc	۰/۳۳۴c	۸/۱۲۵ b
فاقد زئولیت × ۴۸۵ kg/ha فسفات پتاسیم	۲۲/۲۵ ns	۱/۱۶۰a	۰/۷۵۶a	۱۲/۵a
زئولیت × ۲۸۰ kg/ha نیترات آمونیم	۱۸/۳۷۵ ns	۰/۵۶۹ e	۰/۳۲۱c	۸/۷۵ b
فاقد زئولیت × ۲۸۰ kg/ha نیترات آمونیم	۱۹/۶۸۷ ns	۰/۹۹۶b	۰/۸۰۹a	۱۳/۷۵ a
میکوریز × ماده غذایی				
تلقیح × ۰ kg/ha	۲۷/۸۷۵ ns	۱/۲۷۶b	۰/۸۴۲b	۱۷/۵b
عدم تلقیح × ۰ kg/ha	۷/۷۵۰ ns	۰/۱۵۶c	۰/۰۸۳c	۰c
تلقیح × ۴۸۵ kg/ha فسفات پتاسیم	۲۹/۴۳۷ ns	۱/۷۶۲a	۰/۹۰۱b	۲۰/۶۲۵a
عدم تلقیح × ۴۸۵ kg/ha فسفات پتاسیم	۱۰/۱۲۵ ns	۰/۲۷۲c	۰/۱۸۹c	۰c
تلقیح × ۲۸۰ kg/ha نیترات آمونیم	۳۰/۵۰ ns	۱/۴۲۴b	۱/۰۷۳a	۲۲/۵a
عدم تلقیح × ۲۸۰ kg/ha نیترات آمونیم	۷/۵۶۲ ns	۰/۱۴۱c	۰/۰۵۷c	۰c

میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند

جدول ۴-۶- مقایسه میانگین اثرات متقابل زئولیت و تلقیح میکوریز بر برخی از صفات مورد مطالعه در خاک استریل

تیمار	ارتفاع (cm)	وزن خشک اندام هوایی (g/plant)	**وزن خشک ریشه** (g/plant)	**درصد کلونیزاسیون** (٪)
میکوریز × زئولیت				
تلقیح × زئولیت	۲۶/۵۴۱b	۱/۱۹۵b	۰/۶۵۸b	۱۷/۵b
عدم تلقیح × زئولیت	۸/۷۵۰c	۰/۱۹۴c	۰/۰۹۸c	۰c
تلقیح× عدم کاربرد زئولیت	۳۲a	۱/۷۸۰a	۱/۲۱۹a	۲۲/۹a
عدم تلقیح × عدم کاربرد زئولیت	۸/۲۰۸c	۰/۱۸۵c	۰/۱۲۱c	۰c

میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند

جدول ۴-۷- مقایسه میانگین صفات مورد بررسی در سطوح مختلف ماده غذایی، تلقیح میکوریز و زئولیت (فسفر و نیترات) در خاک استریل

تیمار	فسفر آبشویی شده (mg/l)	فسفر خاک عمق ۱۰ سانتیمتری (mg/kg)	فسفر خاک عمق ۲۰سانتیمتری (mg/kg)	نیترات آبشویی شده (mg/l)	نیترات خاک عمق ۱۰ سانتیمتری (mg/kg)	نیترات خاک عمق 20 سانتیمتری (mg/kg)
میکوریز						
عدم تلقیح	۰/۰۵۹a	۷۹/۲۷۲a	۴/۲۸۴a	۱۱/۴۱۴a	۰/۴۱۶ ns	۰/۵۸۹a
تلقیح	۰/۰۲۶b	۴۵/۲۵۸b	۳/۴۵۰b	۳/۲۴۹b	۰/۳۹۴ ns	۰/۴۶۴b
زئولیت						
فاقد زئولیت	۰/۰۴۹ a	۸۱/۸۷۸ a	۳/۶۸۵ ns	۷/۷۹۶ a	۰/۳۷۹ns	۰/۴۹۴b
۵ درصد وزنی خاک	۰/۰۳۶b	۴۲/۶۵۳b	۴/۰۴۹ ns	۶/۸۶۷b	۰/۴۳۱ns	۰/۵۵۹a
ماده غذایی						
۱۱۰۰ mg فسفات پتاسیم به هر ستون (۴۸۵kg/ha)	۰/۰۶۴ a	۱۷۹/۰۶۷ a	۵/۶۱۶a	۵/۰۶۶ b	۰/۳۵۸b	۰/۴۵۴b
۱۴۳ mg نیترات آمونیم به هر ستون (۲۸۰kg/ha)	۰/۰۲۷c	۴/۳۸۴b	۲/۸۵۲b	۱۰/۸۷۶a	۰/۴۶۹a	۰/۶۵۴a
۰ kg/ha	۰/۰۳۶b	۳/۳۴۵b	۳/۱۳۳b	۶/۰۵b	۰/۳۸۷b	۰/۴۷۳b

میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند

جدول۴-۸- مقایسه میانگین اثرات متقابل زئولیت - ماده غذایی و میکوریز- ماده غذایی بر برخی از صفات مورد مطالعه (فسفر و نیترات) در خاک استریل

تیمار	فسفر آبشویی شده (mg/l)	فسفر خاک عمق ۱۰ سانتیمتری (mg/kg)	فسفر خاک عمق ۲۰سانتیمتری (mg/kg)	نیترات آبشویی شده (mg/l)	نیترات خاک عمق ۱۰ سانتیمتری (mg/kg)	نیترات خاک عمق ۲۰سانتیمتری (mg/kg)
زئولیت × ماده غذایی						
زئولیت × ۰ kg/ha	۰/۰۲۴c	۳/۰۹۸c	۴/۲۲۵bc	۵/۳۵ ns	۰/۴۲ ns	۰/۵۱۲bc
فاقد زئولیت × ۰ kg/ha	۰/۰۴۹b	۳/۵۹۱c	۲/۰۴۲d	۶/۷۵۵ ns	۰/۳۵۳ ns	۰/۴۳۳c
زئولیت × ۴۸۵ kg/ha فسفات پتاسیم	۰/۰۶ab	۱۲۰/۳۸۷b	۴/۸۹۴ab	۵/۰۳۲ ns	۰/۳۷۶ ns	۰/۴۴۱c
فاقد زئولیت × ۴۸۵ kg/ha فسفات پتاسیم	۰/۰۶۷a	۲۳۷/۷۴۶a	۶/۳۳۸a	۵/۱ ns	۰/۳۴۰ ns	۰/۴۶۶c
زئولیت × ۲۸۰ kg/ha نیترات آمونیم	۰/۰۲۳c	۴/۴۷۱c	۳/۰۲۸cd	۱۰/۲۲ ns	۰/۴۹۶ ns	۰/۷۲۳a
فاقد زئولیت × ۲۸۰ kg/ha نیترات آمونیم	۰/۰۳c	۴/۲۹۵c	۲/۶۷۶ d	۱۱/۵۳۲ ns	۰/۴۴۳ ns	۰/۵۸۴b
میکوریز × ماده غذایی						
تلقیح × ۰ kg/ha	۰/۰۲۰d	۳/۱۶۹c	۳/۴۵bc	۲/۲۱۷e	۰/۳۸۱ ns	۰/۵۱۷ ns
عدم تلقیح × ۰ kg/ha	۰/۰۵۳ b	۳/۵۲۱c	۲/۸۱۶bc	۹/۸۸۸b	۰/۳۹۳ ns	۰/۴۲۹ ns
تلقیح × ۴۸۵ kg/ha فسفات پتاسیم	۰/۰۳۱۹c	۱۲۸/۹۷۸b	۴/۲۶b	۲/۷۸۲e	۰/۳۴۵ ns	۰/۵۲۳ ns
عدم تلقیح × ۴۸۵ kg/ha فسفات پتاسیم	۰/۰۹۶a	۲۲۹/۱۵۴a	۶/۹۷۱a	۷/۳۵c	۰/۳۷۲ ns	۰/۳۸۴ ns
تلقیح × ۲۸۰ kg/ha نیترات آمونیم	۰/۰۲۶cd	۳/۶۲۶c	۲/۶۴۰c	۴/۷۴۷d	۰/۴۵۵ ns	۰/۷۲۷ ns
عدم تلقیح × ۲۸۰ kg/ha نیترات آمونیم	۰/۰۲۷cd	۵/۱۴c	۳/۰۶۳bc	۱۷/۰۰۵a	۰/۴۸۳ ns	۰/۵۸۰ ns

میانگین هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند

جدول۴-۹- مقایسه میانگین اثرات متقابل زئولیت و میکوریز بر برخی از صفات مورد مطالعه(فسفر و نیترات) در خاک استریل

