بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده کشاورزی

گروه آب و خاک

تاثیر قارچ حل کننده فسفات(*Aspergillus niger*) بر حلالیت فسفر خاک و خصوصیات رشدی گیاه ذرت

آزاده احسانی نژاد

استاد راهنما:
دکتر علی عباسپور

اساتید مشاور:
دکتر حمیدرضا اصغری
دکتر حمیدرضا صمدلویی

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

بهمن ماه ۱۳۹۴

پیوست شماره ۲

دانشگاه شاهرود

دانشکده کشاورزی

گروه :

پایان نامه کارشناسی ارشد خانم آزاده احسانی نژاد به شماره دانشجویی: ۹۲۰۱۵۷۴

تحت عنوان: تاثیر قارچ حل کننده فسفات(*Aspergillus niger*) بر حلالیت فسفر خاک و خصوصیات رشدی گیاه ذرت

در تاریخ۱۳۹۴/۱۱/۲۵ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه ..... عالی ..... مورد پذیرش قرار گرفت.

اساتید راهنما	امضاء	اساتید مشاور	امضاء
نام و نام خانوادگی : دکتر علی عباسپور		نام و نام خانوادگی : دکتر حمیدرضا اصغری	
نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی : دکتر حمیدرضا صمدلویی	

اساتید داور	امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء
نام و نام خانوادگی : دکتر شاهین شاهسونی		نام و نام خانوادگی : دکتر اسماعیل محمودی	
نام و نام خانوادگی : دکتر هادی قربانی			

تعهد نامه

اینجانب آزاده احسانی نژاد دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی کشاورزی- علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه : تاثیر قارچ حل کننده فسفات(*Aspergillus niger*) بر حلالیت فسفر خاک و خصوصیات رشدی گیاه ذرت

تحت راهنمائی دکتر علی عباسپور متعهد می شوم.

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

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

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

* متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه های تکثیر شده پایان نامه وجود داشته باشد .

تقدیم به

بی‌بدیل‌ترین گنجینه‌های هستی

پدر گرانقدر و مادر صبورم

خواهران عزیزم

که همواره مشوق و پشتیبانم بوده‌اند

و همه آنانی که هستی علم مدیون وجود آنهاست.

تشکر و قدردانی

سپاس می گویم خداوند منان راکه به من نعمت خواندن و نوشتن عطا نمود. در پایان این مرحله از تحصیل بر خود لازم می دانم که از بزرگوارانی که در طی مراحل زندگی و تحصیل یاریم نمودند قدردانی نمایم.

نخست از پدر و مادر گرامی ام تشکر و قدرانی می نمایم. آنان که دعای خیرشان حامی و پشتیبان اینجانب نه تنها در دوران تحصیل بلکه در تمام زندگی ام بود. خواهرانم که با قبول مسئولیتهایم در خانواده فرصت تحصیل را برایم فراهم آوردند صمیمانه تشکر و قدردانی می نمایم.

این پایان نامه تحت راهنمائیهای ارزنده و علمی استاد گرامی ام آقای دکتر علی عباسپور انجام شد که در طی انجام این پایان نامه حضوری فعال داشته و بی شک بدون مساعدت و یاری ایشان انجام این تحقیق محال بوده است لذا از محبت های بی دریغ ایشان صمیمانه سپاسگزارم. از اساتید مشاور پایان نامه آقای دکتر اصغری و آقای دکتر صدلویی به سبب راهنمائیهای علمی شان و از اساتید محترم داور این پایان نامه آقای دکتر شاهسونی و آقای دکتر قربانی که زحمت باز خوانی این پایان نامه را به عهده داشتند صمیمانه تشکر و قدردانی می نمایم.

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

برای همه بهترین آرزوها را دارم.

آزاده احسانی نژاد

بهمن ماه ۱۳۹۴

چکیده

فسفر از مهم‌ترین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه است که به صورت کودهای شیمیایی به خاک افزوده می‌شود. هزینه بالای تولید کودهای شیمیایی و رسوب سریع آنها در خاکهای آهکی باعث شده است که محققین به دنبال روشی جهت انحلال مجدد کودها و یا افزایش قابلیت دسترسی فسفر خاکها باشند. یکی از راه‌های افزایش قابلیت جذب فسفر خاک، استفاده از ریز جانداران حل کننده فسفات است. به منظور بررسی اثر آسپرژیلوس نایجر بر فراهمی فسفر خاک، آزمایشی در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار در دو مرحله انکوباسیون و گلخانه ای اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل: شاهد، آسپرژیلوس، ساکارز، پودر یونجه، سنگ فسفات، اسید سیتریک، آسپرژیلوس + ساکارز، آسپرژیلوس + پودر یونجه، آسپرژیلوس + سنگ فسفات، آسپرژیلوس + سنگ فسفات + ساکارز، آسپرژیلوس + سنگ فسفات + پودر یونجه، سنگ فسفات + اسید سیتریک، آسپرژیلوس + ساکارز+ نیتروژن، آسپرژیلوس + سنگ فسفات + ساکارز+ نیتروژن بودند. نتایج انکوباسیون نشان داد در طول زمان با به کارگیری تیمارها، pH خاک کاهش و هدایت الکتریکی، فسفر محلول و فسفر قابل جذب خاک افزایش یافته است، میزان تغییرات نسبت به زمان متغیر بوده به طوری که با گذشت زمان بسته به نوع تیمارها به میزان بیشتری نسبت به دوره زمانی قبلی کاهش و یا افزایش یافته است. نتایج حاصل از آزمایش گلخانه ای نیز نشان داد با اعمال قارچ آسپرژیلوس نایجر، غلظت فسفر محلول ۳۸/۴۳ و مقدار فسفر در گیاه ۹۲/۱۴ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. قارچ آسپرژیلوس نایجر، پودر یونجه و سنگ فسفات به خاک موجب بهبود فسفر قابل دسترس، ارتفاع ساقه، وزن خشک ساقه، وزن خشک ریشه و فسفر گیاه شده است. با توجه به نتایج, چنین به نظر می‌رسد که با استفاده از کودهای زیستی می‌توان علاوه بر صرفه‌جویی در مصرف کودهای شیمیایی، کاهش آلودگی خاک و کمک به محیط‌زیست، در تولید محصول بهتر و مطلوب‌تر گام برداشت.

کلمات کلیدی: قارچ آسپرژیلوس نایجر، فسفر، پودر یونجه، ذرت

مقالات مستخرج

احسانی نژاد آ، عباسپور ع، اصغری ح. ر، صمدلویی ح.ر (۱۳۹۴) "اثر قارچ حل کننده فسفات بر رشد گیاه ذرت" چهاردهمین کنگره ملی علوم خاک ایران، ارائه پوستر، شهریور ماه ۱۳۹۴، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان

احسانی نژاد آ، عباسپور ع، اصغری ح. ر، صمدلویی ح.ر (۱۳۹۴) "بررسی اثر قارچ آسپرژیلوس و کود سبز بر حلالیت فسفر خاک" چهاردهمین کنگره ملی علوم خاک ایران، ارائه پوستر، شهریور ماه ۱۳۹۴، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان

فهرست

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه ۱
مقدمه ۲
فصل دوم: بررسی منابع ۷
۲-۱- ذرت ۸
۲-۱-۱-گیاه شناسی ذرت ۸
۲-۱-۲- انواع ذرت ۹
۲-۱-۳- ارقام مورد کشت در ایران ۱۰
۲-۱-۴- شرایط مناسب برای رشد ذرت ۱۰
۲-۱-۵- احتیاجات غذایی ذرت ۱۱
۲-۲- نقش فسفر در افزایش رشد گیاهان زراعی ۱۲
۲-۳- فسفر در خاک ۱۳
۲-۴- اشکال فسفر در خاک ۱۴
۲-۴-۱- فسفرآلی ۱۵
۲-۴-۲- کانی های فسفاته ۱۵
۲-۴-۳- فسفر محلول ۱۶
۲-۴-۴ فسفر جذب سطحی شده ۱۶
۲-۵- حرکت و خروج فسفر از خاک ۱۷
۲-۶- تأثیر عوامل خاکی در محلولیت و جذب فسفر ۱۷
۲-۶-۱- اثر واکنش خاک ۱۸
۲-۶-۲- اثر آهن و آلومینیوم ۱۸
۲-۶-۳- اثر یون کلسیم ۱۸
۲-۶-۴- اثر افزایش فسفات ۱۹
۲-۶-۵- اثر مواد آلی ۱۹
۲-۶-۶- اثر کودهای ازته ۲۰

۲-۷- تأثیر شرایط اقلیمی ۲۱
۲-۷-۱- اثر رطوبت خاک ۲۱
۲-۷-۲ اثر دما ۲۱
۲-۸- کودهای شیمیایی ۲۱
۲-۹- سنگ فسفات(PR) ۲۲
۲-۱۰- کود سبز (GM) ۲۳
۲-۱۱- کود بیولوژیک ۲۴
۲-۱۲- میکروارگانیسمهای حل کننده فسفات ۲۴
۲-۱۳- قارچهای حل کننده فسفات ۲۵
فصل سوم: مواد و روشها ۲۷
۳-۱- برداشت و آماده سازی نمونه های خاک ۲۸
۳-۲- آماده سازی قارچ آسپرژیلوس نایجر ۲۹
۳-۳-آزمایش انکوباسیون ۲۹
۳-۴- آزمایش گلدانی ۳۱
۳-۵- پارامترهای اندازه گیری شده ۳۲
۳-۵-۱- pH نمونه ها ۳۲
۳-۵-۲- هدایت الکتریکی(EC) ۳۲
۳-۵-۳- فسفر قابل جذب ۳۳
۳-۵-۴- فسفر محلول ۳۳
۳-۵-۵- فسفر گیاه ۳۳
۳-۵-۶- تجزیه و تحلیل آماری داده ها ۳۴
فصل چهارم: نتایج و بحث ۳۵
۴-۱- آزمایش انکوباسیون ۳۶
۴-۱-۱- اثر تیمارها و زمان نگهداری بر pH خاک ۳۶
۴-۱-۲- میانگین اثر تیمارها بر pH خاک ۴۰
۴-۱-۳ - اثر تیمارها و زمان نگهداری بر هدایت الکتریکی خاک ۴۲
۴-۱-۴- میانگین اثر تیمارها بر هدایت الکتریکی خاک ۴۵

۴-۱-۵- اثر تیمارها و زمان نگهداری بر فسفر محلول خاک ۴۷
۴-۱-۶- میانگین اثر تیمارها بر فسفر محلول خاک ۵۰
۴-۱-۷- اثر تیمارها و زمان نگهداری بر فسفر قابل جذب خاک ۵۲
۴-۱-۸- میانگین اثر تیمارها بر فسفر قابل جذب خاک ۵۵
۴-۲- آزمایش گلخانه ای ۵۷
۴-۲-۱- اثر تیمارها بر وزن خشک ۵۷
۴-۲-۲- اثر تیمارها بر ارتفاع گیاه ۶۲
۴-۲-۳- اثر تیمارها بر غلظت فسفر در گیاه ۶۶
۴-۲-۴- اثر تیمارها بر pH خاک ۶۹
۴-۲-۵- اثر تیمارها بر هدایت الکتریکی خاک ۷۱
۴-۲-۶- اثر تیمارها بر فسفر محلول خاک ۷۳
۴-۲-۷- اثر تیمارها بر فسفر قابل جذب خاک ۷۵
۴-۳- نتیجه گیری ۷۷
۴-۳-۱- مرحله انکوباسیون ۷۷
۴-۳-۲- مرحله کشت گلخانه ای ۷۷
۴-۴- پیشنهادها ۷۸
پیوست ۷۹

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۴-۱- اثر تیمارها و زمان نگهداری برpH خاک بدون کاربرد سنگ فسفات ۳۹
شکل ۴-۲- اثر تیمارها و زمان نگهداری برpH خاک همراه با کاربرد سنگ فسفات..... ۴۰
شکل ۴-۳- میانگین اثر تیمارها بر pH خاک بدون کاربرد سنگ فسفات ۴۱
شکل ۴-۴- میانگین اثر تیمارها بر pH خاک همراه با کاربرد سنگ فسفات ۴۲
شکل ۴-۵- اثر تیمارها و زمان بر هدایت الکتریکی خاک بدون کاربرد سنگ فسفات ۴۴
شکل ۴-۶- اثر تیمارها و زمان بر هدایت الکتریکی خاک همراه با کاربرد سنگ فسفات ۴۴
شکل ۴-۷- میانگین اثر تیمارها بر هدایت الکتریکی خاک بدون کاربرد سنگ فسفات..... ۴۶
شکل ۴-۸- میانگین اثر تیمارها بر هدایت الکتریکی خاک همراه با کاربرد سنگ فسفات..... ۴۶
شکل ۴-۹- اثر تیمارها و زمان بر فسفر محلول خاک بدون کاربرد سنگ فسفات..... ۴۹
شکل ۴-۱۰- اثر تیمارها و زمان بر فسفر محلول خاک همراه با کاربرد سنگ فسفات..... ۴۹
شکل ۴-۱۱- میانگین اثر تیمارها بر فسفر محلول خاک بدون کاربرد سنگ فسفات ۵۱
شکل ۴-۱۲- میانگین اثر تیمارها بر فسفر محلول خاک همراه با کاربرد سنگ فسفات ۵۲
شکل ۴-۱۳- اثر تیمارها و زمان بر فسفر قابل جذب خاک بدون کاربرد سنگ فسفات..... ۵۴
شکل ۴-۱۴- اثر تیمارها و زمان بر فسفر محلول خاک همراه با کاربرد سنگ فسفات..... ۵۴
شکل ۴-۱۵- میانگین اثر تیمارها بر فسفر قابل جذب خاک بدون کاربرد سنگ فسفات ۵۶
شکل ۴-۱۶- میانگین اثر تیمارها بر فسفر قابل جذب خاک همراه با کاربرد سنگ فسفات..... ۵۶
شکل ۴-۱۷- میانگین اثر تیمارها بر وزن خشک اندام هوایی گیاه بدون کاربرد سنگ فسفات..... ۵۹
شکل ۴-۱۸- میانگین اثر تیمارها بر وزن خشک اندام هوایی گیاه همراه با کاربرد سنگ فسفات..... ۶۰
شکل ۴-۱۹- میانگین اثر تیمارها بر وزن خشک ریشه بدون کاربرد سنگ فسفات ۶۱
شکل ۴-۲۰- میانگین اثر تیمارها بر وزن خشک ریشه همراه با کاربرد سنگ فسفات..... ۶۱
شکل ۴-۲۱- اثر تیمارها بر ارتفاع گیاه بدون کاربرد سنگ فسفات ۶۳
شکل ۴-۲۲- اثر تیمارها بر ارتفاع گیاه همراه با کاربرد سنگ فسفات..... ۶۴
شکل ۴-۲۳- تاثیر تیمارهای مختلف بر رشد گیاه ذرت ۷۰ روز پس از کشت..... ۶۴
شکل ۴-۲۴- تاثیر تیمارهای مختلف بر رشد گیاه ذرت ۷۰ روز پس از کشت..... ۶۵
شکل ۴-۲۵- تاثیر تیمارهای مختلف بر رشد گیاه ذرت ۷۰ روز پس از کشت..... ۶۵
شکل ۴-۲۶- تاثیر تیمارهای مختلف بر رشد گیاه ذرت ۷۰ روز پس از کشت..... ۶۶
شکل ۴-۲۷- میانگین اثر تیمارها بر غلظت فسفر اندام هوایی بدون کاربرد سنگ فسفات ۶۸
شکل ۴-۲۸- میانگین اثر تیمارها بر غلظت فسفر اندام هوایی همراه با کاربرد سنگ فسفات..... ۶۸
شکل ۴-۲۹- میانگین اثر تیمارها بر pH خاک بدون کاربرد سنگ فسفات..... ۷۰

شکل ۴-۳۰- میانگین اثر تیمارها بر pH خاک بدون کاربرد سنگ فسفات ۷۱
شکل ۴-۳۱- میانگین اثر تیمارها بر هدایت الکتریکی خاک بدون کاربرد سنگ فسفات ۷۲
شکل ۴-۳۲- میانگین اثر تیمارها بر هدایت الکتریکی خاک همراه با کاربرد سنگ فسفات..... ۷۲
شکل ۴-۳۳- میانگین اثر تیمارها بر فسفر محلول خاک بدون کاربرد سنگ فسفات ۷۴
شکل ۴-۳۴- میانگین اثر تیمارها بر فسفر محلول خاک همراه با کاربرد سنگ فسفات ۷۴
شکل ۴-۳۵- میانگین اثر تیمارها بر فسفر قابل جذب خاک بدون کاربرد سنگ فسفات ۷۶
شکل ۴-۳۶- میانگین اثر تیمارها بر فسفر قابل جذب خاک همراه با کاربرد سنگ فسفات..... ۷۶

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۳-۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاکهای مورد مطالعه ۲۸
جدول۳-۲- برخی از خصوصیات خاک فسفات مورد استفاده ۲۸
جدول ۴-۱- نتایج تجزیه واریانس مربوط به برخی خصوصیات شیمیایی مورد مطالعه. ۳۸
جدول ۴-۲- نتایج تجزیه واریانس مربوط به برخی خصوصیات گیاه مورد مطالعه ۵۹
جدول ۴-۳- نتایج تجزیه واریانس مربوط به برخی خصوصیات شیمیایی مورد مطالعه ۷۰

فصل اول: مقدمه

مقدمه

ذرت (*Zea mays L.*) گیاهی چهار کربنه است که در جهان سومین محصول مهم غذایی بعد از گندم و برنج می باشد و غذای اصلی میلیونها انسان است (شاه حسینی۲۰۱۰). ذرت از جمله گیاهان زراعی مهم در ایران به شمار می‌رود که در۷۰۰ هزار هکتار از اراضی ایران کاشته می شود و تولید ۲/۸ درصد از کل غلات را به خود اختصاص داده است (فائو۲۰۰۲). تولید تجاری ذرت، ۶۰۴ میلیون تن و سطح زیر کشت آن ۱۴۰ میلیون هکتار میباشد. ذرت علاوه بر تامین دانه وعلوفه ی مورد نیاز مرغداری ها و دامداری ها درصنعت غذایی، شیمیایی و دارویی نیز از اهمیّت ویژه ای برخورداراست .به‌علاوه، انسان نیز از دانه یا بلال آن تغذیه میکند. بنابراین، توسعه کشت ذرت و بهبود عملکرد و کیفیت آن از نظر تأمین غذای دام، طیور و انسان از اهمیت زیادی برخوردار است (فاجریا و همکاران ۲۰۱۰).

حاصلخیزی خاک و فراهمی مواد غذایی به منظور تأمین نیاز گیاهان از دیرباز مورد توجه کارشناسان علوم خاک بوده است. فسفر پس از نیتروژن مهمترین عنصر مورد نیاز گیاه بوده که در ساختمان سلولی و در بسیاری از فعالیت‌های حیاتی و از جمله ذخیره و انتقال انرژی شیمیایی دخالت دارد (افتخاری و همکاران، ۱۳۸۵؛ ملکوتی، ۱۳۸۳). در حدود ۰/۲ درصد وزن خشک گیاهان را فسفر تشکیل می‌دهد و یکی از عناصر نسبتاً فراوان در خاک است. مقدار فسفر کل در خاک معمولاً بین ۰/۰۲ تا ۰/۱ درصد است که از این مقدار۵۰ تا ۷۵ درصد به صورت معدنی است (سالاردینی، ۱۳۷۴). کمبود این عنصر، فعل و انفعالات سوخت و ساز نظیر تبدیل قند به نشاسته را در گیاه متوقف ساخته و بر اثر عدم تبدیل قند به نشاسته، آنتوسیانین (رنگ ارغوانی) در برگ تشکیل می شود (ملکوتی و نفیسی،۱۳۷۳). فسفر در خاکها به دو شکل آلی و معدنی به مقدار فراوان و در محدوده ۱۲۰۰-۴۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وجود دارد (خان و همکاران، ۲۰۰۷) ولی غلظت فسفات محلول در خاک معمولاً خیلی پایین بوده و در سطح ۱ میلی‌گرم در کیلوگرم یا کمتر می باشد. بنابراین در بیشتر خاک‌ها از

نظر میزان کل فسفر مشکلی وجود ندارد بلکه مشکل در دسترس بودن آن می‌باشد (پاول، ۲۰۰۷). فسفر در بیشتر خاک‌ها با کلسیم و به ندرت با آهن و آلومینیوم تشکیل کمپلکس می دهد. به دلیل ظرفیت بالای برخی خاکها برای تثبیت فسفر، تحرک آن در خاک در مقایسه با سایر عناصر بسیار کم است. درخاک‌های آهکی رسوب فسفر به صورت فسفات کلسیم، عامل اصلی کاهش قابلیت جذب فسفر در خاک به شمار می‌رود (کوار و باربر، ۱۹۹۸). در خاک‌های آهکی مقداری یون بی‌کربنات در اثر واکنش دی اکسید کربن و آهک تولید می‌شود که این یون با افزایش pH خاک باعث کاهش فسفر قابل‌جذب در خاک می‌شود. مطالعات نشان داده است که به دلیل پیچیدگی خاصیت شیمیایی فسفر در خاک های آهکی و اسیدی، کمتر از ۲۰٪ کود فسفره مصرفی توسط گیاه برداشت می شود و بقیه آن در خاک تثبیت و یا تغییر شکل یافته و به شکل غیر قابل جذب در می آید. از این رو به سبب وارد شدن فسفر در واکنش های مختلف با ترکیب های خاک و پایین بودن توان خاکها در فراهمی فسفر، مقدار زیادی از این عنصر لازم است تا فراهمی آن در خاک به حد مناسب رشد گیاه برسد (گوور و همکاران، ۲۰۰۴). در ایران این عنصر از لحاظ اقتصاد تهیه مواد خام، ساخت و واردات کود و همچنین به دلیل بررسی‌های خاکشناسی اهمیت فوق‌العاده‌ای نسبت به سایر عناصر دارد (سالاردینی، ۱۳۸۸). از طرف دیگر توانایی آن در القای کمبود عناصر کم مصرف ضروری و اثرات منفی آن بر محیط زیست سبب توجه بیشتر به این عنصر شده است (زلفی باوریانی و نوروزی، ۱۳۸۹).

کودهای شیمیایی یکی از منابع عمده تأمین فسفر برای گیاه، محسوب می شود. ولیکن تولید کودهای فسفره یک فرآیند پر هزینه و نیازمند انرژی فراوان می باشد. متأسفانه مصرف کودهای شیمیایی برخلاف افزایش تولید محصولات کشاورزی در سطح کشور بی رویه و نابهنگام بوده و متناسب با مقدار برداشت عناصر غذایی از خاک نیست, به گونه ای که در دهه ۱۳۶۰، رشد مصرف کودهای فسفاتی و نیتروژنی بیش از ده درصد بوده است. این در حالی است که یکی از پایه‌های اساسی کشاورزی پایدار، استفاده ی کارآمد، از کودهای شیمیایی و به ویژه کودهای فسفاتی است. این در حالی است که پیش بینی می شود منابع سهل الوصول کودهای فسفاته در دنیا رو به کاهش است و طی ۸۰-۷۰ سال

آینده به اتمام می رسد (وانس و همکاران۲۰۰۳). در سالهای اخیر گزارشهای متعددی مبنی بر مصرف بیش از حد فسفر و تجمع آن در خاک ارائه شده است (توجه و همکاران، ۱۳۸۸). پیامدهای مصرف بی‌رویه کودهای فسفاته علاوه بر تجمع فسفر بیش از نیاز، ایجاد رقابت با جذب عناصر ریز-مغذی بویژه روی(Zn)، اتلاف سرمایه، مسمومیت فسفر، کاهش عملکرد، افت کیفیت، کاهش جمعیت میکوریزای ریشه، هدر رفت ارز کشور و از همه مهمتر تجمع آلاینده هایی نظیر کادمیم در محصولات کشاورزی می‌باشد (توحیدی نیا، ۱۳۸۸ ؛ اصغری، ۱۳۸۶). علاوه بر هزینه های تولید کودهای شیمیایی، مشکلات زیست محیطی ناشی از استفاده زیاد از آنها نیز باعث شده است که محققین به دنبال جایگزینی برای کودهای شیمیایی باشند. منبع اصلی تولید کودهای فسفاته سنگ فسفات است (نجیب و داملی، ۱۹۹۶).

فراوانی منابع سنگ فسفات در جهان و گرانی تولید کودهای شیمیایی و آلودگی های جبران ناپذیر آنها دانشمندان را برآن داشت تا استفاده مستقیم از سنگ فسفات به عنوان منبع جایگزین کودهای شیمیایی در اراضی کشاورزی را مورد توجه قرار دهند (سلیم پور و همکاران، ۱۳۸۴). ذخایر سنگ فسفات دنیا، حدود ۱۲۹۸۰۰۰ میلیون تن برآورد شده است که متوسط فسفر آن حدود ۴/۴ درصد است. منابع سنگ فسفات که درصد فسفر آنها حدود ۱۲ درصد باشد برای تولید کودهای فسفره اقتصادی می‌باشند. استفاده از سنگ فسفات با درصد پایین فسفر برای تولید کودهای فسفاته، موجب افزایش قیمت کودهای فسفاته در طی سالهای آینده خواهد بود. این افزایش قیمت همراه با تقاضای روز افزون برای کودهای فسفره، سبب شده است تا بررسیهای زیادی در امکان مصرف مستقیم این ماده صورت گیرد (بشارتی و همکاران، ۱۳۸۳). یکی از راه‌های کاربرد خاک فسفات، کاربرد خاک فسفات همراه با میکروارگانیسم‌ها است. میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات و یا سایر میکروارگانیسم‌هایی که به راههای مختلف باعث حل شدن فسفات می‌شوند، می‌توانند به عنوان عوامل مؤثر در بهبود خاک فسفات، در خاک بکار روند.

کود بیولوژیک عبارت از مواد نگهدارنده‌ای با انبوه یک یا چند نوع ارگانیسم مفید خاکزی و یا فرآورده متابولیک آنها می باشد که به منظور تامین عناصر غذایی گیاهان استفاده می شوند (صالح راستین، ۱۳۸۰). کودهای زیستی به صورت مایه تلقیح میکروبی و به عنوان یک ترکیب حاصل سوش های میکروبی موثر و با بازده بالا برای تامین یک یا چند عنصر غذایی مورد نیاز گیاه تعریف می شوند. هزینه تولید کودهای زیستی کم است و در اکوسیستم آلودگی به وجود نمی آورد (خاوازی و ملکوتی، ۱۳۸۰). کودهای بیولوژیک علاوه بر صرفه اقتصادی باعث پایداری منابع خاک، حفظ توان تولید در دراز مدت و جلوگیری از آلودگی آبهای سطحی و زیرزمینی می گردند (قربانی، ۱۳۸۶). کاهش pH در خاک‌های آهکی و قلیایی یکی از روش‌های مؤثر و رایج برای مقابله با تثبیت عناصر غذایی از جمله فسفر, آهن و روی می‌باشد. استفاده از ریزجانداران خاکزی که توانایی انحلال فسفات های نامحلول آلی و معدنی و تبدیل آنها به فسفر محلول را دارند، یکی از راهکارهای مؤثر برای افزایش قابلیت جذب فسفر درخاک است (حاجی بلند و همکاران، ۱۳۸۶). امروزه ریزجانداران حل کننده فسفات در سطوح وسیع به عنوان کود زیستی به منظور افزایش تولید و حفظ سلامت خاک استفاده می‌شوند (خان و همکاران، ۲۰۰۷). گوناگونی ریز جانداران حل کننده فسفر در خاک بسیار زیاد است.گونه هایی از ریزجانداران که قادر به رهاسازی فسفر از منابع نامحلول هستند شامل باسیلوس، سودوموناس، پنیسیلیوم و آسپرژیلوس می‌باشند. ریزجانداران حل کننده فسفات با تولید اسیدهای معدنی (اسید کربنیک و سولفوریک)، اسیدهای آلی (سیتریک، بوتیریک، اگزالیک، مالونیک، لاکتیک و غیره) و تولید آنزیم فسفاتاز باعث انحلال فسفات معدنی و آلی می شوند (سندرا و همکاران، ۲۰۰۱). قارچ آسپرژیلوس نایجر یکی ار ریز جانداران حل کننده فسفات است که با تولید متابولیت‌ها و اسیدهای آلی باعث کاهش pH و افزایش فراهمی فسفر در خاک می‌شود (استمفورد و همکاران، ۲۰۰۲).

در استفاده از موادآلی، فسفر معدنی حاصل از تجزیه این ترکیبات به تدریج آزاد و در اختیار گیاه قرار می گیرد (ردی ۱۹۹۹). والن و چانگ (۲۰۰۲) گزارش کردند که استفاده دراز مدت از مواد آلی باعث نگه داری فسفر با پیوندهای کم انرژی‌تر شده و فراهمی آن را در پروفیل خاک افزایش می‌دهد. در نخستین مرحله تجزیه ترکیبات آلی محلول مانند قندها و اسیدهای آلی در محلول خاک افزایش می یابد (ریز و همکاران، ۲۰۰۱) این ترکیبات می‌توانند در افزایش فراهمی فسفر به وسیله جایگزینی آنیونی با یون های ارتوفسفات روی مکان های جذب، ایجاد پوشش بر روی سطوح جذب کننده اکسیدهای آهن و آلومینیوم و کربنات ها، ایجاد کمپلکس با یون های آهن، آلومینیوم و کلسیم موثر باشند. تأثیر مثبت مواد آلی می تواند به دلیل فراهم شدن شرایط بهتر برای ریز جانداران حل کننده فسفات باشد. همچنین ماده آلی خود حاوی عناصر غذایی بوده و شرایط را برای رشد بهتر ریشه و جذب عناصر بهبود می بخشد.

هدف از انجام این تحقیق بررسی استفاده از قارچ حل کننده فسفات(آسپرژیلوس نایجر) به منظور افزایش حلالیت فسفر خاک و جذب فسفر توسط گیاه ذرت است. در این خصوص از برخی ترکیبات آلی نظیر پودر یونجه جهت تامین مواد اولیه رشد قارچ مذکور استفاده شد. همچنین از سنگ فسفات جهت افزایش حلالیت فسفر موجود در آن نیز استفاده شد.

فصل دوم: بررسی منابع

۲-۱- ذرت

ذرت یکی از مهم ترین گیاهان زراعی است که به علت داشتن مواد قندی و نشاسته زیاد و عملکرد محصول علوفه ای بیش از ۸۰ تن در هکتار یکی از بهترین گیاهان جهت تولید علوفه سبز، سیلو و دانه محسوب می شود. عمده ترین موارد مصرف ذرت عبارتند از غذای اصلی انسان، علوفه جهت تغذیه دام و مصارف صنعتی می باشد. سطح زیر کشت، میزان تولید در هکتار و مقدار مصرف ذرت، در طی سال های اخیر در اغلب کشورهای جهان افزایش شدیدی یافته به نحوی که رتبه سوم را بعد از گندم و برنج از نظر سطح زیر کشت به خود اختصاص داده است. سطح زیر کشت ذرت در جهان ۱۶۱ میلیون هکتار، متوسط عملکرد آن در هکتار ۵۱۰ کیلوگرم و تولید کل جهان معادل ۸۲۲ میلیون تن برآورد گردیده است. مهم ترین کشورهای تولید کننده ذرت شامل امریکا، آرژانتین، برزیل، کلمبیا، مکزیک، فرانسه و .. می باشند. به علت وجود شرایط آب و هوایی مناسب در بیشتر مناطق کشور، کاشت ذرت در ایران نیز مورد توجه قرار گرفته است. توسعه و کشت آن از نظر تأمین غذای دام و طیور از اهمیت زیادی برخوردار است. میزان تولید ذرت در ایران حدود ۶۲/۱ میلیون تن برآورد شده که ۹۹/۷۴ درصد آن از کشت آبی و مابقی از کشت دیم بدست آمده است (خدابنده، ۱۳۷۷).

