بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده کشاورزی

گروه آب وخاک

تاثیر دو باکتری تیوباسیلوس و سودوموناس به همراه گوگرد عنصری و کود سبز بر فسفر محلول حاصل از سنگ فسفات

سامان ابراهیمی

استاد راهنما:

دکتر علی عباسپور

اساتید مشاور:

دکتر حمیدرضا اصغری

مهندس علی اصغر نادری

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

شهریور ۱۳۹۳

تقدیم به

دو وجود مقدس

آن که با وجود نبودش همیشه هست

آن که موهایش سپید شد تا ما روسفید شویم

پدرم

مادرم

تشکر و قدردانی

همتم بدرقه ی راه کن ای طایر قدس که دراز است ره مقصد و من نو سفرم

سپاس و ستایش خداوندی را سزاست که کسوت هستی را بر اندام موزون آفرینش بپوشانید و تجلیات قدرت لایتزالی را در مظاهر و آثار طبیعت نمایان گردانید. بار الها! من با یاد تو، به تو تقرب می جویم و تو را به پیشگاه تو شفیع می آورم و از تو خواستارم، به کرمت، مرا به خودت نزدیک گردانی و یاد خود را به من الهام کنی و بر من رحمت آوری و به آنچه بهره و نصیب من ساخته ای، خشنودم قرار دهی و در همه حال به فروتنی ام وا داری.

اکنون که خداوند متعال بر بنده حقیر خود منت نهاده و از سر لطف و کرم مرا لایق فراگیری علم قرار داده، چنانچه این مختصر تلاشم شایسته ارزشی باشد، شایسته تر آن است که زحمات استاد بزرگوارم **جناب آقای دکتر علی عباسپور** را ارج نهم که در سایه راهنمایی های عالمانه، سعی و تلاش بی حد و حصرشان، دلسوزی های صبورانه همکاری های بی دریغشان، این بار گران به منزل رسید. از اساتید مشاور پایان نامه **جناب آقای دکتر حمیدرضا اصغری و جناب آقای مهندس علی اصغر نادری** به سبب راهنمائیهای علمی شان و از اساتید محترم داور این پایان نامه جناب آقایان دکتر شاهین شاهسونی و هادی قربانی که زحمت باز خوانی این پایان نامه را به عهده داشتند صمیمانه تشکر و قدردانی می نمایم.

کمال تشکر را از کلیه مسئولین آزمایشگاه ها بخصوص جناب آقای مهندس غلامرضا شاکری به خاطر همکاری و همیاری ایشان به بنده در این کار و همچنین خانم مهندس احمدی و جناب آقای مهندس حسین پور دارم. در آخر از کلیه همکلاسیان، دوستان، و دیگر دانشجویان کارشناسی که بنده را در این پایان نامه یاری رساندند تشکر می کنم.

سامان ابراهیمی

شهریور ۹۳

تعهد نامه

اینجانب سامان ابراهیمی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی آب و خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه **تاثیر دو باکتری تیوباسیلوس و سودوموناس به همراه گوگرد عنصری و کود سبز بر فسفر محلول حاصل از سنگ فسفات** تحت راهنمایی **جناب آقای دکتر عباسپور** متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت 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 : شهریور ۱۳۹۳

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

چکیده

خاکهای آهکی که بخش عمده‌ای از زمینهای زراعی و باغهای کشورمان را شامل می‌شود باعث شده که کارایی کودهای شیمیایی فسفره در این زمین‌ها کاهش یابد و به همین دلیل کشاورزان برای بدست آوردن محصول هر ساله مقادیر مختلفی از این کودهای شیمیایی را به اراضی زیر کشت اضافه می‌کنند که این کار باعث تجمع و تثبیت فسفر در خاک می‌شود. از طرفی دیگر محدودیت منابع فسفر و هزینه بالای واردات کودهای فسفره مشکل‌ساز بوده است و مصرف بی‌رویه این کودها آلودگی-های زیست محیطی را بدنبال دارد. استفاده از سنگ فسفات به طور مستقیم می‌تواند منبع تأمین فسفر برای گیاه باشد. تلقیح خاک فسفات حاصل از سنگ فسفات با باکتری‌های تیوباسیلوس و سودوموناس، و استفاده از گوگرد و ماده آلی می‌تواند سبب فراهمی فسفر از سنگ فسفات شود و یا می‌توان تنها با تلقیح باکتریها و کاربرد گوگرد و ماده آلی فسفر خاک را آزاد کرد. هدف از انجام این آزمایش بررسی تأثیر باکتری‌های تیوباسیلوس و سودوموناس به همراه گوگرد و کود سبز بر فسفر و بعضی دیگر از خصوصیات خاک می‌باشد. این آزمایش به صورت طرح کاملاً تصادفی روی ۲ نوع خاک و با ۱۰ تیمار و در ۳ تکرار انجام شد. تیمارهای اعمالی شامل گوگرد عنصری، کود سبز (یونجه)، باکتریهای تیوباسیلوس نئوپوم و سودوموناس فلورسنس بودند. نمونه‌های خاک ۵۰ گرمی تهیه شد و بسته به نوع تیمار گوگرد به میزان ۰/۵ درصد، کودسبز به میزان ۲ درصد و خاک فسفات به میزان ۱درصد به آنها اضافه شد. در دوره‌های ۵، ۲۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ روزه از خاکها نمونه برداری شده و خصوصیاتی از قبیل pH، EC، سولفات محلول، فسفر محلول و فسفر قابل جذب اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که اعمال تیمارهای کودی اثر مثبتی را بر کاهش pH داشته است. اعمال تیمارهای کودی باعث شد که هدایت الکتریکی افزایش یافته و باعث افزایش شوری خاک شده است. افزایش فسفر محلول و فسفر قابل جذب در اثر اعمال تیمارهای کودی در خاکها مشاهده شد ولی این میزان افزایش در فسفر محلول بیشتر از فسفر قابل جذب بود. میزان سولفات محلول نیز با اعمال تیمارهای کودی افزایش یافت. بیشترین تأثیر را بر روی خصوصیات مورد مطالعه تیمار کودسبز، گوگرد و تیوباسیلوس گذاشت.

کلمات کلیدی: سنگ فسفات، باکتری تیوباسیلوس نئوپوم، باکتری سودوموناس فلورسنس، گوگرد، کود سبز

مقالات مستخرج از پایان نامه

۱- بررسی تأثیر خاک فسفات به همراه کودسبز، گوگرد و باکتری‌های سودوموناس و تیوباسیلوس بر فسفر قابل جذب و برخی خصوصیات شیمیایی خاک، سیزدهمین کنگره علوم خاک ایران، اهواز، دانشگاه شهید چمران اهواز، بهمن ماه ۱۳۹۲.

۲- تأثیر گوگرد، کود سبز و باکتر ی های تیوباسیلوس و سودوموناس بر آزاد سازی فسفر و سولفات خاک از یک خاک آهکی، سیزدهمین کنگره علوم خاک ایران، اهواز، دانشگاه شهید چمران اهواز، بهمن ماه ۱۳۹۲.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه ۱

فصل دوم: مرور منابع ۹
۲-۱- فسفر در خاک ۱۱
۲-۲- اشکال فسفر در خاک ۱۲
۲-۲-۱- فسفر آلی ۱۳
۲-۲-۲- فسفر معدنی ۱۳
۲-۲-۳- کانی های فسفاته ۱۵
۲-۲-۴- فسفر جذب سطحی شده ۱۵
۲-۳- حرکت و خروج فسفر از خاک ۱۶
۲-۴- تثبیت فسفر در خاک ۱۶
۲-۴-۱- تثبیت توسط یون های Al و Fe ۱۷
۲-۴-۲- تثبیت توسط رس های سیلیکاتی ۱۷
۲-۴-۳- تثبیت توسط اکسیدهای آبدار ۱۷
۲-۴-۴- تثبیت توسط یون کلسیم ۱۷
۲-۵- عوامل مؤثر بر قابلیت جذب فسفر ۱۷
۲-۵-۱- اثر pH در قابلیت استفاده از فسفر ۱۸
۲-۵-۲- اثر افزایش فسفات بر جذب فسفر ۱۹
۲-۵-۳- اثر دما بر جذب فسفر ۱۹
۲-۵-۴- تاثیر رطوبت خاک بر جذب فسفر ۱۹
۲-۶- گوگرد ۲۰
۲-۶-۱- اهمیت گوگرد ۲۰
۲-۶-۲- نقش گوگرد در افزایش حلال‌سازی فسفر در خاک‌های آهکی ۲۱
۲-۶-۳- اکسایش گوگرد ۲۱
۲-۶-۴- عوامل مؤثر بر اکسیداسیون گوگرد ۲۲
۲-۶-۵- تاثیر اکسایش گوگرد بر هدایت الکتریکی ۲۲
۲-۷- کود سبز ۲۳
۲-۸- تأثیر کودسبز بر آزادسازی فسفر ۲۳
۲-۹- پاسخ گیاهان در برابر کودهای فسفره ۲۴
۲-۱۰- اثرات مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی فسفره ۲۵
۲-۱۰-۱- آلودگی خاک به کادمیم ۲۵
۲-۱۰-۲- مسمومیت فسفر ۲۶
۲-۱۰-۳- کاهش عملکرد ۲۶

۲-۱۰-۴- غیر متحرک شدن آهن درخاک و جلوگیری ازجذب آن به وسیله ریشه ۲۶
۲-۱۱- سنگ فسفات ۲۶
۲-۱۲- راهکارهای استفاده ی مستقیم از سنگ فسفات ۲۸
۲-۱۲-۱- کاربرد خاک فسفات با میکروارگانیسم ۲۸
۲-۱۲- ۲-خاک فسفات قسمتی اسیده شده ۲۸
۲-۱۲-۳- مخلوط کردن خاک فسفات با گوگرد و ماده آلی ۲۸
۲-۱۲-۲- استفاده از اسیدهای آلی ۲۹
۲-۱۳- کود بیولوژیک ۲۹
۲-۱۴- باکتری های خاک ۲۹
۲-۱۴-۱- انحلال فسفات های آلی توسط باکتری ۳۱
۲-۱۴-۲- باکتریهای حل کننده فسفات ۳۱
۲-۱۴-۳- باکتری سودوموناس ۳۲
۲-۱۴-۴- تأثیر باکتری سودوموناس بر جذب فسفر ۳۳
۲-۱۴- ۵- تیوباسیلوس ۳۳
۲-۱۴- ۶- تأثیر تلقیح خاک فسفات با باکتری تیوباسیلوس به همراه گوگرد بر pH ۳۴
۲-۱۴-۷- کاربرد خاک فسفات، گوگرد، ماده آلی و باکتری تیوباسیلوس به جای کود ۳۴

فصل سوم: مواد و روش ها ۳۵
۳-۱- زمان و محل انجام آزمایش ۳۷
۳-۲- مشخصات منطقه مورد مطالعه ۳۷
۳-۳- برداشت و آماده سازی نمونه های خاک ۳۸
۳-۴- مطالعات آزمایشگاهی ۳۹
۳-۵- نمونه برداری جهت آزمایش ۴۰
۳-۶- اندازه گیری pH نمونه ها ۴۰
۳-۷- اندازه گیری هدایت الکتریکی(EC) ۴۱
۳-۸- اندازه گیری سولفات محلول به روش توربیدمتری ۴۱
۳-۸-۱- روش کار ۴۲
۳-۹- فسفر قابل جذب ۴۳
۳-۹- ۱- اصول ۴۳
۳-۹- ۲- اندازه گیری فسفر قابل جذب به روش اولسن ۴۳
۳-۹-۳- روش کار ۴۵
۳-۱۰- اندازه گیری فسفر محلول خاک ۴۵
۳-۱۱- تجزیه و تحلیل آماری داده ها ۴۵

فصل چهارم: نتایج و بحث ۴۷
۴-۱- اثر تیمارها و زمان نگهداری برpH خاکها ۴۹
۴=۲- میانگین اثر تیمارها بر pH خاکها ۵۶

۴-۳- اثر تیمارها و زمان نگهداری بر EC خاکها ۵۹
۴=۴- میانگین اثر تیمارها بر EC خاکها ۶۵
۴-۵- اثر تیمارها و زمان نگهداری بر سولفات محلول خاکها ۶۸
۴=۶- میانگین اثر تیمارها بر بر سولفات محلول خاکها ۷۳
۴-۷- اثر تیمارها و زمان نگهداری بر فسفر محلول خاکها ۷۶
۴=۸- میانگین اثر تیمارها بر فسفر محلول خاکها ۸۲
۴-۹- اثر تیمارها و زمان نگهداری بر فسفر قابل جذب خاکها ۸۵
۴=۱۰- میانگین اثر تیمارها بر بر فسفر قابل جذب خاکها ۹۲
۴-۱۱- اثر تیمارهای کودی بر تغییرات حلالیت فسفر در خاک ۹۵