تیمار	فسفر آبشویی شده (mg/l)	فسفر خاک عمق ۱۰ سانتیمتری (mg/kg)	فسفر خاک عمق ۲۰سانتیمتری (mg/kg)	نیترات آبشویی شده (mg/l)	نیترات خاک عمق ۱۰ سانتیمتری (mg/kg)	نیترات خاک عمق ۲۰سانتیمتری (mg/kg)
میکوریز × زئولیت						
تلقیح × زئولیت	۰/۰۲۴c	۲۳/۰۷۵ ns	۳/۹۶۷a	۴/۷۱۷ c	۰/۳۷۲b	۰/۶۱۷ ns
عدم تلقیح × زئولیت	۰/۰۴۸b	۶۲/۲۲۹ ns	۴/۱۳۱a	۹/۰۱۸b	۰/۴۸۹a	۰/۵۰۰ ns
تلقیح× عدم کاربرد زئولیت	۰/۰۲۸c	۶۷/۴۴۱ ns	۲/۹۳۴b	۱/۷۸۰d	۰/۴۱۵ab	۰/۵۶۱ ns
عدم تلقیح × عدم کاربرد زئولیت	۰/۰۶۹a	۹۶/۳۱۴ ns	۴/۴۳۶a	۱۳/۸۱۱a	۰/۳۴۲b	۰/۴۲۸ ns

میانگین هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند

جدول ۴-۱۰- جدول تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در خاک غیراستریل

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		ارتفاع	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	درصد کلونیزاسیون
تکرار (R)	۳	۸/۳۲۴	۰/۰۳۱	۰/۰۰۹	۸۹/۵۸۳
ماده غذایی(A)	۲	۶۶/۰۸۳**	۰/۰۸۰	۰/۰۰۷	۸۹/۵۸۳
زئولیت(Z)	۱	۳۵/۸۸۰	۰/۸۹۰ **	۰/۰۱۶	۲۸۵۲/۰۸۳ **
میکوریز (M)	۱	۱۳۵/۰۰۵**	۰/۵۵۹**	۰/۴۲۸**	۱۹۲۰۰/۰۰ **
Z×A	۲	۴/۷۷۰	۰/۰۳۵	۰/۰۱۷*	۲۰۸/۳۳۳*
M×A	۲	۷/۷۷۰	۰/۰۲۹	۰/۰۰۶۶	۱۱۸/۷۵۰
M×Z	۱	۵۱/۰۴۶*	۰/۰۰۹	۰/۰۵۲**	۲۷۰۰/۰۰**
M×Z×A	۲	۲۰/۶۸۷	۰/۱۴۵*	۰/۰۲۳ **	۱۸/۷۵۰
خطا	۳۳	۱۰/۳۵۴	۰/۰۳۲	۰/۰۰۳	۶۲/۳۱۰

* و ** به ترتیب به مفهوم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

جدول۴-۱۱- جدول تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه (فسفر) در خاک غیراستریل

منابع تغییرات	درجه آزادی	فسفر آبشویی شده	فسفر خاک عمق ۱۰ سانتیمتری	میانگین مربعات	
				فسفر خاک عمق ۲۰سانتیمتری	فسفراندام هوایی گیاه
تکرار (R)	۳	۰/۰۰۰۱	۱۹۲/۵۱۸۳	۰/۹۵۵	۰/۰۰۲۲
ماده غذایی(A)	۲	۰/۰۱۶۹**	۱۲۳۴۶۶/۶۶۱۵**	۵۰۱/۹۵۴ **	۰/۱۴۲۸**
زئولیت(Z)	۱	۰/۰۰۳۴**	۱۵۱۷/۱۵۲۰**	۳۴۶/۰۰۵ **	۰/۰۳۶۷**
میکوریز (M)	۱	۰/۰۰۲۲*	۵۰۹۲۰/۰۶۲۸**	۴۹۱/۹۲۳ **	۰/۱۷۴۲**
Z×A	۲	۰/۰۰۳۶**	۱۴۱۴/۹۶۲۲**	۲۸۸/۶۲۸ **	۰/۰۱۳۶
M×A	۲	۰/۰۰۶۴**	۵۰۹۷۶/۰۶۹۲**	۴۳۷/۱۰۵**	۰/۰۲۲۵*
M×Z	۱	۰/۰۰۰۹	۳۴۳/۷۳۸۰	۱۱۸/۲۸۶ **	۰/۰۵۳۲ **
M×Z×A	۲	۰/۰۰۵۸**	۲۴۳/۸۰۳۴	۱۵۴/۲۲۲ **	۰/۰۰۰۴
خطا	۳۳	۰/۰۰۰۳۷	۱۳۲/۲۴۹۹	۱/۶۸۱	۰/۰۰۴۸

* و ** به ترتیب به مفهوم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

جدول۴-۱۲- جدول تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه (نیترات خاک، محلول آبشویی شده و نیتروژن کل گیاه) در خاک غیراستریل

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		نیترات آبشویی شده	نیترات خاک عمق ۱۰ سانتیمتری	نیترات خاک عمق ۲۰سانتیمتری	نیتروژن کل اندام هوایی
تکرار (R)	۳	۶/۲۴۱	۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۷	۰/۴۰۶
ماده غذایی(A)	۲	۷۶/۴۴۷**	۰/۰۰۶**	۰/۱۱۸**	۰/۹۲۹
زئولیت(Z)	۱	۱۴۶/۷۷۶**	۰/۰۰۱۶	۰/۰۳۰**	۴/۵۳۰**
میکوریز (M)	۱	۴۸۱/۴۶**	۰/۰۱۲**	۰/۲۸۵**	۳/۳۹۳**
Z×A	۲	۲۰/۴۶۲**	۰/۰۲۱۳ **	۰/۰۶۳**	۰/۳۶۵
M×A	۲	۱۲/۲۷۰*	۰/۰۲۶۳**	۰/۱۳۳**	۰/۲۹۶
M×Z	۱	۲۷/۳۶۱**	۰/۰۰۰۸	۰/۰۶۱**	۲/۶۹۹**
M×Z×A	۲	۲۳/۹۷۵**	۰/۰۰۱۵	۰/۱۰۸**	۱/۱۲۲*
خطا	۳۳	۲/۷۱۵	۰/۰۰۶	۰/۰۰۰۳	۰/۳۴۶

* و ** به ترتیب به مفهوم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

جدول ۴-۱۳- مقایسه میانگین صفات مورد بررسی در سطوح مختلف ماده غذایی، تلقیح میکوریز و زئولیت در خاک غیراستریل

تیمار	ارتفاع (cm)	وزن خشک اندام هوایی (g/plant)	وزن خشک ریشه (g/plant)	درصد کلونیزاسیون (٪)
میکوریز				
عدم تلقیح	۲۴/۳۳۳b	۰/۸۴۴b	۰/۳۹۸b	۲۱/۴۵۸b
تلقیح	۲۷/۶۸۷a	۱/۰۶۰a	۰/۵۸۷a	۶۱/۴۵۸a
زئولیت				
۵ درصد وزنی خاک	۲۶/۸۷۵ ns	۱/۰۸۸a	۰/۵۱۱ ns	۳۳/۷۵۰b
فاقد زئولیت	۲۵/۱۴۵ ns	۰/۸۱۶b	۰/۴۷۴ ns	۴۹/۱۶۷a
ماده غذایی				
۱۴۳ mg نیترات آمونیم به هر ستون (۲۸۰kg/ha)	۲۶/۷۱۹a	۰/۹۴۳ab	۰/۵۱۱ ns	۳۸/۷۵۰ ns
۱۱۰۰mg فسفات پتاسیم به هر ستون (۴۸۵kg/ha)	۲۷/۵۹۴a	۱/۰۲۷a	۰/۴۹۹ ns	۴۳/۱۲۵ ns
۰ kg/ha	۲۳/۷۱۹b	۰/۸۸۶b	۰/۴۶۸ ns	۴۲/۵۰۰ ns

میانگین هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند

جدول ۴-۱۴- مقایسه میانگین اثرات متقابل زئولیت - ماده غذایی و میکوریز - ماده غذایی بر برخی از صفات مورد مطالعه در خاک غیراستریل

تیمار	ارتفاع (cm)	وزن خشک اندام هوایی (g/plant)	وزن خشک ریشه (g/plant)	درصد کلونیزاسیون (٪)
زئولیت × ماده غذایی				
زئولیت × ۰ kg/ha	۲۴/۱۲۵ ns	۱/۰۳۹ ns	۰/۵۲۳a	۳۶/۸۷۵ b
فاقد زئولیت × ۰ kg/ha	۲۳/۳۱۲ ns	۰/۷۳۳ns	۰/۴۱۲b	۴۸/۱۲۵a
زئولیت × ۴۸۵ kg/ha فسفات پتاسیم	۲۹/۰۶۲ ns	۱/۲۰۰ ns	۰/۵۰۵a	۳۷/۵۰۰b
فاقد زئولیت × ۴۸۵ kg/ha فسفات پتاسیم	۲۶/۱۲۵ ns	۰/۸۵۵ ns	۰/۴۹۲a	۴۸/۷۵۰a
زئولیت × ۲۸۰ kg/ha نیترات آمونیم	۲۷/۴۳۷ ns	۱/۰۲۶ ns	۰/۵۰۳a	۲۶/۸۷۵c
فاقد زئولیت × ۲۸۰ kg/ha نیترات آمونیم	۲۶/۰۰۰ ns	۰/۸۶۰ ns	۰/۵۱۸a	۵۰/۶۲۵a
میکوریز× ماده غذایی				
تلقیح × ۰ kg/ha	۲۴/۸۷۵ns	۱/۰۲۹ ns	۰/۵۷۳ns	۶۴/۳۷۵ ns
عدم تلقیح × ۰ kg/ha	۲۲/۵۶۲ns	۰/۷۴۲ ns	۰/۳۶۳ns	۲۰/۶۲۵ ns
تلقیح × ۴۸۵ kg/ha فسفات پتاسیم	۳۰/۰۶۲ns	۱/۱۴۷ ns	۰/۵۷۰ ns	۶۰/۰۰۰ ns
عدم تلقیح × ۴۸۵ kg/ha فسفات پتاسیم	۲۵/۱۲۵ns	۰/۹۰۷ ns	۰/۴۲۸ns	۲۶/۲۵۰ ns
تلقیح × ۲۸۰ kg/ha نیترات آمونیم	۲۸/۱۲۵ns	۱/۰۰۴ ns	۰/۶۱۸ns	۶۰/۰۰۰ ns
عدم تلقیح × ۲۸۰ kg/ha نیترات آمونیم	۲۵/۳۱۲ns	۰/۸۸۳ ns	۰/۴۰۳ns	۱۷/۵۰۰ ns