۲-۱-۱-گیاه شناسی ذرت

گیاه ذرت تک پایه، یکساله، روز کوتاه، از خانواده گرامینه، جنس *Zea* و گونه *Mays* می باشد. گرده افشانی در این گیاه معمولاً غیر مستقیم بوده و توسط باد صورت می گیرد. ساقه ذرت مانند سایر غلات بندبند، گره دار، استوانه ای، معمولاً بدون انشعاب بوده و پنجه ای تولید نمی کند. خوابیدگی یا ورس در ذرت به ندرت دیده می شود. ساقه ذرت علاوه بر حفظ و نگهداری برگ و دانه، به عنوان اندام ذخیره ایی مواد جامد قابل حل که بیشتر ساکارز است می تواند به عملکرد کمک کند(گنتر و همکاران، ۱۹۷۰).

برگ ذرت مانند سایر غلات کشیده بوده و از دو قسمت پهنک و غلاف تشکیل شده است که غلاف ساقه را در بر می گیرد. طول برگ ها ۳۰ تا ۸۰ سانتی متر و پهنای برگ حدود ۸ تا ۱۰ سانتی متر

می باشد. برگها اولین قسمت گیاه هستند که پس از نوک کلئوپتیل از خاک بیرون می آیند و تا مدت زمانی تنها بخش‌های هستند که در بالای سطح خاک قرار دارند. بدین ترتیب که در هر گره ساقه، یک برگ بوجود می آید که غلاف آن ساقه را در بر می گیرد. تعداد ریشه اولیه ۳-۵ بوده و بر خلاف ریشه های اولیه بعضی از غلات که پس از تکمیل ریشه‌های ثانویه از بین می روند، در این گیاه باقی می ماند و از گیاه جدا نمی شود. ریشه‌های ثانویه که به ریشه های دائمی نیز مشهور هستند به تعداد ۱۵-۲۰ برابر ریشه اولیه بوده و از میان گره ساقه و از ۳-۵ سانتی‌متری خاک تشکیل می شوند. ریشه‌های هوایی که به ریشه‌های نابجا معروف هستند از گره های دوم و سوم در بالای سطح خاک به وجود می آیند و ضمن کمک به استقرار گیاه در خاک در جذب آب و مواد غذایی نیز مؤثرند (امامی، ۱۳۸۳). تعداد دانه های ذرت روی هر بلال حدود ۱۰۰۰-۳۰۰ دانه می باشد. دانه ذرت یک میوه تک لپه، خشک و ناشکوفا است. رنگ دانه در واریته های مختلف از سفید، زرد، قرمز، ارغوانی تا سیاه متغیر می باشد. چون دانه ها به طور محکم روی محور خود قرار گرفته اند ذرت قادر به پراکنش بذرهایش نیست. بنابراین طبیعت بدون مداخله انسان نمی تواند به بقای خود ادامه دهد (تاج بخش،۱۳۷۵).

۲-۱-۲- انواع ذرت

ذرت را از نظر دوره زندگی به سه دسته زودرس، متوسط رس و دیر رس تقسیم می کنند. مهم ترین طبقه بندی ذرت از نظر شکل ظاهری دانه و ترکیبات و خواص آن عبارت است از: ذرت دندان اسبی، ذرت بلوری، ذرت آردی، پاپ کورن، ذرت شیرین قندی، ذرت غلافدار، ذرت مومی(خدابنده،۱۳۷۷).

۲-۱-۳- ارقام مورد کشت در ایران

بیش ترین رقم ذرت که در ایران مورد کشت قرار می گیرد، رقم SC704 می باشد که بعنوان علوفه و دانه مورد استفاده قرار می گیرد. ارقام دیگری وجود دارد که در سطوح کمتری کشت می شوند که عبارتنداز: SC700، SC260، SC460، SC911.

۲-۱-۴- شرایط مناسب برای رشد ذرت

دما: ذرت گیاه چهار کربنه بوده و احتیاجات بالایی به حرارت در طی دوره رشد خود دارد. مناسب ترین محیط برای کشت، ناحیه ای است که دمای آن به مدت ۳ تا ۴ ماه متوالی، ۲۰تا ۳۰ درجه سانتی گراد باشد. در صورتی که دمای اواسط تابستان در ناحیه کشت ذرت به کمتر از ۱۸ درجه سانتی گراد رسد و یا میانگین دمای تابستان کمتر از ۱۳ درجه باشد میزان رشد گیاه کاهش یافته و در صورت طولانی شدن کاهش دما، کشت ذرت غیر ممکن خواهد بود (کریمی۱۳۸۳).

خاک: کاشت ذرت در خاک های دارای عمق کافی، نرم و قابل نفوذ امکان پذیر می باشد. زمین های رسی- هوموسی و زمین های رسی-شنی که عمق کافی داشته باشند برای کاشت این گیاه مناسب اند. مناسب ترین و بهترین pH برای رشد و نمو ذرت برابر۵/۵ تا ۶/۵ است (خدابنده، ۱۳۷۷).

نور: ذرت گیاهی روز کوتاه است، به این معنی که گل دادن آن با کوتاه شدن طول روز سریعتر می گردد. علاوه بر طول روز، شدت و کیفیت نور بر رشد و نمو ذرت نیز موثر است. در مناطقی که در دوره رشد ذرت نور کافی وجود نداشته باشد، این گیاه نمی تواند رشد طبیعی خود را به طور کامل انجام دهد و به علت کاهش فتوسنتز، بذر کافی تولید نمی شود و از کیفیت دانه ها نیز کاسته خواهد شد (خدابنده،۱۳۷۷).

رطوبت: یک فاکتور مهم در زراعت نیاز آبی آن می باشد، زراعت ذرت در رابطه با تولید ماده خشک نسبت به سایر نباتات زراعی به آب کمتری احتیاج دارد. تعداد دفعات آبیاری تحت شرایط خاک و آب و هوا قرار داشته و بین ۲ تا ۱۵ روز در طول فصل متغیر است. زراعت ذرت در مناطقی که بارندگی سالانه ۶۰۰ تا ۷۰۰ میلیمتر دارند به صورت دیم هم امکان پذیر می باشد(خدابنده،۱۳۷۷).

۲-۱-۵- احتیاجات غذایی ذرت

ذرت از جمله گیاهان پر توقعی است که با توجه به عواملی مانند بافت خاک، تناوب زراعی، شرایط جوی محیط و رقم گیاهی مواد غذایی زیادی را از خاک جذب نموده و بنابراین در دوره رشد و نمو به مواد غذایی مختلف نسبتاً زیادی نیاز دارد. این گیاهان در صورت کافی بودن مواد آلی ، متعادل بودن و کافی بودن عناصر غذایی بیش ترین عملکرد را خواهد داشت. از بین ۱۳ عنصرغذایی مورد نیاز، ازت، فسفر، روی و بر اهمیت بیشتری از لحاظ تغذیه ذرت در خاک های آهکی ایران دارا می باشند.

نیتروژن: نیتروژن موجب شادابی، رنگ سبز طبیعی، نمو سریع، ازدیاد ساقه و برگ ها، بالا بردن میزان محصول و افزایش درصد پروتئین دانه می گردد. تحقیقات نشان داده است نیتروژن عامل اصلی تولید ذرت به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک می باشد. در این مناطق نیتروژن نخستین عنصری است که کمبود آن مطرح است. زیرا در این مناطق موادآلی خاک که عمده ترین منبع نیتروژن هستند، به دلایل مختلف از جمله بارندگی کم، تناوب نامناسب، پوشش گیاهی ناچیز و عدم مصرف کودهای حیوانی و کود سبز، کم است (تیسدال و همکاران، ۱۹۸۴). هرگاه این عنصر به مقدار کافی در اختیار گیاه نباشد علائم کمبود این ماده در اندام هوایی گیاه ظاهر شده و در نتیجه بوته ها کوتاه مانده و در صورتی که کمبود ادامه یابد برگ باریک و زرد می شود. هنگامی که کمبود شدید باشد رگبرگ های اصلی زرد شده و رنگ زرد به شکلV سطح برگ را فراگرفته و به سرعت زردی تمام برگ را در برخواهد گرفت (مارسنچر، ۱۹۹۵).

فسفر: فسفر از عناصر اصلی مورد نیاز ذرت می باشد که در تمام فرایندهای بیو شیمیایی، در ترکیبات انرژی زا و مکانیسم های انتقال انرژی دخالت دارد. فسفر جزئی از پروتئین سلول بوده و به عنوان جزئی از پروتئین هسته سلول و غشاء سلولی ایفای نقش می کند. هرگاه در زمینی که ذرت کاشته می شود فسفر به اندازه کافی نباشد، گرده افشانی گیاه به تعویق افتاده و به طور ناقص انجام شده، رشد گیاه و رسیدن میوه ها به تأخیر می افتد، موجب بنفش شدن رنگ برگ های مسن گیاه در ابتدای رشد شده که بتدریج به رنگ سبز تیره متمایل به آبی تبدیل می شود (مارسنچر، ۱۹۹۵). دانه

بندی در روی میوه به خوبی انجام نشده و ردیف دانه ها در روی میوه نیز به طور نامنظم تشکیل شده و قسمت بالای میوه نیز بدون دانه باقی می ماند. بنابراین بهترین زمان مصرف کود فسفر هنگام کاشت می باشد.

پتاسیم: تغذیه مناسب با پتاسیم باعث افزایش کیفیت و کمیت آن می گردد. پتاسیم باعث افزایش طول دوره پرشدن دانه شده و رسیدگی یکنواخت و افزایش تعداد دانه در خوشه کمک کرده و ورس را کاهش می دهد. در صورت کمبود پتاسیم رشد متوقف شده، گیاه کوچک مانده و تنها بخش‌های کوچکی از برگ‌ها به رنگ سبز باقی می ماند. قسمت انتها و یا نوک میوه‌ها دانه نبسته و بطور کلی مقاومت گیاه نیز در برابر بیماری‌ها کم می شود (خدابنده، ۱۳۷۷).

۲-۲- نقش فسفر در افزایش رشد گیاهان زراعی

فسفر نقش اساسی در تغذیه همه گیاهان دارد و در بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در موجودات زنده شرکت دارد (وانس و همکاران، ۲۰۰۳)، جزئی از ساختمان فسفولیپیدهاست و مهمترین نقش آن، شرکت در فرآیند تولید و انتقال انرژی است (معزاردلان و ثواقبی فیروزآبادی، ۱۳۸۱). سبب تسریع رشد و رسیدگی محصول شده و کیفیت بافت های سبز را افزایش می دهد. مسیر حرکت آن به سمت بافت های جوان است و انتقال آن در گیاه به سهولت صورت می گیرد. گیاهان ظرفیت بالایی برای جذب و ذخیره فسفر دارند (خواجه پور، ۱۳۸۷). شارما (۲۰۰۳) بیان کرد که یکی از فواید کود فسفر کمک به ایجاد ریشه های بیش تر و عمیق تر می باشد. وی خاطر نشان کرد که فسفر با تأثیر بر طول ظرافت و تراکم ریشه بطور غیر مستقیم موجب افزایش عملکرد محصول می گردد. همچنین گرنت و همکاران(۲۰۰۵) نیز کاهش سرعت رشد و همچنین عملکرد گیاهان را در اثر کمبود فسفر گزارش کردند. همچنین تحقیقات در گیاه گندم نشان داد با افزایش سطح فسفر عملکرد دانه، وزن هزار دانه، ارتفاع بوته و عملکرد بیولوژیک گیاه به طور معنی‌داری در هر دو آزمایش گلخانه‌ای و مزرعه‌ای افزایش یافت (گنجعلی و همکاران، ۱۳۸۸) و در تحقیق دیگری در گیاه ذرت با افزایش سطوح مختلف کود فسفر (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) غلظت فسفر در اندام‌های

هوایی (به میزان ۲۵/۶ درصد) و عملکرد ماده خشک (به میزان ۱۷/۷ درصد) بهبود یافت (امیرآبادی و همکاران، ۱۳۸۸).

۲-۳- فسفر در خاک

فسفر یکی از عناصر اصلی پر نیاز گیاه است و در بسیاری از خاک‌ها، یکی از عناصر محدود کننده رشد گیاه می‌باشد. فسفر بعد از نیتروژن، مهمترین عنصر غذایی مورد نیاز گیاه است و همچنین مهمترین عنصر غذایی در تولید محصول می باشد (سالاردینی، ۱۳۸۲). مقدار فسفر کل خاک سطحی و تحت الارض ممکن است از چند میلی‌گرم درکیلوگرم تا یک گرم درکیلوگرم متغیر باشد و نیز بر خلاف نیتروژن که در سطح‌الأرض انباشته می شود مقدار فسفر در تحت الارض ممکن است کمتر، مساوی یا بیشتر از مقدار آن در سطح الأرض باشد (پراساد و پاور، ۱۹۹۷). در خاک‌های زراعی به علت افزایش کودهای فسفر معمولاً مقدار فسفر افق‌های سطحی بیش از افق‌های عمقی است (سالاردینی،۱۳۷۱). بنابراین با توجه به نوع مواد مادری، شدت هوادیدگی و مقدار هدررفت فسفر توسط فرسایش و آبشویی، میزان فسفر در خاکهای مختلف تفاوت زیادی دارد (جوانمرد،۱۳۸۳؛ حجازی مهریزی، ۱۳۸۴). خاک‌های تشکیل شده از سنگ‌های آذرین اسیدی معمولاً دارای فسفر کمتری در مقایسه با خاک-های تشکیل شده از سنگ‌های بازی که حاوی مقادیر متوسط تا بالای فسفر هستند، می باشد (فرزانه، ۱۳۸۲). سالاردینی (۱۳۸۲) اظهار داشت مقدار معمول فسفر کل در خاکها بین ۵۰۰ تا ۸۰۰ میلی-گرم بر کیلوگرم می‌باشد. خاکی با ۵۰۰ میلیگرم بر کیلوگرم فسفر، در حدود ۱۱۲۰کیلوگرم در هکتار در عمق شخم فسفر دارد. فسفر از دیدگاه شیمیایی، بسیار واکنش پذیر بوده و به شکل‌های فسفاتی در طبیعت وجود دارد. حداقل ۱۷۰ کانی گوناگون حاوی فسفر شناسایی شده است. این کانی‌ها حلالیت‌های نا برابر دارند و با گذشت زمان از یک شکل با حلالیت بالا، به شکل‌های نامحلول‌تر تبدیل می‌شوند.

۲-۴- اشکال فسفر در خاک

فسفات‌های خاک می‌توانند به دو گروه معدنی و آلی تقسیم شوند. بخش آلی آن در هوموس و مواد آلی و بخش معدنی آن به صورت ترکیب با کلسیم (در خاکهای آهکی)، آهن و آلومینیوم (در خاکهای اسیدی) و دیگر فلزات است. در فسفات‌های معدنی یک یا تمام هیدروژن‌های اسید فسفریک با کاتیون‌های فلزی تعویض شده است. در فسفات آلی یک یا تمام هیدروژن‌های اسید فسفریک با یک اتصال استری تعویض شده و باقی‌مانده یون‌های هیدروژن به وسیله کاتیون‌های فلزی تعویض شده اند. نسبت فسفر معدنی و آلی در خاک‌های مختلف متفاوت است. معمولا فسفر آلی در سطح خاک بیش از لایه‌های زیرین خاک است. علاوه برکانی‌های فسفاته، فسفر به صورت دیگری نیز در فاز جامد معدنی وجود دارد و آن جذب سطحی فسفر روی سطوح کانی‌های سیلیکاتی، کربنات کلسیم، مواد آلی، اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن و آلومینیوم است (طهماسبی و حسین پور، ۱۳۸۶؛ هاوارد و همکاران، ۲۰۰۶). شکل‌های مختلف فسفر حلالیت‌های متفاوتی دارند و بین این شکل‌ها و شکل قابل جذب فسفر همبستگی های معنی داری گزارش شده است. به طور کلی فسفر آلی در ارتباط با مواد آلی خاک است و خاک‌هایی که مواد آلی بیشتری دارند دارای فسفر آلی بیشتری می‌باشند (سالاردینی، ۱۳۸۲). بجز در خاک‌های آلی، مقدار فسفر معدنی در خاک‌ها همواره بیشتر از فسفر آلی است. بنابراین به طور کلی فسفر موجود در خاک را می توان به چهار دسته تقسیم نمود (ملکوتی و همایی، ۱۳۸۳؛ دهقان، ۱۳۸۲):

۱- فسفر موجود در ساختمان مواد آلی خاک

۲- کانی های بلوری و غیربلوری فسفردار

۳- فسفر جذب شده بر روی سطوح ذرات خاک

۴- فسفرموجود در محلول خاک

۲-۴-۱- فسفرآلی

فسفر آلی بخشی از فسفر کل خاک است که بخش محلول آن بسیار ناچیز است. این بخش از فسفر نزدیک به ۲۰ تا ۷۰ درصد فسفر کل خاک ۲۹ تا ۶۵ درصد فسفر کل خاک‌های سطحی و بیش از ۹۰ درصد فسفر کل در محلول خاک را تشکیل می‌دهد. مقدار کل فسفر آلی در خاک بستگی به میزان مواد آلی خاک دارد. عواملی همچون اقلیم، پوشش گیاهی، خصوصیات خاک، آبیاری، زهکشی و مدیریت زراعی، بر میزان فسفر آلی خاک‌ها مؤثر هستند. به طور مثال فسفر آلی خاک سطحی جزء کمتری از کل فسفر خاک را در مناطق گرم شامل می شود و این جزء درمناطق سرد جهان بیشتر است (پراساد و پاور،۱۹۹۷). همچنین مقدار فسفر آلی درخاکهای آلی و پیت، نسبت به خاک‌های معدنی بیشتر است. در خاک‌های معدنی با بافت سنگین نیز نسبت به خاک‌های سبک بافت، فسفر بیشتری به شکل آلی وجود دارد (کریشنا، ۲۰۰۲). اینوزیتول‌ها، فسفولیپیدها و اسیدهای نوکلئیک از انواع فسفرآلی خاک می باشند. مقدار فسفولیپیدها و نوکلئویید فسفات ها در خاک نسبت به کل فسفات های آلی خاک کم بوده و درصد کمی را تشکیل می دهند. به هر حال فسفر آلی به طور مستقیم اثری در تغذیه فسفر گیاه ندارد، بلکه باید فسفر آلی قبل از جذب گیاه، معدنی شود (فرزانه، ۱۳۸۲).

۲-۴-۲- کانی های فسفاته

تا کنون حدود ۱۷۰ کانی حاوی فسفر شناسایی شده است (جعفری، ۱۳۸۳). کانی‌های فسفاته شامل فسفات‌های کلسیم در خاک‌های قلیایی و فسفات‌های آهن و آلومینیم در خاک‌های اسیدی می‌باشد. فسفات‌های کلسیم در خاک شامل دی کلسیم فسفات، تری کلسیم فسفات، هیدروکسی آپاتیت و فلوئوروآپاتیت می‌باشد که از طریق آزاد کردن پروتون و جذب کلسیم به یکدیگر تبدیل می‌شوند (سالاردینی، ۱۳۸۲؛ معزاردلان و ثواقبی فیروز آبادی، ۱۳۸۱). فسفات‌های کلسیم در خاک‌های خنثی و آهکی و با هوادیدگی کم دیده می شوند حال آنکه فسفات‌های آهن و آلومینیوم در خاک های اسیدی و با هوادیدگی زیاد مشاهده می شود. با هوادیدگی، کلسیم و سایر عناصر غیر اسیدی در طی

آبشویی از محیط خارج می شوند و اکسید های آهن و آلومینیوم غالب می شوند. اکسید های آهن و آلومینیوم با یون ارتو فسفات ترکیب می شوند. بنابراین با افزایش هوادیدگی و تکامل خاک، کانی های فسفاته از شکل فسفات های کلسیم به اشکال فسفات های آهن و آلومینیوم تبدیل می شود (یرکون، ۲۰۰۸).

۲-۴-۳- فسفر محلول

فسفر محلول ممکن است به صورت ارتوفسفات یا همچنین پلیمرهای بالاتر وجود داشته باشد. معمولاً غلظت فسفر محلول خیلی کم و در حدود ۰/۱ تا ۱ میلی گرم در کیلوگرم است و غلظت آن در خاک های زراعی حاصلخیز در حدود ۰/۳تا ۳ میلی گرم در کیلوگرم و در خاک های غیر حاصلخیز کمتر از ۰/۰۵ میلی گرم درکیلوگرم است (سلیمانی درچه،۱۳۷۳؛ جعفری، ۱۳۸۳). برای اکثر محصولات کشاورزی فسفر محلول مورد نیاز ۰/۲تا ۰/۳ میلی گرم درکیلوگرم می باشد که در این غلظت گیاهان قادرند بالاترین محصول را تولید نمایند در حالیکه برای گیاهان دیگر حتی تا ۲۵ برابر این غلظت مورد نیاز است (ریمرسما، ۲۰۰۶).

۲-۴-۴ فسفر جذب سطحی شده

بخشی از فسفر جذب سطحی شده به عنوان فسفر لبایل در نظر گرفته می‌شود که عبارت است از فسفر تبادل شده و یا فسفری که توسط عصاره گیرهای شیمیایی عصاره گیری می‌شود و مقدار فسفری را که می‌تواند به وسیله گیاه جذب شود را نشان می‌دهد. برخلاف نیتروژن، ترکیبات فسفره کم محلول بوده و به راحتی از نیمرخ خاک شسته نمی‌شوند. معمولا هنگامی که اراضی مناطق خشک و نیمه خشک آبیاری شده و در آنها کشت متمرکز انجام می‌گیرد، کمبود فسفر چند فصل زراعی پس از کمبود نیتروژن مطرح می‌شود. به طور کلی، فسفر قابل استفاده خاک در کشت متمرکز سریعا به مصرف رسیده و مقدار آن در خاک کاهش می‌یابد (ملکوتی و همایی، ۱۳۷۳). مقدار فسفر جذب سطحی شده در خاکها متفاوت است که دلیل آن را می توان به وجود مقادیر متفاوت ترکیباتی نظیر اکسید ها و هیدروکسیدهای آهن و آلومینیوم، کربنات کلسیم، ماده آلی و pH متفاوت خاک‌ها نسبت

داد. در خاک‌های آهکی کربنات کلسیم مکان اصلی جذب سطحی فسفر محسوب می شود در حالی که در خاک‌های اسیدی جذب سطحی توسط اکسید های آبدار آهن و آلومینیوم و شبکه رس های لایه ای ۱:۱ صورت می گیرد. فسفر به وسیله کانی های رسی نیز جذب سطحی می شود اما توانایی این کانی ها در جذب سطحی فسفر کمتر از اکسید های آهن و آلومینیوم است (سالاردینی، ۱۳۸۸).

۲-۵- حرکت و خروج فسفر از خاک

فسفر خاک به سه صورت ممکن است حرکت کند: به وسیله عمل موجودات زنده، با جریان انبوهی آب[۱] و حرکت در جهت شیب پخشیدگی[۲]. موجودات زنده خاک با جذب فسفر از یک نقطه خاک و رها کردن آن در جای دیگر موجب حرکت آن در خاک می شوند. حرکت فسفر به وسیله جریان انبوهی تابع غلظت فسفر و شدت حرکت مایع می باشد. پخشیدگی جریان نیز عملی است که بوسیله آن ماده از یک قسمت محیط به قسمت دیگر، تحت تأثیر حرکت حرارتی[۳] ملکول یا یون ها، انتقال پیدا می کند (سالاردینی، ۱۳۸۷). خروج فسفر از خاک و داخل شدن آن در آب‌های محلی احتمالا از طریق جذب در سطح ذرات خاک و فرسایش صورت می‌گیرد و کمتر به صورت محلول و از طریق آبشویی و وارد شدن در سفره‌های زیرزمینی انجام می‌گیرد (محمودی و حکیمیان، ۱۳۸۵).

۲-۶- تأثیر عوامل خاکی در محلولیت و جذب فسفر

محلولیت و قابلیت جذب فسفر تابع عوامل بسیار متعددی است. آثار این عوامل همیشه توأم می باشد، به طوری که امکان مطالعه جداگانه آنها از نظر تئوری، بسیار ضعیف است. عوامل مؤثر در قابلیت جذب فسفر تحت عنوان هایی مانند واکنش خاک، آهن و آلومینیوم، هیدروکسیدهای آهن و آلومینیوم، کانی های رسی، یون کلسیم، فسفات و مواد آلی بحث می شود(سالاردینی، ۱۳۸۷).

[1] Mass flow
[2] Diffusion
[3] Thermal movement

۲-۶-۱- اثر واکنش خاک

یون های محلول در خاک تابع pH می باشند. هنگامی که pH خاک به کمتر از ۵/۵ تنزل پیدا کند آهن و آلومینیوم محلول به مقدار قابل توجهی افزایش یافته و فسفر را به صورت فسفات آهن و آلومینیوم تثبیت می نمایند. در pH بالای ۷ مقدار یون OH^- وجود دارد که باعث تبدیل $H_2PO_4^-$ به یون HPO_4^{2-} و آب می گردد و از آنجا که یون HPO_4^{2-} نسبت به یون $H_2PO_4^-$ با سهولت کمتری به وسیله گیاه جذب می شود در نتیجه یون HPO_4^{2-} بیشترین یون محلول خاک را به وجود می آورد. تحقیقات نشان داده است که حداکثر قابلیت جذب فسفر برای گیاه در pH حدود ۶ تا۶/۵ بدست می آید زیرا کانی های کنترل کننده فسفر در این pH توأما حضور داشته و حلالیت بالایی دارند (عطاردی، ۱۳۸۴؛ فاگریا،۲۰۰۹)

۲-۶-۲- اثر آهن و آلومینیوم

در خاکهای اسیدی مقدار زیادی یون های فعال آهن، آلومینیوم و منگنز تشکیل می شود. تماس این یون ها با فسفات باعث تشکیل رسوب شده و بنابراین قابلیت جذب فسفر خاک، کاهش می یابد. واکنش شیمیایی که بین آهن و آلومینیوم با فسفات صورت می گیرد کاملا روشن نیست ولی تشکیل ترکیبات هیدروکسی فسفات ها مطابق رابطه زیر مورد تأیید اغلب دانشمندان است (سالاردینی، ۱۳۸۷).

$$Al^{+3} + H_2PO_4^- + H_2O \leftrightarrow Al(OH)_2H_2PO_4 + 2H+ \qquad (۱-۲)$$

۲-۶-۳- اثر یون کلسیم

هرچه pH خاک به طرف قلیایی برود یون های غالب فسفات بتدریج از فسفات منو به دی و بالاخره تری تبدیل می شوند و در عین حال محلولیت فسفات کلسیم نیز به همین ترتیب کاهش می یابد. در خاک های آهکی و قلیایی فعالیت یون کلسیم زیاد است. بنابراین از مجموع این بحث می توان نتیجه گرفت که با افزایش pH خاک، تمایل فسفات برای اینکه به صورت فسفات های کلسیم نسبتا کم محلول درآید، بیشتر می شود (سالاردینی، ۱۳۸۷). در خاک های قلیایی دارای کربنات کلسیم آزاد،

مکانیزم دیگری نیز مسئول کاهش فعالیت فسفر است. یون فسفر محلول خاک وقتی با کلسیم سطحی کربنات کلسیم که در فاز جامد است تماس پیدا کند، در روی سطح این ذرات رسوب می کند که مقدار رسوب به بزرگی سطح ذرات و غلظت یون فسفات در محلول بستگی دارد. هر چه ذرات کربنات کلسیم خاک ریزتر باشد مقدار کلسیم فعال آن بیشتر بوده و تثبیت فسفر بیشتر خواهد بود. مکانیزم دیگری که کلسیم در آن نقش دارد پدیده پل زدن[1] است که در این پدیده کلسیم به منزله پلی بین کانی رس و یون فسفات می باشد.

۲-۶-۴- اثر افزایش فسفات

تحقیقات نشان داده است که در هر خاکی قابلیت جذب فسفر با افزایش فسفات افزایش می یابد (جلالی و کلاه چی، ۱۳۸۴) . وقتی فسفات های محلول به خاک اضافه می شود بلافاصله دو نوع ترکیب فسفری در خاک تشکیل می شود، یکی رسوب تازه فسفات کلسیم، آهن وآلومینیوم و دیگری همین ترکیبات در سطح ذراتی مانند کربنات کلسیم یا هیدروکسیدهای آهن و آلومینیوم. در هر دو حال سطح فعال ترکیب فسفری زیاد است و در نتیجه قابلیت جذب آنها نیز زیاد خواهد بود (سالاردینی، ۱۳۸۷).

۲-۶-۵- اثر مواد آلی

معلوم شده است که برگرداندن شاخ و برگ گیاهان و دادن کود سبز به زمین زراعی جذب فسفر به وسیله گیاه را که در فصل زراعی بعدی کاشته شود افزایش می دهد. به عبارت دیگر قابلیت جذب فسفر خاک زیادتر می شود. علل آن به اثر مواد آلی نسبت داده شده است که مهمترین آنها این است که ترکیبات و اسیدهای آلی و هوموسی که در نتیجه پوسیدگی مواد آلی تولید می شوند در مقابل جذب نمودن فسفر نقش مؤثری دارند. ترکیب گاز کربنیک تولید شده از تجزیه مواد آلی با آب تولید اسید کربنیک می نماید. این اسید در خاک های آهکی، حلالیت ترکیبات فسفاتی را افزایش داده و بدین ترتیب قابلیت جذب آنها فزونی می یابد. غیر از اسیدکربنیک پوسیدگی مواد آلی, اسیدهای

[1]. Bridging

کمپلکس کننده ای مانند سیترات، اکسالات، تارتارات، مالات و مالونات تولید می کند که قادرند با هیدروکسیدهای آهن و آلومینیوم ترکیب شده و مانع رسیدن آنها به فسفات و رسوب آن شوند. عده ای ار دانشمندان عقیده دارند که پوسیدگی مواد آلی باعث تولید هوموس و اسید هومیک می شود که محلولیت فسفر را افزایش می دهد. یکی از علل افزایش قابلیت جذب، تشکیل شدن کمپلکس های فسفوهومیک است که با سهولت بیشتری جذب گیاهان می شود (سالاردینی،۱۳۸۷).

۲-۶-۶- اثر کودهای ازته

ازت خاک به دو طریق می تواند در قابلیت جذب فسفر مؤثر باشد. یکی اثرات بیولوژیکی است که به صورت تغییراتی در شکل و فعالیت های گیاه ظاهر می شود؛ مانند افزایش سطح مؤثر و قدرت جذب ریشه، افزایش فعالیت تنفسی و آنزیمی گیاه. اثر دیگر ازت اثر شیمیایی آن در حلالیت فسفر خاک می باشد (فاگریا، ۲۰۰۹). از آنجا که ازت و فسفر هر دو از عناصر ضروری برای نمو گیاه می باشد کمبود هر کدام از آنها باعث کند شدن یا توقف نمو ریشه و قسمت های هوایی گیاه می شود. اگر مقدار عناصر دیگر در خاک کافی باشد افزایش ازت باعث تشویق نمو ریشه می شود. افزایش ریشه گیاه موجب جذب بیشتر فسفر از خاک و از کودهای فسفری می شود (سالاردینی،۱۳۸۷). از اثرات شیمیایی کود های ازتی در جذب فسفر اثری است که این کود ها در واکنش خاک و در نتیجه در حلالیت فسفر دارد. همانطور که می دانید بعضی از کود های ازتی اسید زا و بعضی قلیازا هستند. در خاک های اسیدی کود های اسید زا باعث افزایش اسیدیته و تشکیل فسفات آهن یا آلومینیوم می شوند که قابلیت جذب کمی دارند. در این خاکها کود های ازتی قلیایی باعث تشکیل فسفات کلسیم یا سدیم و بنابراین جذب بیشتر این عنصر بوسیله گیاه می شوند. در خاکهای آهکی و قلیایی کود های ازتی اسید زا با کاهش موضعی pH باعث می شوند بخشی از فسفات های نامحلول به ترکیباتی محلولتر مثل دی کلسیم فسفات تبدیل گشته و بدین ترتیب قابلیت جذب فسفر برای گیاه افزایش می یابد (سالاردینی، ۱۳۸۸؛ ملکوتی و همایی، ۱۳۸۳).

۲-۷- تأثیر شرایط اقلیمی

۲-۷-۱- اثر رطوبت خاک

از جمله عواملی که بر روی جذب فسفر توسط گیاه اثر می گذارد، میزان رطوبت خاک است؛ بطوریکه جذب فسفر بطور معکوس با مکش رطوبتی خاک همبستگی دارد. با توجه به اینکه فسفر در خاک اساساً بوسیله انتشار و از طریق منافذی که با آب پر شده اند حرکت می کند، زمانی که آب خاک کاهش پیدا می کند، حرکت فسفر نیز کاهش می یابد (گاتیر و گاماس، ۱۹۹۸).