نتیجه گیری ۱۰۰
پیشنهادها ۱۰۱
پیوست‌ها ۱۰۳

منابع ۱۰۹

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

فصل دوم

شکل ۲-۱- تأثیر pH محلول بر تغییرات یون های ارتوفسفات..... ۱۴
شکل ۲-۲- سازوکارهای درگیر در انحلال فسفاتهای معدنی و معدنی شدن فسفات..... ۳۰

فصل سوم

شکل ۳-۱- موقعیت منطقه مجن..... ۳۷

فصل چهارم

شکل ۴-۱- اثر تیمارها و زمان بر pH خاک چاه شهرداری همراه با خاک فسفات(تیمارهای بدون باکتریها)..... ۵۱
شکل ۴-۲- اثر تیمارها و زمان بر pH خاک چاه شهرداری همراه با خاک فسفات(تیمارهای حاوی باکتریها)..... ۵۱
شکل ۴-۳- اثر تیمارها و زمان بر pH خاک چاه شهرداری بدون خاک فسفات(تیمارهای بدون باکتریها)..... ۵۳
شکل ۴-۴- اثر تیمارها و زمان بر pH خاک چاه شهرداری بدون خاک فسفات(تیمارهای حاوی باکتریها)..... ۵۳
شکل ۴-۵- اثر تیمارها و زمان بر pH خاک درخانیاب(تیمارهای بدون باکتری)..... ۵۵
شکل ۴-۶- اثر تیمارها و زمان بر pH خاک درخانیاب(تیمارهای بدون باکتری)..... ۵۵
شکل ۴-۷- میانگین اثر تیمارها بر pH خاک چاه شهرداری همراه با خاک فسفات..... ۵۷
شکل ۴-۸- میانگین اثر تیمارها بر pH خاک چاه شهرداری بدون خاک فسفات..... ۵۸
شکل ۴-۹- میانگین اثر تیمارها بر pH خاک درخانیاب..... ۵۸
شکل ۴-۱۰- اثر تیمارها و زمان بر EC خاک چاه شهرداری همراه با خاک فسفات(تیمارهای بدون باکتریها)..... ۶۱
شکل ۴-۱۱- اثر تیمارها و زمان بر EC خاک چاه شهرداری همراه با خاک فسفات(تیمارهای حاوی باکتریها)..... ۶۱
شکل ۴-۱۲- اثر تیمارها و زمان بر EC خاک چاه شهرداری بدون خاک فسفات(تیمارهای بدون باکتریها)..... ۶۲
شکل ۴-۱۳- اثر تیمارها و زمان بر EC خاک چاه شهرداری بدون خاک فسفات(تیمارهای حاوی باکتریها)..... ۶۲
شکل ۴-۱۴- اثر تیمارها و زمان بر EC خاک درخانیاب(تیمارهای بدون باکتری)..... ۶۴
شکل ۴-۱۵- اثر تیمارها و زمان بر EC خاک درخانیاب(تیمارهای بدون باکتری)..... ۶۴
شکل ۴-۱۶- میانگین اثر تیمارها بر EC خاک چاه شهرداری همراه با خاک فسفات..... ۶۶
شکل ۴-۱۷- میانگین اثر تیمارها بر EC خاک چاه شهرداری بدون خاک فسفات..... ۶۷
شکل ۴-۱۸- میانگین اثر تیمارها بر EC خاک درخانیاب..... ۶۷
شکل ۴-۱۹- اثر تیمارها و زمان برسولفات محلول چاه شهرداری همراه با خاک فسفات(تیمارهای بدون باکتریها)..... ۷۰
شکل۴-۲۰- اثر تیمارها و زمان برسولفات محلول چاه شهرداری همراه با خاک فسفات(تیمارهای حاوی باکتریها)... ۷۰
شکل ۴-۲۱- اثر تیمارها و زمان برسولفات محلول چاه شهرداری بدون خاک فسفات(تیمارهای بدون باکتریها)..... ۷۱
شکل ۴-۲۲- اثر تیمارها و زمان برسولفات محلول چاه شهرداری بدون خاک فسفات(تیمارهای حاوی باکتریها)..... ۷۱
شکل ۴-۲۳- اثر تیمارها و زمان برسولفات محلول خاک درخانیاب(تیمارهای بدون باکتری)..... ۷۲

شکل ۴-۲۴- اثر تیمارها و زمان برسولفات محلول خاک درخانیاب(تیمارهای بدون باکتری) ۷۳
شکل ۴-۲۵- میانگین اثر تیمارها برسولفات محلول خاک چاه شهرداری همراه با خاک فسفات ۷۵
شکل ۴-۲۶- میانگین اثر تیمارها برسولفات محلول خاک چاه شهرداری بدون خاک فسفات ۷۵
شکل ۴-۲۷- میانگین اثر تیمارها برسولفات محلول خاک درخانیاب ۷۶
شکل ۴-۲۸- اثر تیمارها و زمان برفسفر محلول چاه شهرداری همراه با خاک فسفات(تیمارهای بدون باکتریها) ۷۸
شکل۴-۲۹- اثر تیمارها و زمان برفسفر محلول چاه شهرداری همراه با خاک فسفات(تیمارهای حاوی باکتریها) ۷۹
شکل ۴-۳۰- اثر تیمارها و زمان برفسفر محلول چاه شهرداری بدون خاک فسفات(تیمارهای بدون باکتریها) ۷۹
شکل ۴-۳۱- اثر تیمارها و زمان برفسفر محلول چاه شهرداری بدون خاک فسفات(تیمارهای حاوی باکتریها) ۸۰
شکل ۴-۳۲- اثر تیمارها و زمان برفسفر محلول خاک درخانیاب(تیمارهای بدون باکتری) ۸۱
شکل ۴-۳۳- اثر تیمارها و زمان برفسفر محلول خاک درخانیاب(تیمارهای بدون باکتری) ۸۱
شکل ۴-۳۴- میانگین اثر تیمارها برفسفرمحلول خاک چاه شهرداری همراه با خاک فسفات ۸۳
شکل ۴-۳۵- میانگین اثر تیمارها بر سولفات محلول خاک چاه شهرداری بدون خاک فسفات ۸۴
شکل ۴-۳۶- میانگین اثر تیمارها بر سولفات محلول خاک درخانیاب ۸۴
شکل ۴-۳۷- اثر تیمارها و زمان برفسفر قابل جذب چاه شهرداری همراه با خاک فسفات(تیمارهای بدون باکتریها) .. ۸۷
شکل۴-۳۸- اثر تیمارها و زمان برفسفر قابل جذب چاه شهرداری همراه با خاک فسفات(تیمارهای حاوی باکتریها) .. ۸۷
شکل ۴-۳۹- اثر تیمارها و زمان برفسفر قابل جذب چاه شهرداری بدون خاک فسفات(تیمارهای بدون باکتریها) ۸۹
شکل ۴-۴۰- اثر تیمارها و زمان بر فسفر قابل جذب چاه شهرداری بدون خاک فسفات(تیمارهای حاوی باکتریها) ... ۸۹
شکل ۴-۴۱- اثر تیمارها و زمان بر فسفر قابل جذب خاک درخانیاب(تیمارهای بدون باکتری) ۹۱
شکل ۴-۴۲- اثر تیمارها و زمان بر فسفر قابل جذب خاک درخانیاب(تیمارهای بدون باکتری) ۹۱
شکل ۴-۴۳- میانگین اثر تیمارها بر فسفر قابل جذب خاک چاه شهرداری همراه با خاک فسفات ۹۳
شکل ۴-۴۴- میانگین اثر تیمارها بر فسفر قابل جذب خاک چاه شهرداری بدون خاک فسفات ۹۴
شکل ۴-۴۵- میانگین اثر تیمارها بر فسفر قابل جذب خاک درخانیاب ۹۴
شکل ۴-۴۶- اثر پودر یونجه و باکتریها بر تغییرات حلالیت فسفر در خاک چاه شهرداری همراه با خاک فسفات ۹۷
شکل ۴-۴۷- اثر گوگرد و باکتریها بر تغییرات حلالیت فسفر در خاک چاه شهرداری همراه با خاک فسفات ۹۷
شکل ۴-۴۸- اثر پودر یونجه و باکتریها بر تغییرات حلالیت فسفر در خاک چاه شهرداری بدون خاک فسفات ۹۸
شکل ۴-۴۹- اثر گوگرد و باکتریها بر تغییرات حلالیت فسفر در خاک چاه شهرداری بدون خاک فسفات ۹۸
شکل ۴-۵۰- اثر پودر یونجه و باکتریها بر تغییرات حلالیت فسفر در خاک درخانیاب ۹۹
شکل ۴-۵۱- اثر گوگرد و باکتریها بر تغییرات حلالیت فسفر در خاک درخانیاب ۹۹

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

فصل سوم

جدول ۳-۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه ۳۸

فصل چهارم

جدول ۴-۱- جدول تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه مربوط به خاک چاه شهرداری همراه با خاک فسفات ۱۰۵
جدول ۴-۲- جدول تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه مربوط به خاک چاه شهرداری بدون خاک فسفات ۱۰۶
جدول ۴-۳- جدول تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه مربوط به خاک درخانیاب.....۱۰۷

فصل اول

مقدمه

فسفر یکی از عناصر غذایی اصلی و مورد نیاز بوده که کمبود آن می‌تواند تولید محصول را محدود کند (Tejada and et al.,2006). شکل‌های مختلف فسفر در خاک بوسیله ویژگی‌هایی از قبیل pH، مقدار ماده آلی، نوع ذرات خاک و سطح آنها کنترل می‌شود و برخلاف ازت، ترکیبات فسفری تقریباً نامحلول بوده و تحرک چندانی در خاک ندارند و به راحتی از نیمرخ خاک شسته نمی‌شوند (Wagar et al., 2004).

در ایران این عنصر از لحاظ اقتصاد تهیه مواد خام، ساخت و واردات کود و همچنین به دلیل بررسی-های خاکشناسی اهمیت فوق‌العاده‌ای نسبت به سایر عناصر دارد (سالاردینی، ۱۳۸۸). از طرف دیگر توانایی آن در القای کمبود عناصر کم‌مصرف ضروری و اثرات منفی آن بر محیط زیست سبب توجه بیشتر به این عنصر شده است (زلفی باوریانی و نوروزی، ۱۳۸۹). 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). گیاهان فسفر مورد نیاز خود را به شکل آنیون ($H_2PO_4^-$ یا HPO_4^{2-}) از محلول خاک جذب می‌کنند. البته فسفر در خاکها به دو شکل آلی و معدنی (مقدار کل آن در محدوده ۱۲۰۰-۴۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) وجود دارد (Khan et al., 2007؛ Rodriguez and Fraga, 1999) ولی غلظت فسفات محلول در خاک معمولاً خیلی پایین بوده و در سطح ۱ میلی‌گرم در کیلوگرم یا کمتر می‌باشد. بنابراین در بیشتر خاکها از نظر میزان کل فسفر مشکلی وجود ندارد بلکه مشکل در دسترس بودن آن می‌باشد (Paul, 2007).

هرساله بین ۷۵ الی ۹۰ درصد فسفر اضافه شده به خاک به دلیل آهکی بودن اکثر خاکها، وجود pH بالا، تنش خشکی، وجود بیکربنات در آب آبیاری و کمبود مواد آلی موجود در خاک و همچنین در اثر ترکیب با کلسیم و آلومینیم و آهن در خاک به صورت رسوب در می‌آید و برای گیاه غیرقابل استفاده می‌شود (رجالی و همکاران، ۱۳۸۹). دو گروه از خاکها دچار کمبود فسفر می‌شوند، یکی خاکهای اسیدی که در این خاکها فسفر با عناصر آلومینیم و آهن تولید ترکیبات کم‌محلول فسفات آلومینیم و

فسفات آهن می‌نماید، دیگر گروهی از خاکها که غلظت فسفر قابل استفاده در آنها کم می‌باشد خاکهای آهکی می‌باشد که به علت کمبود کلسیم در این خاکها و ترکیب کلسیم با فسفر تولید ترکیبات فسفات کلسیم می‌نماید که حلالیت آن کم بوده و گیاهان کشت شده در چنین خاکهایی دچار کمبود فسفر می‌گردند (Krauss and Attoe, 1995). تامین فسفات مورد نیاز گیاه با استفاده از کودهای شیمیایی تاریخ دیرینه‌ای دارد و به انقلاب سبز و معرفی کودها در کشاورزی باز می‌گردد. در ایران نیز همزمان با تغییرات موجود در این زمینه واردات کودهای شیمیایی و استفاده آنها در کشاورزی شروع شد و تأسیس اولین کارخانه کود شیمیایی برای تولید سوپر فسفات ساده به سال ۱۳۲۴ باز می‌گردد (FAO, 2004). 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 ریزمغذی بویژه روی (Zn)، اتلاف سرمایه، مسمومیت فسفر، کاهش عملکرد، افت کیفیت، کاهش جمعیت میکوریزای ریشه، هدر رفت ارز کشور و از همه مهمتر تجمع آلاینده‌هایی نظیر کادمیم در محصولات کشاورزی می‌باشد (توحیدی نیا، ۱۳۸۸ ؛ اصغری، ۱۳۸۶).