میانگین هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند

جدول ۴-۱۵-مقایسه میانگین اثرات متقابل زئولیت و میکوریز بر برخی از صفات مورد مطالعه در خاک غیراستریل

تیمار	ارتفاع (cm)	وزن خشک اندام هوایی (g/plant)	وزن خشک ریشه (g/plant)	درصد کلونیزاسیون (٪)
میکوریز × زئولیت				
تلقیح × زئولیت	۲۹/۵۸۳a	۱/۱۸۲ ns	۰/۶۳۸a	۴۶/۲۵b
عدم تلقیح × زئولیت	۲۴/۱۶۶b	۰/۹۹۴ ns	۰/۳۸۳c	۲۱/۲۵c
تلقیح× عدم کاربرد زئولیت	۲۵/۷۹۱b	۰/۹۳۸ ns	۰/۵۳۵b	۷۶/۶۶a
عدم تلقیح × عدم کاربرد زئولیت	۲۴/۵۰۰b	۰/۶۹۴ ns	۰/۴۱۲c	۲۱/۶۶c

میانگین هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند

جدول ۴-۱۶- مقایسه میانگین صفات مورد بررسی (فسفر) در سطوح مختلف ماده غذایی، تلقیح میکوریز و زئولیت در خاک غیراستریل

تیمار	فسفر آبشویی شده (mg/l)	فسفر خاک عمق ۱۰ سانتیمتری (mg/kg)	فسفر خاک عمق ۲۰سانتیمتری (mg/kg)	فسفر اندام هوایی گیاه (٪)
میکوریز				
عدم تلقیح	۰/۱۲۱a	۸۵/۴۳۴ a	۹/۵۳۶ a	۰/۲۱۲b
تلقیح	۰/۱۰۸b	۲۰/۲۹۳b	۳/۱۳۳b	۰/۳۳۲a
زئولیت				
فاقد زئولیت	۰/۱۰۶b	۵۸/۴۸۶a	۹/۰۱۹ a	۰/۲۴۴b
حاوی زئولیت(۵ درصد وزنی خاک)	۰/۱۲۳a	۴۷/۲۴۲b	۳/۶۵۰b	۰/۳۰۰a
ماده غذایی				
۱۱۰۰mg فسفات پتاسیم به هر ستون (۴۸۵kg/ha)	۰/۱۵۱a	۱۵۴/۲۹۶a	۱۲/۷۹۰ a	۰/۳۸a
۱۴۳ mg نیترات آمونیم به هر ستون (۲۸۰kg/ha)	۰/۱۰۲b	۲/۷۲۹b	۲/۷۶۴b	۰/۲۳۳b
۰ kg/ha	۰/۰۹b	۱/۵۶۷b	۳/۴۵۰b	۰/۲۰۳b

میانگین هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند

جدول۴-۱۷- مقایسه میانگین اثرات متقابل زئولیت و میکوریز و ماده غذایی بر برخی از صفات مورد مطالعه(فسفر) در خاک غیراستریل

تیمار	فسفر آبشویی شده (mg/l)	فسفر خاک عمق ۱۰ سانتیمتری (mg/kg)	فسفر خاک عمق ۲۰سانتیمتری (mg/kg)	فسفر اندام هوایی گیاه (٪)
زئولیت × ماده غذایی				
زئولیت × ۰ kg/ha	۰/۱۰۳c	۱/۵۴۹c	۳/۹۴۳c	۰/۲۳۹ ns
فاقد زئولیت × ۰ kg/ha	۰/۰۷۷d	۱/۵۸۴c	۲/۹۵۷cd	۰/۱۶۷ ns
زئولیت × ۴۸۵ kg/ha فسفات پتاسیم	۰/۱۴۳a	۱۳۷/۸۱۶b	۵/۲۸۱ b	۰/۴۳۲ ns
فاقد زئولیت × ۴۸۵ kg/ha فسفات پتاسیم	۰/۱۶۰a	۱۷۰/۷۷۴a	۲۰/۲۹۹a	۰/۳۲۸ ns
زئولیت × ۲۸۰ kg/ha نیترات آمونیم	۰/۱۲۳b	۲/۳۵۹c	۱/۷۲۵ d	۰/۲۲۸ns
فاقد زئولیت × ۲۸۰ kg/ha نیترات آمونیم	۰/۰۸۱d	۳/۰۹۸c	۳/۸۰۲c	۰/۲۳۸ns
میکوریز× ماده غذایی				
تلقیح × ۰ kg/ha	۰/۰۷۴d	۱/۳۳۸c	۳/۴۱۵b	۰/۲۵۱bc
عدم تلقیح × ۰ kg/ha	۰/۱۰۶c	۱/۷۹۵c	۳/۴۸۵b	۰/۱۵۵d
تلقیح × ۴۸۵ kg/ha فسفات پتاسیم	۰/۱۳۰b	۵۶/۵۴۹b	۳/۵۵۶b	۰/۴۸۲a
عدم تلقیح × ۴۸۵ kg/ha فسفات پتاسیم	۰/۱۷۲a	۲۵۲/۰۴۲a	۲۲/۰۲۴a	۰/۲۷۷b
تلقیح × ۲۸۰ kg/ha نیترات آمونیم	۰/۱۱۸bc	۲/۹۹۳c	۲/۴۲۹b	۰/۲۶۳bc
عدم تلقیح × ۲۸۰ kg/ha نیترات آمونیم	۰/۰۸۶d	۲/۴۶۴c	۳/۰۹۸b	۰/۲۰۳cd

جدول ۴-۱۸- مقایسه میانگین اثرات متقابل زئولیت و میکوریز بر برخی از صفات مورد مطالعه(فسفر) در خاک غیراستریل

تیمار	فسفر آبشویی شده (mg/l)	فسفر خاک عمق ۱۰ سانتیمتری (mg/kg)	فسفر خاک عمق ۲۰سانتیمتری (mg/kg)	فسفر اندام هوایی گیاه (٪)
میکوریز × زئولیت				
تلقیح × زئولیت	۰/۱۲۱ ns	۱۱/۹۹۵ ns	۲/۰۱۸ c	۰/۳۲۷ab
عدم تلقیح × زئولیت	۰/۱۲۵ ns	۸۲/۴۸۸ ns	۵/۲۸۱ b	۰/۲۷۳ b
تلقیح× عدم کاربرد زئولیت	۰/۰۹۵ ns	۲۸/۵۹۱ ns	۴/۲۴۸ b	۰/۳۳۸a
عدم تلقیح × عدم کاربرد زئولیت	۰/۱۱۷ ns	۸۸/۳۸۰ ns	۱۳/۷۹۱a	۰/۱۵۱c

میانگین هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند

جدول۴-۱۹- مقایسه میانگین صفات مورد بررسی(نیترات خاک و محلول آبشویی شده، نیتروژن کل گیاه) در سطوح مختلف ماده غذایی، تلقیح میکوریز و زئولیت در خاک غیراستریل

تیمار	نیترات آبشویی شده (mg/l)	نیترات خاک عمق ۱۰ سانتیمتری (mg/kg)	نیترات خاک عمق ۲۰سانتیمتری (mg/kg)	درصدنیتروژن اندام هوایی (٪)
میکوریز				
عدم تلقیح	۱۰/۸۷۴a	۰/۱۳۹a	۰/۲۶۱a	۲/۲۷۸b
تلقیح	۴/۵۴۰b	۰/۱۰۷b	۰/۱۰۷b	۲/۸۰۹a
زئولیت				
فاقد زئولیت	۹/۴۵۶a	۰/۱۲۹ ns	۰/۱۵۹b	۲/۲۳۶b
حاوی زئولیت(۵ درصد وزنی خاک)	۵/۹۵۹b	۰/۱۱۷ns	۰/۲۰۹a	۲/۸۵۱a
ماده غذایی				
۱۱۰۰mg فسفات پتاسیم به هر ستون (۴۸۵kg/ha)	۷/۲۳۶b	۰/۱۰۴b	۰/۱۰۹c	۲/۶۰۹ab
۱۴۳ mg نیترات آمونیم به هر ستون (۲۸۰kg/ha)	۱۰/۰۹۰a	۰/۱۴۳a	۰/۲۷۸a	۲/۷۴۵a
۰ kg/ha	۵/۷۹۶c	۰/۱۲۲b	۰/۱۶۵b	۲/۲۷۶b