۲-۷-۲ اثر دما

با افزایش دما معمولاً قابلیت استفاده فسفر معدنی کاهش می یابد. افزایش دما باعث ابقای بیشتر فسفر می گردد که احتمالاً به دلیل افزایش سرعت واکنش‌های شیمیایی فسفر با سطوح جذب در خاک می باشد. این می تواند ابقای بیشتر فسفر در مناطق گرم نسبت به مناطق سرد را توجیه کند. از طرفی برخی مطالعات نشان می دهد که با گرم شدن هوا، به دلیل افزایش فعالیت میکروارگانیزم‌ها، معدنی شدن فسفر آلی افزایش می یابد و این می تواند شرایط را برای ابقای فسفر فراهم تر کند (حجازی مهریزی، ۱۳۸۴). خاک‌های تشکیل شده در مناطق با بارندگی و دمای بالا دارای مقادیر زیادی رس کائولینیت هستند و بنابراین دارای ظرفیت تثبیت بالاتری هستند. مناطق با بارندگی و دمای بالا همچنین از این لحاظ که دارای مقادیر بیشتری از اکسیدهای آهن و آلومینیوم هستند، در تثبیت فسفر اهمیت دارند (جوانمرد، ۱۳۸۳).

۲-۸- کودهای شیمیایی

طی وقوع انقلاب سبز در کشورهای در حال توسعه جهان، کودهای شیمیایی نقش بسزایی را در افزایش بازده محصولات دانه ای برعهده داشته اند. پیش بینی می شود تا سال ۲۰۲۰ بیش از ۷۰ درصد عملکرد دانه ای محصولات در سرتاسر جهان وابسته به مصرف کودهای شیمیایی باشد (شاویو، ۲۰۰۹). کودهای شیمیایی یکی از منابع عمده تأمین فسفر برای گیاه، محسوب می شود. و لیکن تولید کودهای فسفره یک فرآیند پر هزینه و نیازمند انرژی فراوان می باشد. بازیابی ظاهری کودهای

فسفری توسط گیاهان کشت اول معمولاً کم است. این موضوع و نیز عدم تحرک فسفر موجب می‌شود تا در خاک‌های زراعی که کودهای فسفری بیش از اندازه دریافت می‌کنند، این عنصر در افق سطحی تجمع یابد. مصرف بی رویه کودهای فسفره سبب انتقال فسفر به منابع و جریان‌های آبی و سرشار سازی آنها شده و با کاهش باروری خاک‌ها و از بین رفتن هوموس، محیط زیست را بطور جدی مورد تهدید قرار داده است (رایان و همکاران،۲۰۱۲). وجود فسفر زیاد در آبهای جاری سبب ایجاد پدیده اوتریفیکاسیون در رودخانه ها و دریاچه‌ها خواهد شد (گرنت و همکاران،۲۰۰۵). استفاده بیش از حد از کودهای فسفری باعث تجمع فسفر بیش از حد نیاز گیاه در محیط ریشه می‌شود که مفید نبوده و علاوه بر اتلاف سرمایه کشاورز موجب بروز خساراتی از جمله آلودگی خاک به کادمیم، مسمومیت فسفر، کاهش عملکرد، غیر متحرک شدن آهن درخاک و جلوگیری ازجذب آن به وسیله ریشه می گردد (سمر، ۱۳۷۵).

۲-۹- سنگ فسفات[1](PR)

سنگ فسفات یک منبع طبیعی محدود و غیر قابل تجدید است. ذخایر زمین‌شناسی با منشأ مختلف در سراسر جهان یافت می‌شود. در حال حاضر ذخایر کمی از سنگ فسفات استخراج شده است و حدود ۹۰ درصد از تولید سنگ فسفات جهانی بطور مستقیم توسط صنعت کود برای تولید کودها مورد استفاده قرار گرفته و مقدار باقی مانده برای تولید خوراک دام، مواد شوینده و مواد شیمیایی استفاده می‌شود. سنگ فسفات قابل استخراج در سراسر جهان وجود دارد ولی تعداد کمی از آنها استخراج شده است. در دهه گذشته پیشرفت‌های قابل توجهی در استفاده از منابع سنگ فسفات برای استفاده مستقیم در سیستم‌های کشت کشاورزی در سراسر جهان حاصل شده است (فائو،۲۰۰۴). سالیان دراز است که سنگ فسفات به عنوان کود فسفری در اراضی اسیدی به کار می رود ولی کاربرد سنگ فسفات به تنهایی برای خاک‌های آهکی مناسب نمی‌باشد چون به طور طبیعی و به دلیل فراوانی یون کلسیم، واکنش به سمت تشکیل آپاتیت می باشد. استفاده از سنگ فسفات همراه با

[1] . Phosphate Rock

میکروارگانیسم‌ها یکی از راهکارهای افزایش حلالیت سنگ فسفات در خاک‌های آهکی است. تحقیقات انجام گرفته در این زمینه بر این اساس می‌باشد که در حضور یک منبع مناسب کربن، بعضی از باکتریها و قارچ ها قادر به تولید اسیدهای آلی با وزن مولکولی کم می‌باشند. این اسیدهای آلی می-توانند باعث افزایش حلالیت خاک فسفات شوند. بررسیها نشان می‌دهد که اسیدهای آلی، خاک فسفات را از طریق پروتونه کردن و عمل کلات کردن، حل می‌کنند. در این میان علاوه بر قدرت اسید، نوع و موقعیت لیگاندهای عمل کننده و میزان کلسیم موجود در محلول در آزاد کردن فسفر از خاک فسفات مؤثر است (بشارتی و همکاران، ۱۳۸۳).

۲-۱۰- کود سبز[1] (GM)

تأثیرات نامطلوب کودها و آفت کشها بر محیط زیست منجر به توجه بیشتر و استفاده از روش هایی گردیده که در آن نیازی به مصرف مواد شیمیایی نبوده یا کم باشد و این هدف موجب شده که با توجه به کشاورزی بوم شناختی، بحث پایداری در کشاورزی مورد توجه قرار گیرد (فائو،۲۰۰۴). یکی از راهکارهای عملی برای رسیدن به این هدف، زراعت گیاهان پوششی و کود سبز است که می تواند جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی باشد. برگشت گیاهان کشت شده به عنوان کود سبز در خاک باعث افزایش کربن و ماده آلی، نیتروژن کل و حاصلخیزی خاک شده که این پدیده در نتیجه فرایندهای میکروبیولوژی اتفاق افتاده و باعث آزادسازی عناصر غذایی برای گیاهان می‌شود (تالگر و همکاران، ۲۰۰۹). معلوم شده است که برگرداندن شاخ و برگ گیاهان و دادن کود سبز به زمین و افزودن هرگونه مواد آلی به خاک بر قابلیت جذب فسفر بوسیله گیاه می‌افزاید (زلفی باوریانی و نوروزی، ۱۳۸۹)، که برخی از دلایل آن به صورت زیر بیان می‌شود.

- پوشش ماده آلی بر روی رس ها، ظرفیت جذب فسفات در آنها را کاهش می دهد.
- ماده آلی با پوشاندن سطوح ذرات اکسیدهای آهن و آلومینیم، توانایی و ظرفیت تثبیت فسفات آنها را کاهش می دهد.

[1]. Green manure

- از ترکیب آب با گاز کربنیک حاصل از تجزیه مواد آلی ، اسید کربنیک تشکیل شده که این اسید در خاک های آهکی حلالیت ترکیبات فسفاتی را افزایش می دهد.

۲-۱۱- کود بیولوژیک[1]

کودهای بیولوژیک ماده ای (جامد، نیمه جامد یا مایع) حاوی ریز جانداران با فراورده های آنها هستند که در ارتباط با تثبیت نیتروژن یا فراهمی فسفر، گوگرد و سایر عناصر بویژه ریز مغذی‌ها در خاک فعالیت می کنند و در صورت مصرف از طریق تلقیح بذر، سطح گیاه یا خاک در ناحیه اطراف ریشه یا درون گیاه تشکیل کلونی داده و با افزایش تأمین یا فراهمی عناصر غذایی موجب افزایش رشد و نمو گیاه میزبان می گردد (وسی،۲۰۰۳).رایج ترین این کودها با استفاده از ارگانیسم های مربوط به گروه-های زیر تهیه می شوند: باکتری‌های تثبیت کننده ازت مولکولی، قارچ‌های میکوریزی، باکتری‌های محرک رشد گیاه، میکروارگانیسم‌های تبدیل کننده مواد آلی زائد به کمپوست، کرم خاکی تولید کننده ورمی کمپوست، میکروارگانیسم‌های حل کننده فسفات های نامحلول (ملکوتی و غیبی،۱۳۸۳).

۲-۱۲- میکروارگانیسم‌های حل کننده فسفات

امروزه ریزجانداران حل کننده فسفات در سطوح وسیع به عنوان کود زیستی به منظور افزایش تولید و حفظ سلامت خاک استفاده می‌شوند (خان و همکاران، ۲۰۰۷). توانایی ریزموجودات برای حل کردن فسفر خاک و تبدیل آن به حالت قابل دسترس برای گیاه ابتدا به وسیله گرستن در سال ۱۹۴۸ ثابت شد. آزمایش‌های وی نشان داد که ریزموجودات ریزوسفری در جذب فسفر توسط گیاه مؤثرند (خاوازی و همکاران، ۱۳۸۴). پس از آن دانشمندان تحقیقات زیادی را برای جداسازی ریزموجودات حل‌کننده فسفر و استفاده از آنها برای ساختن مایه تلقیح فسفاته جهت افزایش فسفر قابل دسترس در کشاورزی انجام دادند. مکانیسم اثر میکروارگانیسم‌های حل کننده فسفات در انحلال فسفات‌های نامحلول پیچیده است، ولی براساس نظر محققان، این میکروارگانیسم‌ها با اکسیداسیون ناقص قندها، اسیدهای آلی تولید می‌کنند که باعث کاهش pH محیط می‌شود (کیانی راد، ۱۳۷۴). این موجودات با

[1] . Bio-Fertilizer

ترشح ترکیبات قندی در منطقه ریشه، توسط گیاهان, میکروارگانیسم‌های حل کننده فسفات فعالیت خود را تشدید کرده و با تولید اسیدهای آلی موجب کاهش pH در محدوده اطراف خود شده و اسید تولید می‌کنند. اسید حاصل طی انجام واکنش با یون کلسیم اثر آن را در غیر فعال کردن فسفر خنثی می‌کند (کیانی راد، ۱۳۷۴). به غیر از تأثیر اسیدهای آلی در انحلال فسفات‌های نامحلول نمی‌توان اثر واکنش آنزیمی به ویژه آنزیم‌های گروه فسفاتاز تولید شده توسط برخی ازاین میکروارگانیسم‌ها را از نظر دور داشت. این آنزیم‌ها نقش اصلی را در معدنی شدن فسفر آلی در خاک بازی می‌کنند.

۲-۱۳- قارچهای حل کننده فسفات

در خاک ریز جاندارانی وجود دارد که قادرند با تولید متابولیت‌های اولیه و ترشح آنها در خاک، بر روی کانی‌های معدنی و ترکیبات آلی فسفاته اثر گذاشته و موجب آزادسازی فسفر از آنها گردد. ازجمله این ریز جانداران می توان به قارچهای حل کننده فسفات اشاره کرد. قارچها در مقایسه با باکتری ها از قدرت بالاتری در حلالیت فسفر برخوردار می باشند. از طرفی به دلیل تولید هیف های رونده، به سرعت می توانند در سطح وسیع تری توسعه یابند. بنابراین قارچ ها نقش مؤثرتری در حل نمودن فسفات نسبت به باکتری ها دارند. مهمترین قارچ های حل کننده فسفات از جنس آسپرژیلوس، پنی سیلیوم و گلوموس هستند. قارچ آسپرژیلوس نایجر در گروه قارچ های ناقص قرار دارد و از بزرگترین گروه کپک ها است که در صنعت مورد استفاده قرار می گیرد. این قارچ در همه جا یافت می شود و جزء کپک های تجزیه کننده بسیاری از مواد موجود در طبیعت است و در شرایط بسیار نامساعد رطوبتی قادر به فعالیت بوده و بیش از ۲۰۰ گونه از این جنس تا کنون شناسایی شده است. با توجه به فعالیت آنزیمی فوق العاده آسپرژیلوس ها، این قارچ ها در صنایع تخمیری و تجزیه ترکیبات پیچیده مورد استفاده قرار می گیرند. این قارچ ها بر حسب نوع منبع غذایی و شرایط کشت، اسیدهای آلی مثل اسید سیتریک، اسید گلوکونیک، اسیدتانیک و آنزیم هایی مثل آمیلاز، پکتیناز، بتاگالاکتوزیداز و ترکیبات دیگر تولید می کنند. آسپرژیلوس ها توانایی بسیار بالایی در تجزیه کانی های مختلف به خصوص کانی های فسفاتی دارند و قادرند در شرایطی که منبع کربنه و نیتروژنی آن

ها فراهم شود فسفر را از کانی ها جدا و به حالت قابل دسترس درآورند. تولید اسیدهای آلی باعث اسیدی شدن سلول میکروبی و محیط اطراف آن می‌شود در نتیجه فسفر در اثر جایگزینی پروتون به جای کلسیم آزاد می‌شود. مکانیزم‌های دیگری که برای حل‌کنندگی فسفر پیشنهاد شده‌اند عبارتند از تولید مواد کلات کننده، تولید اسیدهای معدنی از قبیل اسید سولفوریک، اسید نیتریک و کربنیک به وسیله ریزجانداران می‌باشد (رودریگز و فراگا، ۱۹۹۹؛ دوبل و مربچ، ۲۰۰۵).

فصل سوم: مواد و روش‌ها

۳-۱- برداشت و آماده سازی نمونه های خاک

نمونه برداری خاک در اردیبهشت ماه ۱۳۹۳ از دو شهرستان شاهرود (خاک شماره۱) و شهرستان کاشمر (خاک شماره۲) از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی متری خاک انجام شد. نمونه‌های خاک پس از خشک شدن در مجاورت هوا، با چکش چوبی کوبیده و از الک ۲ میلی متری عبور داده شدند. مقداری از خاک جهت انجام تجزیه های فیزیکی و شیمیایی و بقیه جهت آزمایشات انکوباسیون و گلخانه ای مورد استفاده قرار گرفت. pH و EC خاک و سنگ فسفات مورد استفاده در سوسپانسیون ۱:۲/۵ اندازه گیری شد.

جدول ۳-۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاکهای مورد مطالعه .

خاکها	بافت خاک	pH	EC (dS/m)	Ps (mg/l)	Pa (mg/kg)	ماده آلی (درصد)	T.N.V (درصد)
خاک شماره ۱	لوم	۸/۱۷	۰/۲۱	۰/۳۴	۲۴/۱۱	۰/۹۰	۲۶/۸
خاک شماره ۲	سیلتی لوم	۸/۲۲	۰/۲۳	۰/۳۹	۲۰/۰۹	۰/۷۸	۱۶/۲۵

Pa: فسفر قابل جذب Ps: فسفر محلول

جدول۳-۲- برخی از خصوصیات خاک فسفات مورد استفاده

pH	EC (dS/m)	Pa (mg/kg)	Ps (mg/l)
۵/۷۵	۰/۹۱	۳۷/۵	۰/۱۶

Pa: فسفر قابل جذب Ps: فسفر محلول

۳-۲- آماده سازی قارچ آسپرژیلوس نایجر

برای ساختن محیط کشت مقدار ۴۲/۵ گرم از پودر مخصوص محیط کشت وزن و در یک لیتر آب مقطر کاملا حل گردید. با پنبه درب ارلن مایر را بسته و آن را روی سه پایه چراغ گازی قرار داده و تا زمان جوشیدن آنرا چند بار تکان داده تا خوب حل شود و بمدت یک دقیقه بجوشد پس از آنکه مایع بجوش آمد ، آنرا برداشته و با تکه کاغذ آلومینیومی روی پنبه را پوشانده و ظرف در داخل اتوکلاو قرار داده شد تا در فشار ۱۵ پوند بر اینچ مربع و حرارت ۱۲۱ درجه سانتیگراد به مدت ۱۵ دقیقه استریل شود. بعد از استریل کردن و خنک شدن محلول (۵۰ درجه سانتی گراد) آن را به داخل هود انتقال داده و در حالیکه ارلن را در دست راست گرفته و پنبه آنرا با دست چپ کنار شعله خارج کرده، دهانه ارلن را یکبار از درون شعله گاز عبور داده و بعد درون پلیت های استریل شده به مقدار ۱۵-۲۰ سی سی ریخته شد. سپس پلیت‌ها بمدت ۲۴ ساعت داخل هود نگهداری شد. پس از ۲۴ ساعت روی پلیت‌هایی که آلوده نشده بودند قارچ آسپرژیلوس نایجر که از کلکسیون گیاه‌پزشکی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهرود تهیه شده بود کشت داده شد و سپس پلیت‌ها به انکوباتور منتقل و بعد ۷ روز قارچ مورد نظر تکثیر یافت.

۳-۳-آزمایش انکوباسیون

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوکهای کامل تصادفی با ۱۹ تیمار و هر تیمار در ۳ تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی عبارت بودند از:

۱- شاهد (C) ۵۰ گرم خاک

۲- آسپرژیلوس (As) ۵۰ میلی لیتر سوسپانسیون بر کیلوگرم خاک

۳- ساکارز (S) ۱گرم بر کیلوگرم خاک

۴- پودر یونجه (A) ا درصد وزن خاک

۵- سنگ فسفات (P) ۱۵۰ کیلوگرم بر هکتار

۶- سنگ فسفات (P) ۲۵۰ کیلوگرم بر هکتار

۷- اسیدسیتریک (Cit) ۱ گرم بر کیلوگرم

۸- آسپرژیلوس + ساکارز (As+ S)

۹- آسپرژیلوس + پودر یونجه (As+ A)

۱۰- آسپرژیلوس + سنگ فسفات (۱۵۰ کیلوگرم بر هکتار) (As+P)

۱۱- آسپرژیلوس + سنگ فسفات (۲۵۰ کیلوگرم بر هکتار) (As+P)

۱۲- آسپرژیلوس + ساکارز+ سنگ فسفات (۱۵۰ کیلوگرم بر هکتار) (As+S +P)

۱۳- آسپرژیلوس + ساکارز+ سنگ فسفات (۲۵۰ کیلوگرم بر هکتار) (As+S +P)

۱۴- آسپرژیلوس + پودر یونجه + سنگ فسفات (۱۵۰ کیلوگرم بر هکتار) (As+A + P)

۱۵- آسپرژیلوس + پودر یونجه + سنگ فسفات (۲۵۰ کیلوگرم بر هکتار) (As+A + P)

۱۶- اسیدسیتریک+ سنگ فسفات (۱۵۰ کیلوگرم بر هکتار) (Cit + P)

۱۷- اسیدسیتریک+ سنگ فسفات (۲۵۰ کیلوگرم بر هکتار) (Cit + P)

۱۸- آسپرژیلوس + ساکارز+ نیتروژن (As+S +N)

۱۹- آسپرژیلوس + ساکارز+ نیتروژن + سنگ فسفات (۱۵۰ کیلوگرم بر هکتار) (As+ P+ S +N).

در این آزمایش، نمونه‌های ۵۰ گرمی از خاک در ۳ تکرار توزین و به داخل ظروف پلاستیکی منتقل و سپس تیمارهای مربوطه به آنها اضافه و به طور کامل با خاک مخلوط شد. رطوبت خاک داخل ظروف با آب مقطر به حد ۶۰ درصد ظرفیت زراعی رسانده شد و بعد از توزین و یادداشت وزن آنها، درب ظروف را بسته و به منظور تبادل هوای داخل ظروف با اتمسفر، چند سوراخ خیلی ریز بر روی درب ظروف نمونه‌ها ایجاد گردید. ظروف حاوی نمونه‌ها در دمای اتاق و به مدت ۱۰ هفته نگهداری شدند. با توزین مداوم ظروف، مقدار کاهش رطوبت خاکها با افزودن آب مقطر جبران گردید. در فواصل زمانی ۲۱،۷، ۳۵، ۵۱، ۷۰ روز نمونه‌ها برداشته و جهت انجام تجزیه‌ها هوا خشک، کوبیده و آماده شد و بعد از گذراندن از الک ۲ میلی‌متری pH، EC، و میزان فسفر محلول و فسفر قابل جذب اندازه گیری شد.

۳-۴- آزمایش گلدانی

تیمارهای آزمایش گلدانی با توجه به نتایج حاصله از آزمایش انکوباسیون انتخاب شدند. تیمارهایی که در آنها دو سطح سنگ فسفات به کار برده شد به دلیل اینکه دارای اختلاف معنی داری باهم نبودند یک سطح از تیمارها حذف گردید(شکل پیوست۴-۱، ۴-۲، ۴-۳ ،۴-۴). این آزمایش به صورت طرح بلوکهای کامل تصادفی در ۳ تکرار به اجرا درآمد.

تیمارهای آزمایش در این مرحله عبارتند از:

۱- شاهد (C)

۲- آسپرژیلوس (As) ۵۰ میلی لیتر سوسپانسیون بر کیلوگرم خاک

۳- ساکارز (S) ۱گرم بر کیلوگرم خاک

۴- پودر یونجه (A) ا درصد وزن خاک

۵- سنگ فسفات (P) ۱۵۰ کیلوگرم بر هکتار

۶- اسیدسیتریک (Cit) ۱ گرم بر کیلوگرم

۷- آسپرژیلوس + ساکارز (As+ S)

۸- آسپرژیلوس + پودر یونجه (As+ A)

۹- آسپرژیلوس + سنگ فسفات (۱۵۰ کیلوگرم بر هکتار) (As+P)

۱۰- آسپرژیلوس + ساکارز+ سنگ فسفات (۱۵۰ کیلوگرم بر هکتار) (As+S +P)

۱۱- آسپرژیلوس + پودر یونجه + سنگ فسفات (۱۵۰ کیلوگرم بر هکتار) (As+A + P)

۱۲- اسیدسیتریک+ سنگ فسفات (۱۵۰ کیلوگرم بر هکتار) (Cit + P)

۱۳- آسپرژیلوس + ساکارز+ نیتروژن (As+S +N)

۱۴- آسپرژیلوس + ساکارز+ نیتروژن + سنگ فسفات (۱۵۰ کیلوگرم بر هکتار) (As+ P+ S +N).

در آزمایش گلخانه ای از گلدان‌های پلاستیکی استفاده شد که در کف هر گلدان لایه ای از شن ریخته شد. بعد از آن نمونه‌های ۴ کیلوگرمی از خاک توزین و به گلدان‌ها منتقل و تیمارهای مذکور با خاک

کاملا مخلوط گردید. سپس گلدان‌ها آبیاری شدند و ۲۴ ساعت بعد تعداد ۵ عدد ذرت رقم سینگل کراس۷۰۴ که قبلاً با آب مقطر خیسانده شده و جوانه زده بودند در هر گلدان کاشته شدند. بعد از سبز شدن و اطمینان از استقرار گیاهان، تعداد بوته‌ها در هر گلدان به ۲ بوته کاهش یافت. در طول دوره آزمایش آبیاری گلدان‌ها در فواصل ۲ تا ۳ روز یکبار، طوری انجام شد که تا حد امکان رطوبت گلدان‌ها در حدود رطوبت ۶۰ درصد زراعی حفظ شود. ارتفاع بوته ها هر هفته اندازه گیری و یادداشت شد. بعد از گذشت ۷۰ روز بوته ها برداشت گردید و پس از شست و شو با آب مقطر و خشک کردن در آون در دمای ۷۵ درجه سانتی گراد وزن خشک اندام هوایی و ریشه گیاه تعیین گردید. بعد از تعیین وزن خشک گیاه، نمونه‌های خشک شده آسیاب و برای تجزیه شیمیایی نگهداری شدند. همچنین خاک گلدان ها تحت کشت بعد از برداشت بوته‌ها و هوا خشک شدن از الک ۲ میلی‌متری گذرانده شد و برای انجام تجزیه‌های آزمایشگاهی مورد استفاده قرار گرفت.

۳-۵- پارامترهای اندازه گیری شده

۳-۵-۱- pH نمونه ها

pH خاک با تهیه سوسپانسیون‌های ۱ به ۲/۵ خاک به آب مقطر اندازه گیری شد. به این صورت که ۸ گرم از نمونه‌های خاکی را با استفاده از ترازوی با دقت ۰/۰۱ توزین کرده و ۲۰ سی سی آب مقطر به آن اضافه شد. سپس نمونه‌های آب و خاک را به مدت ۳۰ دقیقه با استفاده از شیکر Labcon3100E تکان داده و سپس با استفاده از کاغذ صافی واتمن ۴۲ عصاره گیری انجام شده و با pH متر Jenway 3020، pH نمونه ها اندازه گیری شد.

۳-۵-۲- هدایت الکتریکی(EC)

هدایت الکتریکی با تهیه سوسپانسیون‌های ۱ به ۲/۵ خاک به آب مقطر اندازه گیری شد. پس از عصاره گیری از نمونه های خاک EC نمونه ها با استفاده از دستگاه هدایت سنج مدل Jenway 4010 در دمای عصاره اندازه‌گیری شد، سپس با تصحیح دمایی (رابطه ۳-۱), EC نمونه ها به EC در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد تبدیل شد.

رابطه (۳-۱) $EC_{25}=EC_t * F_t$

EC_t: EC نمونه در دمای عصاره F_t: ضریب مربوط به تصحیح دمایی

۳-۵-۳- فسفر قابل جذب

فسفر قابل استفاده از روش اولسن و با استفاده از دو معرف آمونیوم مولیبدات و کلرید قلع و با کمک دستگاه اسپکتروفتومتر و در طول موج ۶۵۰ نانومتر اندازه گیری شد. برای تهیه معرف مولیبدات آمونیوم، ۲۵ گرم ترکیب $(NH_4)_6MoO_{24}.H_2O$ در ۱۷۵ میلی‌لیتر حل گردید، سپس ۲۸۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ به آن اضافه شد. پس از سرد شدن، محلول به حجم ۱ لیتر رسانده شد. در تهیه معرف کلرید قلع، ۲/۵ گرم $SnCl_2.2H_2O$ در ۱۰۰ میلی‌لیتر هیدرو کلریک اسید حل گردید و به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. برای عصاره گیری فسفر به این روش به ۱ گرم نمونه خاک عبور داده شده از الک دو میلیمتری ۲۰ میلی لیتر بی کربنات سدیم ۰/۵ نرمال که pH آن به وسیله محلول یک مولار هیدروکسید سدیم روی ۸/۵ تنظیم شده بود، اضافه شد. محلول حاصل به مدت ۳۰ دقیقه و با سرعت ۲۰۰ دور در دقیقه شیک و سپس با کاغذ صافی واتمن ۴۲ صاف شد (سایمس، ۲۰۰۰). سپس بر روی ۲ میلی‌لیتر نمونه، ۲ میلی‌لیتر معرف آمونیوم مولیبدات و ۵ قطره معرف کلرید قلع افزوده شد. پس از گذشت ۱۰ دقیقه به کمک دستگاه اسپکتروفوتومتر فسفر قابل جذب نمونه‌ها قرائت شد(کلسکری و همکاران، ۱۹۹۸).

۳-۵-۴- فسفر محلول

برای اندازه‌گیری فسفر محلول از آب مقطر برای عصاره‌گیری استفاده شد جهت اندازه گیری فسفر موجود در عصاره, مراحل بالا تکرار شد.

۳-۵-۵- فسفر گیاه

بوته ها پس از برداشت با آب مقطر شسته شده و بعد از خشک شدن در آون در دمای ۷۵ درجه سانتی گراد آسیاب گردید. ۰/۵ گرم از نمونه خشک با ۱ سی‌سی اسید پرکلریک و ۶ سی‌سی اسید نیتریک مخلوط گردید. بعد از گذشت ۱۲ ساعت نمونه ها به مدت ۴ ساعت در دمای ۱۵۰ درجه

سانتی گراد، یک ساعت در دمای ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد و دو ساعت در دمای ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد تا عمل هضم به طور کامل انجام گیرد. سپس نمونه هضم شده با آب مقطر به حجم ۱۰۰ سی سی رسانده شد (میلر، ۱۹۹۸). بر روی ۲ میلی‌لیتر نمونه، ۲ میلی‌لیتر معرف آمونیوم مولیبدات و ۵ قطره معرف کلرید قلع افزوده شد. پس از گذشت ۱۰ دقیقه به کمک دستگاه اسپکتروفوتومتر فسفر نمونه‌ها قرائت شد.

۳-۵-۶- تجزیه و تحلیل آماری داده ها

کلیه داده‌های به دست آمده از آزمایشات با استفاده از نرم افزار MSTAT-C انجام شد. برای رسم نمودار ها و شکل‌ها از نرم افزار Excel استفاده شد و مقایسه میانگین‌ها با آزمون حداقل اختلاف معنی دار (LSD) و در سطح ۵ درصد انجام گرفت.

فصل چهارم: نتایج و بحث

۴-۱- آزمایش انکوباسیون

۴-۱-۱- اثر تیمارها و زمان نگهداری بر pH خاک

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول۴-۱) اثرات تیمار و زمان و همچنین اثر متقابل تیمار در زمان را برای pH در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار نشان می دهد. شکلهای (۴-۱) و (۴-۲) اثر تیمارها بر pH خاک و تغییرات آن در طول زمان نگهداری را نشان می دهد. در طول زمان با به کارگیری تیمارها pH خاک کاهش یافته است، میزان کاهش و تغییرات pH نسبت به زمان متغیر بوده به طوری که با گذشت زمان pH بسته به نوع تیمارها به میزان بیشتری نسبت به دوره زمانی قبلی کاهش یافته است که نشان دهنده ایجاد شرایط مناسبتر در طول زمان برای تأثیر تیمارها بوده است. pH سوسپانسیون ۱به ۲/۵ خاک به آب در نمونه شاهد برابر ۸/۱۷ می باشد (جدول ۳-۱) که نشان دهنده قلیایی بودن خاک است. در تیمار شاهد مقدار کاهش pH در طول زمان نگهداری (۷۰ روز) بسیار جزئی است که ممکن است به خاطر تجزیه مواد آلی بوم خاک باشد. شکل (۴-۱) اثر تیمارها و زمان نگهداری برpH خاک بدون کاربرد سنگ فسفات را نشان می دهد با توجه به شکل بیشترین تغییرات pH مربوط به تیمار آسپرژیلوس + پودر یونجه (As + A) و در دوره زمانی ۳۵ تا ۷۰ روز می باشد. این تیمار در انتهای زمان انکوباسیون در مقایسه با تیمار شاهد(C) ۰/۵۹ واحد کاهش داشته است. این در حالی است که تیمارهای آسپرژیلوس(As) و پودر یونجه(A) به تنهایی تأثیر کمتری روی pH داشته اند. معمولاً با تجزیه پودر یونجه و آزاد شدن دی اکسید کربن و اسیدهای آلی، pH خاکهای قلیایی بتدریج کاهش می یابد. در آزمایش انکوباسیونی که در یک دوره ۱۰ روزه انجام شد قارچ آسپرژیلوس باعث کاهش pH در طول این دوره شد بطوری که قارچ آسپرژیلوس نایجر توانست pH را از ۵ به ۳ برساند (بیوجووانا و همکاران،۲۰۰۸). زروآل و همکاران(۲۰۱۲) بیان کردند استفاده از قارچ آسپرژیلوس نایجر باعث کاهش قابل توجهی در pH می شود و این کاهش در روزهای آخر انکوباسیون بدلیل رشد بیشتر زیست توده قارچ افزایش می یابد. پس از تیمار شاهد به ترتیب ساکارز و کود سبز کمترین کاهش pH را در طول ۷۰ روز داشته است. علت تأثیر کم مواد آلی بدلیل کند بودن

سرعت تجزیه آن بوده است. مواد آلی حاوی اسیدهای ضعیف آلی می باشد که افزودن مستقیم این مواد به خاک نیز باعث ایجاد تغییرات خیلی کم در واکنش خاک می شود (آجودان، ۱۳۸۴). تیمارآسپرژیلوس + ساکارز (As+S) توانست pH خاک را در پایان دوره نسبت به شاهد (C) ۰/۴۶ واحد کاهش دهد و این در حالی است که تیمارهای آسپرژیلوس (As) و ساکارز (S) به تنهایی pH خاک را کمتر کاهش دادند. همچنین تیمار آسپرژیلوس+ ساکارز+ نیتروژن (As+S+N) توانست pH خاک را در طول مدت ۷۰ روز از ۸/۱۷ واحد به ۷/۵۹ واحد برساند که در مقابل تیمارآسپرژیلوس + ساکارز (As+S) کاهش pH چشمگیر تر بود. تحقیقات نشان داده است که در حضور یک منبع مناسب کربن، بعضی از باکتریها و قارچها قادر به تولید اسیدهای آلی با وزن مولکولی کم می باشند که باعث کاهش pH محیط می شوند (ریز،۲۰۰۱). حضور ساکارز و نیتروژن همراه با قارچ آسپرژیلوس نایجر منجر به رشد بیشتر قارچ، تولید اسید سیتریک بیشتر و در نتیجه کاهش بیشتر pH خاک می شود. کارم و همکاران (۲۰۱۰) بیان کردند هرچه منبع کربن بیش تری در اختیار قارچ آسپرژیلوس باشد تولید اسید سیتریک بیش تری می کند. آنها دریافتند که از بین منابع کربن, ساکارز تاثیر بیش تری نسبت به گلوکز دارد. این محققین همچنین بیان کردند که افزایش تولید اسید سیتریک و بیومس در حضور نیتروژن بیشتر می شود. لذا متناسب با تولید اسید سیتریک pH خاک کاهش می یابد. نکته قابل ذکر اینکه تیمار اسید سیتریک نسبت به سایر تیمارها کاهش سریع pH را به همراه داشته و سپس تغییرات آن ناچیز بوده است.