معایب کودهای شیمیایی و هزینه بالای تولید آنها، همچنین صدمات زیست محیطی ناشی از مصرف آنها باعث شده که تولید کودهای زیستی و استفاده از منابع جایگزین در مقایسه با مصرف کودهای شیمیایی از منافع اقتصادی و زیست محیطی فراوانی برخوردار باشد. کودهای بیولوژیک علاوه بر صرفه اقتصادی باعث پایداری منابع خاک، حفظ توان تولید در دراز مدت و جلوگیری از آلودگی آبهای سطحی و زیرزمینی می‌گردند (قربانی، ۱۳۸۶). نیاز به جایگزینی مناسب برای کودهای شیمیایی فسفاته زمانی لازم می‌شود که بدانیم استفاده زیاد از کودهای شیمیایی خطرات محیطی و خطراتی برای سلامت انسان به همراه دارد و در عمل بازدهی کودهای شیمیایی فسفاته بین ۱۰- ۲۵ درصد باشد (Isherword,1998).

کاهش pH در خاکهای آهکی و قلیایی با pH بالا یکی از روش‌های مؤثر و رایج برای مقابله با تثبیت عناصرغذایی از جمله فسفر و آهن و روی می‌باشد. گوگرد متداولترین و مقرون به صرفه‌ترین ماده اسیدزا است که با کاهش pH خاک به انحلال عناصر غذایی در محیط اطراف ریشه‌ها منجر می‌شود. افزودن گوگرد به خاک به منظور تامین نیاز گیاه به این عنصر یا اصلاح اراضی و یا بهبود وضعیت تغذیه گیاه از طریق آزاد شدن عناصر غذایی از جمله فسفر، آهن و روی هنگامی نتیجه‌بخش خواهد بود که گوگرد در خاک به میزان قابل توجهی اکسید شود. حضور جمعیت کافی از میکروارگانیسم‌های اکسیدکننده گوگرد در خاک موجبات تشدید اکسیداسیون گوگرد، کاهش pH خاک، افزایش حلالیت عناصر غذایی از جمله فسفر و افزایش رشد گیاه را فراهم می‌آورد (احسانی و همکاران، ۱۳۹۰). گوگرد عنصری برای این که بتواند توسط گیاه جذب شود باید ابتدا توسط میکروارگانیسم‌های خاک به سولفات تبدیل شود و این فرایند در شرایط گرم و مرطوب و در حضور ماده آلی سریعتر انجام می گیرد. گوگرد به چنین راه می‌تواند به خاک وارد گردد. از راههای ورود گوگرد می‌توان به مصرف گوگرد توسط کشاورزان ، وجود کانی‌های گوگرد دار مثل پیریت، استفاده از اوره با پوشش گوگردی و گوگرد افزوده شده در اثر افزودن مواد آلی اشاره کرد. تأثیر مصرف گوگرد در آزاد سازی عناصر غذایی تثبیت شده در خاک منوط به اکسایش آن در خاک و تولید اسید سولفوریک است (خادم و همکاران، ۱۳۹۰).

فراوانی منابع سنگ فسفات در جهان و گرانی تولید کودهای شیمیایی و آلودگی‌های 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). ذخایرسنگ 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

روزافزون 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 (PSB)[1] 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. مهمترین میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات از باکتریها، *Pseudomonas* و *Bacillus* و از قارچ‌ها، جنس‌های *Aspergillus* و *Penicillium* می‌باشند (سیلیسپور، ۱۳۸۲). این میکروارگانیسم‌ها از طریق معدنی کردن فسفر آلی و انحلال فسفات‌های رسوب یافته فراهم سازی فسفر برای گیاهان را افزایش می‌دهند. این میکروارگانیسم‌ها گرچه فسفر را در ساختار سلولی خود به خدمت می‌گیرند، ولی بخشی از آن که در محیط آزاد شده است در اختیار گیاه قرار می‌گیرد. باکتریها در مقایسه با قارچ ها در انحلال فسفات بسیار مؤثرترند و جمعیت بالایی را به خود اختصاص می‌دهند (Khan et al., 2007). از میکروارگانیسم‌های دیگری که می‌توانند برای بهبود حلالیت خاک فسفات در خاک استفاده شوند، میکروارگانیسم‌های اکسیدکننده گوگرد است که طیف وسیعی دارند و شامل انواع هتروتروف، فتولیتوتروف، شیمیولیتوتروف (اجباری، اختیاری و میسکوتروف) می‌باشند. مهمترین باکتریهای شیمیولیتوتروف اکسیدکننده گوگرد در اکثر خاک‌ها از جنس تیوباسیلوس[2] می‌باشند (بشارتی و همکاران، ۱۳۸۳). روش اصلی تغذیه این باکتریها، شیمیولیتوتروفی است و از واکنش اکسایش گوگرد، انرژی لازم برای انجام فعالیتهای حیاتی را کسب می‌کنند. اسید سولفوریک حاصل از اکسایش گوگرد توسط این باکتریها، موجب حلالیت ترکیبات فسفاتی نامحلول می‌شود (Mohammady Aria et al., 2010).

در استفاده از مواد آلی، فسفر معدنی حاصل از تجزیه این ترکیبات به تدریج آزاد و در اختیار گیاه قرار می‌گیرد (Reddy and et al., 1999). مواد آلی و اسیدهای آلی حاصل از تجزیه آن، سطوح کربنات

1- Phosphate Solution Bacteria

1- Thiobacillus

کلسیم را اشغال کرده و از تشکیل رسوب هیدروکسی آپاتیت جلوگیری می‌کند (Inskeep and Silvertooth, 1998). مواد آلی با کلات کردن اکسیدهای آهن و آلومینیوم از جذب فسفر توسط این سطوح جلوگیری کرده و به طور غیر مستقیم با مانع شدن از تشکیل کریستالهای Al_2O_5 روی جذب فسفر تأثیر می‌گذارد. از این جهت تشکیل اکسیدهای آهن و آلومینیوم ممکن است در حضور اسیدهای آلی خاص متوقف شود (Borggard et al., 1990).

هدف از انجام این تحقیق بررسی تاثیر و مقایسه دو نوع باکتری تیوباسیلوس و سودوموناس به همراه گوگرد عنصری، کودسبز بر آزادسازی فسفر از سنگ فسفات در دو نوع خاک که از نظر میزان فسفر با هم اختلاف داشته به صورتی که میزان فسفر خاک در یکی بیشتر از دیگری است، در خاکی که میزان فسفر آن کمتر بوده از خاک فسفات استفاده شد تا تأثیر خاک فسفات در افزایش فسفر در مقایسه با خاک استفاده نشده مشاهده شود.

فصل دوم

مرور منابع

۲-۱- فسفر در خاک

فسفر بعد از نیتروژن مهمترین عنصر پر مصرف مورد نیاز گیاهان است (Wagar et al., 2004). مقدار فسفر خاکها کمتر از مقدار نیتروژن کل یا پتاسیم آنها و حدود یک چهارم تا یک دهم نیتروژن و یک دوازدهم پتاسیم می‌باشد. مقدار فسفر کل خاک سطحی و تحت الارض ممکن است از چند میلی گرم 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 الارض باشد (Prasad and Power, 1997). خاکهای تشکیل شده از سنگهای آذرین اسیدی معمولاً دارای فسفر کمتری در مقایسه با خاکهای تشکیل شده از سنگهای بازی که حاوی مقادیر متوسط تا بالای فسفر هستند، می‌باشد (فرزانه، ۱۳۸۲). مقدار فسفر در خاکهای مختلف بسیار تفاوت دارد، ولی در مجموع در خاکهای جوان و بکر و در نواحی خشک مقدار آن بیشتر است. از آنجا که فسفری که از کانیهای حاوی فسفات آزاد می‌شود و یا در نتیجه پوسیدگی مواد آلی به صورت محلول در می‌آید توسط رس‌ها جذب می‌شود. مقدار فسفر در ذرات ریز خاک معمولاً بیش از ذرات درشت آن است. شاید به همین علت است که فسفر خاکهای رسی بیش از خاکهای سبک و شنی است. در خاکهای زراعی به علت افزایش کودهای فسفر معمولاً مقدار فسفر افقهای سطحی بیش از افقهای عمقی است (سالاردینی، ۱۳۷۱). فسفر بعنوان یکی از عناصر غذایی پرمصرف و عناصر اصلی نقش بسیار مهمی در روند رشد و نمو گیاهان ایفا می‌کند. بطور کلی از نظر علم ادافولوژی[1] فسفر در خاک به دو صورت Available (قابل دسترس) و Non available (غیر قابل دسترس) وجود دارد. آنچه که برای گیاهان زراعی می‌تواند مهم باشد میزان فسفر قابل دسترس است که بعنوان یک شاخص برای تغذیه گیاهی مهم تلقی می‌گردد. معمولاً میزان فسفر قابل دسترس در صوتیکه حدوداً ۵ میلی‌گرم در کیلوگرم در خاک زراعی باشد نشان‌دهنده نیاز خاک زراعی به کود فسفره است که با استفاده از کودهای مورد نیاز

1- Edaphology

می‌توان آن را تأمین نمود و اما در صورتیکه میزان فسفر قابل جذب کمتر از ۵ میلی‌گرم در کیلوگرم باشد، خاک فقیر است ولی اگر بین ۵ تا ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم باشد گیاه زراعی به اعمال تیمار کود فسفره پاسخ مثبت می‌دهد و اگر چنانچه ۵ تا ۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم باشد خاک غنی از فسفر بوده و نیازی به دادن کود فسفره ندارد. باید توجه کرد که در خاکهای زراعی کشورمان در کشاورزی رایج بدلیل استفاده بیش از حد مصرف کود فسفره میزان غلظت فسفره قابل دسترس بعضاً بیش از حد مطلوب می‌باشد (کسرایی، ۱۳۹۰).

۲-۲- اشکال فسفر در خاک

فسفر با توجه به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی متفاوت خاکهای مناطق مختلف می‌تواند به صورت ترکیبات شیمیایی متنوعی در خاک مشاهده شود. شناخت شکلهای فسفر در خاک و تعیین مقدار هر یک از آنها می‌تواند ضمن کمک به شناخت فرایند تکامل خاک و در فرایندهای ژنتیکی آن، در ارزیابی حاصلخیزی خاک نیز به کار رود. گیاهان تنها قادر به استفاده از بخش محدودی از فسفر کل خاک می‌باشند. با تعیین توزیع اجزای فسفر در خاک می توان روش مدیریت مناسب جهت افزایش قابلیت استفاده فسفر توسط گیاهان را پیشنهاد نمود (Meixner and Singer, 1985). با توجه به نوع مواد مادری، شدت هوادیدگی و مقدار هدررفت فسفر توسط فرسایش و آبشویی، میزان فسفر در خاکهای متفاوت، اختلاف زیادی دارند (جوانمرد، ۱۳۸۳؛ حجازی مهریزی، ۱۳۸۴). شکلهای مختلف فسفر حلالیت‌های متفاوتی دارند و بین این شکل‌ها و شکل قابل جذب فسفر همبستگی‌های معنی‌داری گزارش شده است (Samrit et al., 2002).