میانگین هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند

جدول۴-۲۰- مقایسه میانگین اثرات متقابل زئولیت - ماده غذایی و میکوریز - ماده غذایی بر نیترات خاک و محلول آبشویی شده، نیتروژن کل گیاه در خاک غیراستریل

تیمار	نیترات آبشویی شده (mg/l)	نیترات خاک عمق ۱۰ سانتیمتری (mg/kg)	نیترات خاک عمق ۲۰سانتیمتری (mg/kg)	نیتروژن اندام هوایی گیاه (٪)
زئولیت × ماده غذایی				
زئولیت × ۰ kg/ha	۶/۴۰۴b	۰/۱۴۳ a	۰/۲۱۶b	۲/۶۶۱ ns
فاقد زئولیت × ۰ kg/ha	۸/۰۶۷b	۰/۱۰۲b	۰/۱۱۵d	۱/۸۹۲ ns
زئولیت × ۴۸۵ kg/ha فسفات پتاسیم	۴/۳۹۳ c	۰/۰۵۷c	۰/۰۶۲e	۳/۰۱۳ ns
فاقد زئولیت × ۴۸۵ kg/ha فسفات پتاسیم	۷/۱۹۸b	۰/۱۵۲ a	۰/۱۵۵c	۲/۲۰۴ ns
زئولیت × ۲۸۰ kg/ha نیترات آمونیم	۷/۰۷۸ b	۰/۱۵۳ a	۰/۳۴۹a	۲/۸۷۸ ns
فاقد زئولیت × ۲۸۰ kg/ha نیترات آمونیم	۱۳/۱۰۳ a	۰/۱۳۳ a	۰/۲۰۷b	۲/۶۱۲ ns
میکوریز × ماده غذایی				
تلقیح × ۰ kg/ha	۴/۵۰۵cd	۰/۱۲۵b	۰/۱۶۰b	۲/۶۹۹ ns
عدم تلقیح × ۰ kg/ha	۹/۹۶۷b	۰/۱۲۰b	۰/۱۷۰b	۱/۸۵۴ ns
تلقیح × ۴۸۵ kg/ha فسفات پتاسیم	۳/۲۰۱d	۰/۱۱۷b	۰/۰۶۲d	۲/۷۸۵ ns
عدم تلقیح × ۴۸۵ kg/ha فسفات پتاسیم	۸/۳۹۱b	۰/۰۹۲c	۰/۱۵۵b	۲/۴۳۳ ns
تلقیح × ۲۸۰ kg/ha نیترات آمونیم	۵/۹۱۵c	۰/۰۸۱c	۰/۰۹۸c	۲/۹۴۴ ns
عدم تلقیح × ۲۸۰ kg/ha نیترات آمونیم	۱۴/۲۶۶a	۰/۲۰۵a	۰/۴۵۸a	۲/۵۴۶ ns

میانگین هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند

جدول۴-۲۱- مقایسه میانگین اثرات متقابل زئولیت و میکوریز بر نیترات خاک، محلول آبشویی شده و نیتروژن کل گیاه در خاک غیراستریل

تیمار	نیترات آبشویی شده (mg/l)	نیترات خاک عمق ۱۰ سانتیمتری (mg/kg)	نیترات خاک عمق ۲۰سانتیمتری (mg/kg)	درصد نیتروژن اندام هوایی گیاه (٪)
میکوریز × زئولیت				
تلقیح × زئولیت	۳/۵۴۷d	۰/۱۰۶ ns	۰/۰۹۶ d	۲/۸۷۹a
عدم تلقیح × زئولیت	۸/۳۷۱b	۰/۱۲۹ ns	۰/۳۲۲a	۲/۸۲۲a
تلقیح× عدم کاربرد زئولیت	۵/۵۳۴c	۰/۱۰۹ ns	۰/۱۱۷ c	۲/۷۳۹a
عدم تلقیح × عدم کاربرد زئولیت	۱۳/۳۷۸a	۰/۱۴۹ns	۰/۲۰۰b	۱/۷۳۳b

میانگین هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند

منابع مورد استفاده

اسدی رحمانی، ه. اصغر زاده، احمد. خاوازی، ک. رجالی، ف. و ثواقبی، غ. ۱۳۸۶ . در ترجمه حاصلخیزی بیولوژی خاک کلیدی برای استفاده پایدار از اراضی کشاورزی. لینت، ک. ابوت. و دانیل، و. مورفی (مولف). انتشارات جهاد دانشگاهی واحد تهران. ۳۲۸ ص.

اسدی رحمانی، ه و فلاح، ع. ۱۳۸۰. تولید و ترویج کودهای بیولوژیک محرک رشد گیاه(PGPR). در: ضرورت تولید صنعتی کودهای بیولوژیک در کشور (مجموعه مقالات)، ۱۳۸۰، خاوازی کاظم و محمد جعفر ملکوتی(تدوین کنندگان)، نشر آموزش کشاورزی. صفحات ۵۰۸-۴۹۷.

اردکانی، م. ۱۳۸۴. اکولوژی، انتشارات دانشگاه تهران. ۳۳۱ ص.

اصغری، ح. ر. ۱۳۸۶. بررسی اثر همزیستی قارچ میکوریزا با گیاه شبدر در میزان فسفر قابل دسترس خاک. مجموعه مقالات دهمین کنگره علوم خاک ایران، ص ۱۲۲، کرج.

امام، ی و نیک‌نژاد، م. ۱۳۷۲. مقدمه ای بر فیزیولوژی عملکرد گیاهان زراعی (ترجمه). انتشارات دانشگاه شیراز. ۵۷۰ ص.

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.

برزگر، ع. ۱۳۷۹. خاکهای شور و سدیمی : شناخت و بهره وری. انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز.

بشارتی، ح و صالح‌راستین، ن.۱۳۸۰. بررسی تاثیر کاربرد مایه تلقیح باکتریهای تیوباسیلوس همراه با گوگرد در افزایش قابلیت جذب فسفر. در: ضرورت تولید صنعتی کودهای بیولوژیک در کشور (مجموعه مقالات)، خاوازی کاظم و محمد جعفر ملکوتی (تدوین کنندگان)، نشر آموزش کشاورزی. صفحات۳۱۷-۲۹۳.

پیرولی‌بیرانوند، ن. ۱۳۷۸. بررسی اثرات متقابل رقم گیاه و سویه باکتری روی توان تثبیت نیتروژن سویا در خاکهای مختلف. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد خاکشناسی. دانشکده کشاورزی کرج. دانشگاه تهران.

توسلی، ع. و علی‌اصغرزاده، ن. ۱۳۸۸. اثر قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار بر جذب عناصر غذایی و عملکرد پیاز در یک خاک شور در شرایط مزرعه‌ای. مجله دانش آب و خاک. جلد ۱۹. شماره۱.

ثواقبی، غ. ر. سادات، ع. رجالی، ف. فرحبخش، م. خاوازی، ک. و شیرمردی، م. ۱۳۸۹. تأثیر چند نوع قارچ میکوریز آربوسکولار و باکتری محرک رشد گیاه بر شاخص‌های رشد و عملکرد دو رقم گندم در یک خاک شور. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، شماره ۱، جلد ۲۴، ص ۵۳.

جامی‌الاحمدی، م. کامکار، ب. و مهدوی دامغانی، ع.ا. ۱۳۸۵. کشاورزی، کود و محیط زیست. (ترجمه). چاپ اول. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. ۳۷۲ ص.

خاوازی، ک و ملکوتی، م. ۱۳۸۰. ضرورت تولید صنعتی کودهای بیولوژیک در کشور(مجموعه مقالات). نشر آموزش کشاورزی. ۵۸۹ ص.

خواست خدایی، آ.علیزاده ، ا.علیزاده، ا. ۱۳۸۹. بررسی نقش کودهای بیولوژیک برعملکرد وبعضی خصوصیات مورفولوژیک باهدف بهینه سازی مصرف کودنیتروژن وفسفردرزراعت پایدارذرت، دومین همایش ملی کشاورزی و توسعه پایدار، فرصت ها و چالش های پیش رو دانشگاه آزاد اسلامی شیراز.

رادسر، ع. سپاسخواه، ع.۱۳۸۵. تاثیر کاربرد زئولیت سدیمی بر نگه داشت نیترات در شرایط رطوبت اشباع. اولین همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زه کشی.

رجالی، ف. اسماعیلی‌زاد، ا. خاوازی، ک. همتی، و. و افشاری، م. ۱۳۹۰. بررسی تأثیر گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا آربوسکولار در جذب عناصر معدنی پرمصرف و کم‌مصرف گندم. دوازدهمین کنگره علوم خاک ایران. تبریز. ۱۲ تا ۱۴ شهریور.