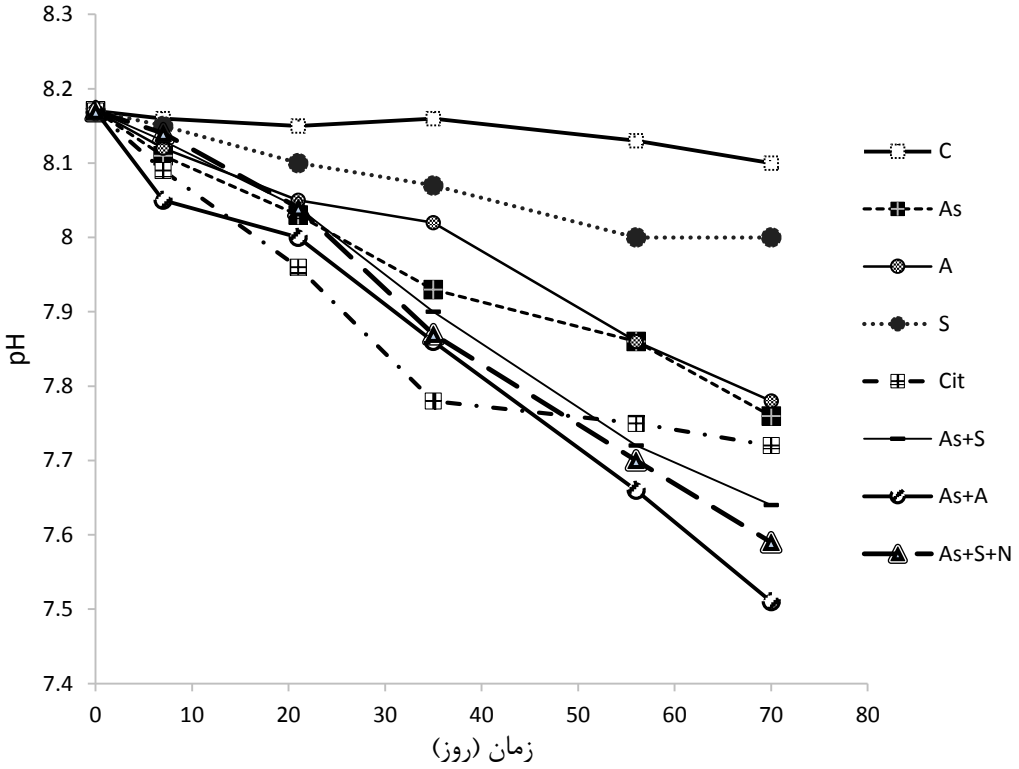
اثر تیمارها و زمان نگهداری بر pH خاک همراه با کاربرد سنگ فسفات شکل (۴-۲) نشان می دهد که کاربرد تیمارها باعث کاهش pH خاک نسبت به تیمار سنگ فسفات (P) شده است. بیشترین تغییرات pH با مقدار ۰/۱۱ واحد نسبت به تیمار سنگ فسفات مربوط به تیمار آسپرژیلوس + سنگ فسفات + پودر یونجه (As+A+P) است که این کاهش می تواند مربوط به آزاد شدن اسیدهای آلی حاصل از تجزیه مواد آلی و اسیدهای آلی تولید شده توسط قارچ حل کننده فسفات باشد. لازم بذکر است که افزودن سنگ فسفات با pH برابر ۵/۷۵ نیز سبب کاهش pH خاک می‌گردد. بعد از تیمار فوق

تیمارهای آسپرژیلوس+ ساکارز+ نیتروژن + سنگ فسفات (As+S+N+P) و آسپرژیلوس + ساکارز (As+S)کمترین pH را نسبت به تیمار سنگ فسفات (P) داشته اند. ولی بطور کلی تیمارها تأثیر کمتری در کاهش pH در مقایسه با تیمارهای بدون سنگ فسفات داشته اند.

جدول۴-۱- نتایج تجزیه واریانس مربوط به برخی خصوصیات شیمیایی مورد مطالعه.

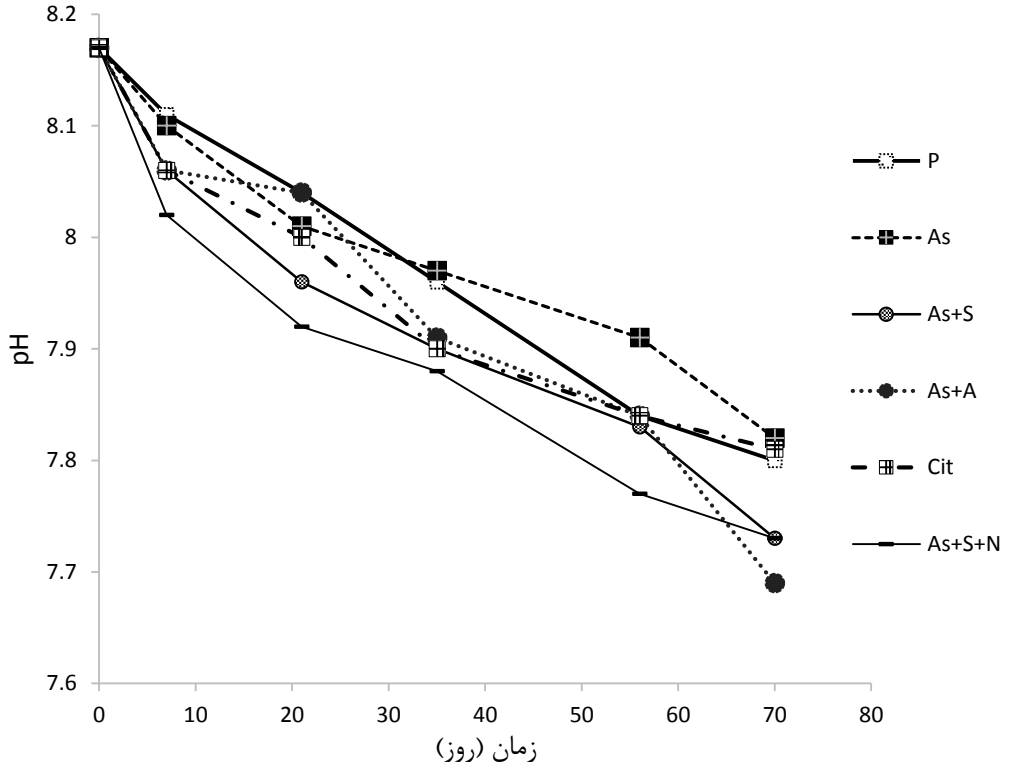
		میانگین مربعات			
منابع تغییرات	درجه آزادی	pH	EC	فسفر محلول	فسفرقابل جذب
تیمار	۱۸	۰/۰۸۴**	۰/۱۹۲**	۰/۰۸**	۳۵/۴۵**
زمان	۴	۱/۰۱**	۳/۳۵**	۰/۷۳**	۱۷۱/۹۳**
تیمار × زمان	۷۲	۰/۰۰۹**	۰/۰۱۷**	۰/۰۰۵**	۳/۹۳**
خطا	۱۸۸	۰/۰۰۹	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱	۰/۱۰

** بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد



شکل۴-۱- اثر تیمارها و زمان نگهداری برpH خاک بدون کاربرد سنگ فسفات.

شاهد (C)، آسپرژیلوس (As)، ساکارز (S)، پودر یونجه (A)، اسیدسیتریک (Cit)، آسپرژیلوس + ساکارز (As +S)، آسپرژیلوس + پودر یونجه (As+ A)، آسپرژیلوس + ساکارز+ نیتروژن (As+S +N).



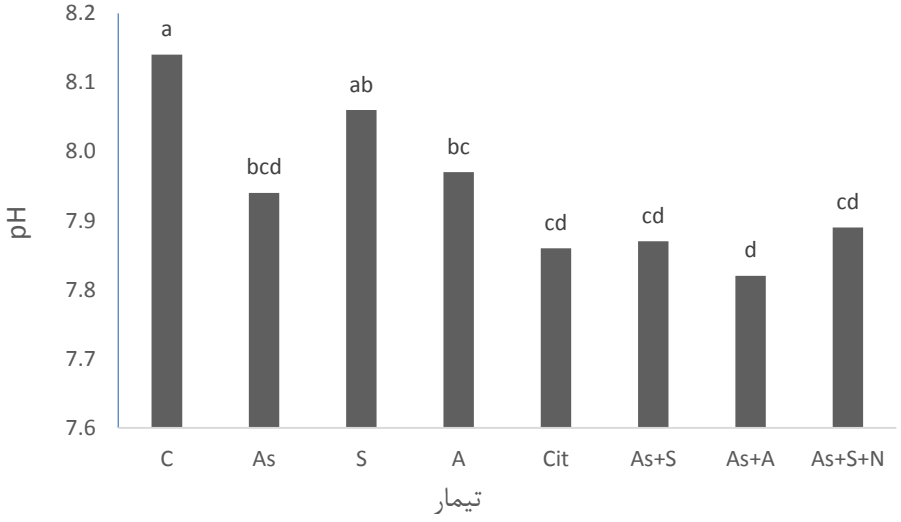
شکل۴-۲- اثر تیمارها و زمان نگهداری برpH خاک همراه با کاربرد سنگ فسفات.

سنگ فسفات (P)، آسپرژیلوس + سنگ فسفات (As+P)، آسپرژیلوس + سنگ فسفات + ساکارز (As+P +S)، آسپرژیلوس + سنگ فسفات + پودر یونجه (As+P + A)، سنگ فسفات + اسیدسیتریک (Cit + P)، آسپرژیلوس + سنگ فسفات + ساکارز+ نیتروژن (As+ P+ S +N).

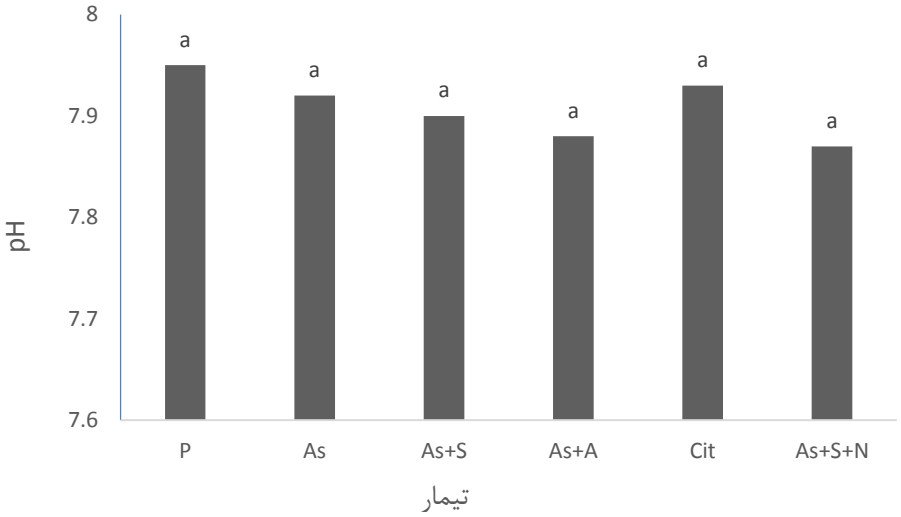
۴-۱-۲- میانگین اثر تیمارها بر pH خاک

میانگین اثر تیمارها بر pH خاک بدون کاربرد سنگ فسفات (شکل۴-۳) نشان می دهد که با اعمال تیمارها کاهش محسوسی در pH خاک مشاهده می شود. می توان گفت همه تیمارها به جز تیمار ساکارز(S) اختلاف معنی داری را در مقایسه با تیمار شاهد (C) نشان دادند و بیش ترین اختلاف معنی دار در تیمار آسپرژیلوس + پودریونجه (As+A) مشاهده شد که میانگین pH را در مقایسه با تیمار شاهد، ۰/۳۲ واحد کاهش داد. که دلیل آن می تواند فعالیت قارچ آسپرژیلوس نایجر و تولید اسید سیتریک و همچنین دخالت آن در تجزیه کود سبز باشد.

میانگین اثر تیمارها بر pH خاک همراه با کاربرد سنگ فسفات شکل (۴-۴) نشان می دهد که بیشترین میزان کاهش در pH خاک مربوط به تیمار آسپرژیلوس + پودریونجه + سنگ فسفات(As+P+ A) بوده که pH خاک را به میزان ۰/۰۷ واحد نسبت به تیمار سنگ فسفات (P) و ۰/۲۶ واحد نسبت به تیمار شاهد (C) کاهش داده است, اگر چه تفاوت معنی داری در pH تیمارها نسبت به تیمار سنگ فسفات (P) مشاهده نشده است. با افزایش ماده آلی و تجزیه آن در خاک CO_2 تولید شده و در اثر حل شدن این گاز در آب خاک، اسیدکربنیک تولید می شود که باعث کاهش pH خاک می شود. ناریانسامی و بیسوا (۲۰۰۶) عنوان کردند که در جریان فرآیند کمپوست شدن و تجزیه مواد آلی مقداری دی اکسید کربن متصاعد می‌شود و در محیط تولید اسید کربنیک می‌کند و این اسید ضعیف موجب کاهش pH ، انحلال خاک فسفات و افزایش فراهمی فسفر در خاک فسفات می شود و در نتیجه کارآیی خاک فسفات افزایش می‌یابد. شیو و همکاران (۲۰۱۱) دریافتند که آسپرژیلوس نایجر به تنهایی قادر به کاهش pH خاک می باشدکه بهترین درجه حرارت برای فعالیت قارچ ۲۰ درجه سانتی گراد می باشد.



شکل۴-۳- میانگین اثر تیمارها بر pH خاک بدون کاربرد سنگ فسفات.



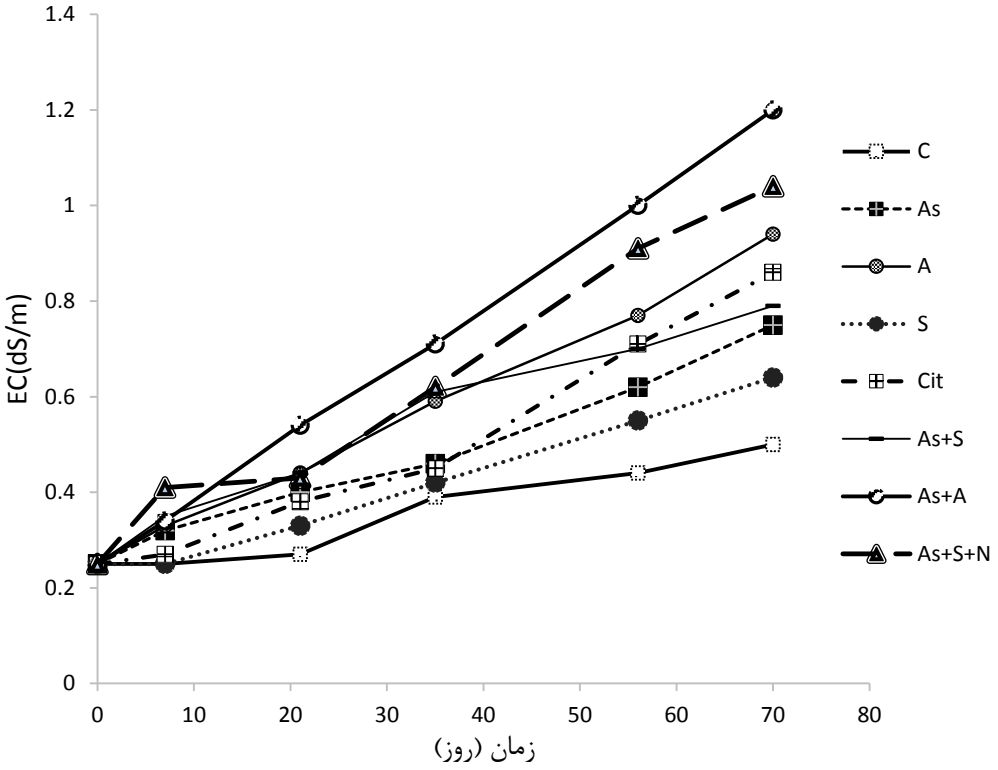
شکل۴-۴- میانگین اثر تیمارها بر pH خاک همراه با کاربرد سنگ فسفات.

۴-۱-۳ - اثر تیمارها و زمان نگهداری بر هدایت الکتریکی خاک

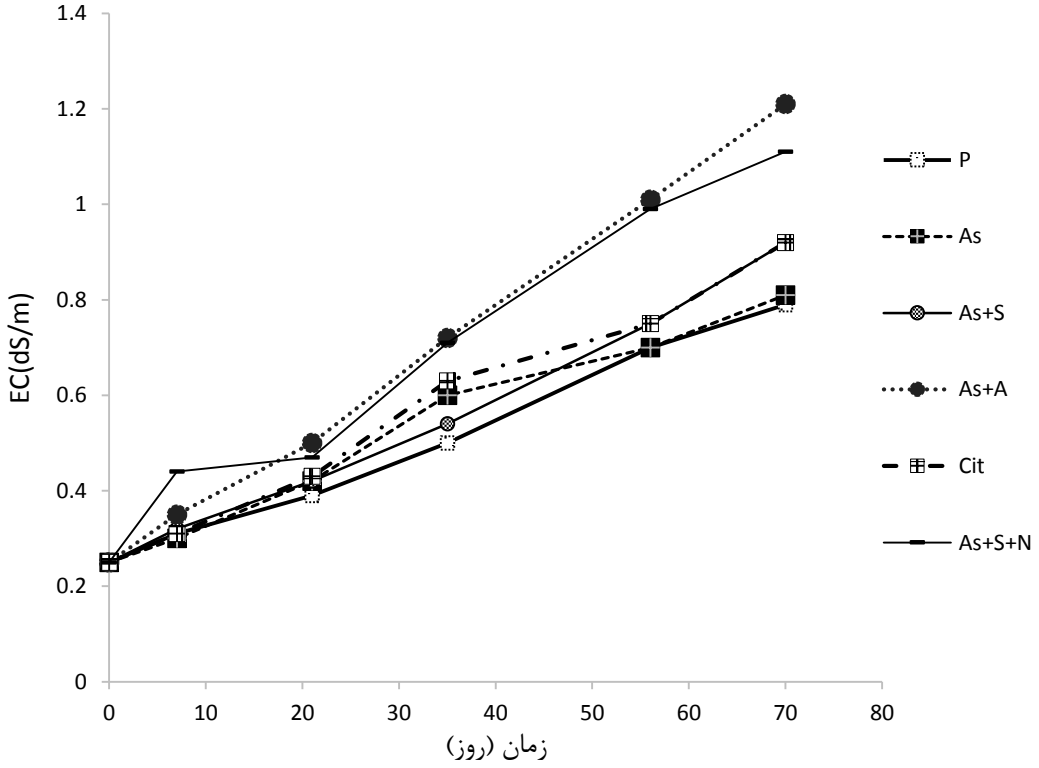
نتایج تجزیه واریانس داده ها (جدول۴-۱) اثرات تیمار و زمان و همچنین اثر متقابل تیمار در زمان را برای هدایت الکتریکی در سطح احتمال ۱درصد معنی دار نشان می دهد. شکلهای (۴-۵) و (۴-۶) اثر تیمارها بر هدایت الکتریکی خاک و تغییرات آن در طول زمان نگهداری نمونه‌ها را نشان می دهد. در طول زمان نگهداری، هدایت الکتریکی افزایش یافته که بسته به تیمارها این افزایش متفاوت است. شکل (۴-۵) اثر تیمارها و زمان بر هدایت الکتریکی خاک بدون کاربرد سنگ فسفات را نشان می دهد که تیمارآسپرژیلوس + پودر یونجه(As+A) هدایت الکتریکی خاک را در دوره ۷۰ روزه در مقایسه با تیمار شاهد (C) ۰/۷۰ دسی زیمنس بر متر افزایش داده است. با اعمال تیمار قارچ آسپرژیلوس نایجر(As) به کود سبز(A) مشاهده می شود که هدایت الکتریکی به مقدار بیشتری نسبت به تیمار پودریونجه افزایش داشته است که دلیل آن دخالت قارچ آسپرژیلوس در تجزیه کود سبز و آزادسازی عناصر موجود در آن می باشد. بعد از تیمار فوق تیمارآسپرژیلوس + ساکارز + نیتروژن(As+S+N)

بیشترین افزایش را نسبت به شاهد (C) داشته است. لازم بذکر است که این افزایش طی روزهای ۵۶ تا ۷۰ بیش تر بوده است. لازمه افزایش هدایت الکتریکی توسط کودسبز تجزیه آن و آزادسازی عناصر موجود در آن است که این پروسه زمان بر است. افزایش هدایت الکتریکی خاکها به دلیل ترکیبات معدنی موجود در پودر یونجه است. ضمن اینکه با تجزیه پودر یونجه، عناصر معدنی موجود در بخش آلی بصورت یون آزاد می شود که سبب افزایش غلظت یون‌های محلول و در نتیجه افزایش هدایت الکتریکی خاک می گردد. نتایج مشابهی نیز بوسیله تحقیقات کارتیکیان و همکاران(۲۰۰۵) گزارش شده است. آنها دلیل افزایش هدایت الکتریکی در اثر کاربرد کودگاوی را عمدتاً به دلیل افزایش غلظت یون نیترات (اکسایش یون آمونیوم) معرفی کردند. افزودن اسید سیتریک نیز هدایت الکتریکی خاک را نسبت به تیمار شاهد ۰/۳۶ دسی زیمنس بر متر افزایش داد. بخشی از این کاهش به خاطر کاهش pH و افزایش حلالیت برخی ترکیبات کم محلول نظیر آهک و در نتیجه افزایش هدایت الکتریکی میگردد.

شکل (۴-۶) اثر تیمارها و زمان بر هدایت الکتریکی خاک همراه با کاربرد سنگ فسفات را نشان می دهد. با توجه به شکل استفاده از سنگ فسفات تأثیر بیش تری در افزایش هدایت الکتریکی خاک نسبت به تیمارهای فاقد سنگ فسفات داشته است, بطوریکه بیشترین میزان هدایت الکتریکی در تیمار آسپرژیلوس + پودر یونجه + سنگ فسفات (As+A+P) مشاهده شدکه توانست هدایت الکتریکی خاک را طی این دوره ۷۰ روزه (P) ۰/۹۶ دسی زیمنس بر متر افزایش دهد. طبیعی است که این افزایش بدلیل هدایت الکتریکی بالای سنگ فسفات می باشد(جدول ۳-۱).



شکل۴-۵- اثر تیمارها و زمان نگهداری بر هدایت الکتریکی خاک بدون کاربرد سنگ فسفات.



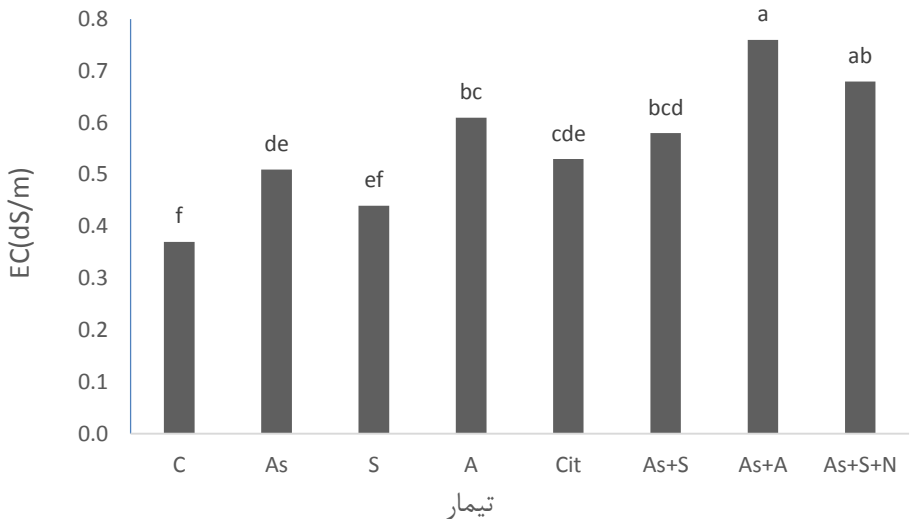
شکل۴-۶- اثر تیمارها و زمان بر هدایت الکتریکی خاک همراه با کاربرد سنگ فسفات.

۴-۱-۴- میانگین اثر تیمارها بر هدایت الکتریکی خاک

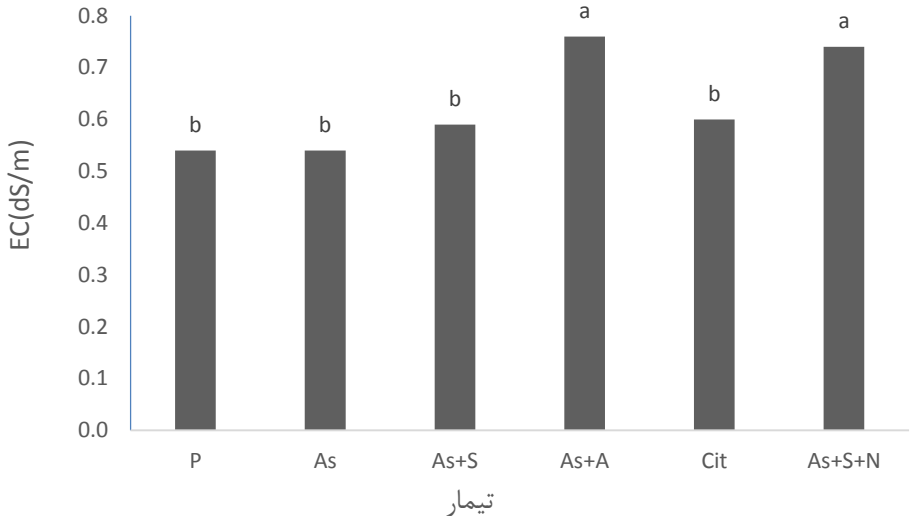
میانگین اثر تیمارها بر هدایت الکتریکی خاک بدون سنگ فسفات (شکل ۴-۷) نشان می دهد که با اعمال تیمارها هدایت الکتریکی خاک افزایش یافته است. همه تیمارها به جز ساکارز(S) اختلاف معنی داری با تیمار شاهد (C) نشان دادند. تیمار پودر یونجه(A) و ساکارز (S)به تنهایی توانست هدایت الکتریکی خاک را افزایش دهد و با تلقیح قارچ آسپرژیلوس به تیمار مربوطه, این افزایش بیشتر شده است, بطوری که بیشترین افزایش در میانگین هدایت الکتریکی خاک مربوط به تیمار آسپرژیلوس + پودر یونجه (As+A) مشاهده شد که میانگین هدایت الکتریکی را نسبت به تیمار شاهد (C) ۰/۳۹ دسی زیمنس بر متر افزایش داد ولی با تیمارآسپرژیلوس + ساکارز + نیتروژن(As+S+N) اختلاف معنی داری نشان نداد. در این تیمارها تجزیه کود سبز به وسیله اسیدهای ترشح یافته از قارچ آسپرژیلوس باعث بالا رفتن هدایت الکتریکی خاک شده است.

تجزیه مواد آلی نیز سبب آزاد شدن عناصر موجود در آن شده و به تدریج سبب افزایش هدایت الکتریکی خاک میگردد. افزودن کودهای آلی و آمونیومی با کاهش pH خاک ممکن است حلالیت برخی ترکیبات معدنی را افزایش داده و در نتیجه هدایت الکتریکی خاک را افزایش دهند(عباسپور و همکاران، ۲۰۰۴).

میانگین اثر تیمارها بر هدایت الکتریکی خاک همراه با سنگ فسفات (شکل ۴-۸) نشان می دهد که بیشترین میزان افزایش در هدایت الکتریکی مربوط به تیمار آسپرژیلوس + پودریونجه + سنگ فسفات(As+A+P) است که میانگین هدایت الکتریکی خاک را نسبت به سنگ فسفات ۰/۲۲ دسی زیمنس بر متر و نسبت به تیمار شاهد (C) ۰/۳۹ دسی زیمنس بر متر افزایش داده است که این می تواند به دلیل حضور کود سبز و قارچ آسپرژیلوس و همچنین کاربرد سنگ فسفات با هدایت الکتریکی نسبتاً بالا باشد.



شکل۴-۷- میانگین اثر تیمارها بر هدایت الکتریکی خاک بدون کاربرد سنگ فسفات.



شکل۴-۸- میانگین اثر تیمارها بر هدایت الکتریکی خاک همراه با کاربرد سنگ فسفات.

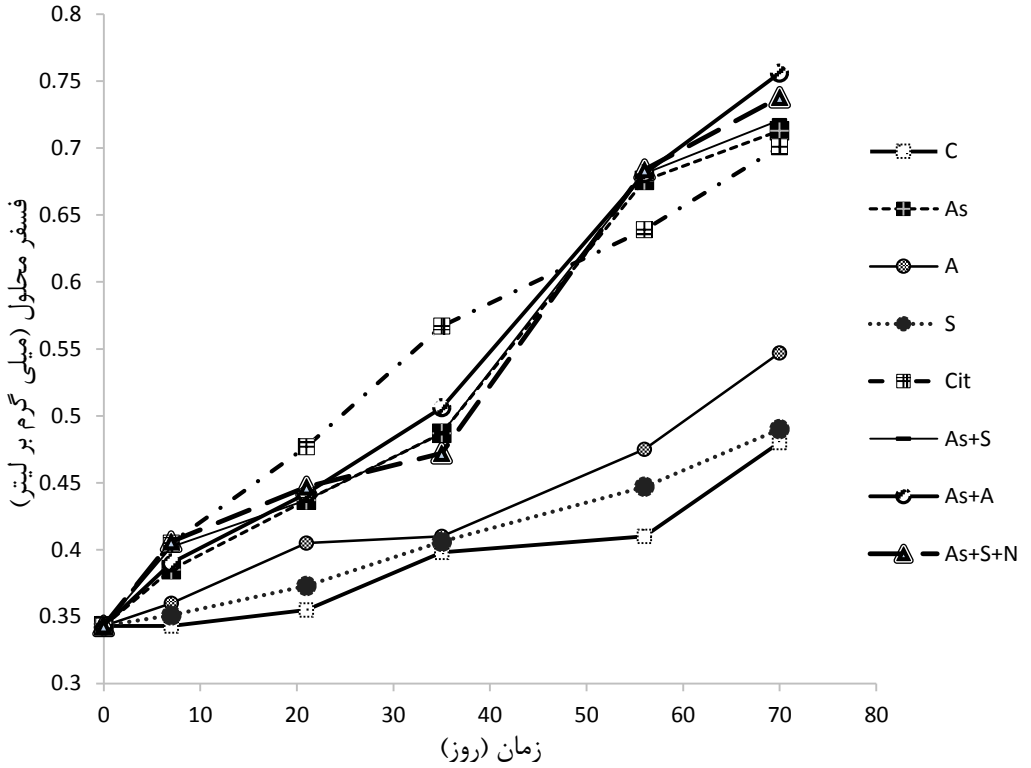
۴-۱-۵- اثر تیمارها و زمان نگهداری بر فسفر محلول خاک

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴-۱) نشان داد که اثرات تیمار و زمان و همچنین اثر متقابل تیمار و زمان بر فسفر محلول خاک در سطح ۱ درصد معنی دار است. شکلهای (۴-۹) و (۴-۱۰) اثر تیمارها بر فسفر محلول خاک و تغییرات آن در طول زمان نگهداری نمونه‌ها را نشان می دهد.