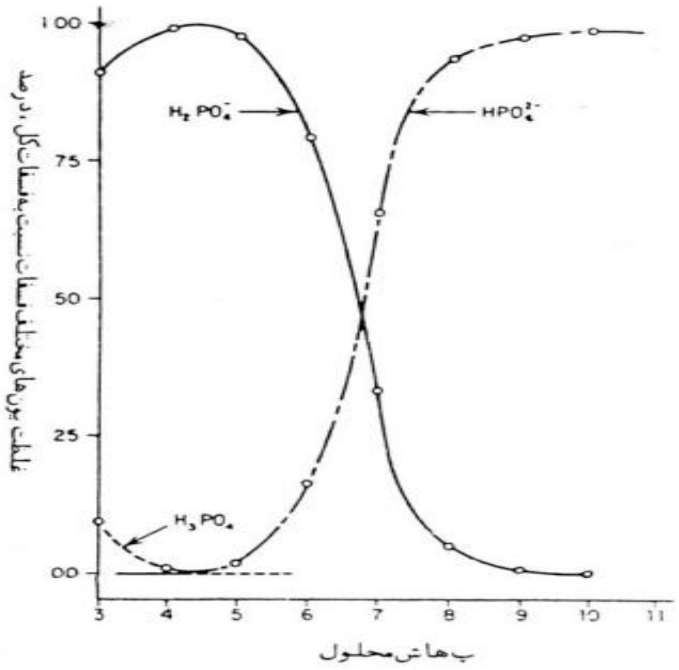
علاوه بر کانیهای فسفاته، فسفر به صورت دیگری در فاز معدنی وجود دارد و آن جذب سطحی فسفر بر روی کانیهای سیلیکاتی، کربنات کلسیم، مواد آلی، اکسیدها و هیدرواکسیدهای آهن و آلومینیم است (طهماسبی و حسین پور، ۱۳۸۶؛ Howard et al., 2006).

۲-۲-۱- فسفر آلی

فسفر آلی در هوموس و ماده آلی وجود داشته و لذا با افزایش ماده آلی خاک میزان فسفر آلی نیز افزایش می‌یابد. لایه‌های سطحی خاک به دلیل دارا بودن ماده آلی بیشتر، دارای فسفر آلی بیشتری از لایه‌های زیرین خاک می‌باشند. گیاهان همچنین فسفر معدنی را توسط ریشه از قسمت‌های پایین‌تر خاک جذب کرده و در اندام‌های هوایی آن را به صورت فسفر آلی انباشته می‌کنند. اینوزیتول‌ها، فسفولیپیدها و اسیدهای نوکلئیک از انواع فسفر آلی خاک می‌باشند. قسمت اعظم فسفر آلی خاک از دسته اینوزیتول‌ها می‌باشند. نمونه بارز اینوزیتول‌ها اسید فیتیک بوده که به صورت فیتین دیده می-شود. لیستین از انواع فسفولیپیدها و یا چربی‌های آلی فسفاتی و نیز قند پنتوز، بازهای آلی سیتوزین، اوراسیل از اجزای نوکلئیک اسید می‌باشند که در خاک وجود دارند. مقدار فسفولیپیدها و نوکلئویید فسفات‌ها در خاک نسبت به کل فسفات‌های آلی خاک کم بوده و درصد کمی را تشکیل می‌دهند (مریدانی، ۱۳۹۲).

۲-۲-۲- فسفر معدنی

فسفر معدنی در خاک به صورت ترکیبات کلسیم، آلومینیم و آهن وجود دارد. فسفات‌های کلسیم در خاکهای خنثی تا قلیایی وجود دارند، در حالی که در خاکهای اسیدی فسفات به صورت فسفاتهای آهن و آلومینیم است. شکلهای یونی فسفر معدنی به pH وابسته هستند که در شکل (۲-۱) نشان داده شده است. در pH کمتر از ۳ که در خاکهای زراعی وجود ندارد فسفر به شکل اسید فسفریک وجود دارد. در pH بین ۴ تا ۶ بخش اعظم فسفر به صورت یون ارتوفسفات اولیه ($H_2PO_4^-$) است و به راحتی جذب ریشه گیاه می‌گردد. در pH بین ۶/۵ تا ۷/۵ فسفر در خاک به صورت ارتوفسفات اولیه و ارتوفسفات ثانویه (HPO_4^{-2}) وجود دارد. یون ارتوفسفات ثانویه به مقدار کمتری نسبت به ارتوفسفات اولیه جذب می‌شود. در pH، ۸ تا ۱۰یون ارتوفسفات ثانویه غالب است و در نهایت در pH بالاتر از ۱۰ شکل غالب فسفر به صورت PO_4^{-3} بوده که برای گیاهان غیر قابل جذب است (سالاردینی، ۱۳۸۲).



شکل ۲-۱- تأثیر pH محلول بر تغییرات یون‌های ارتوفسفات

گیاهان قادرند علاوه بر ارتوفسفاتها، بعضی از فسفاتهای محلول را نیز تا حدودی جذب کنند (ملکوتی و همایی، ۱۳۸۳). معمولاً غلظت فسفر محلول خیلی کم و در حدود ۰/۱ تا ۱ میلی‌گرم در کیلوگرم است و غلظت آن در خاکهای زراعی حاصلخیز در حدود ۰/۳ تا ۳ میلی‌گرم در کیلوگرم و در خاکهای غیر حاصلخیز کمتر از ۰/۰۵ میلی‌گرم درکیلوگرم است (سلیمانی درچه، ۱۳۷۳؛ جعفری، ۱۳۸۳). برای اکثر محصولات کشاورزی فسفر محلول مورد نیاز ۰/۲ تا ۰/۳ میلی‌گرم درکیلوگرم می‌باشد 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 (Riemersma et al., 2006؛ Fageria, 2009).

۲-۲-۳- کانیهای فسفاته

حدود ۱۷۰ کانی حاوی فسفر شناسایی شده است (جعفری، ۱۳۸۳). کانی های فسفاته خاک در یک دسته بندی کلی شامل فسفات های کلسیم، فسفات‌های آهن و آلومینیوم می‌باشند. فسفاتهای کلسیم در خاکهای خنثی و آهکی و با هوادیدگی کم دیده می شوند حال آنکه فسفاتهای آهن و آلومینیوم در خاکهای اسیدی و با هوادیدگی زیاد مشاهده می‌شود. با هوادیدگی، کلسیم و سایر عناصر غیر اسیدی در طی آبشویی از محیط خارج می‌شوند و اکسیدهای آهن و آلومینیوم غالب می‌شوند. اکسیدهای آهن و آلومینیوم با یون ارتو فسفات ترکیب می‌شوند. بنابراین با افزایش هوادیدگی و تکامل خاک، کانی‌های فسفاته از شکل فسفات های کلسیم به اشکال فسفات‌های آهن و آلومینیوم تبدیل می‌شود (Yerokun, 2008).

۲-۲-۴- فسفر جذب سطحی شده

علاوه برکانیهای فسفاته، فسفر به صورت دیگری نیز در فاز جامد معدنی جای می‌گیرد. یکی از این راهها جذب سطحی فسفر روی سطوح کانیهای سیلیکاتی، کربنات کلسیم، مواد آلی، اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن و آلومینیوم است. درواقع این فسفر جایگزین تنها یک گروه هیدروکسیل لبه کانیها گردیده و برگشت پذیر می‌باشد. مقدار فسفر جذب سطحی شده در خاکها متفاوت است که دلیل آن را می‌توان به وجود مقادیر متفاوت ترکیباتی نظیر اکسیدها 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 می‌شود در حالی که در خاکهای اسیدی جذب سطحی توسط اکسید های آبدار آهن و آلومینیوم و شبکه رسهای لایه ای ۱:۱ صورت می گیرد. فسفر به وسیله کانیهای رسی نیز جذب سطحی می شود اما توانایی این کانیها در جذب سطحی فسفر کمتر از اکسیدهای آهن و آلومینیوم است. این شکل از فسفر در تعادل با فسفر محلول می‌باشد و لذا خاکهایی که دارای فسفر تبادلی پایین هستند (نظیر خاکهای شنی یا خاکهای آلی) از لحاظ تغذیه فسفر دچار

مشکل هستند و اکثر گزارشهایی که از کمبود فسفر ارائه شده است مربوط به خاکهای با توان پایین جذب فسفر می‌باشد (میرباقری، ۱۳۹۲).

۲-۳- حرکت و خروج فسفر از خاک

به علت غلظت کم فسفر در محلول خاک میزان آبشویی آن در هر بار خیلی ناچیز می‌باشد. تمایل شدید یونهای فسفات برای تثبیت نیز از یک طرف گیاهان را با مشکل تأمین فسفر مورد نیاز مواجه می‌کند و از طرف دیگر مانع آبشویی فسفر و در نتیجه آلودگی احتمالی دریاچه‌ها می‌گردد. بدین ترتیب خروج فسفر از خاک و داخل شدن آن در آبهای محلی احتمالاً از طریق جذب در سطح ذرات خاک و فرسایش صورت می‌گیرد نه به صورت محلول و از طریق آبشویی و وارد شدن در سفره‌های زیرزمینی (محمودی و حکیمیان، ۱۳۸۵).

۲-۴- تثبیت فسفر در خاک

تثبیت فسفر یا اصطلاحاً P-fixation یک فراین شیمیایی است که فسفر از حالت محلول به حالت نامحلول تبدیل می‌شود. به عبارت دیگر تبدیل فسفر محلول به فسفر نامحلول و غیرقابل استفاده برای گیاه را اصطلاحاً تثبیت فسفر گویند.تثبیت فسفر یک تثبیت زیان‌آور و مضر در تغذیه گیاه است که این تثبیت هم در خاکهای آهکی و هم در خاکهای اسیدی اتفاق می‌افتد. در خاکهای اسیدی، یونهای آهن و آلومینیوم باعث تثبیت فسفر می‌شوند و فسفر به صورت نامحلول در می‌آید. در خاکهای آهکی و قلیایی (مثل شرایط ایران) یون کلسیم و تا حدی کربنات کلسیم موجب تثبیت فسفر می‌شود و در نتیجه حلالیت کود مصرفی کم و برای گیاه غیرقابل استفاده می‌گردد (موسوی، ۱۳۹۲). فسفر توسط یونهای آهن و آلومینیم، اکسیدهای آبدار، رسهای سیلیکاتی و مواد آلی تثبیت می‌شود.

۲-۴-۱- تثبیت توسط یونهای آهن و آلومینیم

در خاکهای اسیدی وجود یونهای آهن و آلومینیوم از مهمترین عامل مؤثر در تثبیت فسفر می‌باشد. در این نوع خاکها یونهای آهن و آلومینیوم با فسفات محلول خاک ترکیبات نامحلول فسفات‌های آهن و آلومینیوم را به وجود می‌آورند. هر چه خاک اسیدی باشد میزان فسفر تثبیت شده به این طریق بیشتر خواهد بود (مریدانی، ۱۳۹۲).

۲-۴-۲- تثبیت توسط رس‌های سیلیکاتی

رس‌های سیلیکاتی نظیر کائولینیت و مونت موریلونیت قابلیت تثبیت فسفر را دارند. گروه‌های هیدروکسید سطح بلورهای رسی با یونهای فسفات $H_2PO_4^-$ جایگزین می‌شوند و موجبات تثبیت فسفر را فراهم می‌آورند. رس‌های ۱:۱ نسبت به رس‌های ۲:۱ قدرت تثبیت بیشتری را دارا می‌باشند (مریدانی، ۱۳۹۲).

۲-۴-۳- تثبیت توسط اکسیدهای آبدار

فاز جامد اکسیدهای آبدار آلومینیم، آهن و منگنز نیز با یون فسفات محلول واکنش داده و آن را به شکل غیر محلول در می‌آورد.

۲-۴-۴- تثبیت توسط یون کلسیم

در خاکهای قلیایی مقدار زیادی کلسیم قابل تبادل و یا کربنات کلسیم آزاد وجود دارد که باعث رسوب ترکیبات محلول فسفره افزوده به خاک می‌شود (حسین پور، ۱۳۸۷).