رقیمی، م. رمضانی مجاوری، م. سید خاتمی، س.م. ۱۳۸۶. کاربرد زئولیت طبیعی در حذف نیترات در برخی از چاه های آب شرب شهر گرگان. اولین همایش زمین شناسی زیست محیطی و پزشکی.

ساغری، م. بارانی، ح. اصغری، ح. ر. مصداقی، م و صدوری، م. ۱۳۸۸. تأثیر تلقیح قارچ آرباسکولار میکوریز و کود شیمیایی فسفره بر رشد و تولید دو گونه یونجه یکساله. مجله علمی پژوهشی مرتع، شماره ۲، سال ۳، ص۲۹۱.

سلیمی، ح .۱۳۸۹. پایان نامه ارشد: بررسی اثرات پرایمینگ، باکتری ریزوبیوم و کود آلی بر عملکـرد و اجزای عملکرد نخود. دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود.

صالح راستین، ن. ۱۳۸۰. کودهای بیولوژیک و نقش آنها در راستای نیل به کشاورزی پایـدار، ص ۵۴-۱، مجموعه مقالات ضرورت تولید صنعتی کودهای بیولوژیک در کشور (مجموعه مقالات). خاوازی ک و ملکوتی م. ج، مرکز نشر آموزش کشاورزی، وزارت جهاد کشاورزی، کرج، ایران.

صمدی، م. ت. ساقی، م. ح. هادی، م. بیـک محمـدی، م. غـدیری، ک. ۱۳۸۸. مقایسـه کـارآیی نـانو زئولیتY و نانو زئولیتY اصلاح شـده (SMZ) در حـذف فسـفر از محلـول هـای آبـی. دوازدهمـین همایش ملی بهداشت محیط ایران، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی. ۱۰۸۲-۱۰۷۱.

عباسی،ه. شهابی فر، م. خاشعی سیوکی،ع. ریاحی مدوار،ح. ۱۳۸۶. بررسی اثر کاربرد زئولیت برکـاهش میزان آبشویی کودهای نیتراته . مجموعه مقالات دهمین کنگره علوم خاک ایران،کرج.

علی‌اصغرزاده، ن. و صالح راستین، ن. ۱۳۸۰. اهمیت قارچهای میکوریزا در کشاورزی. در: ضرورت تولید صنعتی کودهای بیولوژیک در کشور (مجموعه مقالات)، خاوازی کاظم و محمد جعفر ملکوتی (تدوین کنندگان)، نشر آموزش کشاورزی. صفحات ۴۱۴ تا ۴۳۴.

علیزاده، م. میرزایی، ف. سهرابی، ت. کاووسـی ،م. یزدانـی، م. ر. ۱۳۸۹. بررسـی آزمایشـگاهی تـاثیر زئولیت روی خصوصیات فیزیکی و هیدرولیکی خاکهای شالیزاری در ارائه راهکارهای مدیریتی آبیاری تناوبی. سومین همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی. ۱۰ الی ۱۲ اسفند ۱۳۸۹.

غلامحسینی، م. آقاعلیخانی، م. ملکوتی، م. ج.۱۳۸۷. تاثیر زئولیت در کاهش آبشوئی نیتروژن در یـک خاک شنی تحت کشت کلزای علوفه ای. نشریه پژوهشهای خاک، سال بیست و سوم، شماره۱.

غلامحسینی،م. آقا علیخانی، م. و ملکوتی، م. ج.۱۳۸۷. تـاثیر سـطوح مختلـف نیتـروژن و زئولیـت بـر عملکرد کمی وکیفی علوفه کلزای پاییزه. مجله علوم فنون کشاورزی منابع طبیعی. شماره ۴۵، صفحه ۵۴۸- ۵۳۷.

کاظمی پشت‌مساری، ح. پیردشتی، ه. ا و بهمنیار، م. ع، ۱۳۸۶ . مقایسه اثرات کودهای فسفره معدنی و زیستی بر ویژگی‌های زراعی دو رقم باقلا (*Vicia faba* L.). مجله علوم کشـاورزی و منـابع طبیعـی، شماره ۶، جلد ۱۴، ص ۲۱.

کاظمیان، ح. و فقیهیان، ح. ۱۳۷۷. بررسی امکان استفاده از زئولیتهای 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.

کاوسی، م. و م، رحیمی . ۱۳۸۲ . تاثیر کاربرد زئولیت بر عملکرد برنج . مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک ایران . دانشگاه گیلان.

کریمی، ه. ۱۳۷۹. زراعت و اصلاح گیاهان علوفه ای. انتشارات دانشگاه تهران. شماره ۱۵۶۶.

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. ص ۹۵-۸۹. 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.

لیاقت، ع. ل. رحیمیان، ه.۱۳۸۱. طرح بررسی اثر استفاده از زئولیت بر عملکرد برنج و کاهش مصرف کود.(گزارش پژوهشی دانشگاه تهران)

مجنون‌حسینی، ن. ۱۳۷۵. حبوبات در ایران. مؤسسه نشر جهاد تهران.

مجنون حسینی، ن. ۱۳۸۷. زراعت و تولید حبوبات. چاپ چهارم، سازمان انتشارات جهاد دانشگاهی شعبه واحد تهران، ۲۸۳ صفحه

مدنی، ح. فرهادی، ا. پازکی، ع. چنگیزی، م. ۱۳۸۸. تاثیرسطوح مختلف نیتروژن و زئولیت بر خصوصیات کمی و کیفی سیب زمینی رقم آگریا در منطقه اراک یافته های نوین کشاورزی سال سوم. شماره۱. ۳۹۱-۳۷۹.

مرادزاده، م. معاضد، ه و صیاد، غ. ح. ۱۳۸۷. تاثیر زئولیت پتاسیمی بر نگهداشت یون نیترات و آمونیوم در خاک جهت جلوگیری ازآلودگی آبهای زیرزمینی. همایش بین المللی زئولیت ایران.

مرادی، ص. بشارتی، ح. فیضی اصل، و. نادیان، ح. ا. کریمی، ا و گلچین، ا. ۱۳۸۸. بررسی اثر سطوح مختلف رطوبت، میکوریز و ریزوبیوم در تاریخ سبز کردن، زمان گلدهی و صفات مورفولوژیک نخود. یازدهمین کنگره علوم خاک ایران، ص ۲۴۳، گرگان.

ملکوتی، م. ج و همایی، م.۱۳۷۳. حاصلخیزی خاکهای مناطق خشک (مشـکلات و راه‌حـل‌هـا). چـاپ اول، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، ۴۹۴ صفحه.

ملکوتی، م. ج. ۱۳۷۵.کشاورزی پایدار و افزایش عملکرد با بهینه سازی کود در ایران. انتشـارات مرکـز آموزش کشاورزی.

ملکوتی، م .ج. ۱۳۷۹. کشاورزی پایدار و افزایش محصول با استفاده از کاربرد بهینه کود در ایران. نشر آموزش کشاورزی.۲۰۷ص

ملکوتی، م. ج و همایی، م. ۱۳۸۳ . حاصلخیزی خاکهای مناطق خشک و نیمه خشک (مشـکلات و راه حلها) . انتشارات دانشگاه تربیت مدرس. ۴۸۸ ص.

ملکوتی، م. ج. ۱۳۸۴. کشاورزی پایدار و افزایش عملکرد با بهینه‌سازی مصرف کود در ایران. نشر سنا. ۴۹۶ ص.

هانی، ع .۱۳۸۱. وابستگی میکوریزایی دو گونه شبدر متفاوت در مشخصات مرفولوژیکی ریشـه در سطوح مختلف فسفر خاک. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شهید چمران اهواز.

یوسفی، ف. سپاسخواه، ع، ر .۱۳۸۳. تاثیر کاربرد زئولیت بر نگه داشت نیترات و آمونیوم در شرایط رطوبت اشباع. مجموعه مقالات نهمین کنگره علوم خاک ایران. جلد۱. صفحات ۴۶۹ تا ۴۷۱.

Abedi-Koupai, J., and Asadkazemi, J. 2006. Effect of a hydrophilic polymer on the field preformance of anornamental plant (Cupressus Arizonica) under reduced irrigation regimes. Iranian Polimer J. 15(9), 715-.725

Abbott, L. K., and Murphy, D. V. 2007. Soil biological fertility: A key to sustainable land use in agriculture. Springer, 268 pp.

Ahmadkhan, I.T.T., Ahmad, S., Mirza, S. N., Nizzam, M., and Athar, M. 2007. Growth response of buffel grass(*Cenchrus ciliaris*) to phosphorus and mycorrhizal inoculation. Agriculturae Conspectus Scientificus. 2: 129-132.

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.

Alexander, M. 1978. Introduction to soil microbiology. John Wiley and Sons. New York and London.

Alexander, I.J., and R.I. Fairley. 1983. Effects of nitrogen on population offine roots and mycorrhizas in sprucehumus. Plant Soil. 71:49-53.