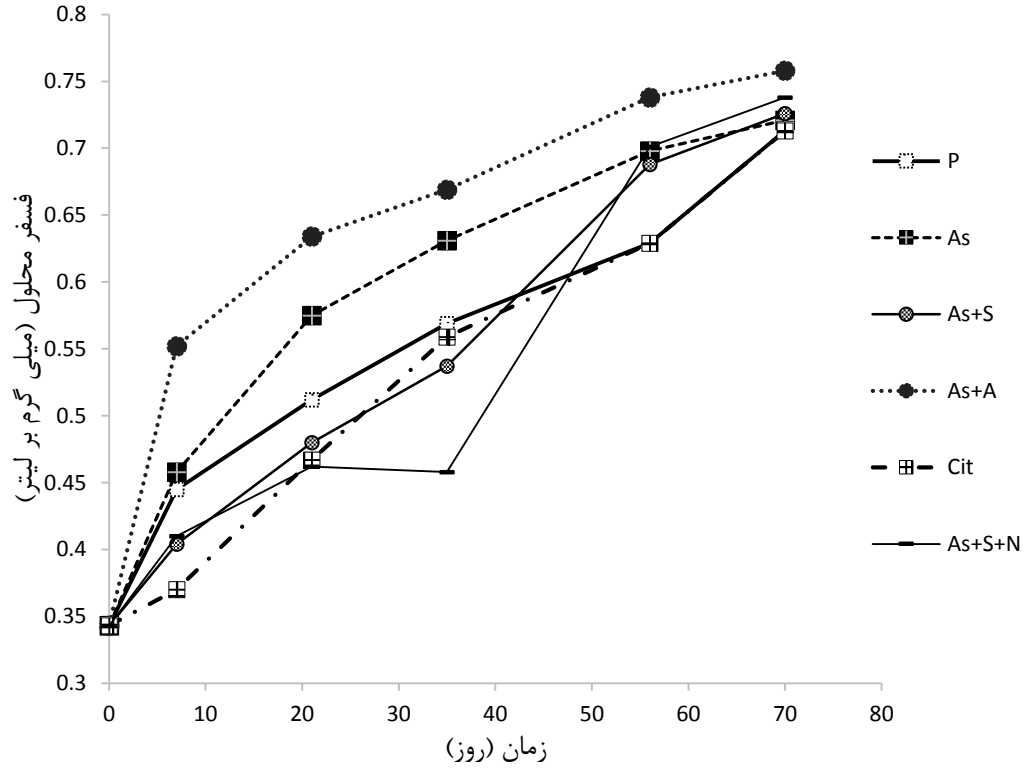
شکل (۴-۹) اثر تیمار و زمان را بر فسفر محلول خاک بدون سنگ فسفات نشان می دهد. با توجه به شکل تمام تیمارها نسبت به شاهد روند افزایشی داشته و بیش ترین میزان فسفر محلول مربوط به تیمار آسپرژیلوس + پودر یونجه (As+A) و به مقدار ۰/۷۵۶ میلی گرم بر لیتر بود. این در حالی است که تیمار کود سبز و آسپرژیلوس به تنهایی فسفر محلول خاک را افزایش داده ولی با اعمال تیمار قارچ آسپرژیلوس نایجر(As) به کود سبز(A) مشاهده می شود که فسفر محلول خاک به مقدار بیشتری افزایش یافته است . قارچ آسپرژیلوس نایجر با تولید اسیدهای آلی باعث کاهش pH و افزایش فراهمی فسفر در خاک می‌شود. مواد آلی نیز نقش مهمی در قابل دسترس شدن فسفر دارند، تأثیر مثبت مواد آلی نیز می تواند به دلیل فراهم شدن شرایط بهتر برای ریز جانداران حل کننده فسفات باشد. کمترین مقدار فسفر محلول نیز بعد از شاهد(C) مربوط به تیمار ساکارز(S) و به مقدار ۰/۴۹ میلی گرم بر لیتر بود. تیمار اسید سیتریک نیز توانست فسفر محلول خاک را نسبت به شاهد افزایش دهد. پژوهشهای مختلف نشان داد اند که اضافه کردن اسیدهای آلی(یا نمک‌هایی از آنیون‌های آلی آنها) باعث افزایش فراهمی فسفر خاک می گردد. اشتورم و همکاران (۲۰۰۵) نشان دادند که در اثر اضافه کردن اسیدهای آلی یافت شده در تراوشات ریشه گیاهان (اسیدهای سیتریک،اگزالیک و مالیک) به یک خاک آهکی، در شرایط کمبود فسفر، فراهمی فسفر افزایش یافت. کاسی (۱۹۸۹) توانایی ریزجانداران در افزایش فسفر محلول در آب در محیط های حاوی سنگ فسفات و محیط جامد حاوی تری کلسیم فسفات را با یکدیگر مقایسه کردند. نتایج تحقیقات آنها نشان داد که تلقیح محیط های فوق با باکتری و قارچ میانگین مقدار فسفر محلول در آب را در طول مدت زمان ۸ روز تقریباً دو برابر افزایش داد و pH نیزکاهش چشمگیری داشت. اثر اضافه نمودن مواد آلی به خاک نیز باعث بهبود

خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک می شود. استفاده از مواد آلی نیز باعث افزایش واکنش پذیری خاک فسفات و فراهمی بیشتر فسفر می شود. در حین تجزیه مواد آلی، فعالیت میکروبی افزایش می یابد و در نتیجه مقدار زیادی اسیدهای آلی و مواد هومیکی تولید می شود و باعث اسیدی شدن خاک فسفات و فراهمی فسفر می شود (استمفورد و همکاران، ۲۰۰۲)

شکل (۴-۱۰) اثر تیمار و زمان را بر فسفر محلول خاک همراه با سنگ فسفات نشان می دهد. مشاهده می شود که با اعمال سنگ فسفات به خاک فسفر محلول نسبت به تیمارهای بدون سنگ فسفات افزایش یافته است. که نشان می دهد افزودن سنگ فسفات اثرمثبتی در آزادسازی فسفر محلول داشته بطوری که این افزایش در همه تیمارها مشاهده می شود ولی در تیمار آسپرژیلوس + پودر یونجه + سنگ فسفات(As+A+P) قابل توجه تر بوده است. بطوری که توانست فسفر محلول را در پایان دوره نسبت به سنگ فسفات ۵/۹۳ درصد و نسبت به تیمار شاهد ۳۶/۶۷ درصد افزایش دهد. وقتی کودهای فسفره با مواد آلی مخلوط می شوند باعث افزایش فراهمی فسفر نسبت به کاربرد کودهای فسفره به تنهایی می شود. به نظر می رسد که در حین تجزیه مواد آلی، اسیدهای آلی و مواد هومیکی تولید می شود که باعث کاهش pH و مانع تثبیت فسفر در خاک می شوند. بنابراین با کاربرد مواد آلی در خاک فراهمی فسفر معدنی و افزایش جذب فسفر در گیاه افزایش می یابد. ناریانسامی و بیسواس(۲۰۰۶) همچنین عنوان کردند افزودن ماده آلی از طریق کاهش pH و هم به عنوان منبع کربن و محرک رشد میکروارگانیزم ها می تواند شرایط را برای افزایش فسفر محلول مطلوب سازد. برخی پژوهش ها نشان داده است که در نخستین مرحله تجزیه بقایای گیاهی و موادآلی مقدار زیاد فسفر از این ترکیبات در خاک آزاد می شود (اهل،۲۰۰۱). ژیوتی و همکاران (۲۰۱۳) بیان کردند استفاده از قارچهای آسپرژیلوس و پنی سیلیوم در یک دوره ۱۰ روزه باعث کاهش pH خاک و در نتیجه افزایش حلالیت فسفر می شود. محققان همچنین عنوان کردند که قارچ آسپرژیلوس نسبت به پنی سیلیوم افزایش بیشتر فسفر را باعث شد.



شکل۴-۹- اثر تیمارها و زمان بر فسفر محلول خاک بدون کاربرد سنگ فسفات.



شکل۴-۱۰- اثر تیمارها و زمان بر فسفر محلول خاک همراه با کاربرد سنگ فسفات.

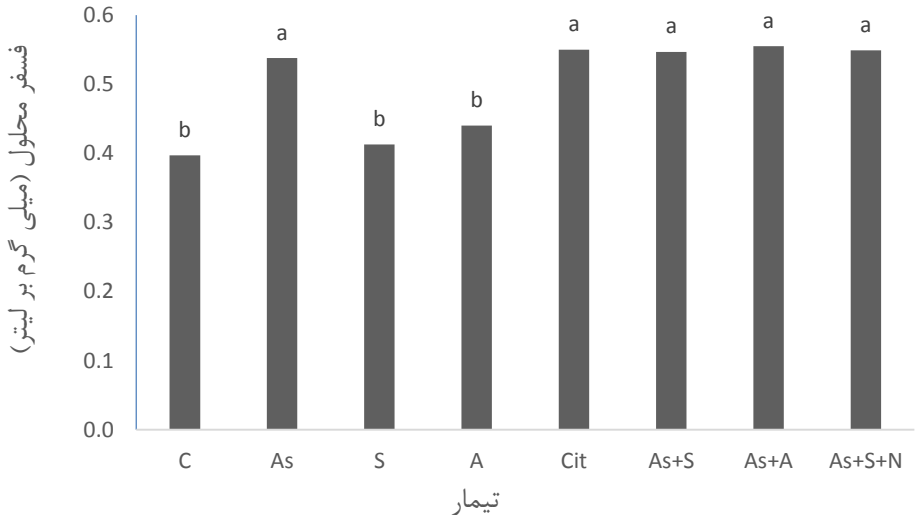
۴-۱-۶- میانگین اثر تیمارها بر فسفر محلول خاک

میانگین اثر تیمارها بر فسفر محلول خاک بدون سنگ فسفات (شکل ۴-۱۱) نشان داد که با اعمال تیمارها فسفر محلول خاک افزایش یافته است. به جز ساکارز (S) و پودر یونجه (A) بقیه تیمارها اختلاف معنی داری با تیمار شاهد (C) داشتند. بیشترین میانگین فسفر محلول مربوط به تیمار آسپرژیلوس + پودر یونجه (As+A) بوده است که در مقایسه با تیمار شاهد (C) میانگین فسفر محلول را ۲۸/۴۶ درصد افزایش داده است که موثرتر بودن این تیمار را در افزایش فسفر محلول نشان می دهد. کمترین افزایش را نسبت به تیمار شاهد تیمارهای ساکارز(S) و پودر یونجه(A) نشان دادند.

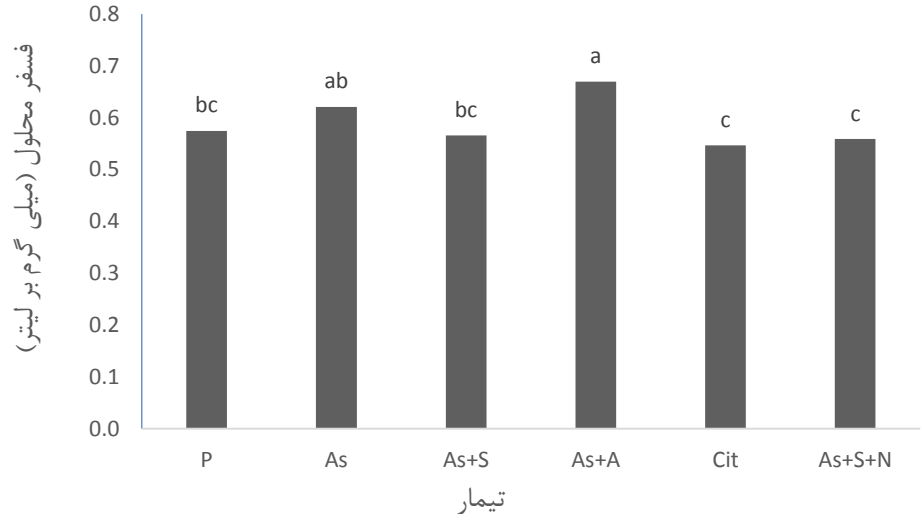
میانگین اثر تیمارها بر فسفر محلول خاک همراه با سنگ فسفات (شکل۴-۱۲) نشان می دهد که با اعمال تیمارها فسفر محلول خاک افزایش یافته است. تیمار آسپرژیلوس + پودر یونجه + سنگ فسفات (As+A+P) دارای اختلاف معنی داری با شاهد (C) است و بیشترین میانگین فسفر محلول نیز مربوط به همین تیمار بوده که میانگین فسفر محلول را ۱۴/۱۷ درصد نسبت به تیمار سنگ فسفات (P) و ۴۰/۷۶ درصد نسبت به تیمار شاهد (C) افزایش داد با این اختلاف که میزان افزایش فسفر محلول با اعمال سنگ فسفات در مقایسه با تیمارهای بدون سنگ فسفات بیشتر دیده شد.

کود سبز با تولید اسیدهای آلی منجر به افزایش حلالیت فسفر در سنگ فسفات می شود که بخشی از این افزایش بدلیل کاهش pH خاک است (تری و همکاران، ۲۰۱۱). معلوم شده است که برگرداندن شاخ و برگ گیاهان و دادن کود سبز به زمین و افزودن هرگونه مواد آلی به خاک بر قابلیت جذب فسفر بوسیله گیاه می‌افزاید (دلگادو و همکاران، ۲۰۰۲). والن و چانگ (۲۰۰۲) بیان کردند که استفاده دراز مدت از مواد آلی باعث نگهداری فسفر با پیوندهای کم انرژی تر شده و قابلیت فراهمی آن در خاک را افزایش می دهد. در آزمایشی که جایادی و همکاران (۲۰۱۳) بر روی حلالیت سنگ فسفات توسط ریزجانداران حل کننده فسفات انجام دادند به این نتیجه رسیدند که قارچ آسپرژیلوس نایجر باعث کاهش pH خاک و در نتیجه حلالیت فسفر شد که این کاهش به علت تولید اسیدهای آلی و تنفس ریزجانداران است. گانگ و همکاران (۲۰۱۲) با بررسی اجزای مختلف فسفر بعد از اضافه کردن

اسیدهای آلی به خاک دریافتند که فسفر موجود در اجزای $NaHCO_3$-Pi (فسفر جذب سطحی شده)، NaHCO3-Po (فسفر آلی که به آسانی معدنی می شود) و NaOH-Pi (فسفر غیر آلی تقریباً غیر قابل دسترس که در سطح خارجی فسفات های آهن و آلومینیوم آمورف قرار دارد) به فرم فسفر محلول تبدیل شده است. همچنین توانایی اسیدهای آلی در محلول کردن منابع پایدار فسفر در تحقیق دیگر نیز به اثبات رسیده است (گاهونیا و همکاران، ۲۰۰۰). آزمایش لیو و همکاران (۲۰۰۱) نشان داد که آزادسازی فسفر خاک به طور معنی دار توسط اسیدهای آلی تحریک شد و توانایی تحرک فسفر توسط اسیدهای آلی با وزن مولکولی کم به صورت سیتریک > اگزالیک > تارتاریک > مالیک گزارش دادند.



شکل۴-۱۱- میانگین اثر تیمارها بر فسفر محلول خاک بدون کاربرد سنگ فسفات.

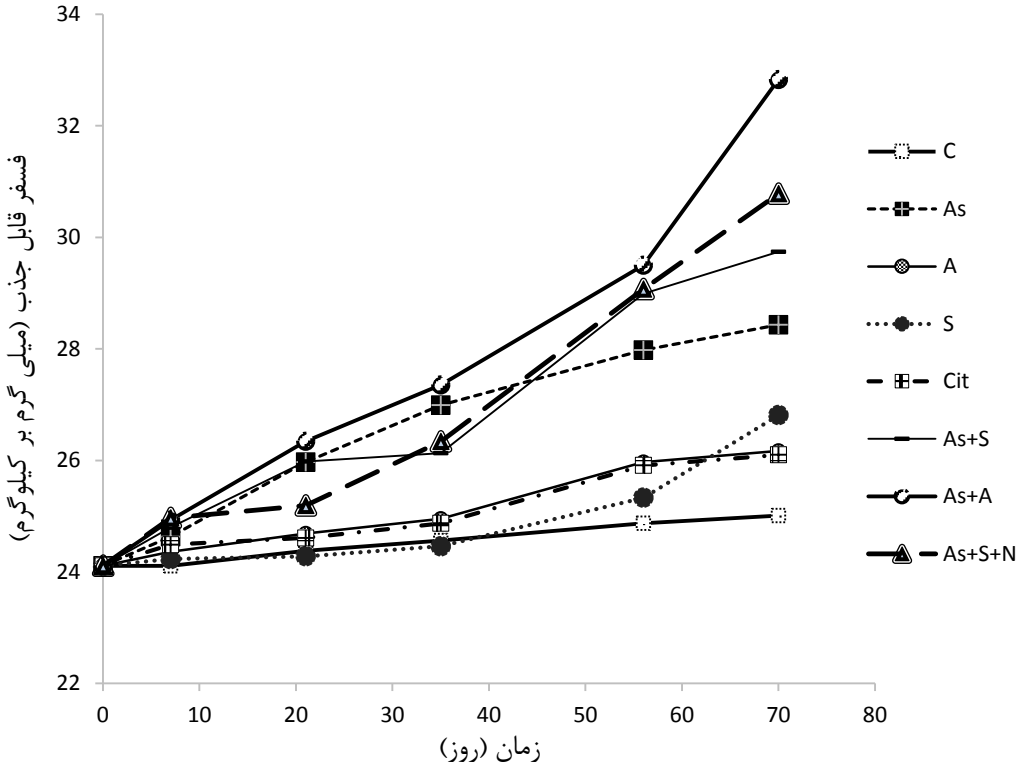


شکل۴-۱۲- میانگین اثر تیمارها بر فسفر محلول خاک همراه با کاربرد سنگ فسفات.

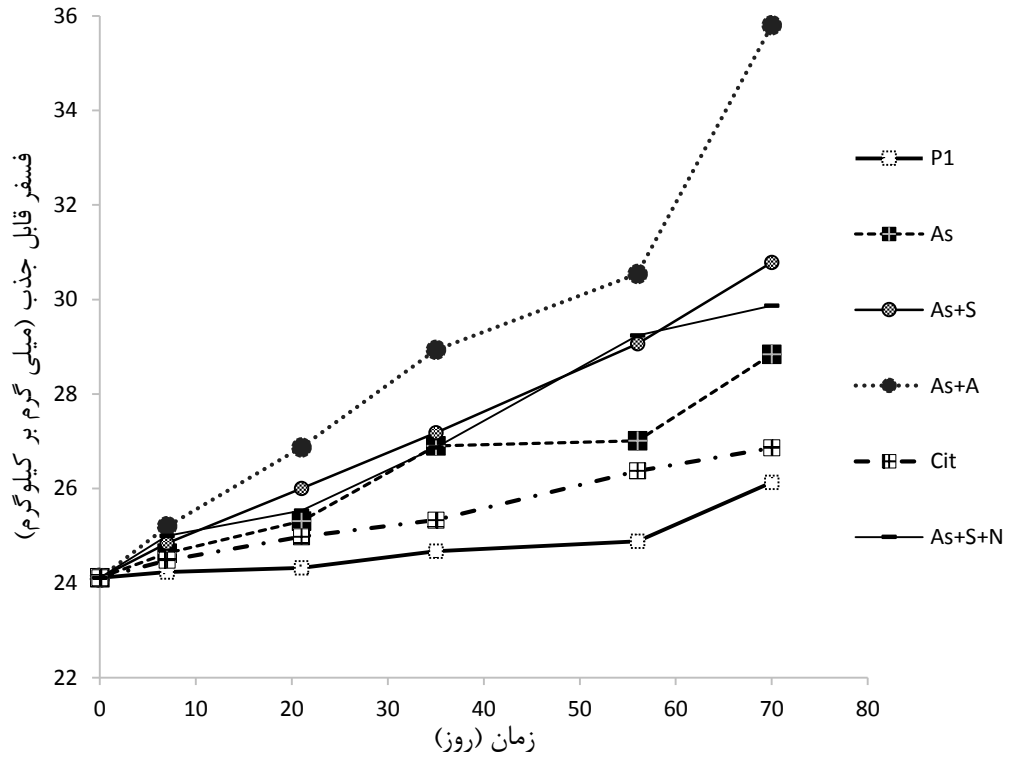
۴-۱-۷- اثر تیمارها و زمان نگهداری بر فسفر قابل جذب خاک

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴-۱) نشان داد که اثرات تیمار و زمان و همچنین اثر متقابل تیمار و زمان بر فسفر قابل جذب خاک در سطح ۱ درصد معنی دار است. شکلهای (۴-۱۳) و (۴-۱۴) اثر تیمارها بر فسفر قابل جذب خاک و تغییرات آن در طول زمان نگهداری نمونه‌ها را نشان می دهد. در طول زمان نگهداری فسفر قابل جذب خاک افزایش یافته است که در تیمارهای مختلف این افزایش متفاوت بوده است. شکل (۴-۱۳) اثر تیمار و زمان را بر فسفر قابل جذب خاک بدون سنگ فسفات نشان می دهد. با توجه به شکل بیش ترین میزان فسفرقابل جذب در دوره ۷۰ روزه مربوط تیمار آسپرژیلوس + پودر یونجه (As+A) و به مقدار ۳۲/۸۳ میلی گرم بر کیلوگرم بود. این در حالی است که تیمارهای آسپرژیلوس(As) و پودر یونجه(A) به تنهایی تأثیر کمتری روی فسفر قابل جذب داشته اند. بعد از تیمار فوق تیمار آسپرژیلوس + ساکارز + نیتروژن(As+S+N) توانست فسفر قابل جذب خاک را به مقدار ۵/۷۷ میلی گرم بر کیلو گرم نسبت به تیمار شاهد (C) افزایش دهد. شکل (۴-۱۴) اثر تیمار و زمان را بر فسفر قابل جذب خاک همراه با سنگ فسفات نشان می دهد. با توجه به شکل تیمار سنگ فسفات (P) توانست فسفر قابل جذب خاک را ۲/۰۲ میلی گرم بر کیلو گرم طی

دوره ۷۰ روزه افزایش دهد. لذا این طبیعی است که استفاده از سنگ فسفات تأثیر بیش تری در افزایش فسفر قابل جذب خاک نسبت به تیمارهای فاقد سنگ فسفات داشته باشد, بطوریکه بیشترین فسفر قابل جذب در تیمار آسپرژیلوس + پودر یونجه + سنگ فسفات (As+A+ P) و به مقدار ۸/ ۳۵میلی گرم بر کیلوگرم مشاهده شد. ناریانسامی و بیسواس(۲۰۰۶) تأثیر کمپوست را بر فراهمی فسفر از خاک فسفات مورد بررسی قرار دادند. در این آزمایش۴ نوع خاک فسفات با غلظت کم فسفر انتخاب و با کمپوست کاه برنج (در دو سطح) مخلوط شدند، نتایج این آزمایش نشان داد با افزودن کمپوست میزان فسفر قابل جذب (به روش اُلسن) اندک بود ولی با افزایش زمان انکوباسیون، به طور معنی داری مقدار آن افزایش یافت. میزان فسفر کل و فسفر محلول در سیترات و فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی نیز در حضور تیمار کمپوست افزایش یافته بود. پژوهشگران علت این افزایش را اسیدهای آلی ازجمله اسید سیتریک، اسید اگزالیک، اسید تارتاریک دانستند که در ضمن تجزیه مواد آلی تولید می شوند. در مطالعه ۹ ماه خوابانیدن خاک با موادآلی و کودهای شیمیایی (دارای مقادیر یکسان فسفر) مقدار فسفر قابل دسترس در زمان های مختلف در تیمار مواد آلی بیش تر از تیمار کودهای شیمیایی بود (لبسکی و لمب، ۲۰۰۳). اسیدهای آلی حاصل از تجزیه موادآلی با جذب بر روی سطوح فسفات های کلسیم و اشغال مکان های فعال به عنوان هسته هایی برای رشد کریستال های جدید از تشکیل این رسوبات جلوگیری می کنند. افزون بر این اسیدهای آلی با ایجاد کمپلکس با کاتیون های کلسیم فعالیت این یون ها را کاهش می دهد (کوپرلند وگاد، ۲۰۰۲).



شکل۴-۱۳- اثر تیمارها و زمان بر فسفر قابل جذب خاک بدون کاربرد سنگ فسفات.



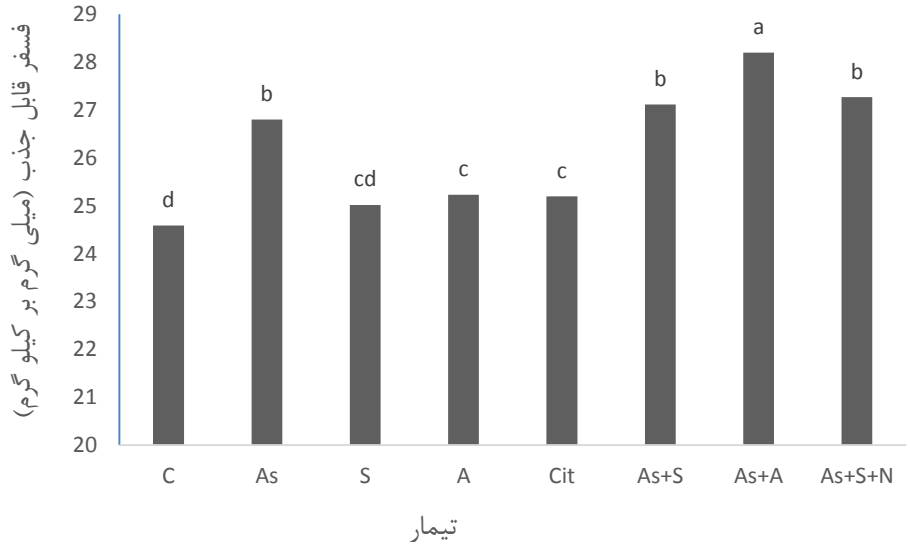
شکل۴-۱۴- اثر تیمارها و زمان بر فسفر قابل جذب خاک همراه با کاربرد سنگ فسفات.

۴-۱-۸- میانگین اثر تیمارها بر فسفر قابل جذب خاک

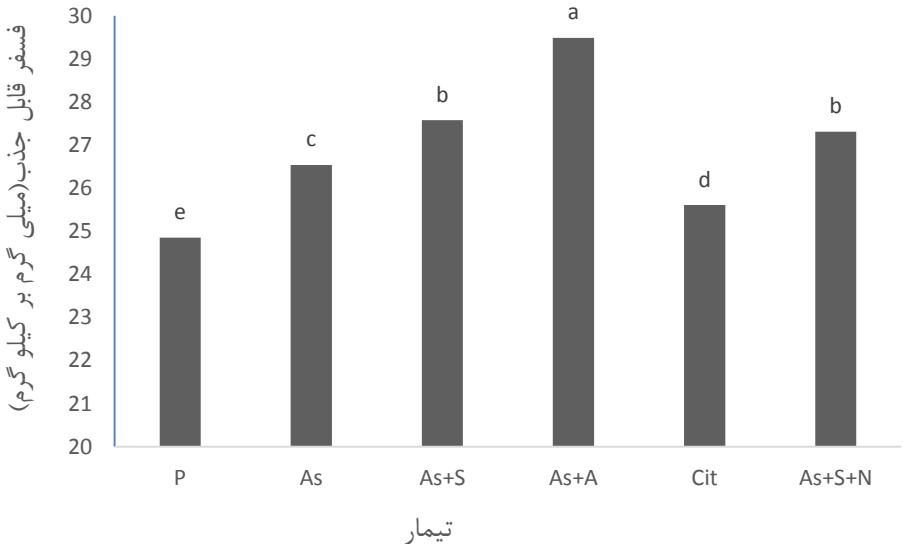
میانگین اثر تیمارها بر فسفر قابل جذب خاک بدون سنگ فسفات (۴-۱۵) نشان داد که با اعمال تیمارها فسفر قابل جذب خاک افزایش یافته است. بیشترین میانگین فسفر قابل جذب مربوط به تیمار آسپرژیلوس + پودر یونجه(As+A) بوده که فسفر قابل جذب را در مقایسه با تیمار شاهد(C) ۳/۶۱ میلی گرم بر کیلوگرم افزایش داد.

میانگین اثر تیمارها بر فسفر قابل جذب خاک با کاربرد سنگ فسفات (۴-۱۶) نشان داد که با اعمال تیمارها فسفر قابل جذب خاک افزایش یافته است. بیشترین میانگین فسفر قابل جذب مربوط به تیمار آسپرژیلوس + پودر یونجه + سنگ فسفات (As+A+P) بود که توانست فسفر قابل جذب خاک را نسبت به تیمار سنگ فسفات(P) ۴/۶۴ میلی گرم بر کیلوگرم و نسبت به تیمار شاهد (C)۴/۹۰ میلی گرم بر کیلوگرم افزایش دهد.

ریز جانداران حل کننده فسفات با معدنی کردن فسفر آلی در خاک از طریق حل کردن فسفات‌های نامحلول باعث افزایش فراهمی فسفر برای گیاه می شوند(چن و همکاران، ۲۰۰۶). میکروارگانیسم‌های حل کننده فسفات با مکانیسم‌های مختلفی مانند ترشح اسیدهای آلی و تولید آنزیم فسفاتاز، فسفات-های نامحلول را حل می کند (ویدرهات و فرانکین برگر، ۲۰۰۵). محققین نشان داده اند که با اضافه کردن ماده آلی، مقدار فسفر قابل عصاره گیری به روش اولسن افزایش می یابد(گارگ وباهل ،۲۰۰۸). برخی محققین نیز گزارش کردند که مواد آلی، فسفر قابل دسترس گیاهان را افزایش می دهد و به طور غیر مستقیم از رسوب فسفات در pH های ۶ تا ۹ که به شکل غیر قابل جذب برای گیاه است، جلوگیری میکند(باور و بلاک، ۱۹۹۲).



شکل۴-۱۵- میانگین اثر تیمارها بر فسفر قابل جذب خاک بدون کاربرد سنگ فسفات.



شکل۴-۱۶- میانگین اثر تیمارها بر فسفر قابل جذب خاک همراه با کاربرد سنگ فسفات.

۴-۲- آزمایش گلخانه ای

در این بخش نتایج اثر تیمارها بر عملکرد (وزن خشک)، ارتفاع گیاه ذرت و غلظت فسفر در گیاه و نیز اثر تیمارها بر pH، هدایت الکتریکی، فسفر محلول و فسفر قابل جذب خاک در پایان آزمایش گلدانی، ارائه و مورد بحث قرار می گیرد.