۲-۵- عوامل مؤثر بر قابلیت جذب فسفر

۲-۵-۱- اثر pH در قابلیت استفاده فسفر

pH خاک مهمترین پارامتر شیمیایی خاک است که نشان‌دهنده وضعیت شیمیایی کلی خاک بوده و در فرآیندهای شیمیایی و بیوشیمیایی خاک موثر است (Jaillard et al., 2003). یونهای محلول در خاک تابع pH می‌باشند. هنگامی که pH خاک به کمتر از ۵/۵ تنزل پیدا می‌کند آهن و آلومینیم محلول به مقدار قابل توجهی افزایش یافته و فسفر را به صورت فسفات آهن و آلومینیم تثبیت می-کنند. در pH بین ۴ تا ۶ بخش اعظم فسفر در محلول خاک به صورت یون $H_2PO_4^-$ است و از آنجا که در آب محلول می‌باشد براحتی توسط ریشه گیاه جذب می‌شود. با افزایش pH از میزان این یون کاسته شده و در pH بین ۸ تا ۱۰، HPO_4^{2-} یون غالب محلول خاک می‌باشد. یون HPO_4^{2-} به خوبی یون $H_2PO_4^-$ نمی‌تواند جذب گیاه شود. در چنین شرایطی یون سدیم نیز در فاز تبادلی خاک غالب بوده و مقداری از فسفات، به شکل سدیم فسفات در می‌آید و با هیدرولیز، حلالیت آن زیاد می‌شود. در pH بیشتر از ۱۰ فرم غالب فسفر، PO_4^{3-} است و در صورت عدم وجود سدیم فسفات، فسفر برای گیاهان قابل جذب نیست. در pH کمتر از ۳، که در خاکهای زراعی مشاهده نمی شود، فسفر به شکل H_3PO_4 (اسید فسفریک) وجود دارد و بسیار فرم فعال و واکنش پذیری می‌باشد و گویای این واقعیت است که درخاکهای خیلی اسیدی اولتی سول و اکسی سول تثبیت فسفر سریع بوده و به منظور تأمین رشد مطلوب گیاه مقادیر زیادی کودهای فسفردار بایستی مصرف شود (Prasad and Power, 1997).

pH خاک به طریق دیگری نیز در جذب فسفر مؤثر می‌باشد بدین صورت که معدنی شدن فسفر آلی در خاک با افزایش pH تشدید می‌شود. علت این امر را می‌توان بدین طریق تشریح کرد که با افزایش pH قدرت جذب هیدروکسیدهای فلزی خاک برای جذب فسفاتهای آلی کم می‌شود، فسفاتهای آلی محلول‌تر شده و بنابراین مستعد معدنی شدن می‌شوند (سالاردینی ۱۳۸۸).

۲-۵-۲- تاثیر افزایش فسفات بر جذب فسفر

تحقیقات نشان داده است که در خاک قابلیت جذب فسفر با افزایش فسفات افزایش می‌یابد (جلالی و کلاه چی، ۱۳۸۴). نتایج بررسی‌های باربر (۱۹۸۴) نشان داد در صورتیکه فسفر محلول اولیه خاک بالا باشد با افزایش مقدار مشخص کود فسفره مقدار فسفر محلول کمتری به خاک اضافه می گردد؛ در عوض جذب فسفر توسط خاک بیشتر می شود. بطور کلی عرضه کافی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه منجر به افزایش جذب فسفر از خاک می شود. به عنوان مثال مصرف گوگرد سبب افزایش قابلیت دسترسی فسفر خاک در شرایط خنثی و بازی که فسفر به صورت فسفات کلسیم وجود دارد، می گردد (جوانمرد، ۱۳۸۳).

۲-۵-۳- تأثیر دما بر جذب فسفر

با افزایش دما معمولاً قابلیت استفاده فسفر معدنی کاهش می‌یابد. افزایش دما باعث ابقای بیشتر فسفر می‌گردد که احتمالاً به دلیل افزایش سرعت واکنشهای شیمیایی فسفر با سطوح جذب در خاک می-باشد. این می‌تواند ابقای بیشتر فسفر در مناطق گرم نسبت به مناطق سرد را توجیه کند. برخی مطالعات نشان می‌دهد که با گرم شدن هوا، به دلیل افزایش فعالیت میکروارگانیسمها، معدنی شدن فسفر آلی افزایش می‌یابد و این می‌تواند شرایط را برای ابقای فسفر فراهم‌تر کند (حجازی مهریزی، ۱۳۸۴). خاکهای تشکیل شده در مناطق با بارندگی و دمای بالا دارای مقادیر بیشتری رس کائولینیت هستند و در نتیجه دارای ظرفیت تثبیت بالاتری هستند. ۸۸ مناطق با بارندگی و دمای بالا نیز از این لحاظ که دارای مقادیر بیشتری از اکسیدهای آهن و آلومینیوم هستند، در تثبیت فسفر دارای اهمیت هستند (جوانمرد، ۱۳۸۳).

۲-۵-۴- تأثیر رطوبت خاک بر جذب فسفر

از جمله عواملی که بر روی جذب فسفر توسط گیاه اثر می‌گذارد، میزان رطوبت خاک است. به طوریکه جذب فسفر به طور 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 شده‌اند حرکت می‌کند، زمانی که آب خاک کاهش پیدا می‌کند، حرکت فسفر نیز کاهش می‌یابد (Gutierre and Thamas, 1998).

۲-۶- گوگرد

۲-۶-۱- اهمیت گوگرد

مقدار آن در پوسته زمین حدود ۰/۰۶ درصد بوده و از نظر فراوانی در لیتوسفر در ردیف ششم بوده و از لحاظ مقدار مورد نیاز گیاه پس از سه عنصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم یکی از مهمترین عناصر می-باشد (Nazar et al,. 2011). گوگرد به دو شکل آلی و معدنی در خاکها وجود دارد که شکل معدنی آن شامل سولفید و سولفات عناصر مختلف است. سولفات‌های کلسیم و منیزیم مهمترین ترکیبات معدنی گوگرد در خاکهای کشاورزی به شمار می‌روند. گوگرد از طریق کودها، مواد اصلاح کننده، هوادیدگی کانی‌های گوگرددار، آب آبیاری، مصارف آفت کش‌ها اتمسفر و بقایلی آلی وارد خاک می شود. گوگرد در تشکیل اسیدهای آمینه، کلروفیل، آنزیم نیتروژناز، گلوتاتیون، فعال کردن بعضی از آنزیم‌ها نقش ایفا می‌کند. گوگرد به دلیل توانایی اکسایش در خاک و تولید اسید به عنوان یکی از نهاده‌های کشاورزی جهت اصلاح خاکها، بهبود تغذیه گیاهان و کنترل بعضی از عوامل بیماری‌زا کاربرد وسیعی دارد. یکی از مهمترین خصوصیات گوگرد، دارا بودن درجات مختلف اکسیداسیون می‌باشد (حجازی‌راد، ۱۳۹۲). بنابراین استفاده از گوگرد عنصری به منظور کاهش pH و افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی از اهمیت خاصی برخوردار است (Bharathi and Poongothai, 2008؛ Kaya et al., 2009).

۲-۶-۲- نقش گوگرد در افزایش حلال سازی فسفر در خاکهای آهکی

هر مول گوگرد پس از اکسید شدن دو مول یون هیدروژن تولید کرده و سبب کاهش pH خاک (به طور موضعی) و افزایش حلالیت عناصر در ریزوسفر می‌گردد (Zhi hui et al., 2010؛ Garcia et al., 2007). استامفورد و همکاران (۲۰۰۳) تأثیر سطوح ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ درصد گوگرد را بر فراهمی فسفر از خاک در آزمایشگاه بررسی کردند. آنها گزارش دادند که در تیمار ۲۰ درصد گوگرد، افزایش فراهمی فسفر بیشتر شده است. آنها علت فراهمی فسفر را اکسایش گوگرد و تولید اسید سولفوریک و کاهش pH گزارش دادند.

در یک بررسی گلخانه‌ای در خاک آهکی و بر روی ذرت انجام شد، استفاده از ۰/۰۵ درصد (وزنی) گوگرد در مقایسه با شاهد pH خاک را ۱/۳ کاهش داد. مقدار فسفر قابل جذب خاک از ۴/۹۹ به ۱۲/۸۷ میلی‌گرم در کیلوگرم افزایش یافت. در این بررسی در دو تیمار شاهد و ۰/۰۵ درصد گوگرد، فسفر جذب شده توسط گیاه ۱۰/۶۴ و ۳۱/۲۵ میلی‌گرم در هر گلدان بودند (بشارتی و همکاران، ۱۳۷۹).

۲-۶-۳- اکسایش گوگرد

چرخه بیوژئوشیمیایی گوگرد در طبیعت شامل چهار مرحله معدنی شدن، آلی شدن، احیا و اکسید شدن است که اکسیداسیون مهمترین مرحله چرخه گوگرد به شمار می‌رود. زیرا گوگرد موجود در اکثر کودها به حالت احیا بوده و کانیهای خاک نیز دارای گوگرد احیا شده می‌باشند، در حالی که گوگرد قابل جذب در گیاهان به صورت سولفات می‌باشد. به علاوه اکسایش ترکیبات گوگرد در خاک منبع کسب انرژی برای برخی از میکروارگانیسمها می‌باشد (Zhi hui et al., 2010 ؛ Eldor, 2007). ترکیبات احیاء گوگرد موجود در خاک می‌توانند طی دو فرایند اکسیداسیون شیمیایی یا بیولوژیک اکسیده شوند.

الف) بیولوژیک: اکسیداسیون بیولوژیک گوگرد که به وسیله ریزجانداران خاک انجام می‌گیرد، فرایند غیراختصاصی می‌باشد، بنابراین توسط تعداد زیادی از ریزجانداران قابل انجام است. باکتریهای هتروتروف اکسیدکننده گوگرد، کربن و انرژی مورد نیاز خود را از مواد آلی کسب می‌کنند و طی این واکنش گوگرد را اکسید می کنند.

ب) بیوشیمیایی: اکسیداسیون گوگرد شامل واکنش گوگرد با اکسیژن موجود در هوای خاک است که در نتیجه آن اسیدسولفوریک تولید می‌شود. سرعت این واکنش بسیار کند می‌باشد (سعادت پور، ۱۳۹۲).

۲-۶-۴- عوامل مؤثر بر اکسیداسیون گوگرد در خاک

اکسیداسیون شیمیایی گوگرد بسیار کند است و قسمت اعظم گوگرد موجود در خاک توسط میکروارگانیسمها اکسید می‌شود. بنابراین هر عاملی که بتواند رشد و نمو و فعالیت میکروارگانیسمهای اکسیدکننده گوگرد را تحت تأثیر قرار دهد، بر میزان اکسیداسیون گوگرد در خاک نیز اثر می‌گذارد. میزان اکسیداسیون بیولوژیک گوگرد به اثرات متقابل سه فاکتور اصلی از جمله جمعیت میکروارگانیسمهای اکسیدکننده گوگرد، مشخصات ترکیبات گوگردی و شرایط محیطی موجود در خاک بستگی دارد (Deluca et al., 1989؛ Zhi hui et al., 2010).

۲-۶-۵- تأثیر اکسایش گوگرد بر هدایت الکتریکی (EC)[1]

لیندمن و همکاران (۱۹۹۱) بیان نمودند که با فرایند اکسایش گوگرد و تولید اسید سولفوریک، pH خاک کاهش یافته و با انحلال کربنات کلسیم قابلیت هدایت الکتریکی خاک نیز افزایش یافته است.

1- Electrical conductivity

خادم و همکارانش (۱۳۹۰) در بررسی اثر گوگرد بر قابلیت جذب عناصر غذایی مشاهده کردند که سطوح گوگرد اثر معنی‌داری بر شوری خاک داشته و با افزایش میزان گوگرد، شوری خاک، شوری خاک به شدت افزایش یافت.

۲-۷- کود سبز (GM)[1]

استفاده از کودهای شیمیایی برای تولید محصولات در سراسر جهان در حال افزایش است. یکی از راهکارهای علمی برای رسیدن به کشاورزی پایدار، زراعت گیاهان پوششی و کود سبز است که می-تواند جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی باشد (Abril et al., 2007). برگشت گیاهان 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 (Talgre et al., 2009؛ Sharma and Mittra, 1988). تونیسن و همکاران (۲۰۰۰) بیان کرده‌اند که کارایی کود سبز در افزایش عناصر غذایی به نوع خاک، دمای محیط، اسیدیته و سیستم مدیریتی خاک بستگی دارد.

۲-۸- تأثیر کود سبز بر آزادسازی فسفر

بادانور و همکاران (۱۹۹۰) نشان دادند که افزایش قابل ملاحظه در میزان فسفر قابل دسترس به هنگام استفاده از کودهای سبز و بقایای محصولات، احتمالاً مربوط به آزاد شدن اسیدهای آلی در طول دوره تجزیه است که با انحلال فسفر خاک، به رها سازی فسفر کمک می‌کند. 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؛ Delgado et al., 2002). که برخی از دلایل آن به صورت زیر بیان می‌شود.

2- Green Manure

- پوشش ماده آلی بر روی رس ها، ظرفیت جذب فسفات در آنها را کاهش می‌دهد.
- ماده آلی با پوشاندن سطوح ذرات اکسیدهای آهن و آلومینیم، توانایی و ظرفیت تثبیت فسفات آنها را کاهش می دهد.
- از ترکیب گاز کربنیک که از تجزیه مواد آلی بدست می آید با آب، اسید کربنیک تشکیل شده که این اسید در خاک های آهکی حلالیت ترکیبات فسفاتی را افزایش می‌دهد.