Aliabadi Farahani, H., Lebaschi, M. H., and Hamidi, A. 2008. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi, Phosphorus and water stress on quantity and quality characteristics of coriander. Advances in Natural and Sciences. 2: 55-59.

Allen, E. R.,. Ming, D. W, and D. L. Heninger. 1995. Modeling Transport kinetics in clinoptilolit – phosphate Rock systems . Soil Sci . Soc . Am.J. 59: 248-255.

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.

Altieri, M.A. 1994. Sustainable agriculture, Encyclopedia of agriculture Science. 4: 239 -247.

Anderson, G. 1980. Assessing organic phosphorus in soils. In: Khasawneh F.E., E. C. Sample and E. J. Kamprath. (Eds.) Role of phosphorus in agriculture .(pp.411-432). Am. Soc. Agron., Madison. WI.

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.

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.

Asghari, H. R., Cavagnaro, T.R. 2011. Arbuscular interception of leached nutrients. Plant Functional Biology. 38,219-226.

Asghari, H. R., Cavagnaro, T.R. 2012. Arbuscular mycorrhizas reduce nitrogen loss via leaching, Plos one. 1-7

Auge, R. M. 2001. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizae symbiosis. Mycorrhiza. 11: 3-42.

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.

Baldar, N. A., and Whitting, L. D. 1968. Occurrence and synthesis of soil zeolites.Soil. Sci.Soc.Am.Proc. 23: 235-238.

Barbarick, K. A., Lai, T. M, and D. D. Eberl. 1990. Exchange fertilizer (Phosphate Rock plus Ammonium- Zeolite) effects on sorghum – sudangrass. Soil.Sci. Soc.Am. J. 54:911-916.

Barea, J. M., El-Atrach F. and Azcon, R. 1989. Mycorrhiza and phosphate intractions as affecting plant development, N_2 –fixation, N-transfer and N-uptake from soil in legume-grass mixtures by using a ^{15}N dilution technique. Soil Biology and Biochemistry. 21: 581-589.

Barea, J. M. 1991. Vesicular arbuscular mycorrhizae as modifiers of soil fertility. Advances in soil Science. 15: 1-40.

Barea, J. M., and Azcon-Aguilar, C. 1993. Mycorrhizas and their significance in undulating nitrogen fixing plants. Adv. Agron. 36:1-54.

Batey, T. 1974. Soil structure and its effect on crop yield. In: forage on the Arable Farm. Occasional Symposium no. 7, Biritish Grassland Society. pp. 5-11.

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.

Bjorkmann, E. 1949, The ecological significance of the ectotropic mycorrhizal association in forest trees. Sv. Bot. Tidskr. 43: 223-233.

Bolan, N. S., Robson, A. D., and Barrow, N. J. 1987, Effect of vesicular-arbuscular mycorrhizal on the availability of iron phosphates to plants. Plant and Soil. 99: 401-410.

Bolan, N. S. 1991. Acritical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. Plant and Soil, 134: 189-207.

Cardoso, I.M., and T.W. Kuyper. 2006. Mycorrhizas and tropical soil fertility. Agricultur Ecosystems and Environment. 116:72-84.

Carling, D.E., and Brown, M.E. 1982. Anatomy and physiology of vesicular- arbuscular and non mycorrhizal roots. Phytopathology. 72:1108-1114.

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.

Cavagnaro, T. R., Jackson, L. E., Six J., Ferris H., Goyal S., Asami D. and Scow K. M. 2006. Arbuscular mycorrhizas, microbial communities, nutrient availability and soil aggregates in organic tomato production. Plant Soil., 282, pp 209.

Chandrasekar, B.R., Ambrose. G., and Jayabalan, N. 2005. Influence of biofertilizers and nitrogen source level on growth and yield of Echinochloa frumentancea (Roxb) Link. J. Agric. Tech. 1(2):223-234.
Chapman, H. D., and Pratt, P. F. 1961 Methods of analysis for soils plants and waters. Unhversity of California. Division of Agricultureal Sciences.

Citernesi, A. S., Vitagliano, C., and Giovanneti, M. 1998. Plant growth and root system morphology of Olea europaea L. rooted cutting as influenced by arbuscular mycorrhizae. J. Hortic. Sci. Biotecnol. 73: 647-654.

Clark, R. B.1997. Arbuscular mycorrhizal adaptation, spore germination, root colonization, and host plant growth and mineral acquisition at low pH. Plant Soil. 192: 15-22.

Clark, R. B., and Zeto, S. K. 2000. Mineral acquisition by arbuscular mycorrhizal plants.J. Plant Nutr., 23, pp 867.

Cottenie, A.1988. Soil and plant testing as a basis of fertilizer recomendations F. A. O Soil Bulletin. 38/2.

Cress, W. A., Throneberry G. O. and Lindsay, D. L. 1979. Kinetics of phosphorus absorption by mycorrhizal and non-mycorrhizal tomato roots. Plant Physiol. 64: 484-487.

Dalal, R. C. 1977. Soil organic phosphorus. Adv. Agron. 29: 83-117.

Edwards, C.A., and Bater, J.E. 1992. The use of earthworms in environment management. Soil Biol. Biochem. 24:1683-1689.

Eaglisham, A.R.J., Hassouna, S., and Seegers, R. 1983. Fertilizer-N effects on N_2 fixation by cowpea and soybean. J. Agro. 75:61-66.

Elias, N., Mcinnes, A., and D. Herridge. 2008. Optimizing chickpea nodulation for nitrogen fixation and yield in north-western New South Wales, Australia. In: F.D. Dakora (Ed.). Biological nitrogen fixation: Towards poverty alleviation through sustainable agriculture. Springer Science. Netherlands. p: 143.

Emadi, H., Nezhad, J. E., and Pourbagher, H. 2001. In vitro comparison of zeolite (Clinoptilolite) and activated carbon as ammonia absorbants in fish culture. J.ICLARM , 24(1-2),18-20.

Emerson, W. W., Foster R. C., and Oades, J. M. 1986. Organo-mineral complexes in relation to soil aggregation and structure. In: Intractions of soil minerals with natural organics and microbes. Soil Science Society of America. Special publication No. 17. pp521-548.

Erman, M., Demir, S., Ocak, E., Tüfenkçi, S., Oğuz, F., 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 Sciences. 122: 14-24.

Ezawa, T., Smith S. E., and Smith, F. A. 2002 .P metabolism and transport in AM fungi. Plant Soil., 244, pp 221.

Faghihian, H., Mostafavi, A., and Mohammadi, A. 2001. Surface modification of analcime for removal of nitrite and nitrate from aqueous solutions. J. Sci. I. R. Iran, 12(4), 327-332.

Fay, P., Mitchell, D.T., and Osborne, B.A. 1996. Photosynthesis and nutrient- use officiency of barely in response to low arbuscular mycorrhizal colonization and addition of phosphorus. New Phytol. 132:425-433.

Ferguson, G. A.,and Pepper I. L. 1987. Ammonium Retention in Sand Amended with Clinoptilolite.Vol. 51, No. 1, January-February. p. 231-234.

Gaur, A. and Adholeya A. 2002 . Arbuscular mycorrhizal inoculation of five tropical fodder crops and inoculum production in marginal soil amended with organic matter. Biol. Fertil. Soils., 35, pp 214.

George, E., Marschner H. and Jakobsen, I. 1995. Role of arbuscular mycorrhizal fungi in uptake of phosphorus and nitrogen from soil. Critical Review of Biotecnology. 15: 257-270.

George E., Haussler K. and Kothari S. K. 1994.Role of arbuscular mycorrhiza fungi in uptake of phosphorus and nitrogen from soil. Crit Rev Biotechnol. 15, pp 257.

Giovannetti, M., and Mosse, B. 1980. An evaluation of techniques for measuring Vesicular-Arbuscular mycorrhizal infection in roots. New Phytologist. 84: 489-500.

Govindarajulu M., Pfeffer P. E., Jin H., Abubaker J., Douds D. D., Allen J. A., Bucking H., Lammers P. J. and Shachar-Hill Y. 2005.Nitrogen transfer in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. Nature, 435, pp 819.

Graham, P.H., and P. Ranalli. 1997. Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Field Crops Research. 53:131-146.

Graham, J.H., R.T. Leonard, and J.A. Menge. 1981.Membrance- mediated decreasse in root exudation responsible for phosphorus inhibition of Vesicular-arbuscular mycorrhizae formation. Plant Physiol. G8:548-552.

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.

Gupta, M.L.A., Prasad, M. R., and S. Kumar. 2002. Effect of the Vesicular– arbuscular mycorrhizal fungus gloms us Fasciculate on the Field conditions Bio resource Technology., 81:77-79.

Hajiboland, R., Aliasgharzad, N., and Barzeghar, R. 2009. Phosphorus mobilization and uptake in mycorrhizal rice (*Oryza sativa* L.) plants under flooded and non-flooded conditions. Acta agr. Slovenica., 93, pp 153.

Harsh, P.B., Tiffany, L., Weir, L. G., Perry Gilroy, s., and Jorge, M. Viranco. 2006. The role of root exudates in Rhizosphere interactions with plants and other organisms. Plant. Biol. 53:233-266.