۴-۲-۱- اثر تیمارها بر وزن خشک

۴-۲-۱-۱- اندام هوایی

همان طور که در جدول(۴-۲) مشاهده می شود اثر تیمارها بر وزن خشک ساقه و ریشه در سطح ۱ درصد معنی دار شد. نتایج حاصل از مقایسه میانگین (شکل ۴-۱۷) نشان داد که تیمارهای ساکارز(S) و اسید سیتریک (Cit) و پودر یونجه (A) دارای اختلاف معنی داری با شاهد (C) هستند و وزن خشک ساقه را نسبت به شاهد کاهش دادند که نشان دهنده اثر سوء این تیمارها بر رشد گیاه است. احتمالاً این کاهش به خاطر کمبود شدید نیتروژن در خاک در اثر افزودن این تیمارها به خاک بوده است. زیرا تیمار همراه با کود نیتروژن تاثیر بهتری را در وزن خشک اندام هوایی داشته است. محققین معتقدند اضافه کردن مواد آلی به خاک به دلیل رقابت با میکروارگانیسمها ممکن است با کاهش قابلیت جذب نیتروژن برای گیاه همراه باشد. بنابراین در هنگام استفاده از پسماندهای آلی برای جلوگیری از کمبود نیتروژن باید از کودهای شیمیایی نیتروژن دار استفاده گردد (مخابلا و وارمن، ۲۰۰۵). بوشام (۱۹۸۷) معتقد است به دلایل متعدد اضافه کردن مواد آلی به خاک ممکن است موجب کاهش عملکرد محصول شود که یکی از علل آن محبوس شدن یا غیر متحرک شدن نیتروژن در ساختار مولکولهای آلی است. بیشترین وزن خشک مربوط به تیمار قارچ آسپرژیلوس (As) بود که توانست ۸/۲۴ درصد وزن خشک ساقه را نسبت به شاهد (C) افزایش دهد ولی این افزایش معنی دار نبوده است. نتایج حاصل از مقایسه میانگین (شکل ۴-۱۸) نشان می‌دهد تیمار آسپرژیلوس + سنگ فسفات (As+P) بیشترین وزن خشک را داشته است اگر چه اختلاف معنی

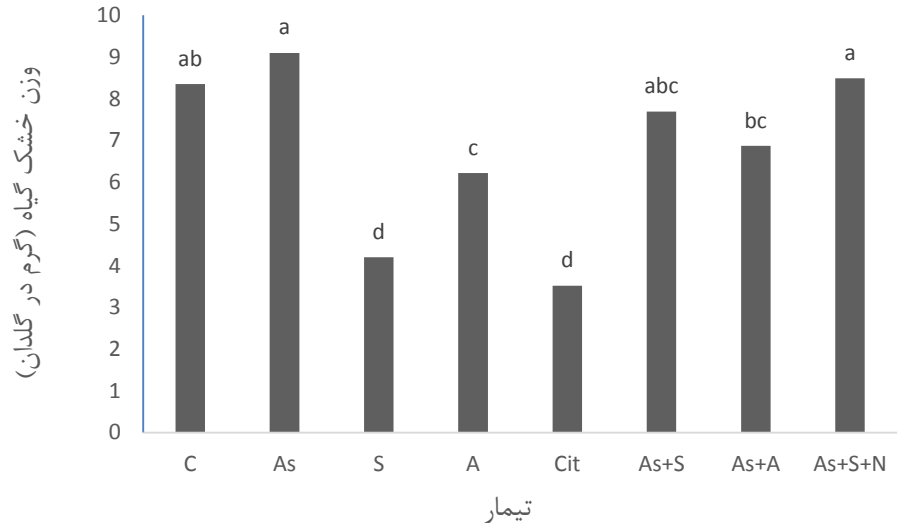
داری با شاهد نداشته است. با افزایش فسفر خاک در تمام مراحل رشد گیاه، وزن خشک گیاه نیز افزایش یافته است.

با وجود معنی دار نبودن تاثیر قارچ بر عملکرد گیاه, اما مطالعات مختلف افزایش معنی دار رشد و عملکرد گیاهان مختلف را در اثر تلقیح قارچ های آسپرژیلوس مشاهده نمودند. به عنوان مثال اکین (۲۰۱۱) بیان کرد افزایش عملکرد گیاه در نتیجه تلقیح خاکی بذر با ریزجانداران حل کننده فسفات به توانایی این موجودات در افزایش تحرک و انحلال فسفر تثبیت شده‌ی اضافه شده به خاک از طریق کودهای شیمیایی مربوط می‌باشد و علاوه بر افزایش قابلیت جذب فسفات نامحلول خاک، از طریق ترشح هورمون‌ها و فاکتورهای تحریک کننده رشد گیاه بر رشد و نمو گیاهان تأثیر می گذارند. چوانگ و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده از مایع تلقیح آسپرژیلوس و سنگ فسفات و فسفات کلسیم مشاهده نمودند که وزن خشک و جذب فسفر و نیتروژن توسط گیاه *Brassica chinensis Linn* افزایش یافت. گایند و گوار (۱۹۹۱) گزارش کردند که تلقیح سنگ فسفات با باکتری حل کننده فسفات باعث افزایش وزن خشک دانه، ساقه و جذب فسفر به وسیله یک گیاه لگوم (*mung bean*) گردید. افزایش عملکرد گیاه در نتیجه تلقیح خاکی با بذر با ریزجانداران حل کننده فسفات به توانایی این موجودات در افزایش تحرک و انحلال فسفر تثبیت شده یا اضافه شده به خاک از طر ق کودهای شیمیایی مربوط می باشد و علاوه بر افزایش قابلیت جذب فسفات نامحلول خاک، از طریق ترشح هورمونها و فاکتورهای تحریک کننده رشد گیاه بر رشد و نمو گیاهان تأثیر می گذارند (اکین، ۲۰۱۱) در این مطالعه ، قارچ های حل کننده فسفات در افز ایش صفات اندازه گیری شده مؤثرتر از باکتری های حل کننده فسفات بودند، که با نتایج علیمددی و همکاران (۱۳۸۹) مطابقت دارد. کاربرد سنگ فسفات و تلقیح با ریز جانداران حل کننده فسفات باعث افزایش عملکرد غلات، لگومینوزها، سیب زمینی و دیگر محصولات می گردد (مهروزرز و همکاران ۲۰۰۸).

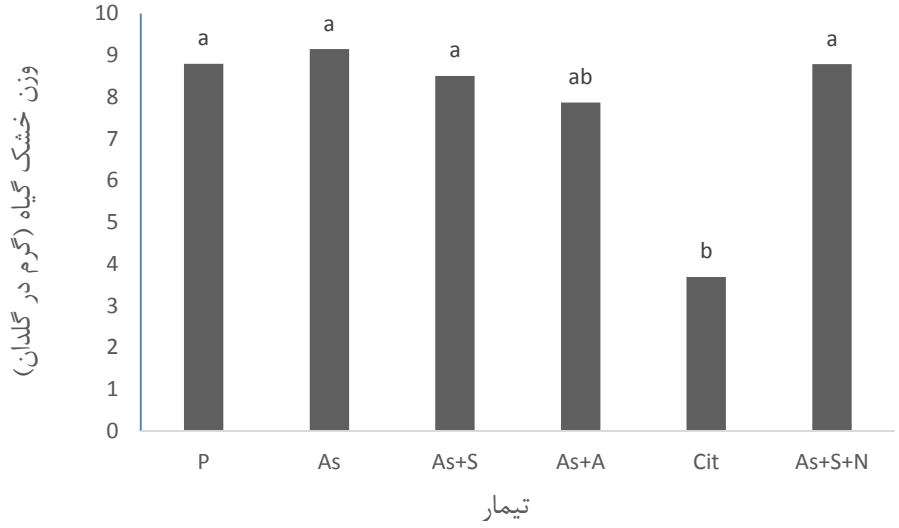
جدول۴-۲- نتایج تجزیه واریانس مربوط به برخی خصوصیات گیاه مورد مطالعه.

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	ارتفاع گیاه	فسفرگیاه
تکرار	۲	۲/۵۶	۰/۲۹	۹/۰۷	۷/۵۱
تیمار	۱۳	۱۲/۰۱**	۱/۲۹**	۳۷۸/۳۳ **	۱۰۹۶/۵۱**
خطا	۲۶	۰/۹۵	۰/۱۳	۱۲/۱۴	۱۲/۶۶

** بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال 1 درصد



شکل۴-۱۷- میانگین اثر تیمارها بر وزن خشک اندام هوایی گیاه بدون کاربرد سنگ فسفات.



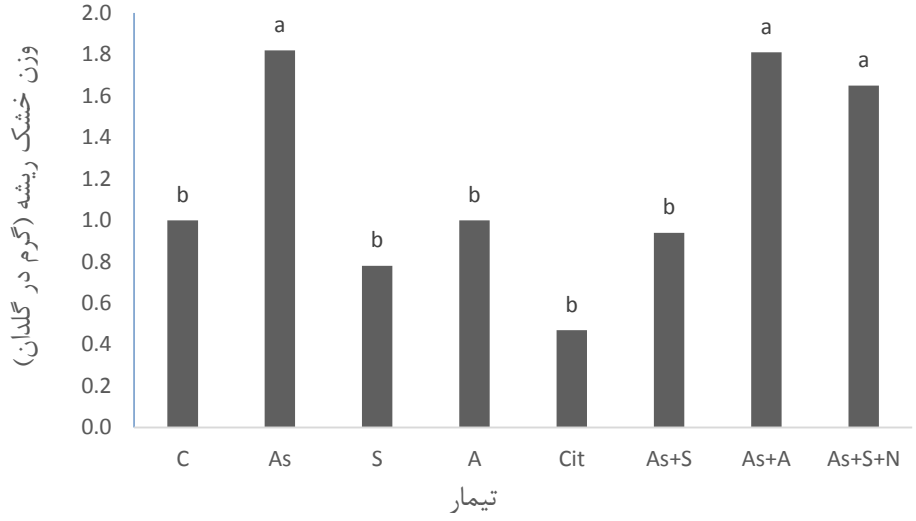
شکل۴-۱۸- میانگین اثر تیمارها بر وزن خشک اندام هوایی گیاه همراه با کاربرد سنگ فسفات.

۴-۲-۱-۱- ریشه

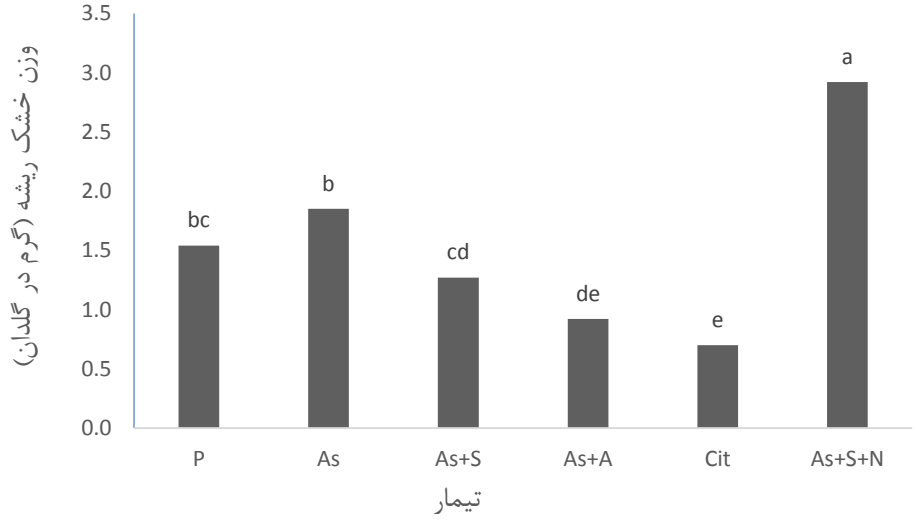
همان طور که در جدول(۴-۲) مشاهده می شود اثر تیمارها بر وزن خشک در سطح ۱ درصد معنی دار شد. نتایج حاصل از مقایسه میانگین شکل (۴-۱۹) نشان داد بیشترین وزن خشک مربوط به تیمار آسپرژیلوس (As) است که توانست نسبت به تیمار شاهد (C) ۴۵/۰۵ درصد وزن خشک ریشه را افزایش دهد. بین تیمار فوق با تیمارهای آسپرژیلوس + ساکارز + نیتروژن (As+ S+N) و آسپرژیلوس+ پودر یونجه (As+A) اختلاف معنی داری مشاهده نشد. نتایج حاصل از مقایسه میانگین (شکل ۴-۲۰) نشان می‌دهد بیشترین وزن خشک در تیمار آسپرژیلوس + ساکارز + سنگ فسفات+ نیتروژن (As+ S+P+N) مشاهده شد که توانست وزن خشک ریشه را نسبت به تیمار سنگ فسفات ۴۷/۲۶ درصد و نسبت به تیمار شاهد ۶۵/۷۵ درصد افزایش دهد .

بررسی اثر ریز جانداران حل‌کننده‌ی فسفات و کودهای فسفاته بر چگونگی رشد گیاه برنج نشان داد که تیمارهای مختلف کودی بر مقدار وزن خشک ریشه و اندام هوایی تاثیر مثبت معنی داری ایجاد کردند (افتخاری و همکاران، ۱۳۸۸). حسین و همکاران (۲۰۰۱) در آزمایشی تاثیر سنگ فسفات و قارچ آسپرژیلوس را بر رشد گیاه، وزن تر و خشک ساقه و ریشه بررسی کردن و به این نتیجه رسیدند

استفاده از سنگ فسفات باعث افزایش وزن تر و خشک ساقه و ریشه نسبت به تیمار شاهد شد. این در حالی است که استفاده توام سنگ فسفات با قارچ آسپرژیلوس این افزایش را تقریبا ۲ برابر نمود.



شکل۴-۱۹- میانگین اثر تیمارها بر وزن خشک ریشه بدون کاربرد سنگ فسفات.



شکل۴-۲۰- میانگین اثر تیمارها بر وزن خشک ریشه همراه با کاربرد سنگ فسفات.

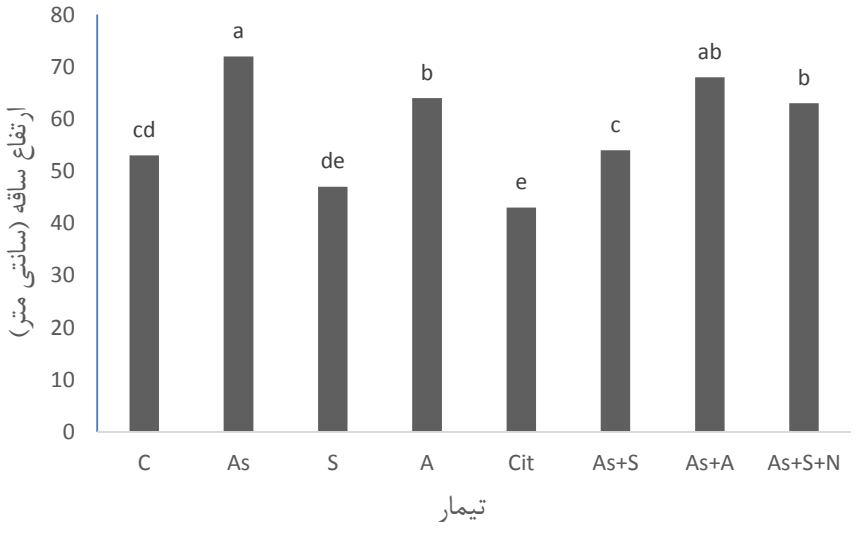
۴-۲-۲- اثر تیمارها بر ارتفاع گیاه

ارتفاع نهایی گیاه معمولاً تحت تاثیر عوامل ژنتیکی می‌باشد با این حال محیط نیز ارتفاع گیاه را تحت تاثیر قرار می‌دهد. ارتفاع جزء مهمی در تعیین عملکرد نمی‌باشد، ولی احتمالا ارقام با ارتفاع بلندتر عملکرد ماده خشک بیشتری دارند (سلیمی، ۱۳۸۹).

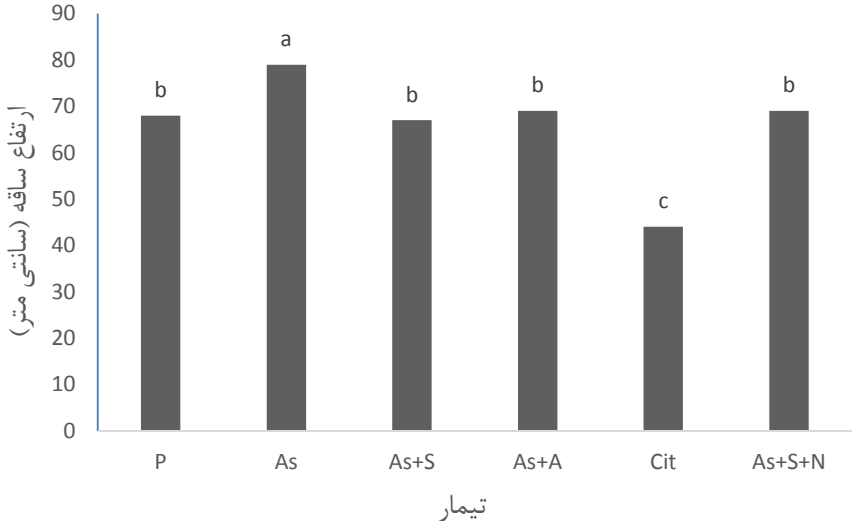
همان طور که در جدول(۴-۲) مشاهده می شود اثر تیمارها بر ارتفاع گیاه در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار شد. نتایج حاصل از مقایسه میانگین (شکل ۴-۲۱) نشان داد بیشترین ارتفاع بوته مربوط به تیمار آسپرژیلوس (As) بود که توانست ارتفاع بوته را نسبت به تیمار شاهد ۹ سانتی متر افزایش دهد. تیمار فوق با تیمار آسپرژیلوس + پودر یونجه (As +A) در یک گروه آماری قرار گرفت. تیمار ساکارز(S) باعث کاهش ارتفاع ۶ سانتی متری نسبت به تیمار شاهد شد. با اضافه کردن قارچ آسپرژیلوس به این تیمار ارتفاع گیاه نسبت به تیمار ساکارز افزایش یافت(شکل ۴-۲۳). تیمار پودر یونجه (A) توانست ارتفاع گیاه را به مقدار ۱۱ سانتی متر نسبت به شاهد افزایش دهد که با افزودن تیمار قارچ آسپرژیلوس به این تیمار افزایش ارتفاع بیشتر شد (شکل ۴-۲۴). تحقیقات ردریش و همکاران (۲۰۰۵) نشان داده است که استفاده از ریز جانداران حل کننده فسفات باعث افزایش جوانه‌زنی، افزایش رشد گیاه، جذب عناصر، ارتفاع گیاه، تعداد شاخه، گره بندی و عملکرد گیاه نخود نسبت به شاهد شده است. لازم بذکر است افزودن سنگ فسفات به تیمار های فوق افزایش ارتفاع چشمگیرتری را نشان داد. تیمار اسید سیتریک نیز ارتفاع گیاه را نسبت به تیمار شاهد ۱۰ سانتی متر کاهش داد (شکل۴- ۲۵). افزودن نیتروژن به تیمار آسپرژیلوس+ ساکارز تاثیر بیشتری بر ارتفاع گیاه نسبت به تیمار آسپرژیلوس + ساکارز داشت.

اصولاً علت افزایش ارتفاع در اثر کاربرد نیتروژن را میتوان به اثر تشدید کنندگی نیتروژن در رشد رویشی و تقسیمات سلولی در اندام گیاه به خصوص ساقه نسبت داد و اشاره کرد که در نتیجه آن وزن برگ و ساقه افزایش می‌یابد. همچنین انتظار می‌رود مواد فتوسنتزی بیشتری توسط گیاه تولید شود که این مواد شرایط مناسبی را برای طویل شدن ساقه فراهم می‌کند(نورمحمدی و همکاران ۱۳۸۰).

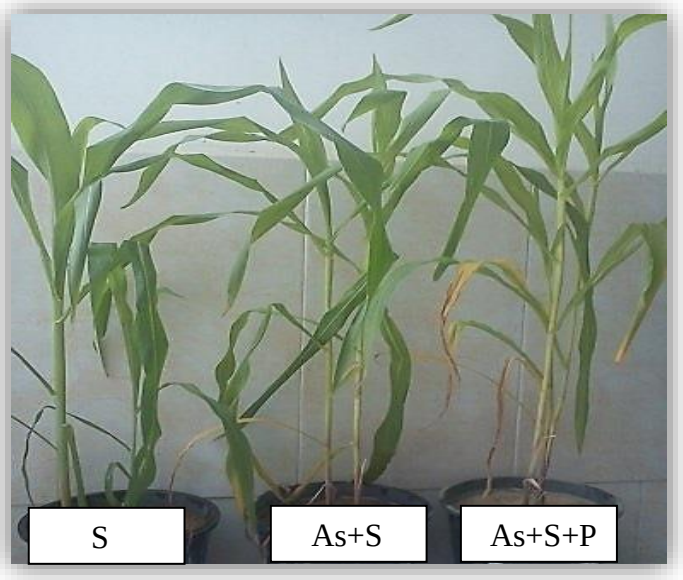
نتایج حاصل از مقایسه میانگین در شکل (۴-۲۲) نشان می‌دهد بیشترین ارتفاع در تیمار آسپرژیلوس + سنگ فسفات (As+ P) مشاهده شد که توانست ارتفاع گیاه را نسبت به سنگ فسفات (P) ۱۱ سانتی متر و نسبت به تیمار شاهد (C) ۲۳ سانتی متر افزایش دهد (شکل ۴-۲۶). مدینا و همکاران (۲۰۰۶) از ضایعات چغندر قند به منظور بهبود رشد گیاه شبدر در یک خاک آلوده به روی استفاده نمودند. آنها بیشترین جذب فسفر, نیتروژن و پتاسیم و بالاترین رشد گیاه را در تیمار ضایعات به همراه سنگ فسفات در تلقیح با قارچ آسپرژیلوس نایجر مشاهده نمودند. جاین و همکاران (۲۰۱۰) نیز با تحقیق بر روی گونه ای از آسپرژیلوس دریافتند که این گونه سبب افزایش انحلال سنگ فسفات و افزایش رشد گیاه در حضور این گونه شده است. وو و همکاران (۲۰۰۵) در بررسی کود بیولوژیک حل کننده فسفات جنس باسیلوس بر رشد ذرت مشاهده کردند که علاوه بر افزایش معنی دار در بیوماس و ارتفاع گیاهچه، درصد ماده آلی و نیتروژن کل خاک نیز بهبود یافت.



شکل۴-۲۱- اثر تیمارها بر ارتفاع گیاه بدون کاربرد سنگ فسفات.

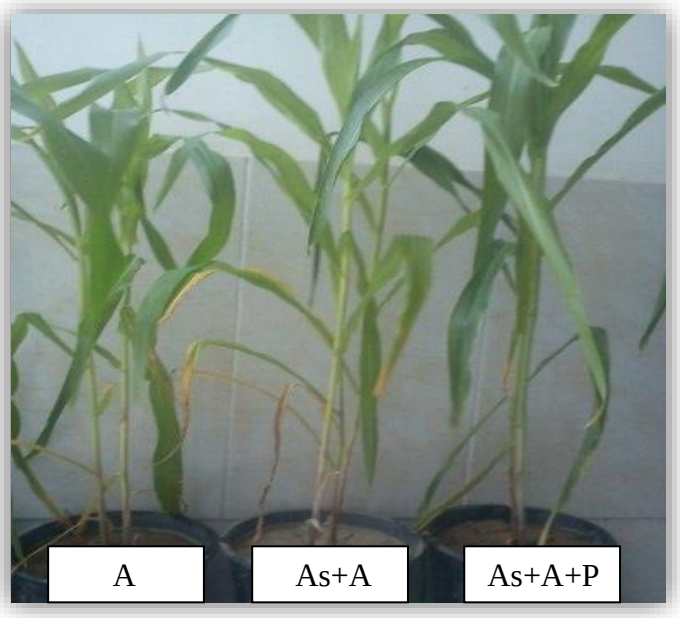


شکل۴-۲۲- اثر تیمارها بر ارتفاع گیاه همراه با کاربرد سنگ فسفات.



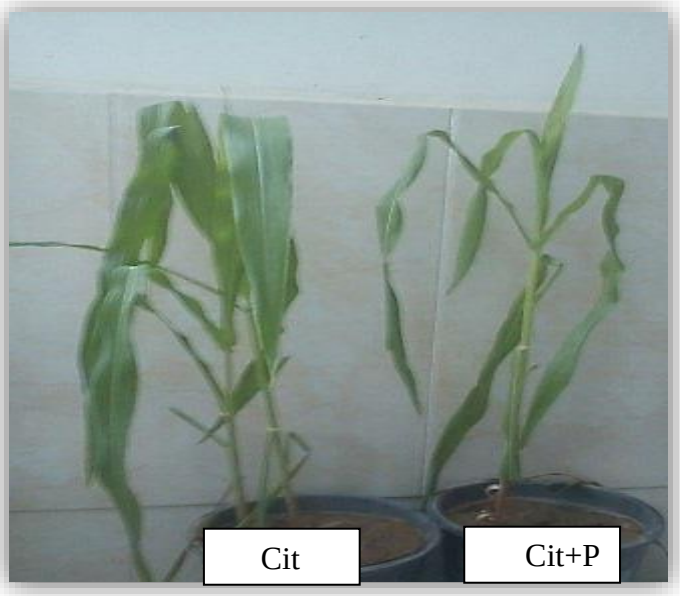
شکل ۴-۲۳- تاثیر تیمارهای مختلف بر رشد گیاه ذرت ۷۰ روز پس از کشت.

از سمت چپ به ترتیب تیمار ساکارز، آسپرژیلوس + ساکارز، آسپرژیلوس + ساکارز + سنگ فسفات.



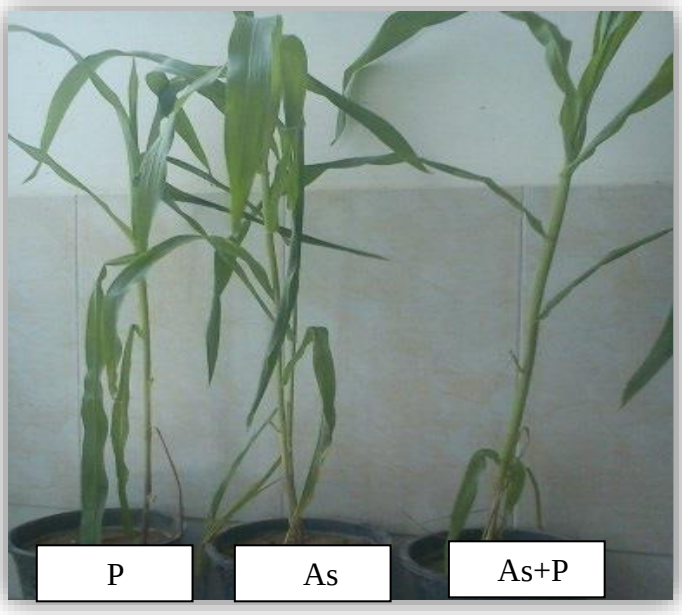
شکل۴-۲۴- تاثیر تیمارهای مختلف بر رشد گیاه ذرت ۷۰ روز پس از کشت.

از سمت چپ به ترتیب تیمار پودر یونجه، آسپرژیلوس + پودر یونجه ، آسپرژیلوس + پودر یونجه + سنگ فسفات.



شکل۴-۲۵- تاثیر تیمارهای مختلف بر رشد گیاه ذرت ۷۰ روز پس از کشت.

از سمت چپ به ترتیب تیمار اسید سیتریک، اسید سیتریک + سنگ فسفات.



شکل۴-۲۶- تاثیر تیمارهای مختلف بر رشد گیاه ذرت ۷۰ روز پس از کشت.

از سمت چپ به ترتیب تیمار سنگ فسفات، قارچ آسپرژیلوس، قارچ آسپرژیلوس + سنگ فسفات.

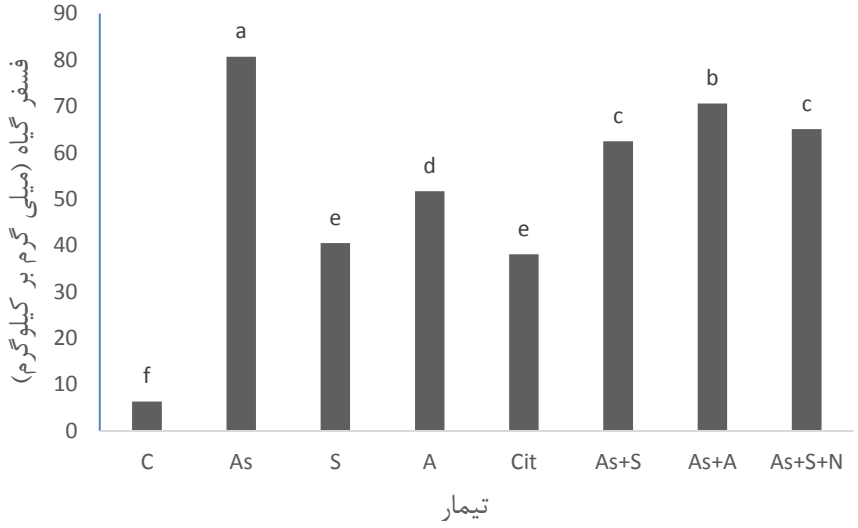
۴-۲-۳- اثر تیمارها بر غلظت فسفر در گیاه

در جدول(۴-۲) مشاهده می شود اثر تیمارها بر غلظت فسفر در گیاه در سطح ۱ درصد معنی دار شد. میانگین اثر تیمارها بر غلظت فسفر در گیاه بدون کاربرد سنگ فسفات (شکل۴-۲۷) نشان می دهد که تمام تیمارها نسبت به شاهد از نظر غلظت فسفر در اندام‌های هوایی گیاه روند افزایشی داشته اند. بیش ترین غلظت فسفر مربوط به تیمار آسپرژیلوس نایجر (As) و به مقدار ۸۰/۶۸ میلی گرم بر کیلوگرم است که نسبت به شاهد (C) ۷۴/۳۴ میلی گرم بر کیلوگرم غلظت فسفر در گیاه را افزایش داد. میانگین اثر تیمارها بر غلظت فسفر در گیاه همراه با کاربرد سنگ فسفات (شکل۴-۲۸) نشان می دهد تیمار آسپرژیلوس نایجر+ سنگ فسفات+ پودر یونجه (As+ A+ P) بیشترین غلظت فسفر را دارا است و غلظت توانست فسفر گیاه را نسبت به تیمار سنگ فسفات ۲۹/۶۹ میلی گرم بر کیلوگرم و نسبت به شاهد ۶۷/۴۷ میلی گرم بر کیلوگرم افزایش دهد. ریزجانداران حل کننده فسفات، فسفر در دسترس گیاه را افزایش داده، رشد و توسعه گیاه را گسترش و تثبیت بیولوژیکی نیتروژن را افزایش

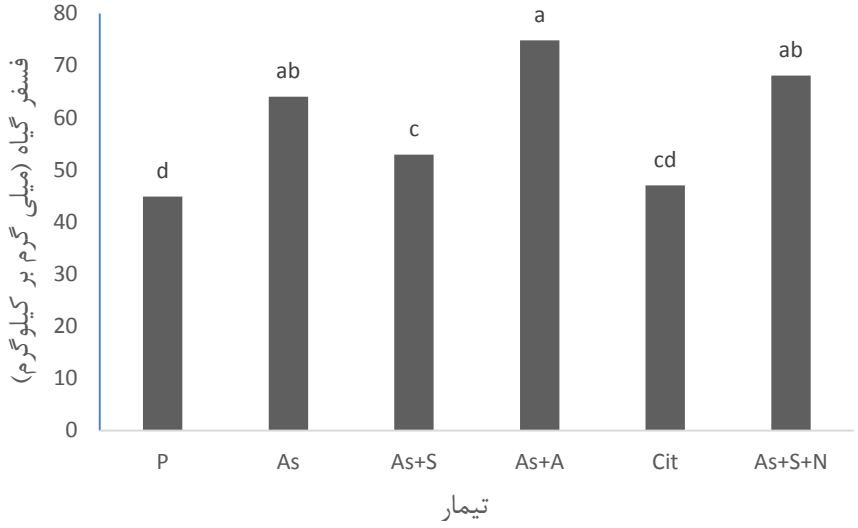
می‌دهند. بنابراین با کاربرد ریز جانداران حل کننده فسفات نظیر آسپرژیلوس نایجر در خاک فراهمی فسفر معدنی و جذب فسفر در گیاه افزایش می یابد. مصرف مواد آلی همراه با خاک فسفات موجب می شود برخی از قارچ ها و باکتری های هتروتروف، از مواد آلی به عنوان منبع کربن استفاده کرده و اسیدهای آلی تولید کنند . اسیدهای آلی با پروتونه کردن و کلاته کردن باعث انحلال خاک فسفات و افزایش قابلیت جذب فسفر موجود در آن می شوند. قدرت اسید، میزان کلسیم محلول، نوع و مو قعیت لیگاندهای کلات کننده از عواملی هستند که بر میزان فسفر آزاد شده مؤثر واقع می شوند (ساگو و همکاران، ۱۹۹۸)

پون مورگان و گوپی (۲۰۰۶) بیان کردند استفاده از ریزجانداران حل کننده فسفات فعالیت میکروبی در ریزوسفر را افزایش داده و موجب افزایش جذب فسفر توسط گیاه می‌شود. ریزجانداران ریزوسفری که برهمکنش مثبتی باهم دارند، می‌توانند رشد گیاه را تحت تأثیر قرار داده و باعث افزایش جذب عناصر غذایی مانند نیتروژن و فسفر گردند.