۲-۹- پاسخ گیاهان در برابر کودهای فسفره

ریشه گیاه با جذب و آزاد کردن مواد مختلف، به خاکی که در محدوده فعالیت خود قرار دارد، تغییرات شیمیایی و حیاتی فوق العاده‌ای می‌دهد که باعث تغییر در قابلیت جذب عناصر متعددی از جمله فسفر می شود (Ryan et al., 2001؛ Scott and Condron, 2003). فسفر به راحتی در گیاه انتقال می‌یابد و جهت حرکت آن به سمت اندامهای جوان و در حال رشد می باشد و در صورت کمبود فسفر، انتقال آن از برگهای مسن به سوی برگهای جوان، میوه و دانه انجام می‌شود (Abdul et al., 2007). وقتی شرایط یکسان و فقط نوع گیاه متفاوت باشد مقدار و قابلیت جذب فسفر از خاک نیز متفاوت خواهد بود (Vance et al., 2003؛ Rubio et al.,2008). تحقیقات نشان می‌دهد که ریشه گیاه خود به طور مستقیم تأثیری در حلالیت فسفر خاک ندارد بلکه اثر آن به واسطه وجود تجمع موجودات ذره‌بینی است که در روی ترشحات و مواد آلی که از ریشه‌ها ترشح می‌شوند، زندگی می-کنند. ریشه گیاهان مختلف هر یک موجودات ذره‌بینی خاصی را به وجود می‌آورند. در دسترس بودن یون فسفات، باعث مقاومت گیاه در برابر ورس، زودرسی محصول، کیفیت بالاتر، افزایش سرعت نمو گیاهی از سبز شدن تا آغازش گلدهی و گرده‌افشانی شده، در نتیجه عملکرد افزایش می‌یابد (Turk and Tawaha, 2002؛ حسین‌زاده، ۱۳۸۳). گیاهان زراعی در سال بین ۱۰ تا ۳۰ کیلوگرم در هکتار فسفر جذب می‌کنند شواهدی در دست است که فسفر محلول خاک باید دائماً جایگزین شود و اگر مقدار کمی فسفر به صورت پایدار در اختیار گیاهان باشد به خوبی می‌توانند رشد کنند (لطف الهی و

همکاران، ۱۳۸۳). همچنین شارما (۲۰۰۲) بیان کرد یکی از فواید کود فسفر این است که باعث می‌شود گیاهان ریشه‌های بیشتر و عمیق‌تری تولید کنند و فسفر با دخالت در طول، ظرافت و تراکم ریشه به طور غیر مستقیم موجب افزایش عملکرد می‌گردد

۲-۱۰- اثرات مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی فسفری

از آثار زیانبار مصرف بیش از حد کودهای فسفره می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

۲-۱۰-۱- آلودگی خاک به کادمیم

کودهای فسفردار از مهمترین منابع آلودگی خاکهای زراعی به کادمیم می باشند زیرا سنگ فسفاتی که برای ساخت کود استفاده می‌شود دارای کادمیم زیادی (۱۰تا۹۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) است (سپهری و همکاران، ۱۳۸۵). کادمیم در خاک، چه ناشی از فرایندهای پدوژنیکی و چه فعالیت بشر، نهایتاً به شکلهای محلول، اکسیدی، کربناتی، آلی و جذب شده بر روی کلوئیدها یافت می شود. جذب کادمیم توسط گیاهان، مسیر این عنصر سمی را برای ورود به چرخه غذایی سایر موجودات و به خصوص انسان هموار می‌سازد. عوارض مختلف ناشی از سمیت کادمیم در انسان لزوم پاکسازی آن را از اراضی کشاورزی آشکار می‌نماید (Kasraian et al., 2010). بنابراین با مصرف بیش از حد کودهای فسفاته کادمیوم توسط گیاهان جذب و از آن طریق وارد زنجیره غذایی انسان می‌شود که سبب بروز صدماتی به لوله‌های موئین کلیه‌ها و تورم غشاء مخاطی بینی، یک نوع بیماری مزمن ریوی، تخلیه مواد معدنی از اسکلت بدن و شکنندگی استخوانها می‌گردد (Rodriguez et al., 2008).

۲-۱۰-۲- مسمومیت فسفر

مسمومیت ناشی از استفاده زیاد از این عنصر در اثر جذب بیش از حد آن اتفاق می‌افتد و باعث بالارفتن غلظت این عنصر در بافت‌های گیاهی و به هم خوردن تعادل عناصر غذایی می‌گردد (سالاردینی، ۱۳۸۸).

۲-۱۰-۳- کاهش عملکرد

تحقیقات نشان می‌دهد که افزایش مصرف کودهای فسفره طی این سالها نه تنها عملکرد محصولات زراعی را افزایش نداده بلکه در نتیجه بر هم زدن تعادل عناصر غذایی کاهش محصول را نیز در مواردی باعث شده است (توحیدی نیا، ۱۳۸۸؛ فرشادی راد و دردی پور، ۱۳۸۸).

۲-۱۰-۴- غیر متحرک شدن آهن درخاک و جلوگیری ازجذب آن به وسیله ریشه

چاکرالحسینی و همکاران (۱۳۸۱) با تحقیق بر روی سویا دریافتند که با افزایش فسفر میانگین غلظت آهن در گیاه کاهش یافت. آنها دلیل این امر را به کاهش قابلیت استفاده آهن در خاک در اثر فسفر و کاهش جذب یا تاثیر فسفر بر انتقال آهن از ریشه به قسمت هوایی گیاه نسبت دادند. همچنین پژوهشگران دریافتند که کلروز آهن در سطوح بالای فسفر در حضور یا عدم حضور بیکربنات بروز کرده و علت آن را به افزایش غلظت فسفر در گیاه و در نتیجه غیر فعال شدن آهن در گیاه نسبت دادند.

۲-۱۱- سنگ فسفات (PR)[1]

سنگ فسفات یک اصطلاح کلی است که برای توصیف مواد معدنی فسفاتی به کار می‌رود. سنگ فسفات یک منبع طبیعی محدود و غیر قابل تجدید است. ذخایر زمین‌شناسی با منشأ مختلف در

3- Phosphate Rock

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. یکی از ویژگیهای این سنگ فسفات این است که هرچند برای استفاده مستقیم مناسب است، ولی استانداردهای کیفی مورد نیاز برای تولید کودهای فسفر محلول در آب با استفاده از فرایندهای تکنولوژی صنعتی مرسوم را بیان نمی‌کند. تولید کود فسفر محلول در آب نظیر سوپر فسفات معمولا برای اصلاح کمبود فسفر توصیه می‌شود، اما بسیاری ازکشورهای در حال توسعه این کودها را وارد می‌کنند در حالی که منبع آنها محدود بوده و نشان‌دهنده یک هزینه زیاد برای کشاورزان فقیر می-باشد. افزایش تولیدات گیاهی در این کشورها نه تنها مستلزم اضافه کردن فسفر برای افزایش تولید محصول بلکه برای بهبود وضعیت فسفر در خاک به منظور جلوگیری از تخریب بیشتر خاک می‌باشد. بنابراین، این برای کشف منابع جایگزین فسفر مناسب است. تحت شرایط خاک و آب و هوایی، ثابت شده است که استفاده مستقیم از سنگ فسفات، مخصوصاً وقتی که دسترسی محلی باشد یک جایگزین کشاورزی و اقتصادی مناسب به جای سوپرفسفات پرهزینه است. 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 (FAO, 2004). کاربرد خاک فسفات به تنهایی برای خاکهای آهکی مناسب نمی‌باشد چون به طور طبیعی و به دلیل فراوانی یون کلسیم، واکنش به سمت تشکیل آپاتیت می‌باشد. در این راستا محققین زیادی تلاش کرده‌اند تا با استفاده از گوگرد، میکروارگانیسم‌های حل کننده فسفات، مواد آلی و باکتریهای اکسید کننده گوگرد، بالاخص انواع جنس تیوباسیلوس، کارایی کاربرد مستقیم خاک فسفات در خاکهای آهکی را افزایش دهند (Khavazi et al., 2001 ؛ Cifuentes and Iindemann, 1993)

۲-۱۲- راهکارهای استفاده‌ی مستقیم از سنگ فسفات

۲-۱۲-۱- کاربرد خاک فسفات همراه با میکروارگانیسمها

یکی از راههای افزایش قابلیت جذب فسفر از خاک فسفات استفاده از ریزجانداران حل کننده فسفات است که گوناگونی آنها زیاد بوده است. این ریز جانداران از مکانیزم‌های متفاوتی در انحلال پذیری ترکیبات فسفر خاک استفاده می‌کنند که برای نمونه می‌توان به اسیدی شدن و کلاته شدن اشاره کرد (Mohammady Aria et al., 2010).

۲-۱۲-۲- خاک فسفات قسمتی اسیدی شده

از آنجا که بیشتر خاکهای فسفات محدودیت واکنش پذیری دارند و استفاده از آنها به طور مستقیم در خاکهای قلیایی و خنثی دارای فواید کمی است، از این رو می‌توان قسمتی از خاک فسفات را اسیدی کرد که اسید افزوده شده قسمتی از اسید لازم برای تبدیل کامل خاک فسفات به سوپر فسفات تریپل یا ساده می‌باشد. بیشتر تحقیقات نشان داد که در خاکهای با قدرت تثبیت فسفر بالا و pH بالاتر از ۵/۵، اسیدی کردن خاک فسفات به میزان ۲۵ تا ۵۰ درصد به اندازه سوپرفسفات مؤثر خواهد بود (بشارتی و همکاران، ۱۳۸۳).

۲-۱۲-۳- مخلوط کردن خاک فسفات با گوگرد و ماده آلی

مصرف مواد آلی همراه با خاک فسفات موجب می‌شود برخی از باکتریها و قارچ‌های 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 می‌شوند (Sago et al., 1998). گوگرد از عناصری است که اکسیداسیون آن باعث باعث کاهش اسیدیته شده و حداقل به طور موضعی می‌تواند قابلیت جذب عناصر را افزایش دهد (بشارتی و حیدر نژاد، ۱۳۹۰).

۲-۱۲-۴- استفاده از اسیدهای آلی

یکی از روشهای استفاده از خاک فسفات، افزودن اسیدهای آلی به منظور اسیدی کردن آن است. تحقیقات انجام گرفته در این زمینه بر این اساس می‌باشد که در حضور یک منبع مناسب کربن، بعضی از باکترها و قارچ ها قادر به تولید اسیدهای آلی با وزن مولکولی کم می‌باشند. این اسیدهای آلی می‌توانند 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 کلیسم موجود در محلول در آزاد کردن فسفر از خاک فسفات مؤثر است، ولی کاربرد این روش کمتر مورد بررسی قرار گرفته است (بشارتی و همکاران، ۱۳۸۳).

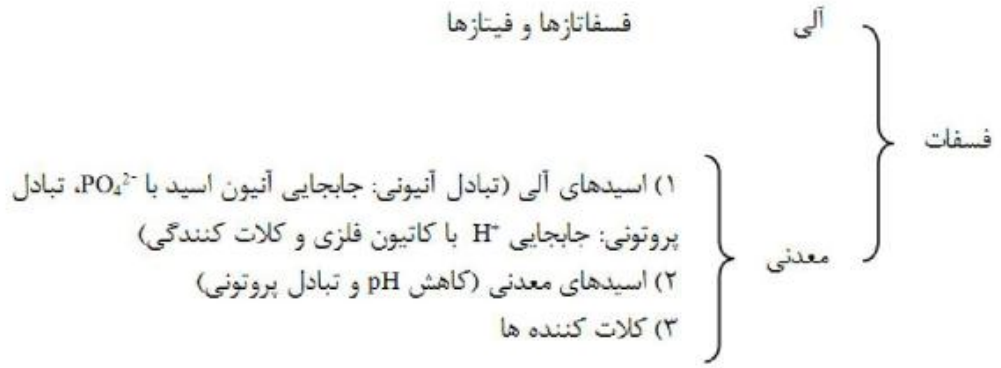
۲-۱۳-کودهای بیولوژیک

استفاده از کودهای بیولوژیک به عنوان مکمل و جایگزین کودهای شیمیایی یکی از راهکارهای کاهش مصرف کودهای شیمیایی است که در سال‌های اخیر مورد توجه زیادی قرار گرفته است. کود بیولوژیک به ماده‌ای جامد، مایع و نیمه جامد حاوی موجودات زنده‌ی مفید خاکزی یا متابولیت‌های آنها اتلاق می‌گردد که قادر است به نحوی در تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه و افزایش قابل توجه عملکرد یا بهبود خواص فیزیکی و همچنین خواص شیمیایی خاک مؤثر باشد (Kaplan and Orman, 1998).