Haselwandter, K. 1995. Mycorrhizal fungi: Siderophore production. Crit. Rev. Biotechnol l15:287-291.

Hedley, M. J., Stewart J. W. B., and Chauhan, B. S. 1982a. Chenges in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and laboratory incubations. Soil Sci. Soc. Am. J. 46: 970-976.

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.

Hayman, D.S. 1983.The physiology of vesicular arbuscular endomycorrhizal symbiosis. Canadian. Journal of Botany. 61: 944-963.

Hepper, C.M. 1983.The effect of nitrate and phosphate on the Vesicular-arbuscular mycorrhizal infection of lettuce. New phytologist. 93:389-399.

Hetrick, B. A. D. 1989. Acquisition of phosphorus by VA mycorrhizal fungi and the growth responses of their host plants. In: L. Boddy., R. Marchant and D. J. Reid (Eds.). Nitrogen, phosphorus and sulphur utilization by fungi. pp. 205-226. Cambridge University Press. New york.

Huang, Z. T., and petrovic, A. M. . 1994. Clinoptilolite zeolite influence on nitrate leaching and nitrogen use efficiency in simulated sand based Golf Greens . Journal of Environement Quality . 23 : 1190 – 1194 .

International Soil Reference and Information Center (ISRIC), 1986. Procedure for Soil Analysis, Wageningen Agriculture University.

Isac,A. Robert. 1990. Associate chapter editor, Methods of plant analysis, official methods of analysis of the A. O. A. C.

Ishii, T., Shrestha, Y. H., Mastumoto, I., and Kadoya, K. 1996. Effect of ethylene on the growth of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and on the mycorrhizal formation of trifoliate organe roots. Journal of Japanese Society of Horticulture Science. 65: 525-529.

Jakobsen I., Chen B. D., Munkvold L., Lundsgaard T. and Zhu Y. G. 2005. Contrasting phosphate acquisition of mycorrhizal fungi with that of root hairs using the root hairless barley mutant. Plant Cell Environ., 28, pp 928.

Jackson, C.R. 1984. Phosphorus nutrition on mycorrhizal colonization, photosynthesis, growth and nutrient composition of *Citrus aurantium*. Plant and Soil. 80:35-42.

Jackson, M. L.1967.Soil chemical analysis, prentice-Hall of India Private Limited, New Dehli.

Jeffries, P., and Barea, J. M. 2001. Arbuscular mycorrhizal- a key component of sustainable plant-soil ecosystems. In: B. Hock(Ed.)., The Mycota. Vol. IX. Fungal Associations. Pp. 95-113. Berlin and Heidelberg, Germany: Springer-Verlag.

Jenifer, P., Craven-Griffiths, A., Barea, J. M., Levy, Y., and Dodd, J. C. 2002. Application of arbuscular mycorrhizal fungi in the revegetation of desertified Mediterranean ecosystem. In S.Gianinazzi, H. Schuepp, J. M. Barea, and K. Haselwander(Eds.), Mycorrhiza Technology in Agriculture, from Genes to Bioproducts. pp. 151-174. Heildelberg. Germany: ALS. Birkhauser Verlag.

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.

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.

Kapulink, Y., and D.D.J. Douds.2000. Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publsihers.

Kazemian, H. 2000. Recent research on the Iranian natural zeolite resource (A review). Access in Nanoporous Materials-II. Banff, Alberta, Canada.

Kazemian, H. 1998. Zeolite Science in Iran: A Brief Review 6th International Conference on the Occurrence, Properties and Utilization of Natural Zeolite. Greece. P: 162-164.

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.
Kim, N.I., and G.M. Paulsen. 1986.Response of yield attributes of isogenic tall, semi dwarf, and double dwarf winter wheats to nitrogen fertilizer and seeding rates. Crop Science. 156(3):197-205.

Kithome, M., Paul, J. W., Lavkulich, L. M., and A. A. Bomke. 1998. Kinetics of ammonium adsorption and desorption by the natural zeolite Clinoptilolite. Soil Sci. Soc. Am. J. 62: 622-629.

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 (ISOFAR). Modona. Italia.

Kumar, R., V.P. Singh, and R.C. Singh. 2002.Effect of N and P fertilization on summer planted mung bean (*Vigna radiate* L.). 24(3): 467-470.

Lagrid, M., Bockman, O. C. and Kaarstad, O. 1999. Agriculture, Fertilizers and the invironment. CABI Publishing. Norsk Hydro ASA. Norway. 294pp

Lekberg, Y. and Koide R. T. 2005.Arbuscular mycorrhizal fungi, rhizobia, available soil P and nodulation of groundnut (*Arachis hypogaea*) in Zimbabwe. Agr. Ecosyst. Environ., 110, 143.

Li, Z., Willms, C., and Roy, S. 2003. Desorption of hexadecyl trimethyl ammonium from charged surface. Environmental Geoscience, 10(1), 37-45.

Liu, A., Hamel, C. Begna, S. H. Ma, B. L. and Smith, D. L. 2003. Canadian Journal of soil science. 83: 337-342.

Lopez-Bellido, F. J., Lopez-Bellido, L. and Lopez-Bellido R. J.2005. Competition, growth and yield of faba bean (*Vicia faba* L.). Eur. J. Agron., 23, pp 359.

Lynd, J.G., and T.R. Anson.1990. Soil conditions with distinctive coralloid nodulation and nitrogen fixation of Mecca alfalfa. J. Plant Nutr. 13:77-94.

Marschner, H, 1995. Mineral nutrition of higher plants. Second Edition. Academic Press. New York.

Marschner, H., and B. Dell, 1994. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. Plant Soil, 159: 89-102

Mehrvarz, S., Chaichi, M. R. and Alikhani H. A. 2008.Effects of phosphate solubilizing microorganisms and phosphorus chemical fertilizer on yield and yield components of barely (*Hordeum vulgare* L.). American- Eurasian J.Agri. & Environment. Sci. 3(6): 822-828

Meyer, J.R. and R.G. Linderman. 1986. Selective influence on populations of rhizosphere or rhizoplane bacteria and actinomycetes by mycorrhizas formed by *Glomus fasciculatum*. Soil Biol. 18:191-196.

Miller, R. M., and Jastrow, J. D. 1990. Hierarchy of root and mycorrhizal fungal intractions with soil aggregation. Soil Biology and Biochemistry. 22: 579-584.

Miller, R. M., and Jastrow, J. D. 2000. Mycorrhizal fungi influence soil structure. In Y. Kapulnik and D. D. Douds jr. (Eds.), Arbuscular mycorrhizas: Physiology and functions. Pp. 3-18. Dordrecht, The Neterlands: Kluwer Academic Publishers.

Miranda, K. M., Espey, M. G., and Wink, D. A .2001. A rapid, simple spectrophotometric method for simultaneous detection of nitrate and nitrite. Nitric Oxide 5: 62–71.

Mortimer, P.E., M.A. Pé rez-Ferná ndez and A.J. Valentine. 2009. Arbuscular mycorrhizae affect the N and C economy of nodulated *Phaseolus vulgaris* (L.) during NH_4^+ nutrition. Soil Biology and Biochemistry. 41: 2115-2121.

Mumpton, F. 1999. La roca magica: Uses of natural zeolite in agriculture and industry. National acad. Sci. 96:3467-3470.

Odes, J. M., and Waters, A. G. 1991. Aggregate hierarchy in soils. Australian Journal of Soil Research. 29: 815-828.

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.

Ortus, I. and Harris P. J. 1996. Enhancement uptake of phosphorus by mycorrhizal sorghum plant as influenced by forms of nitrogen. Plant Soil., 184, pp 225.

Ortas, I., and Akpinar, C. 2006. Response of kidney bean to arbuscular mycorrhizal inoculation and mycorrhizal dependency in P and Zn deficient soils. Acta Agriculture Scandinavica. Section B. Plant Soil Science. 56: 101-109.

Pacovsky, R. S., Benthlenfalvay G.J. and Paul, E. A. 1986. Comparisons between P-fertilizer and mycorrhizal plants.Crop Sci. 26:151-156.

Park, M., Shin, S. C., Choi, C. L., Lee, D. H., Lim, W. T., Komarneni, S., Kim, M. C., Choi, J., and Heo, N. H. 2001. Role of frame work on NH4NO3 occlusion in zeolite pores. Microporous and Mesoporous Materials, 50, 91-99.

Pepper, I.L. , G.A. Ferguson, W.R. Kneebone .1982. Clinoptilolite zeolite: a new medium for turfgrass growth. In “Proceedings of ASA”.Agronomy Abstract, p. 145

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.
Pharudi, J. A. 2010. PhD, Thesis, Effect of mycorhizal inoculation and phosphorus levels on growth and yield of wheat and maize crops grown on a phosphorus deficient sandy soil, Agri. depart. Stellenbosch University.

Philips, 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. Trans. Br. Mycol. Soc. 55: 158-161.

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.

Polat, E., Karaco. M., Demir, H. and Onus A.N. 2004. Use of natural zeolite (Clinoptilolite) in agriculture .J.Fruit Ornament . Plant Res .12: 183-189.