غلظت عناصر در گیاه تحت تأثیر غلظت عناصر در خاک است. انتظار می رود با افزایش غلظت عناصردر خاک، غلظت آنها در گیاه نیز بیشتر شود. گاهی غلظت برخی عناصر در خاک با غلظت عناصر موجود در گیاه همبستگی ندارند و این بدین علت است که علاوه بر غلظت عناصر در خاک، سن گیاه و قابلیت دسترسی عناصر دیگر نیز بر غلظت عنصر در گیاه مؤثر می باشند(منگال و همکاران، ۲۰۰۱). اسیدهای آلی تولید شده بوسیله قارچ های حل کننده فسفات می تواند بر خاک فسفات اثر گذاشته و باعث افزایش جذب فسفرتوسط گیاه را افزایش دهد. برخی محققین تأثیر مواد آلی و منابع مختلف کودهای فسفره را در فراهمی فسفر محلول و رشد گیاه اسفناج و تربچه مورد بر رسی قرار دادند. افزودن ماده آلی به خاک جذب فسفر بوسیله گیاه را در تمام مراحل رشد رویشی افزایش داد. آنها گزارش کردند وقتی کودهای فسفره با مواد آلی مخلوط می شود باعث افزایش فراهمی فسفر سبت به کاربرد کودهای فسفره به تنهایی می شود(دوینی و همکاران، ۲۰۰۶).



شکل۴-۲۷- میانگین اثر تیمارها بر غلظت فسفر اندام هوایی بدون کاربرد سنگ فسفات.



شکل۴-۲۸- میانگین اثر تیمارها بر غلظت فسفر اندام هوایی همراه با کاربرد سنگ فسفات.

۴-۲-۴- اثر تیمارها بر pH خاک

pH خاک یکی از مهمترین عوامل در تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان می‌باشد. اثر pH خاک به دو شیوه، اثر مستقیم pH در میزان حلالیت عناصر مغذی گیاه در خاک و اثر غیر مستقیم pH بر فعالیت موجودات ذره‌بینی و جذب سطحی عناصر توسط ریشه، در عملکرد گیاهان زراعی مؤثر می-باشد.

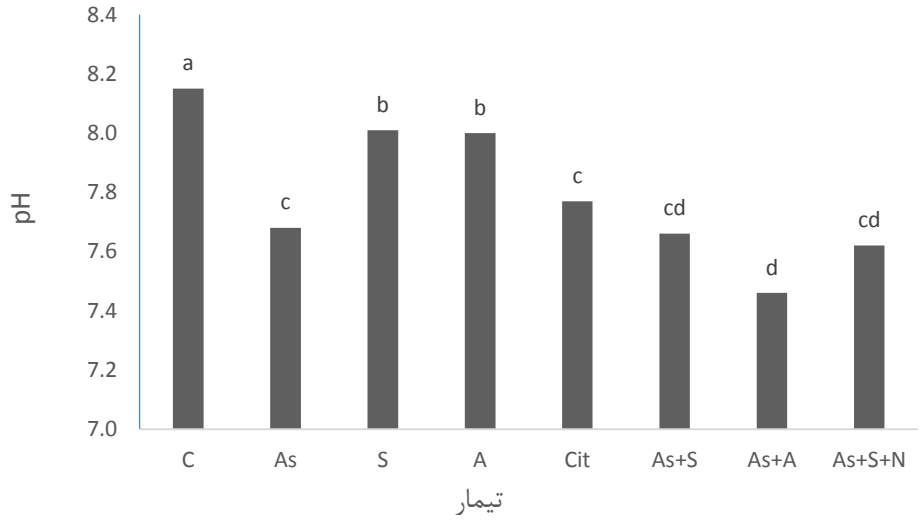
نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول۴-۳) نشان داد که بین تیمارهای مختلف از نظرpH خاک اختلاف معنی داری در سطح ۱ درصد وجود داشت. میانگین اثر تیمارها بر pH خاک بدون کاربرد سنگ فسفات (شکل۴-۲۹) نشان می دهد که با افزودن تیمارها به خاک pH خاک کاهش یافته بطوری که بیشترین میزان کاهش مربوط به تیمار آسپرژیلوس + پودریونجه (As+ A) بود که نسبت به شاهد (C) ۰/۶۹ واحد کاهش داشته است. به نظر می رسد که در حین تجزیه مواد آلی، اسیدهای-آلی و مواد هومیکی تولید می شود که باعث کاهش pH خاک می شود. مطالعات مختلف نشان داده است که تجزیه بقایای گیاهی در طول زمان و با تولید ترکیبات اسیدزا معمولاً باعث کاهش pH خاکهای آهکی می گردد(عباسپور و همکاران،۲۰۰۴).

میانگین اثر تیمارها بر pH خاک همراه با سنگ فسفات (شکل۴-۳۰) نشان می دهد که تیمارهای حاوی سنگ فسفات نیز روند کاهش pH را همانند تیمارهای بدون سنگ فسفات دارند. بیش ترین میزان کاهش pH در تیمار آسپرژیلوس + سنگ فسفات + پودریونجه (As+ A+ P) بود که نسبت به تیمار سنگ فسفات (P) ۰/۳۱ واحد و نسبت به تیمار شاهد (C) ۰/۷۱ واحد کاهش داشته است. تحقیقات ژیائو و همکاران (۲۰۱۳) ریز نشان داد که استفاده از آسپرژیلوس نایجر و سنگ فسفات سبب کاهش معنی دار pH, افزایش فسفر محلول و افزایش رشد گیاه گندم شد. آنها کاهش pH را عمدتاً به افزایش تولید اسید گلوکونیک توسط قارچ نسبت دادند.

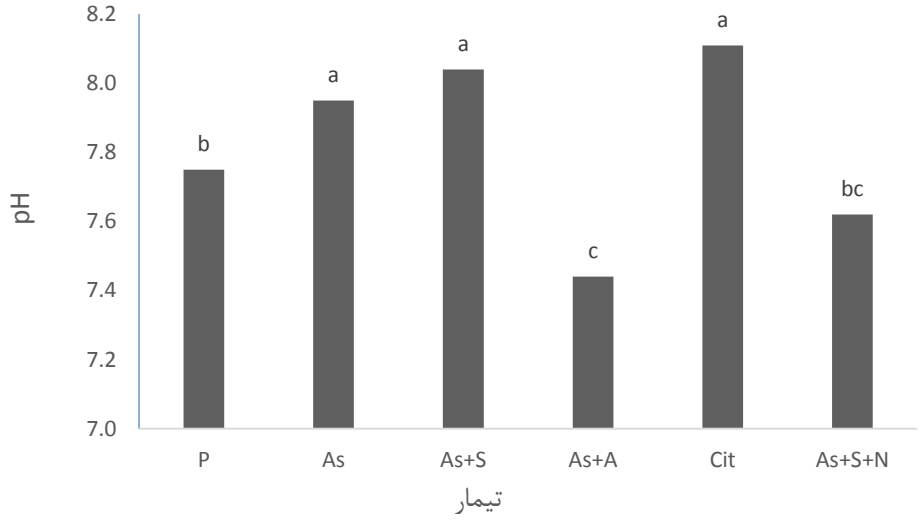
جدول۴-۳- نتایج تجزیه واریانس مربوط به برخی خصوصیات شیمیایی مورد مطالعه.

		میانگین مربعات			
منابع تغییر	درجه آزادی	pH	EC	فسفر قابل جذب	فسفرمحلول خاک
تکرار	۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۱۰/۵۳	۰/۰۰۱
تیمار	۱۳	۰/۱۷۹**	۰/۰۲۵**	۶۷/۷۵**	۰/۰۳۹**
خطا	۲۶	۰/۰۱۱	۰/۰۰۴	۸/۲۶	۰/۰۰۴

** بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال۱ درصد



شکل۴-۲۹- میانگین اثر تیمارها بر pH خاک بدون کاربرد سنگ فسفات.

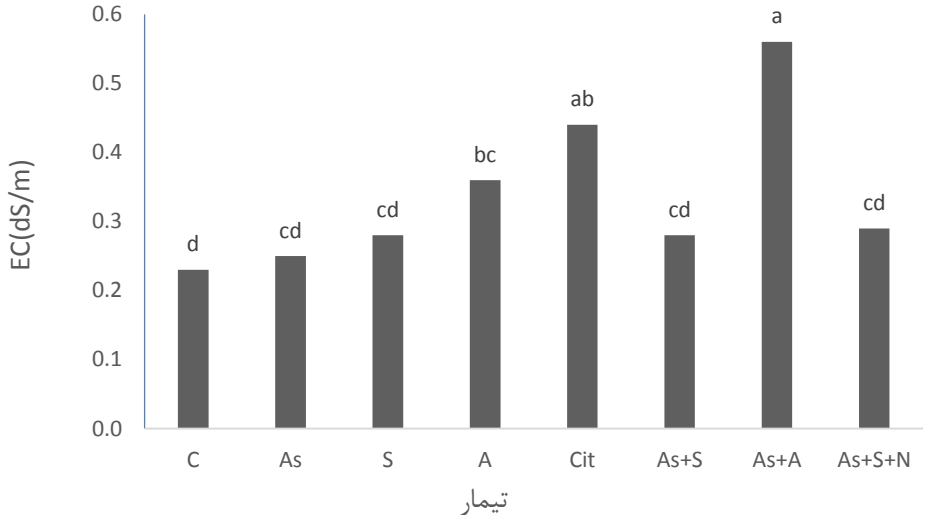


شکل۴-۳۰- میانگین اثر تیمارها بر pH خاک همراه با کاربرد سنگ فسفات.

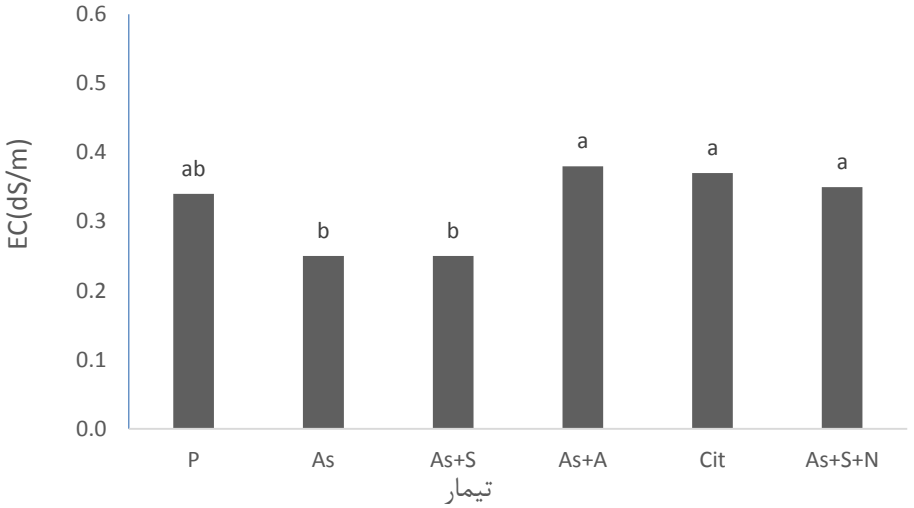
۴-۲-۵- اثر تیمارها بر هدایت الکتریکی خاک

نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول۴-۳) نشان داد که بین تیمارهای مختلف از نظر هدایت الکتریکی خاک اختلاف معنی داری در سطح ۱ درصد وجود داشت. میانگین اثر تیمارها بر هدایت الکتریکی خاک بدون کاربرد سنگ فسفات (شکل۴-۳۱) نشان می دهد که همه تیمارها نسبت به شاهد اثر افزایشی بر هدایت الکتریکی داشت. بیش‌ترین هدایت الکتریکی با میانگین ۰/۳۳ دسی زیمنس بر متر مربوط به تیمار آسپرژیلوس + پودریونجه (As+ A) و کمترین هدایت الکتریکی با میانگین ۰/۲۳ دسی زیمنس بر متر متعلق به تیمار شاهد (C) بود.

میانگین اثر تیمارها بر هدایت الکتریکی خاک همراه با سنگ فسفات (شکل۴-۳۲) نشان می دهد که بیشترین میزان افزایش در هدایت الکتریکی مربوط به تیمار آسپرژیلوس + پودریونجه + سنگ فسفات (As+ A+ P) است که میانگین هدایت الکتریکی خاک را نسبت به تیمار سنگ فسفات (P) ۰/۰۴ دسی زیمنس بر متر و نسبت به تیمار شاهد (C) ۰/۱۵ دسی زیمنس بر متر افزایش داده است ولی با تیمار سنگ فسفات تفاوت معنی داری نداشت. افزایش هدایت الکتریکی در اثر تجزیه کود سبز بدلیل معدنی شدن مواد آلی و فرایند نیترات سازی است.



شکل۴-۳۱- میانگین اثر تیمارها بر هدایت الکتریکی خاک بدون کاربرد سنگ فسفات.

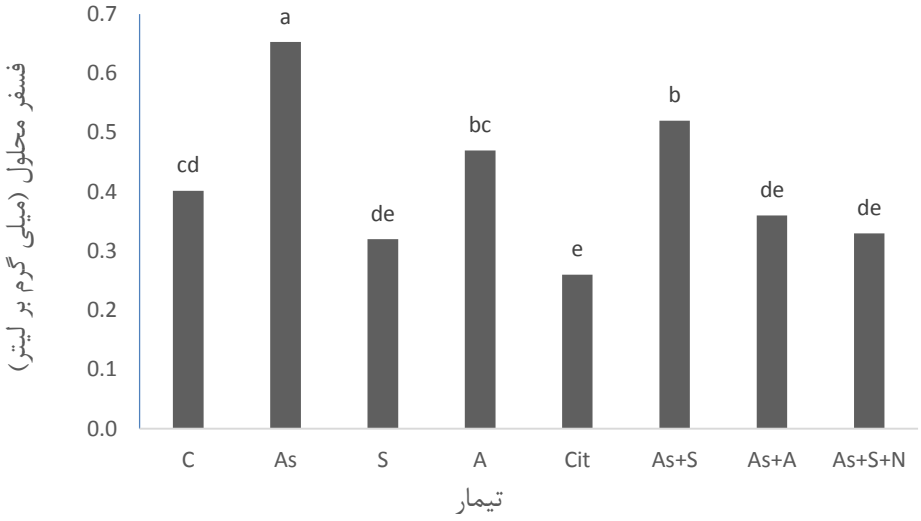


شکل۴-۳۲- میانگین اثر تیمارها بر هدایت الکتریکی خاک همراه با کاربرد سنگ فسفات.

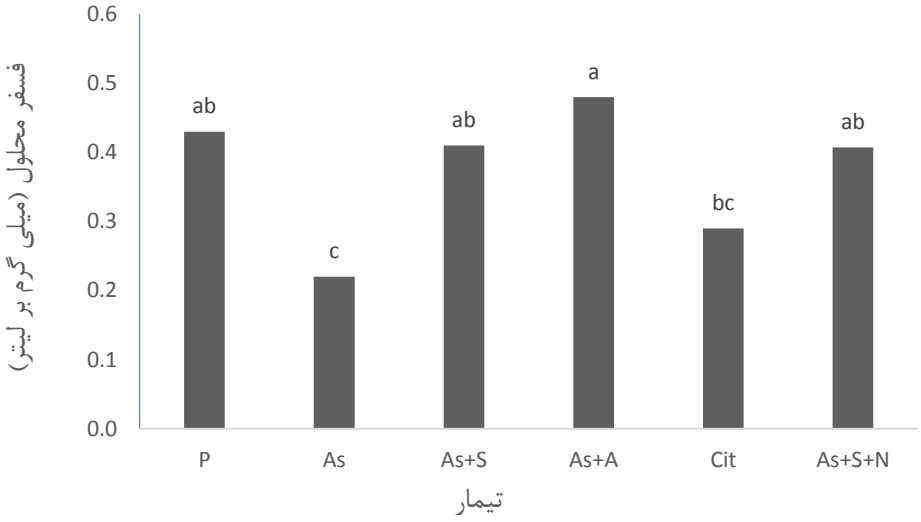
۴-۲-۶- اثر تیمارها بر فسفر محلول خاک

مقدار فسفر محلول در خاک در تیمارهای مختلف آزمایشی با یکدیگر اختلاف معنی داری در سطح ۱ درصد نشان دادند (جدول ۴-۳). میانگین اثر تیمارها بر فسفر محلول خاک بدون سنگ فسفات (شکل ۴-۳۳) نشان می دهد که با اعمال تیمارها فسفر محلول خاک افزایش یافت. بیشترین فسفر محلول مربوط به تیمار قارچ آسپرژیلوس بود که نسبت به تیمار شاهد ۳۸/۴۳ درصد میزان فسفر محلول خاک را افزایش داد و با سایر تیمارها تفاوت معنی داری داشت.

میانگین اثر تیمارها بر فسفر محلول خاک همراه با کاربرد سنگ فسفات (شکل ۴-۳۴) نیز نشان می دهد که با اعمال تیمارها فسفر محلول خاک افزایش یافته است. بیشترین فسفر محلول در تیمار آسپرژیلوس + سنگ فسفات + پودر یونجه مشاهده شد که توانست مقدار فسفر محلول خاک را ۶/۶۲ درصد نسبت به سنگ فسفات و ۱۶/۵۹ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش دهد. در پژوهشی که توسط محمدی آریا و همکاران (۲۰۱۰) در ارتباط با pH خاک و حل‌پذیری فسفر در شرایط آزمایشگاهی انجام شد، گزارش کردند که تغییرات pH خاک همبستگی منفی و معنی داری با فسفر داشت. بدین صورت که با کاهش pH خاک میزان فسفر در خاک افزایش پیدا کرد. بعضی از ریز جانداران قادرند از طریق کاهش pH محیط سبب حل‌پذیری بیشتر فسفر خاک شوند. ریزجانداران حل کننده فسفات با تولید اسیدهای معدنی (اسید کربنیک و اسید سولفوریک)، اسیدهای آلی (سیتریک، بوتیریک، اگزالیک، لاکتیک) و تولید فسفاتاز باعث انحلال فسفات معدنی و آلی می شوند (وانس و همکاران، ۲۰۰۳). در آزمایشی که بوسیله ساگو و همکاران (۱۹۹۸) انجام شد، اثر قارچ بر فراهمی فسفر با منابع مختلف خاک فسفات مورد بررسی قرار گرفت. در این آزمایش تولید اسید سیتریک موجب کاهش pH و افزایش غلظت فسفر محلول در آب از خاک فسفات شد و در اکثر تیمارها روند کاهش pH و افزایش فسفر محلول در آب گزارش شد.



شکل۴-۳۳- میانگین اثر تیمارها بر فسفر محلول خاک بدون کاربرد سنگ فسفات.

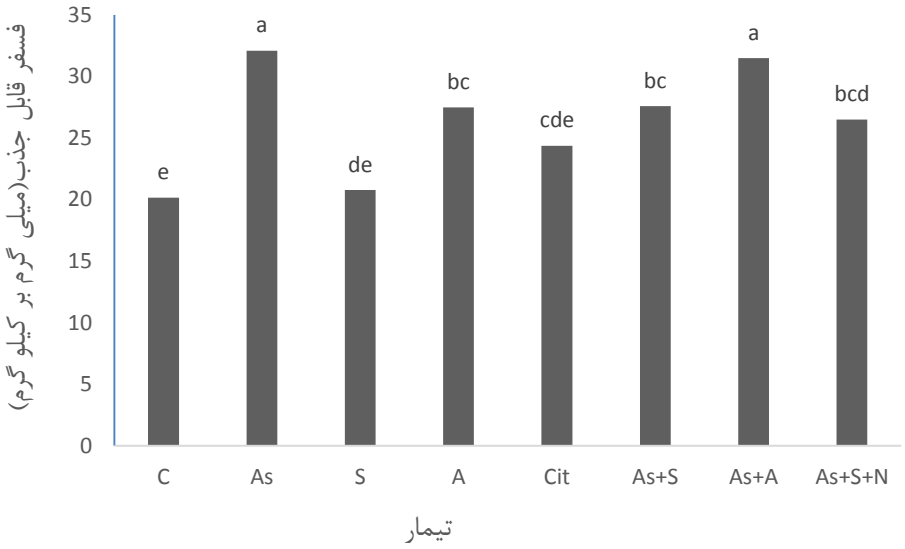


شکل۴-۳۴- میانگین اثر تیمارها بر فسفر محلول خاک همراه با کاربرد سنگ فسفات.

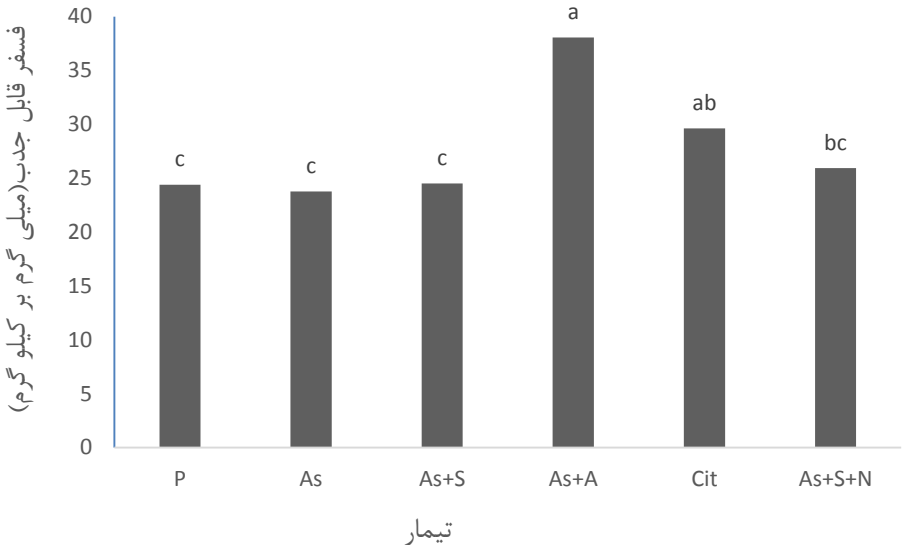
۴-۲-۷- اثر تیمارها بر فسفر قابل جذب خاک

مطابق نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارها بر فسفر قابل جذب خاک در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود (جدول ۴-۳). میانگین اثر تیمارها بر فسفر قابل جذب خاک بدون سنگ فسفات (شکل ۴-۳۵) نشان می دهد که تمام تیمارها به جز تیمار ساکارز (S) منجر به افزایش فسفر قابل جذب خاک شد. بیشترین فسفر قابل جذب در تیمار قارچ آسپرژیلوس (As) مشاهده شد که ۱۱/۹۳ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر قابل جذب را نسبت به شاهد (C) افزایش داد. تامین شرایط جدید برای ریزوسفر ریشه به کمک تغییر pH ناشی از اثرات قارچ به کار برده شده نه تنها شرایط تامین فسفر قابل جذب را ترقی داده است بلکه به نظر می رسد قابلیت تنظیم کنندگی رشد و تامین همزمان برخی از عناصر محدود کننده میکرو را نیز برای گیاه در بر داشته است.

میانگین اثر تیمارها بر فسفر قابل جذب خاک همراه با کاربرد سنگ فسفات (شکل ۴-۳۶) نیز نشان می دهد که تیمارها منجر به افزایش فسفر قابل جذب خاک شد و این افزایش در تیمارهایی که سنگ فسفات بکاربرده شد بیش از تیمارهای فاقد سنگ فسفات بود. تیمار قارچ آسپرژیلوس + پودر یونجه + سنگ فسفات (As+ A+ P) با میانگین۳۸/۰۵ میلی گرم بر کیلوگرم بیشترین فسفر قابل جذب را دارا بود. برخی پژوهش ها نشان می دهد که افزودن ماده آلی به خاک باعث افزایش مقدار شکل های فراهم فسفر در خاک می شود(عباسپور و گلچین ۲۰۱۱, گاله و همکارن، ۲۰۰۰). گایند (۲۰۱۴) با کاربرد قارچ آسپرژیلوس بر روی بقایای آلی مختلف نظیر کود مرغی, کود گاوی و کاه و کلش دریافت که فسفر قابل استخراج با بی کربنات سدیم (روش اولسن) در این تیمارها نسبت به شاهد تا ۳۲ درصد افزایش یافت. باربارایک و همکاران (۱۹۹۰) در آزمایش تاثیر سنگ فسفات و زئولیت بر سورگوم سودان گراس نتیجه گرفتند که با افزایش نسبت مصرف زئولیت و سنگ فسفات در تیمارهای آزمایشی مقدار فسفر قابل دسترس خاک افزایش یافت. برخی پژوهشها نشان میدهد که افزودن ماده آلی به خاک باعث افزایش مقدار شکلهای فراهم تر فسفر در خاک میشود (میناکسی، ۲۰۱۰).



شکل۴-۳۵- میانگین اثر تیمارها بر فسفر قابل جذب خاک بدون کاربرد سنگ فسفات.



شکل۴-۳۶- میانگین اثر تیمارها بر فسفر قابل جذب خاک همراه با کاربرد سنگ فسفات.

۴-۳- نتیجه گیری

۴-۳-۱- مرحله انکوباسیون

۱- تیمار قارچ آسپرژیلوس نایجر و پودر یونجه بیشترین تاثیر را روی pH خاک داشت و توانست در پایان دوره انکوباسیون ۰/۵۹ واحد pH خاک را نسب به شاهدکاهش دهد. همچنین کاربرد توام قارچ آسپرژیلوس نایجر و پودر یونجه و سنگ فسفات هدایت الکتریکی خاک را ۰/۹۶ دسی زیمنس نسبت به شاهد افزایش داد.

۲- کاربرد توام قارچ آسپرژیلوس نایجر و پودر یونجه و سنگ فسفات توانست باعث افزایش فسفر قابل جذب و فسفر محلول خاک گردد بطوری که فسفر محلول را ۴۰/۷۴ درصد و فسفر قابل جذب را ۱۶/۶۱ درصد نسبت به شاهد افزایش داد.

۳- کاربرد توام قارچ آسپرژیلوس نایجر و پودر یونجه و سنگ فسفات نیز توانست فسفر محلول را ۱۴/۱۷ درصد و فسفر قابل جذب را ۱۵/۷۳درصد نسبت به سنگ فسفات افزایش دهد.

۴-۳-۲- مرحله کشت گلخانه ای

۱- کاربرد قارچ آسپرژیلوس نایجر توانست ۶۲/۴۳ درصد فسفر محلول و ۳۷/۱۸ درصد فسفر قابل جذب را نسبت به شاهد افزایش دهد و کاربرد توام آسپرژیلوس نایجر و پودر یونجه و سنگ فسفات موجب کاهش pH (۰/۷۱ واحد) و افزایش هدایت الکتریکی (۰/۳۳ دسی زیمنس بر متر) نسبت به شاهد شد.

۲- کاربرد قارچ آسپرژیلوس نایجر و سنگ فسفات توانست وزن خشک اندام هوایی گیاه را نسبت به شاهد ۸/۹۸ درصد افزایش دهد. بیشترین ارتفاع گیاه نیز در همین تیمار مشاهده شد.

۳- غلظت فسفر در گیاه با مقدار ۸۰/۶۸ میلی گرم بر کیلوگرم در تیمار آسپرژیلوس نایجر مشاهده شد که نسبت به شاهد ۷۴/۳۴ میلی گرم بر کیلوگرم غلظت فسفر در گیاه را افزایش داده است.

۴- تیمارهای ساکارز، اسید سیتریک و پودر یونجه عملکرد گیاه را کاهش داد که این کاهش احتمالا به خاطر کمبود نیتروژن در خاک بوده است.

۴-۴- پیشنهادها

با توجه به نتایج حاصله از این پژوهش جهت انجام بهتر و دقیق‌تر این چنین آزمایشاتی پیشنهادات زیر ارائه می‌گردد.

۱- آزمایش انکوباسیون در دوره های زمانی بیشتری بررسی شود.

۲- تاثیر مواد آلی و سنگ فسفاتهای مختلف و در مقادیر مختلف بر رشد گیاه مورد بررسی قرار گیرد.

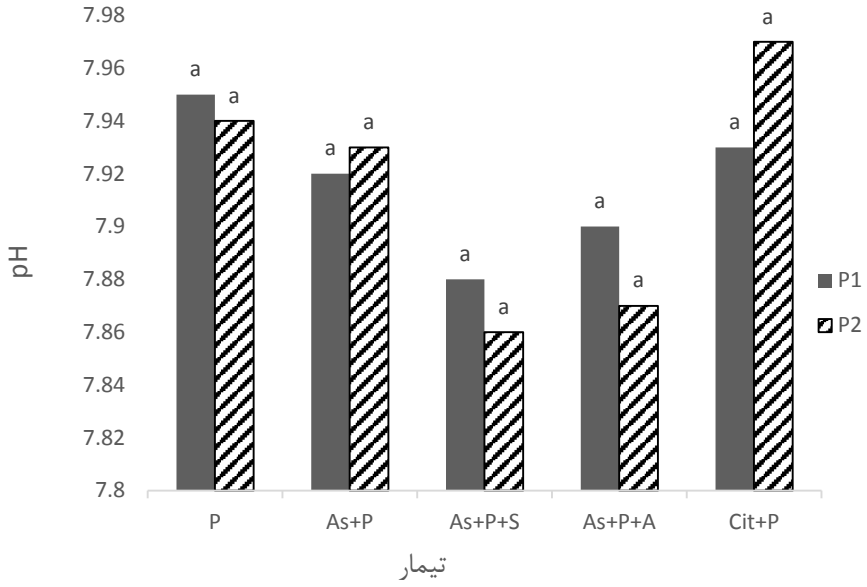
۳- تحقیقات دیگر در رابطه با کاربرد سایر میکروارگانیسم‌های حل کننده فسفات در مورد ذرت انجام گیرد تا مناسب‌ترین حل کننده فسفات با کارایی بالاتر انتخاب گردد.

۴- بهتر است در مورد تاثیر قارچ آسپرژیلوس نایجر بر فسفر خاک در خاکهای مختلف از نظر شوری و pH و تعیین وضعیت بقاء آن پس از برداشت محصول نیز تحقیقاتی صورت گیرد.

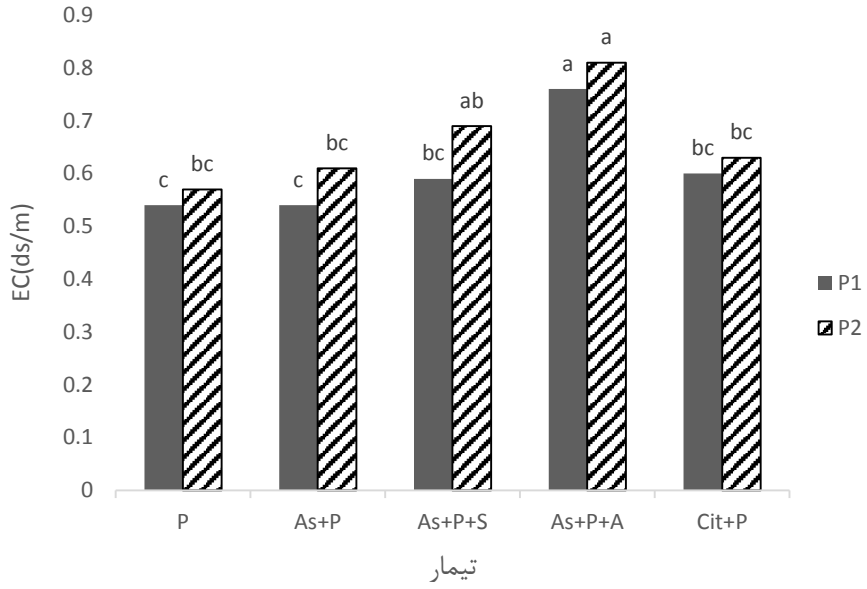
۵- اسیدسیتریک و ساکارز در مقادیر کمتر مورد بررسی قرار گیرد.

۶- استفاده از قارچ آسپرژیلوس نایجر در خاک‌های به شدت فقیر از نظر فسفر تحقیق شود.