۲-۱۴- باکتریهای خاک

میکروارگانیسم‌های خاک در پاره‌ای از فرایندها دخالت دارند که تغییر شکل فسفر و در نهایت فراهمی آن را برای گیاه تحت تأثیر قرار می‌دهد. مدارکی مبنی بر نقش میکروارگانیسم‌های ریزوسفری در

انحلال فسفات معدنی به سال ۱۹۰۳ برمی‌گردد (Illmer and Schinner, 1991). میکروارگانیسم‌ها از طریق معدنی کردن فسفر آلی و انحلال فسفات‌های رسوب یافته فراهم سازی فسفر را افزایش می-دهند (Chen et al., 2006؛ Pradhan and Sukla, 2005). در شکل ۲-۲ سازوکارها به صورت خلاصه آمده است.



شکل۲-۲- سازوکارهای درگیر در انحلال فسفات‌های معدنی و معدنی شدن فسفات (Rodriguez and Fraga, 1999)

این دسته از میکروارگانیسم ها گرچه فسفر را در ساختار سلولی خود به خدمت می‌گیرند، ولی بخشی از آن که در محیط آزاد شده است در اختیار گیاه قرار می‌گیرد. همچنین فسفر در بیوماس میکروبی که به شکل غیر متحرک می‌باشد نیز به صورت بالقوه قابل استفاده برای گیاهان می‌باشد (Fageria, 2009). باکتری‌ها در مقایسه با قارچ ها در انحلال فسفات بسیار مؤثرترند و جمعیت بالایی را به خود اختصاص می‌دهند (Alam et al., 2002). نمونه‌های متنوعی از میکروارگانیسم‌ها قادر به آزادسازی فسفر از منابع رسوب یافته فسفر گزارش شده‌اند. از این میان غالب ترین گونه‌ها متعلق به جنس باسیلوس، سودوموناس، پنی‌سیلیوم و آسپرژیلوس می‌باشد. براساس سنجش‌های غربالگری آزمایشگاهی از نمونه های ریزوسفری خاک مشخص شده است که حدود بیش از ۴۰ درصد جمیعت

میکروبی قابل کشت و رشد مربوط به میکروارگانیسم‌های حل کننده فسفات می‌باشند (Fageria, 2009).

۲-۱۴-۱- انحلال فسفاتهای آلی توسط باکتریها

خاک حاوی طیف وسیعی از مواد آلی است که می‌تواند به عنوان یک منبع فسفر، در تغذیه و رشد گیاه نقش مهمی به عهده داشته باشد. برای اینکه فسفر آلی به فرم قابل جذب گیاه در بیاید باید ابتدا از طریق هیدرولیز مواد آلی به فرم معدنی تبدیل گردد. انحلال فسفات‌های آلی، معدنی شدن فسفر آلی نیز نامیده می‌شود. معدنی شدن اغلب ترکیبات آلی فسفره توسط آنزیم‌های فسفاتاز انجام می-پذیرد. وجود مقادیر قابل توجهی از فسفاتاز فعال و دارای منشأ میکروبی در خاک گزارش شده است (رجالی و همکاران، ۱۳۸۹).

۲-۱۴-۲-باکترهای 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 گردند. ریزجانداران حل کننده فسفات به دو گروه نامتجانسی از ریزجانداران اطلاق می‌شوند که قادرند از طریق مکانیسم‌هایی چون ترشح اسید، موجب آزادسازی فسفر از منابع نامحلول فسفر گردند (میراحمدی و همکاران، ۱۳۹۰). اسیدهای آلی تولید شده از دو طریق باعث افزایش فسفر قابل دسترس می‌شوند که یکی از طریق کاهش pH در منطقه ریزوسفر است و دیگری از طریق کلاته شدن یون آلومینیم در خاکهای اسیدی و یون کلسیم در خاکهای قلیایی است (رجالی و همکاران، ۱۳۸۹). در کل باکتریهای حل کننده فسفات را نمی‌توان جایگزین کودهای فسفره نمود ولی کاربرد این میکروارگانیسم‌ها کارایی استفاده از کود را در گیاهان افزایش داده و در نتیجه نیاز گیاهان به افزودن کودهای شیمیایی کاهش می‌یابد (Abdul et al., 2007).

۲-۱۴-۳- باکتری سودوموناس

باکتریهای جنس سودوموناس گرم منفی، لوله ای شکل، دارای تاژک‌های قطبی، کموارگانوتروف و کاتالاز مثبت هستند. باکتریهای این جنس احتیاجات غذایی ساده‌ای دارند (Euzeby, 2008).

این باکتری به رشد سریع گیاه در خاک کمک می‌کند و ساختار خاک را اصلاح و سبب ریشه زایی بهتر و نگهداری بیشتر آب در خاک می‌شود که این امر سبب مقاومت گیاه در مقابل بیماریها و افزایش راندمان مصرف آب می‌شود. سودوموناس با تولید آنزیم و ترشحات اسیدی به انحلال و آزادسازی عناصر تثبیت شده و نامحلول کمک می‌کند که این امر سبب کاهش مصرف کودهای شیمیایی، عدم مسمومیت شیمیایی و کاهش هزینه‌های تولید می‌شود. سودوموناس دوام و پایداری خیلی خوبی در خاک دارد. مصرف کودهای زیستی نظیر سودوموناس در کشاورزی پایدار و کشاورزی ارگانیک صورت می‌گیرد. باکتریهای محرک رشد (PGPR)[1] مانند سودوموناس علاوه بر محلول کردن فسفر خاک، با تولید مقادیر قابل ملاحظه مواد تحریک کننده رشد به ویژه انواع اکسین‌ها، جیبرلین‌ها و سیتوکینین-ها، رشد و نمو و عملکرد گیاهان زراعی را تحت تاثیر قرار می‌دهند (Zahir et al., 2004). باکتریهای تسهیل کننده جذب فسفات نه تنها باعث رها سازی فسفر می‌شوند، بلکه تولید مواد بیولوژیک دیگر از جمله هورمون‌های رشد مثل اکسین و جیبرلیک اسید و هم چنین ویتامین‌ها را موجب می‌شوند (صالح راستین، ۱۳۸۰). به طور کلی افزایش تعداد و تنوع میکروارگانیسم‌ها و اثرات متقابل جوامع میکروبی باعث افزایش تعداد و تنوع اسیدهای آلی موثر در فرآیند انحلال فسفاتهای نامحلول می‌شود (Sharma, 2002).

1- Plant Growth Promoting Rhizobacteria

۲-۱۴-۴-تاثیر سودوموناس بر روی جذب فسفر

رمضانپور و همکاران (۱۳۹۱) در بررسی تأثیر گونه‌های مختلف سودوموناس بر عملکرد، اجزای عملکرد و جذب فسفر سه رقم برنج مشاهده کردند بیشترین میانگین فسفر جذب شده در گیاه از تلقیح با *Pseudomonas fluorescens* بدست آمد.

طبق نتایج رائی پور و علی اصغر زاده (۱۳۸۶) تلقیح باکتری‌های حل کننده فسفات و برادی ریزوبیوم در سویا موجب افزایش درصد فسفر نسبت به سایر تیمارها گردید.

توانایی سودوموناس ها در تولید اسیدهای آلی و انحلال فسفر نامحلول از قبیل تری کلسیم فسفات در خاک می‌تواند در افزایش فسفر قابل استفاده برای گیاه و در نتیجه افزایش رشد گیاه مفید باشد (Dey et al., 2004).

۲-۱۵- تیوباسیلوس

گونه‌های جنس تیوباسیلوس از مهمترین انواع اکسید کننده‌های گوگرد در خاک هستند که قادرند

ترکیبات مختلف گوگردی را اکسید نمایند. ترکیباتی مانند: گوگرد عنصری، سولفیت‌ها، تتراتیونات‌ها (S_4O_6) و تیوسولفات‌ها به وسیله این باکتریها اکسید می‌گردند. باکتریهای جنس تیوباسیلوس از انواع اتوتروف خاکزی هستند که به انواع اجباری و اختیاری تقسیم می‌شوند. استفاده از توان بالقوه گوگرد وقتی مؤثر و نتیجه بخش خواهد بود که پس از مصرف به اندازه کافی در خاک اکسید گردد. قسمت اعظم گوگرد مصرف شده توسط میکروارگانیسمهای مختلف اکسید می‌گردد (بشارتی و همکاران، ۱۳۷۹). تیوباسیلوس‌ها ضمن اکسایش ترکیبات احیای گوگرد به منظور کسب انرژی، مقداری اسید سولفوریک تولید می‌کنند که اسید حاصله در آزادسازی عناصر تثبیت شده در خاکهای آهکی مؤثر می‌باشد. یکی از گونه‌های تیوباسیلوس، تیوباسیلوس تیواکسیدانس می‌باشد. این باکتری مهمترین

گونه در این جنس است، pH رشد آن در حدود ۲ تا ۵، متحرک و کاملاً هوازی و اسید دوست است (بشارتی و همکاران، ۱۳۸۳).

۲-۱۶- تأثیر باکتری تیوباسیلوس به همراه گوگرد بر pH خاک

بسیاری از محققین گزارش کرده اند مصرف و تولید اسید سولفوریک در نتیجه اکسایش آن توسط تیوباسیلوس باعث کاهش pH خاک می شود (اخوان و فلاح، ۱۳۹۰).

در حضور یک منبع مناسب کربن، برخی از باکتری‌ها و قارچ‌ها قادرند اسیدهای آلی با وزن مولکولی کم تولید کنند که باعث کاهش pH محیط می شوند (Ress et al., 2001).

۲-۱۷- کاربرد خاک فسفات، گوگرد، مواد آلی و باکتری تیوباسیلوس به جای کود

روزا و همکارانش (۱۹۸۹) طی یک آزمایش گلخانه‌ای، خاک فسفات، گوگرد، مواد آلی و باکتری تیوباسیلوس را به خاک اضافه کرده و قابلیت جذب فسفر را هفت هفته پس از کشت سورگوم بررسی کردند. حلالیت فسفر و جذب آن توسط سورگوم به حدی بود که عملکرد ناشی از تیمار گوگرد + تیوباسیلوس + ماده آلی به اندازه عملکرد ناشی از سوپر فسفات تریپل بود.

تحقیقات نشان داد که CO_2 آزادشده در طی فرایند تجزیه مواد آلی باعث تشکیل اسید ضعیف کربنیک شده و متعاقب آن باعث حل شدن خاک فسفات و افزایش قابلیت دسترسی فسفر برای محصول گردیده و بدیت ترتیب تأثیر خاک فسفات را افزایش می‌دهد (Narayanasamy and Biwas, 1998).

ملکوتی و همکاران (۲۰۰۱) نیز گزارش دادند استفاده از خاک فسفات به همراه گوگرد و تیوباسیلوس اگر با مواد آلی همراه شود، حتی می‌تواند مؤثرتر از سوپرفسفات تریپل باشد.

فصل سوم

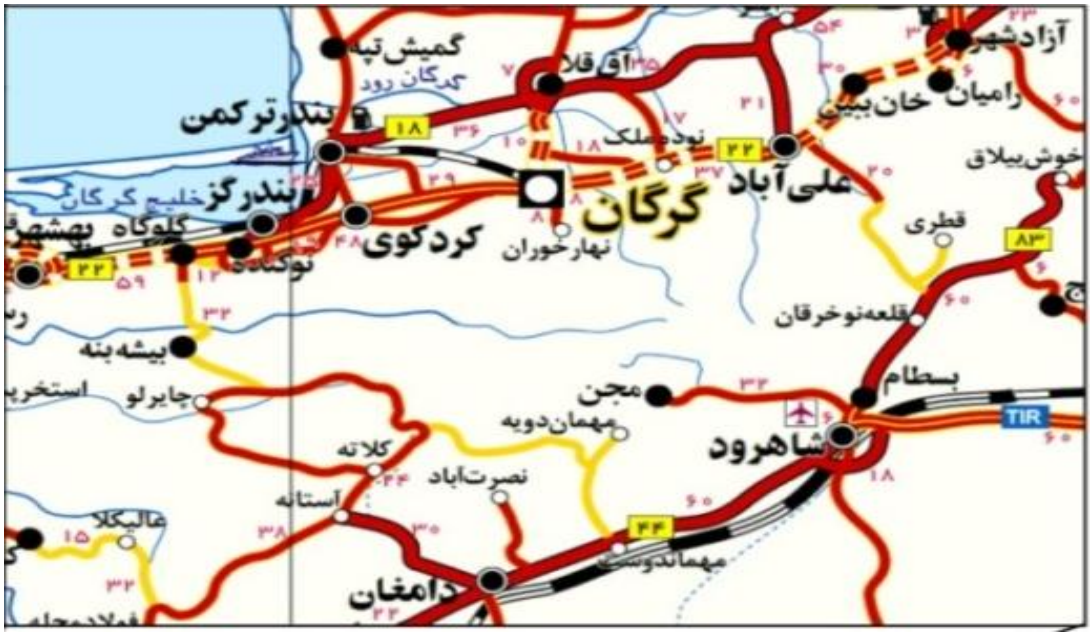
مواد و روش‌ها

۳-۱- زمان و محل انجام آزمایش

این آزمایش در زمستان سال ۱۳۹۱ و در آزمایشگاه دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود انجام شد.