Raiesi, F. Ghollarata M. 2006. Interactions between phosphorus availability and an AM fungus (*Glomus intraradices*) and their effects on soil microbial respiration, biomass and enzyme activities in a calcareous soil. Pedobiologia., 50, pp 413.

Raja, P. 2006. Status of endomycorrjizal (AMF) biofertilizer in global market. In: Handbook of microbial biofertilizers. Mahendra Rai. (Ed.). Haworh Press. New York. pp. 283-303.

Rigou, I., and Mignard, E. 1994. Factors ofacidification of the rhizospher of mycorrhizal plants. Measurement of pCO2 in the rhizosphere. Acta Bot. Gall. 141: 533-539.

Rillig, M. C., Wright S. F. and Eviner, V. T. 2002. the role of Arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin in soil aggregation: comparing effects of five plant species. Plant Soil. 238: 325-333.

Sabannavar, S. J. and Lakshman H. C.2009. Effect of rock phosphate solubilization using mycorrhizal fungi and phosphobacteria on two high yielding varieties of *Sesamum indicum* L. World J. Agric. Sci., 5, 4, pp 470.

Sainz, M. J., and Arines, J. 1988a. P absorbed from soil by mycorrhizal and red clover plants as affected by soluble P fertilization. Soil Biol. Biochem. 20:61-67.

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.

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.

Schachtman, D. P., Reid R. J. and Aylin, S. M. 1998. Phosphorus uptake by plants from soil to cell. Plant physiology. 116:447-453.

Sharma, A. K. 2002. Biofertilizers for sustainable agriculture. Agrobios, India, pp 407.

Sharma, A. K. and Johri B. N. 2002. Arbuscular mycorrhizae, interaction in plants, rhizosphere and soils. Science Publisher. INC, ENFILD, NH, USA. 311pp.

Sharma, S., R.G, Upadhyay, C.R Sharma and Rameshwar.2003. Response on growth, physiological parameters and yield of *Vigna radiate* L. Wilczek under rain fed and mid hill conditions of Himachal Pradesh. Indian Journal of Agricultural Research. 37(1): 52-55.

Shaw, J.W. and R. Andrews. 2001. Cation exchange capacity affects greens truf growth. Golf Course Manag. 73-77.

Shenoy, V. V., and Kalagudi, G. M. 2005.Enhancing plant phosphorus use efficiency for sustainable cropping. Biotechnol. Adv., 23, pp 501.

Smith, S. E., and Read, D. J. 1997. Mycorrhizal symbiosis. Academic press. San Diego. USA. 605 pp.

Smith S. E., and Read, D. J. 1997, Mineral nutrition, heavy metal accumulation and water relations of VA mycorrhizal plants. In: Mycorrhizal symbiosis. Academic Press. San Diego. pp 126-160.

Schnepf A., Roose T. and Schweiger P. 2008. Impact of growth and uptake patterns of arbuscular mycorrhizal fungi on plant phosphorus uptake a modelling study. Plant Soil., 312, pp 85.

Sprent, Janet I. 1990. Nitrogen fixing organisms. Chapman and Hall.

Stacey, G., R.H. Buris, and H.J. Evans. 1992. Biological Nitrogen Fixation. Chapman and hall, New York.

Sutton, J. C., and Shephard, B. R. 1976. Aggregation and sand-dune soil by endomycorrhizal fungi. Canadian Journal of Botany. 54: 326-333.

Swift, C.E. 2004. Mycorrhiza and soil phosphorus levels. Area Extension Agent. http:// www. colostate. edu/ Depts/ Coop Ext/ TRA/ Plants/ mycorrhiza

Sylvia, D. M., Harmmond, L. C. Bennett, J. M. Hass, J. H. and Linda, S. B. 1993. Field response of maize to a VAM fungus and water management. Agronomy Journal. 85: 193-198.

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.

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.

Thangaswamy, S., and Chellappan, P. 2006. Arbuscular mycorrhizae: A diverse personality. J. Central European Agriculture. 2: 349-358.

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.

Tinker, P. B. 1978. Effects of vesicular-arbuscular mycorrhizae on plant growth. Physiol. Veg. 16:743-751.

Tinker, P. B., Jones, M. D. and Durall, D. M. 1992. A functional comparison of ecto and endo-mycorrhizas. In: Mycorrhizas in ecosystems. D. J. Reid., D. H. Lewis., A. H. Fitter., and I. J. Alexander(eds.). CAB Int., Wellingford, UK. pp. 303-310.

Tisdall, J. M. 1991. Fungal hyphae and structural stability of soil. Australian Journal of soil Science. 29: 729-743.

Tisdal, S.L., Nelson, W.L. and Baton, J.D. 1995. Soil fertility and fertilizers. Macmillan Publishing Company. USA. 375 p.

Tisdall, J. M., and J. M. Odes, 1980a. The effect of crop rotation on aggregation in a redbrown earth. Australian Journal of Soil Research, 18: 423-434.

Tisdall, J. M., and Odes, J. M. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. Journal of soil Science. 33: 141-163.

Turan, Z. M. 2006. Effect of natural zeolite on growth and yield of Medicago Sativa L. Journal of agronomy. 5: 118-121.

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 strees. Biotechnol. Agron. Soc. Environ., 6, 3, pp 171.

Turk, M. A., Assaf, T. A. Hameed, K. M. and Al-Tawaha, A. M. 2006. Significance of mycorrhizae. World journal of Agricultural Sciences. 2: 16-20.

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.

VanderHeijden, M.G.A., and I.R. Sanders. 2002. Mycorrhizal Ecology. Berlin and Heidelberg, Germany: Springer-Verlag.

Wright, S. F., and Upadhyaya, A. 1998. A survey of soils for aggregate stability and glomalin a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. Plant Soil. 198: 97-107.

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.

Wyss, P., T.H. Boller, and A. Wiemken. 1992. Testing the effect of biological control agents on the formation of vesicular arbuscular mycorrhiza. Plant Soil. 147:159-162.

Yahya, A. J. and Al-Azawi, S. K. 1989. Occurance of phosphate solubilizing bacteria in some Iraqi soils. Plant and Soil. 117: 135-141.

Yu, M., Q. Gao, and M.J. Shaffer. 2002. Simulating interactive effects of symbiotic nitrogen fixation, carbon dioxide elevation, and climatic change on legume growth. J. Environ. Quality. 31:634-641.

Abstract

Sustainable agriculture with increasing agricultural yields and community health care is one of the most agricultural researcher's goals. In recent decades; application of chemical fertilizers as well as other chemical inputs caused numerous environmental problems such as soil and water contamination; fertility reduce and loss of chemical balance in soil. In these cases, biological and chemical soil modifiers are highly recommended. Accordingly, an experiment was conducted to evaluate the effects of zeolite and micohrriza on plant uptake and leaching of nitrogen and phosphorus in the soil under *Trifolium alexandrium* cultivation. A factorial randomized complete block design with four replications was performed under greenhouse conditions including two sterile and non-sterile soil treatments. Factors were tested including two micohrriza levels (with and without *Glomus intraradices* inoculation) and two zeolite levels (zero and 50 g kg^{-1} soil) and three nutrients levels including nitrogen (143 mg ammonia nitrate in each column equal to 280 kg ha^{-1}; as well as phosphorus levels (1100 mg potassium phosphate in each column equal to 485 kg ha^{-1}) and also control treatment. The results showed that the application of micohrriza had significant effect on plant height, root dry weight and shoot dry weight but zeolite alone had no significant effect on these characteristics. However, its co-application with mycorrhiza was a positive effect on some of these characteristics. Application of zeolites decreased percent root colonization. But the percentage of root colonization increased with increasing nitrogen and phosphorus fertilizer. Mycorrhiza inoculation and application of zeolite, had significant effect on reducing the leaching of nitrogen and phosphorus and their storage in soil. The other results also showed that the effects of double and triple-tested factors were significant on growth characteristics, nitrogen and phosphorus in soil and leaching of soluble.

Regarding to the proper function of mycorrhiza and zeolite to reduce nitrogen and phosphorus leaching, it can be concluded that mycorrhiza and zeolites, especially with phosphorus and nitrogen in chemical fertilizers, can cause positive effects on traits. In fact, according to these results, the use of mycorrhiza as a bio-fertilizer instead of chemical fertilizers, can reduce the leaching of these elements. In general, mycorrhiza can be used as a replacement for chemical fertilizers (especially in symbiotic plants). Appropriate amounts of nitrogen and phosphorus fertilizers along with biological fertilizer and zeolite, could increase yield compared to the chemical fertilizers alone. The results could be useful to reduce fertilizer applications, decrease production cost and to prevent contamination of soil and groundwater.

Key words: Clover, Zeolite, Micohrriza, Nitrogen, Phosphorus

Shahrood University of Technology

Faculty of Agricultural
Department of Water and soil
Msc Thesis

The Effects of Zeolite and Mycorrhizae on Plant Uptake and Nitrogen and Phosphorous Leaching in Soil

Fatemeh Molaei

Supervisiors:

Dr. Hadi Ghorbani
Dr. Hamid Reza Asghari

Advisiors:

Dr. Khalil Azdari
Dr. Mohammad Reza Amerian

February 2013