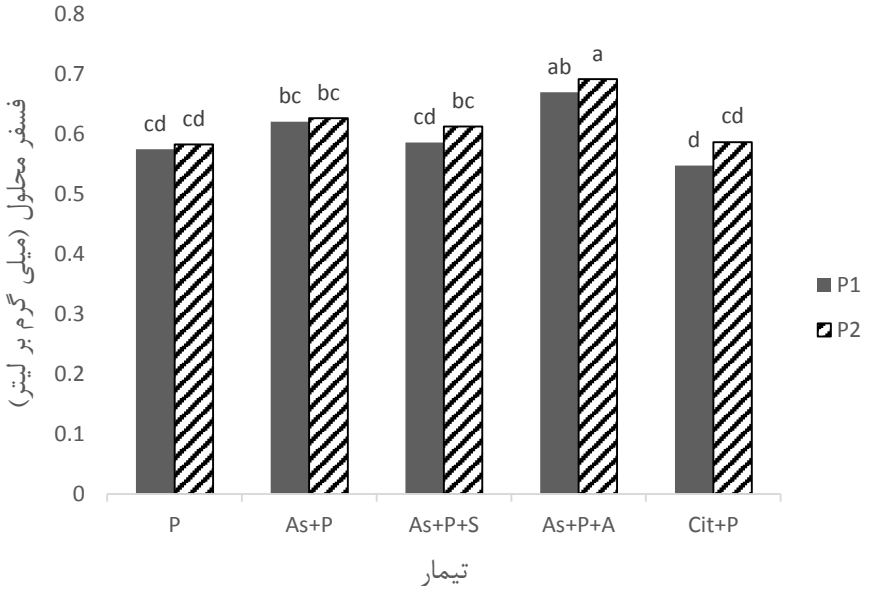
پیوست



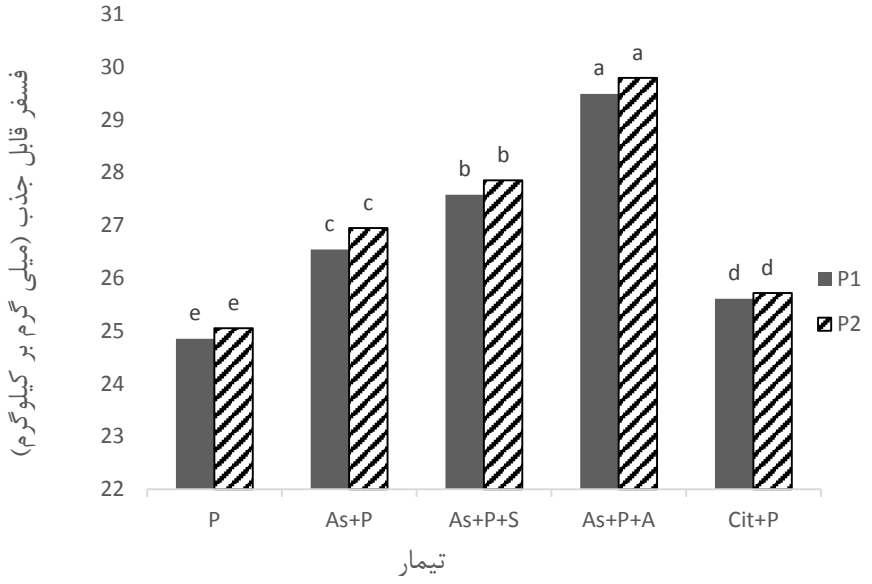
شکل ۴-۱ میانگین اثر تیمارها در دو سطح فسفر بر pH خاک.



شکل ۴-۲ میانگین اثر تیمارها در دو سطح فسفر بر هدایت الکتریکی خاک.



شکل۴-۳ میانگین اثر تیمارها در دو سطح فسفر بر فسفر محلول خاک.



شکل۴-۴ میانگین اثر تیمارها در دو سطح فسفر بر فسفر قابل جذب خاک.

منابع

- آجودان زاده، م. (۱۳۸۴)، پایان نامه "اثرات مواد آلی با کیفیت و مقادیر مختلف، بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک و عملکرد سیب زمینی"، دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان.

- افتخاری، س.، اکبری، غ.، فلاح نصرت آبادی، ع و دادی، ا. (۱۳۸۵). "اثر باکتری حل کننده فسفات در مقایسه با سایر کودهای فسفاته بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد گیاه برنج". خلاصه مقالات نهمین کنگره علوم زراعت.

- اصغری ح.ر، (۱۳۸۶)، "بررسی تاثیر کودهای شیمیایی فسفره بر نقش قارچ های میکوریزا در پایداری ساختمان خاک"، مجموعه مقالات دهمین کنگره علوم خاک ایران، ص۶۱-۶۰، کرج.

- امامی(۱۳۸۳) "**زراعت غلات**"، دانشگاه شیراز، شیراز.

- 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.

- بشارتی، ح.، نورقلی پور، ف.، ملکوتی، م ج و خاوازی، ک. (۱۳۸۳). "مروری بر کارهای انجام شده در زمینه‌ی نحوه‌ی استفاده مستقیم از خاک فسفات در خاکهای آهکی. مصرف بهینه ی کود راهی برای پایداری در تولیدات کشاورزی ((مجموعه مقالات)) ". **مؤسسه تحقیقات خاک و آب**.

- تاج بخش، م. (۱۳۷۵). "**ذرت: زراعت، اصلاح آفات و بیماری‌های آن**"، انتشارات احراز تبریز.

- توجه م، یثربی ج. و علما و، (۱۳۸۸)، "تاثیر فسفر بر غلظت و مقدار کل اسید فیتیک در دانه سبوس دار در پنج رقم گندم"، مجموعه مقالات یازدهمین کنگره علوم خاک ایران، ص۸۲۷-۸۲۵،گرگان.

- توحیدی نیا م.ع، (۱۳۸۸)، پایان نامه ارشد:"مطالعه سود مندی نسبی استفاده از منابع و مقادیر مختلف مصرف فسفر در زراعت ذرت(*Zea mays L.*)"، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.

- جعفری ا، (۱۳۸۳)، پایان نامه ارشد: "سینتیک رهاسازی و جذب فسفر خاک و ارتباط آن با رشد گیاه در چهار ردیف ارضی از مناطق اصفهان و چهارمحال و بختیاری"، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

- جلالی م، کلاه چی ز، (۱۳۸۴)، "فراهمی فسفر خاک در اثر افزودن مقادیر مختلف کود فسفری در خاک های استان همدان"، **مجله علوم خاک و آب**، جلد ۱۹، شماره یک، ص ۵۹.

- جوانمرد ا، (۱۳۸۳)، "مطالعه قابلیت جذب فسفر در خاکهای تیمار شده با مواد آلی مختلف"، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان.

- حاجی بلند، ر.، ن. اصغرزاده و ر. برزگر. (۱۳۸۶). "تأثیر تلقیح گیاه برنج با دو گونه قارچ میکوریز اربوسکولار بر رشد، جذب فسفرپتاسیم و تغییر pH ریزوسفر" . **مجله علوم خاک و آب** ۲۱(۱): ص ص ۱۱۹- ۱۲۹.

- حجازی مهریزی م، (۱۳۸۴)، پایان نامه ارشد: "تأثیر استفاده از کودهای آلی و شیمیایی بر شکلهای فسفر در یک خاک آهکی"، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

- خاوازی ک، اسدی رحمانی ه و ملکوتی م. ج، (۱۳۸۴) "ضرورت تولید صنعتی کودهای بیولوژیک در کشور" چاپ دوم، **موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، وزارت جهاد کشاورزی**.

- خاوازی، ک، و ملکوتی م ج. (۱۳۸۰). "ضرورت تولید صنعتی کودهای بیولوژیک در کشور". وزارت جهاد کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. **مؤسسه تحقیقات خاک و آب**.

- خدابنده، ن. (۱۳۷۷)،" **غلات**"، انتشارات دانشگاه تهران.

- خواجه پور. م (۱۳۸۷) " **اصول و مبانی زراعت**" جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان.

- دهقان ر، (۱۳۸۲)، پایان نامه ارشد: "بررسی وضعیت فسفر در برخی خاکهای مناطق اصفهان و شهرکرد"، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

- زلفی باوریانی م. و نوروزی م، (۱۳۸۹)، "تأثیر ماده آلی بر بازیابی فسفر باقی مانده در یک خاک آهکی"، **مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک**، سال۱۴، شماره۵۲.

- سالاردینی، ع. (۱۳۷۱). " **حاصلخیزی خاک. چاپ چهارم**". انتشارات دانشگاه تهران.

- سالار دینی ، ع .ا. (۱۳۷۴). "**حاصلخیزی خاک**". انتشارات دانشگاه تهران.

- سالار دینی، ع. ا. (۱۳۸۲). "**کودها و حاصلخیزی خاک**"، انتشارات دانشگاه تهران.

- سالاردینی ع، (۱۳۸۷)، "**حاصلخیزی خاک**"، چاپ هشتم، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

- سالاردینی ع، (۱۳۸۸)، "**حاصلخیزی خاک**"، چاپ هشتم، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

- سلیمانی درچه، ا. (۱۳۷۳)، پایان نامه ارشد: "بررسی جذب و رهاسازی فسفر در تعدادی از خاکهای استان تهران"، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.

- سلیم پور س، خاوازی ک و پاک نژاد ع، (۱۳۸۴). "بررسی اثرات باقیمانده خاک فیفات با کرتهای دائم در الگوی کشت کلزا-گندم". نهمین کنگره علوم خاک ایران. تهران. ص ص ۱۹۳ - ۱۹۷

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

- سمر،م، (۱۳۷۵) "بررسی سینتیک آزاد شدن فسفر در برخی از خاکهای مناطق دماوند و کرج **"گزارش طرح ،وزارت کشاورزی ،مؤسسه تحقیقات خاک و آب سازمان تات** .

- صالح راستین ن، (۱۳۸۰). " کودهای بیولوژیک و نقش آنها در راستای نیل به کشاورزی پایدار". مجموعه مقالات ضرورت تولید صنعتی کودهای بیولوژیک درایران، ص ص ۵۴-۱.

- طهماسبی ف. و حسین پور ع.ل، (۱۳۸۶)، "سینتیک تغییرات فسفر قابل استخراج در تعدادی از خاک های همدان"، **مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی**، سال۱۱، شماره۴۲ (ب)، ص ص ۴۸۸- ۴۷۵.

- عطاردی ب، (۱۳۸۴)، پایان نامه ارشد: "حد بحرانی فسفر برای سورگوم به وسیله عصاره گیرهای متفاوت و شکلهای شیمیایی فسفر در خاکهای منطقه بیرجند"، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

- علیمددی، ا.، م. ر. جهانسوز، ح. بشارتی و ر. توکل افشاری. (۱۳۸۹). " ارزیابی تأثیر ریزجانداران ح لکننده فسفات، مایکوریزا و پرایمینگ بذر بر گرهزایی در گیاه نخود". **مجله پژوهشهای خاک** ۲۴(۱):ص ص ۵۳-۴۳.

- فرزانه ق، (۱۳۸۲)، پایان نامه ارشد: "تعیین ضرائب بافری فسفر و همبستگی آن با خصوصیات خاک و شاخصهای گیاهی در شماری از خاکهای همدان"، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان.

- قربانی ه، (۱۳۸۶)، " مروری بر کودهای بیولوژیک در ایران و نقش آنها در حفظ محیط زیست و سلامت جامعه"، صفحات ۲۰۲ تا ۲۱۷، دومین همایش ملی کشاورزی بوم شناختی ایران، گرگان.

- کریمی، ه (۱۳۸۳)، **"گیاهان زراعی"**، دانشگاه تهران.

- کیانی راد م، (۱۳۷۴)، پایان نامه ارشد:"بررسی میکروارگانیسم‌های حل کننده فسفات و تأثیر آنها در کاهش مصرف کودهای فسفره در کشت سویا" دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج.

- گنجعلی ع، ذبیحی ح. ر، ثواقبی غ و خاوازی ک، (۱۳۸۸) "رشد و عملکرد گندم در پاسخ به تلقیح باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه در سطوح مختلف فسفر" **مجله پژوهشهای زراعی ایران**، شماره ۱، جلد ۷، ص ۴۱.

- محمودی ش. و م. حکیمیان. (۱۳۸۵)،" **مبانی خاکشناسی (ترجمه)** "، چاپ هفتم، انتشارات دانشگاه تهران.

- معز اردلان م و ثواقبی فیروزآبادی غ، (۱۳۸۱) **"مدیریت خاصلخیزی خاک برای کشاورزی پایدار"** مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.

- ملکوتی، م. ج و همایی، م. (۱۳۷۳). **"حاصلخیزی خاکهای مناطق خشک (مشکلات و راه حلها)"**. چاپ اول، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس.

- ملکوتی م.ج. و همایی م، (۱۳۸۳)، **"حاصلخیزی خاکهای مناطق خشک و نیمه خشک« مشکلات و راه حلها»** " چاپ دوم با بازنگری کامل، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، دفتر نشر آثار علمی، تهران.

- ملکوتی م.ج، غیبی م ن.(۱۳۸۳). "اصول تغذیه ذرت.بهینه سازی مصرف کود، گامی به سوی خودکفایی در تولید ذرت(مجموعه مقالات) ". انتشارات سنا. چاپ اول.

ملکوتی، م. (۱۳۸۳). **"تغذیه متعادل گندم"**. نشر آموزش کشاورزی.

- ملکوتی، م. ج.، و نفیسی، م. (۱۳۷۳). **"مصرف کود در اراضی فاریاب و دیم (ترجمه)** ". چاپ دوم. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس.

- نور محمدی ق، سیادت س ع و کاشانی ع، (۱۳۸۰). **"زراعت (جلد اول- غلات)** ". چاپ سوم، انتشارات دانشگاه شهید چمران.

- Abbaspour A. and Golchin, A. (2011) "Immobilization of heavy metals in a contaminated soil in Iran using di-ammonium phosphate, vermicompost and zeolite". **Environ Earth Sci** 63, pp 935–943.

- Abbaspour A. Kalbasi M. and Shariatmadari H. (2004) "Effect of steel converter sludge as Iron fertilizer and soil amendment in somecalcareous soils." **J. Plant Nutr**. 27(2), pp 377-394.

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

- Baure A. and Black. A. L. (1992) "Organic carbon effects on available water". **Soil Sci. Am. J**. 56, pp 248-254.

- Beauchamp E. G. (1987) "Corn response to residual N from urea and manure applied in previous year". **Can. J. Soil Sci**. 67, pp 931-942.

- Bojinova D., Velkova R.And Ivanova R. (2008) "Solubilization of Morocco phosphorite by Aspergillus Niger". **Bioresource Technology** 99, pp 7348–7353.

- Chen Y.P., Rekha P.D., Arunshen A.B., Lai W.A. and Young C.C. (2006) "Phosphate solubilizing bacteria from subtropical soil and their tricalcium phosphate solubilizing abilities". **Appl. Soil Ecol**. 34, pp 33-41.

- Chuang C., Kuo Y., Chao C. and Chao W. (2007) "Solubilization of inorganic phosphates and plant growth promotion by *Aspergillus niger*". **Biology and Fertility of Soils** 43, pp 575–584.

- Clesceri L.S., Greenberg A.E. and Eaton A.D. (1998) "Standard methods for the examination of water and waste water, 20th Ed". **American Pablic Health Association**.

- Cooperband L. R. and Good L.W. (2002) " Biogenic phosphate minerals in manure: Implications for phosphorus loss to surface waters". **Environmental Science and Technology** 36, pp 5075-5082.

- Delgado A., Madrid A., Kassem S., Andreu L. and Campillo M. C. (2002)"Phosphorus fertilizer recovery from calcareous soils amended with humic and fulvic acids". **Plant and Soil** 245, pp 277-286.

- Deubel A. and Merbach W. (2005) "Influence of microorganisms on phosphorus bioavailability in soils", pp 62In: "Microorganisms in soils: roles in genesis and functions" Buscot F. and Varma A. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, Germany.

- Dwiny, A. and Bahl G. S. (2006). "Effect of solitary and integrated use of poultry manure and fertilizer phosphorus on the dynamics of P availability in different soils". **Biores. Technol**.72: .28-27

- Ekin Z. (2011) "Performance of phosphate solubilizing bacteria for improving growth and yield of sunflower *(Helianthus annuus* L.) in the presence of phosphorus fertilizer". **African Journal of Biotechnology** 9(25), pp 3794-3800.

- El-Dewiny C. Y., Moursy Kh. S. and El-Aila H. I. (2006) "Effect of organic matter on the Release and Availability of Phosphorus and Their Effects on Spainch and Radish Plants". **Research Journal of Agriculture and Biological Sciences** 2(3), pp 103-108.

- Fageria N. K. (2009) "**The use of nutrients in plants**", Taylor & Francis Group, CRC Press, 430 p

- Fageria NK., Baligar VC.and Jones CA. (2010) "**Growth and Mineral Nutrition of Field Crops**". Third Edition, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL.

- FAO. Production Year Book. (2002) "**Food and Agricultural organization of United Nation**", Rome, Italy. 51, 209 p.

- FAO. (2004) "**Use of phosphate rocks for sustainable agriculture**". Rome.

- Gahoonia T.S., Asmar F., Giese H., Nielsen G.G. and Nielsen N.E. (2000) "Root-released organic acids and phosphorus uptake of two barley cultivars in laboratory and field experiments". **European Journal of Agronomy**. 12, pp 281-289.

- Gaind S. and Gaur A.C. (1991) "Thermotolent phosphate solublizing microorganisms and their interaction with *mung bean*". **Plant and Soil** 133, pp 141-150.

- Gaind S. (2014) "Effect of fungal consortium and animal manure amendments on phosphorus fractions of paddy-straw compost". **International Biodeterioration & Biodegradation**, Volume 94, October 2014, pp 90-97.

- Garg Sh. and Bahl G. S. (2008) "Phosphorus availability to maize by organic manures and fertilizer P-associated phosphatase activity in soils". **Bioresource Technol**. 99(13), pp 5773-5777.

- Gale P. M., Mullen M. D., Cieslik C., Tyler D. D., Duck B. N., Krishner M. and McClure J. (2000) "Phosphorus distribution and availability in response to dairy manure applications". **Commun. Soil Sci. Plant Anal**. 31, pp 553-565.

- Gang X., Hongbo S., Rongfu X., Nie Y., Pei Y., Sun Z. and Blackwell M.S.A. (2012) "The role of root-released organic acids and anions in phosphorus transformations in a sandy loam soil from Yantai, China". **African Journal of Microbiology Research**. 6, pp 674 -679.

- Genter C.F., Jones G.D.and carter M.T. (1970) "Dry matter accumulation and depleion in leaves, stems, and ears of maturing maize".**Agron.J**.62, pp 535-537

- Govere E.M., Chien S.H. and Fox R.H. (2004.) "Evaluation of dissolution of nonconconventional phosphate fertilizers in Zimbabwe soils: effect of soil properties". **African Journal of Science and Technology** 5, pp 73-82.

- 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, pp 3-14.

- Gutierres-Boem F.H. and Thumas G.W. (1998) "Phosphorus nutrition effects wheatresponse to water deficit", **Agron, J.** 90, pp 166-171.

- Howard A. E., Olson B. M. and Cooke S.E. (2006) "Impact of Soil Phosphorus Loading on Water Quality in Alberta: A Review", **Alberta Agriculture, Food and Rural Development, Alberta Soil Phosphorus Limits Project**, 41p.

- Hussain A., Abo Ghalia A., Hoda H. and Abdallah Soad A. (2001) " Rock phosphate solubilization by Aspergilli species grown on olive-cake waste and its application in plant growth improvement". **Egyptian Journal of Biology**, 2001, Vol. 3, pp 89-96.

- Jain R., Saxena J. and Sharma V. (2010) "The evaluation of free and encapsulated Aspergillus awamori for phosphate solubilization in fermentation and and soil–plant system". **Applied Soli Ecology** 46, pp 90-94.

- Jayadi M., Baharuddin.and Ibrahim B. (2013) "In vitro selection of rock phosphate solubility by microorganism from Ultisols in South Sulawesi, Indonesia". **American Journal of Agriculture and Forestry**.1 (4), pp 6873.

- Jyoti S., Paramita B., Vanaja J. and Shalini C. (2013) "Phosphate solubilization by a few fungal strains belonging to the genera Aspergillus and Penicillium".**African Journal of Microbiology Research.** Vol. 7(41), pp 4862- 4869.

- Kareem S. O., Akpan I. and Alebiowu O. O. (2010) "Production of citric acid by *Aspergillus niger* using pineapple waste Malaysian". **Journal of Microbiology**, Vol 6(2) 2010, pp. 161-165.

- Karthikeyan K.G., Kalbasi M. and Miller P.S. (2005). "Nitrogen and solution dynamics in soils receiving chemically treated dairy manure". Trans. ASAE 42, pp 601-610.

- Khan M.S., Zaidi A. and Wani P. A. (2007) "Role of phosphate-solubilizing microorganisms in sustainable agriculture-a review".Agronomy for sustainable development. **Agron. Sustain**. 27, pp 29–43.

- Kovar J.L. and Barber V. (1998) "Phosphorus supply characteristics of 33 soils as influenced by seven rates of phosphorus addition". **Soil Science Society of American Journal** 52, pp 160-165.

- Krishna K. R. (2002) " **Soil fertility and crop production**", Published by Sciene Publishers Inc, Enfield, NH, USA, India, 465pp.

- KuceyR.M., Janzen H.H. and Leggett M.E. (1989) "Microbially mediated increases in plant-available phosphorus". **Advances in Agronomy** 42, pp 199-228

- Laboski C. A. M. and Lamb J. A. (2003)"Changes in soil test phosphorus concentration after application of manure or fertilizer". **Soil Sci. Soc. Amer. J.** 67, pp 544-554.

- Lu W., Zhang F. and Cao Y. (2001) "Mobilization of soil phosphorus by low-molecular-weight organic acids". **Developments in Plant and Soil Sciences**.92, pp 554-555.

- Marschner H. (1995) "**Mineral nutrition of higher plants. Second edition**". Acdemic press, London.Medina, A. Vassileva, M. Barea, G.M.and Azcón, R. 2006. The

growth-- ---enhancement of clover by Aspergillus-treated sugar beet waste and Glomus mosseae inoculation in Zn contaminated soil. **Applied Soil Ecology** 33, pp 87–98.

- Medina A., Vassileva M., Barea G.M. and Azcón R. (2006) "The growth-enhancement of clover by Aspergillus-treated sugar beet waste and Glomus mosseae inoculation in Zn contaminated soil". **Applied Soil Ecology** 33, pp 87–98.

- 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 ".**American-Eurasian J**. Agric. & Environ. Sci., 3 (6), pp 822-828.

- Mengel K. and Kirkby E. (2001) "**Principles of plant nutrition**". 5th Ed., International Potash Institute, Bern, Switzerland.

- Minaxi S J. (2010) "Disease suppression and crop improvement in moong beans (Vigna radiata) through Pseudomonas and Burkholderia strains isolated from semi arid region of Rajasthan". **BioControl**. 55 (6), pp 799-810.

- Miller R O. (1998) "**Nitric-perchloric acid wet digestion in an open vessel**". In: Kalra Y P, ed., Handbook of Reference Methods for Plant Analysis. CRC Press, Taylor & Francis, London. pp. 57-61.

- Mkhabela M. S. and Warman P. R. (2005) "The influence of municipal solid waste compost on yield, soil phosphorus availability and uptake by two vegetable crops grown in a Pugwash sandy loam soil in Nova Scotia". **Agriculture. Ecosys.and Environ**. 106, pp 57–67.

- Mohammady-Aria. M., Lakzzian A., Haghnia G.H. and Berengi A.R. (2010) "Effect of Thiobacillus, sulfur and vermicompost on the water-soluble phosphorus of hard rock phosphate". **Bioresource Technology** 101, pp 551-554.

- Najib L. A. and Ramli O. (1996) "Suggested maturing schedule of rubber plantation for timber production".**Planter**, 72, pp 483-500.

- Naryanasamy G. and Biswa D.S. (2006) "Rock phosphate enriched compost: An approach to improve low-grade Indian rock phosphate". **Bioresource Technology**, 97(18), pp 2243-2251.

- Oehl F., Oberson A., Sinaj S. and Frossard E. (2001) "Organic phosphorus mineralization studies using isotopic dilution techniques". **Soi Sci. Soc. Amer. J**. 65, pp 780-787

.

- Paul E.A. (2007). "**Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry**". 3ed Edition. Academic Press is an imprint of Elsevier.

- Ponmurugan P. and Gopi C. (2006). "Distribution pattern and screening of phosphate bacteria isolated from different food and forage crops". **Journal of Agronomy** 5, pp 600-604.

- Prasad R. and Power J. F. (1997) "**Soil fertility management for sustainable agriculture**",CRC , New York, 384 p.

- Reddy D. D., Subba Rao A., Sammi Reddy K. and Takkar P. N. (1999) " Yield sustainability and phosphorus utilization in soybean-wheat system on Vertisols in response to integrated use of manure and fertilizer phosphorus" **Field Crops Res**. 62, pp 181-190.

- Rees R. M., Ball B. C., Campbell C. D. and Watson C. A. (2001) "**Sustainable management of soil organic matter**". British Society of Soil Science. CAB pub.

- Riemersma S., Little J., Ontkean G. and Moskal-Héber T. (2006) "Phosphorus Sources and Sinks in Watersheds: A Review", **Alberta Soil Phosphorus Limits Projec**.

- Rodriguez H. and Fraga R. (**1999**) "Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion"**Biotechnol. Adv.**, **17**, pp **319**.

- Rudresh D. L., Shivaprakash M. K. and Prasad R. D. (2005) "Effect of combined application of Rhizobium, phosphate solubilizing bacterium and Trichoderma spp". On growth, nutrient uptake and yield of chickpea (*Cicer aritenium L*). **Applied Soil Ecology** 28, pp 139-146.

- Ryan J., Ibrikci H., Delgado A., Torrent J., Sommer R. and Rsshid A. (2012) "Significance of Phosphorus for agriculture and environment in west Asia and north Africa region" chapter three. **Advances in Agronomy**.pp91-153.

- Sago C.I., Ando T., Kouno K. and Nagaoka T. (1998) "Relative importance of porotons and solution calcium concentration in phosphate rock dissolution by organic acid". **Soil Science** 44, pp 617-625.

Sharma A. K. (2003) "**Biofertilizers for sustainable agriculture**". Agrobios, India.p -407.

- Shaviv A. (2009) "**Advances in controlled veleve of fertilizer**s". Advance in Agronomy. 71, pp 1-49.

- Shiv M., Lal S., Sanjay K., Purnima S., Paras N.A. and Rasik R. (2011). "Phosphate solubilizing ability of two Arctic Aspergillus Niger strains". **Polar Research** 30.

- Shoa hosseini M., Golbashy M., Farsi M., Khavari khorasani S. and Ashofte Beiragi M. (2010). "Evaluation of correlation between yield and its dependent trait in single cross corn hybrids under drought stress". Abstract Book of 1st Regional Conference on Tropical Crops Production under Environmental Stresses Condition. Islamic Azad University, Khuzestan Sciences and Research Branch p: 72.

- Stamford N.P., Silva J. A., Freitas A. D. S. and Araujo Filho J. T. (2002). "Effect of sulphur inoculated with Acidithiobacillus in a saline soil grown with Leucena and mimosa tree legumes". **Bioresource Technology** 81, pp 53-59.

- Ström L., Owen A.G., Godbold D.L. and Jones D.L. (2005) "Organic acid behaviour in a calcareous soil implications for rhizosphere nutrient cycling". **Soil Biol. Biochem**. 37: 2046–2054

- Sundara B., Natarayan V. and Hari K. (2001) "Influence of phosphorus solubilizing bacteria on soil available Pstatus and sugarcane development on a tropical Vertisol". **Proc. Interaction Soc. Sugarcane Technol**. 24, pp 47-51.

- Talgre L., Lauringson E., Roostalu H. and Astover A. (2009) "The effects of green manures on yields and yield quality of spring wheat". **Agron. Res**. 7: 1.pp 125-132.

- Terry L R., Clain A., Jones R.E., Engel P. and Miller R. (2011) "Green manure and phosphate rock effects on phosphorus availability in a northern Great Plains dryland organic cropping system". **Organic Agricultur**. Volume 1, Issue 2, pp 81-90.

- Tisdal S., Werner L., Nelson L.and James D. (1984) "Soil **fertility and** f**ertilizer**".Macmillan Publishing Company, New York, 450p.

- Vance C., 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 423-447.
- Vessey J. K. (2003)." Plant growth promotiny rhizobacteria as biofertilizer". **Plant and soil**, 255, pp 271-286.

- Whalen J. K. and Chang C. (2002) "Phosphorus sorption capacities of calcareous soils receiving cattle manure applications for 25 years". **Commun. Soil Sci. Plant Anal**. 33, pp 1011-1026.

- Wiederholt R and Frankenberger W.F. (2005) "Phosphorus behaviour in the environment Nutrient Management Specialists". **NM**-1298

- Wu B., Caob S. C., Lib Z. H., Cheunga Z. G. and Wonga K. C. (2005) " Effects of biofertilizer containing N fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth". **Geoderma** 125, pp 155-162.

- Xiao C., Zhang H., Fang Y. and Chi R. (2013) "Evaluation for rock phosphate solubilization in fermentation and soil–plant system using a stress-tolerant phosphate-solubilizing Aspergillus Niger WHAK1". Applied **Biochemistry and Biotechnology** 169(1), pp 123-133.

- Yerokun A. O. (2008) "Chemical characteristics of phosphorus in some representative benchmark soils of Zambia", **Geoderma**, 147, pp 63-68.

- Zeroual Y., Chadghan R., Hakam A. and Kossir A. (2012)"Biosolubilization of Mineral Insoluble Phosphates by Immobilized Fungi (Aspergillus Niger) in Fluidized Bed Bioreactor". **J Biotechnol Biomaterial**,

Abstract:

Phosphorus is an important plant nutrient which is added to the soil as fertilizer. The high cost of production of chemical fertilizers and sediment rapidly in calcareous soils has led researchers to propose a method for dissolution or increase the availability of phosphorus fertilizers are renewed. One of the methods to increase availability of soil phosphorus, is the use of phosphate solubilizing microorganisms. To investigate the effect of *Aspergillus Niger* on soil phosphorus availability, an experiment in a completely randomized design with three replications was conducted in two stages of incubation and greenhouse. The treatments consisted of control, *Aspergillus Niger*, Sucrose, Alfalfa powder , Rock phosphate, Citric acid, *Aspergillus Niger* + Sucrose, *Aspergillus Niger* + Alfalfa powder, *Aspergillus Niger* + Rock phosphate, *Aspergillus Niger* + Rock phosphate + Sucrose, *Aspergillus Niger* + Rock phosphate + Alfalfa powder, Citric acid + Rock phosphate, *Aspergillus Niger* + Sucrose + Nitrogen, *Aspergillus Niger* + Sucrose + Nitrogen + Rock phosphate. The Incubation results showed that all treatments had a significant effect on the measured parameters. soil pH decrease over time with the use of treatments and electrical conductivity, soluble phosphorus, Olsen- extractable phosphorus soil has increased, the rate of change varied over time so that, over time, depending on the type of treatment to a greater extent than period of previous decrease or increased. The greenhouse results showed that by applying *Aspergillus Niger* soluble phosphorus 38/43 and phosphorus concentration 92/14 percent compared to the control. Application of both *Aspergillus Niger*, Alfalfa powder and rock phosphate enhanced available and soluble phosphorus, stem height, Shoot dry weight, root dry weight and phosphorus plants. According to the results, it seems the application of bio-fertilizers in addition to decrease the chemical fertilizers use, can help to conserve the environment, , reduce the soil contamination and act in production of better and desirable products.

Keyword*:* *Aspergillus Niger*, Phosphorus, Alfalfa powder, Corn

Shahrood University of Technology

Faculty of Agriculture

Department of Soil and Water

Effect of Phosphate Solubilizing Fungi (*Aspergillus Niger*) on Soil Phosphorus Solubility and Growth Characteristics of Corn

Azadeh Ehsaninezhad

Supervisor:

Dr. A. Abbaspour

Advisors:

Dr. H.R.Asghari

Dr. H.R. Samadloui

February 2016