۳-۲- مشخصات منطقه مورد مطالعه

مناطق مورد آزمایش از زمینهای اطراف مجن که قبلاً تحت کشت سیب زمینی بودند انتخاب شد. مجن از نظر تقسیمات کشوری تابع شهرستان شاهرود و استان سمنان می‌باشد. این شهر در فاصله ۳۵ کیلومتری شمال غربی شهر شاهرود و در یک منطقه کوهستانی واقع گردیده است. این شهر دارای عرض شمالی ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه و طول شرقی ۵۴ درجه و ۴۲ دقیقه می باشد و ارتفاع آن از سطح دریا ۲۱۹۶ متر می باشد. میانگین دمای سالیانه در مجن ۱۰/۳ و میانگین بارندگی سالیانه در یک دوره ۲۰ ساله (۸۵-۶۵)، تقریباً ۲۵۰ میلی متر می باشد.



شکل ۳-۱- موقعیت منطقه مجن

۳-۳- برداشت و آماده سازی نمونه‌های خاک

نمونه‌برداری خاک در خرداد ماه ۱۳۹۱ در دو منطقه اطراف مجن به نام‌های درخانیاب و چاه‌شهرداری از عمق ۳۰-۰ سانتی متری خاک انجام شد، از هر منطقه حدود دو و نیم کیلوگرم خاک به صورت یکجا برداشته شد. نمونه‌های خاک پس از انتقال به آزمایشگاه به مدت ۴۸ ساعت در هوا خشک شده و پس از کوبیدن کلوخه‌ها از الک ۲ میلی متری عبور داده شد و آماده آزمایش در آزمایشگاه شد.

جدول۳-۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاکهای مورد مطالعه

خاکها	بافت خاک	pH	EC (dS/m)	سولفات محلول (mg/l)	فسفر محلول (mg/l)	فسفر قابل جذب (mg/kg)
چاه شهرداری	لوم سیلتی	۷/۸۵	۰/۱۷	۳/۹	۳/۴۵	۲۳/۷
درخانیاب	لوم	۷/۷۵	۰/۱۶	۴/۴۵	۴/۸۵	۴۲
خاک فسفات	-	۸/۷	۰/۲۲	-	۱۶۰۰	۳۷۵۰۰۰

۳-۴- مطالعات آزمایشگاهی

این آزمایش در شرایط انکوباسیون و به صورت طرح کاملاً تصادفی با دو نوع خاک و در ۱۰ تیمار و هر تیمار در ۳ تکرار انجام شد. تیمارهای اعمالی شامل گوگرد عنصری، کود سبز (یونجه)، باکتریهای *Thiobacillus neopum* و *Pseudomonas fluorescens* بوده که تیمارها به ترتیب عبارتند از:

C: شاهد (۵۰گرم خاک)

S: گوگرد (به میزان ۰/۵ درصد وزن خاک)

O: کودسبز (به میزان ۲ درصد وزن خاک)

OS: کودسبز + گوگرد

OT: کودسبز + باکتری تیوباسیلوس(به میزان ۰/۰۱ وزن خاک)

OP: کودسبز + باکتری سودوموناس(به میزان ۰/۰۱ وزن خاک)

ST: گوگرد + باکتری تیوباسیلوس

SP: گوگرد + باکتری سودوموناس

OST: کودسبز + گوگرد + باکتری تیوباسیلوس

OSP: کودسبز + گوگرد + باکتری سودوموناس

در خاک چاه شهرداری که میزان فسفر آن نسبت به خاک دیگر (درخانیاب) کمتر است دو سری از این تیمارها تهیه شد به طوری که در یکسری از تیمارها خاک فسفات به هرکدام از ظروف به میزان یک درصد اضافه شد و در سری دیگر از تیمارها خاک فسفات استفاده نشد تا تأثیر خاک فسفات در افزایش فسفر در خاک چاه‌شهرداری همراه با خاک فسفات و بدون خاک فسفات

مشاهده شود. در خاک درخانیاب نیز به دلیل بالا بودن میزان فسفر تیمارها بدون استفاده از خاک فسفات آماده شدند. رطوبت نمونه‌ها با استفاده از آب مقطر به حد۷۰ درصد ظرفیت زراعی رسانده شد و بعد از توزین و یاد داشت وزن آنها، در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد آزمایشگاه نگهداری شدند. به این ترتیب مطالعه با دو نوع خاک منتها سه سری خاک ، ۱۰ تیمار و در ۳ تکرار انجام شد.

۳-۵- نمونه‌برداری جهت آزمایش

هر هفته پس از آماده کردن نمونه‌ها وزن آنها بررسی شده و در صورت کم شدن وزن آنها با استفاده از آب مقطر و به وسیله پی‌پت وزن هر کدام از ظروف به وزن اولیه رسید. پس از گذشت دوره‌های ۵، ۲۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ روزه از هر کدام از ظروف به میزان ۱۰ گرم خاک توزین کرده، آن را هوا خشک کرده و مورد آزمایش قرار گرفت و pH، EC، سولفات محلول، فسفر محلول و فسفر قابل جذب هر کدام اندازه گرفته شد.

۳-۶- اندازه‌گیری pH نمونه‌ها

pH خاک با تهیه سوسپانسیون‌های ۱:۵ خاک به آب مقطر اندازه گیری شد. به این صورت که ابتدا ۸ گرم از نمونه‌های خاکی را با استفاده از ترازوی با دقت ۰/۰۱ توزین کرده و ۴۰ سی‌سی آب مقطر به آن اضافه شد. سپس نمونه‌های آب و خاک را به مدت ۳۰ دقیقه با استفاده از شیکر Labcon3100E تکان داده شد و سپس با استفاده از کاغذ صافی ۴۲ میکرون عصاره‌گیری انجام شده و با pH متر Jenway 3020، pH نمونه ها اندازه گیری شد.

۳-۷- اندازه‌گیری هدایت الکتریکی(EC)

هدایت الکتریکی با تهیه سوسپانسیون‌های ۱:۵ خاک به آب مقطر اندازه گیری شد. به این صورت که پس از عصاره‌گیری از نمونه‌های خاک همان طور که در بالا گفته شد، EC نمونه‌ها با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج مدل Jenway 4010 در دمای عصاره اندازه‌گیری شد، سپس با توجه به برگه مربوط به تصحیح دمایی (رابطه۳-۱) 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 – ۸ - اندازه‌گیری سولفات محلول به روش توربیدمتری

لوازم مورد نیاز؛

شیکر دورانی، اسپکتوفتومتر، ترازو با دقت ۰/۰۰۱ گرم، بالون ژوژه یک لیتری، ۵۰ و ۱۰۰ میلی لیتری ، کاغذ صافی و پی پت ۲۵ میلی لیتری.

مواد مورد نیاز:

- آب مقطر جهت عصاره‌گیری

- کربن اکتیو : کربن اکتیو با محلول عصاره‌گیری شستشو داده شده تا عاری از سولفات گردد و پس از خشک کردن در دمای ۴۰۰ درجه سانتی گراد در ظرف در بسته نگهداری گردید.

محلول استاندارد ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر گوگرد : مقدار ۰/۵۴۳۷ گرم سولفات پتاسیم (K_2SO_4) را توزین و در بالون ژوژه یک لیتری با مقداری آب مقطر حل و به حجم رسید (این محلول باید در یخچال نگهداری شود).

- سری استانداردها : به ترتیب ۰، ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ میلی لیتر از استاندارد ۱۰۰ میلی گرم در لیتر گوگرد را در بالون‌های ۱۰۰ میلی‌لیتری پی‌پت کرده و ۰/۲۵ کربن اکتیو به آن اضافه گردید و با کمی آب مقطر به مدت سه دقیقه شیکر گردید، سپس با همان عصاره گیر آنها را به حجم رسید و صاف شد، به این ترتیب استانداردهای ۰، ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر گوگرد بدست آمد.

- محلول اسید seed (اسید کلریدریک ۶ مولار حاوی ۲۰ میلی گرم بصورت سولفات پتاسیم): این محلول از مخلوط ۵۰ میلی‌لیتر استاندارد ۴۰ میلی‌گرم در لیتر گوگرد با ۵۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک غلیظ تهیه گردید.

۳ – ۸ – ۱ - روش کار

۱- ۸ گرم خاک هوا خشک و عبور داده شده از الک دو میلی متری را در ارلن ۵۰ میلی لیتری ریخته، سپس ۴۰ میلی لیتر محلول عصاره گیری (آب مقطر) به آن اضافه و به مدت ۳۰ دقیقه (۲۰۰ دور در دقیقه) شیکر گردید. ۰/۲۵ گرم کربن اکتیو به هر نمونه اضافه و پس از ۳ دقیقه شیکر با کاغذ صافی صاف گردید.

۲- ده میلی لیتر از عصاره‌های صاف شده و استانداردها به ارلن مایر ۵۰ میلی لیتری ریخته شده و یک میلی لیتر محلول اسید seed به آنها اضافه گردید.

۳- نمونه‌ها را هم زده و ۰/۵ گرم کریستال کلرید باریم به هر یک از آنها اضافه گردید.

۴- بعد از اضافه کردن کلرید باریم، نمونه‌ها را به مدت یک دقیقه به حال خود رها و سپس محلول هم زده شد تا کریستال‌ها کاملاً حل گردد.

۵- در فاصله زمانی ۳ تا ۸ دقیقه، عبور نور با دستگاه اسپکتوفتومتر در طول موج ۴۲۰ نانومتر قرائت گردید.

۶- منحنی عبور نور در مقابل غلظت‌ها رسم و غلظت گوگرد از رابطه زیر بدست آمد

$$SO_4\text{-S mg/kg soil} = A^*2.5 \qquad (۱-۳)$$

$A^{'}$ = غلظت گوگرد قرائت شده بر حسب میلی‌گرم بر لیتر

۳-۹- فسفر قابل جذب خاک به روش اولسن

۳-۹-۱- اصول

نمونه خاک با محلول بیکربنات سدیم pH = ۸/۵ عصاره‌گیری می‌شود. این روش در خاکهای آهکی، قلیایی و خنثی قابل استفاده می‌باشد. غلظت کلسیم در عصاره با راسب شدن کلسیم کاهش و در نتیجه غلظت فسفر در محلول افزایش می‌یابد. در خاکهای اسیدی کربنات به عنوان بافر، حلالیت آلومینیوم و آهن را متوقف می‌نماید و بنابراین غلظت فسفر در محلول را افزایش می‌دهد. فسفر در عصاره خاک به روش اولسن و به کارگیری اسیدآسکوربیک به عنوان ماده احیاءکننده به طریق کالریمتری اندازه‌گیری می‌شود.

۳-۹-۲- اندازه‌گیری

مواد شیمیایی مورد نیاز:

۱- محلول عصاره‌گیری بیکربنات سدیم نیم مولار pH = ۸/۵

۴۲ گرم بیکربنات سدیم را در یک لیتر آب مقطر حل و pH آن را با سود یک مولار روی ۸/۵ تنظـیم می‌نمائیم. در صورت تجاوز pH از ۸/۵ می‌توان از محلول بیکربنات سدیم نیم مولار برای پایین آوردن آن استفاده نمود.

۲- اسید سولفوریک ۲/۵ مولار– ۱۴۸ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک را به آرامی به آب مقطر در ضمن بهم زدن اضافه کرده، بعد از سرد شدن حجم را به ۱۰۰۰ میلی‌لیتر می‌رسانیم.

۳- آمونیوم مولیبدات ۲/۵ میلی مولار – ۱۲ گرم آمونیوم مولیبدات در ۲۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر

۴- پتاسیم آنتیمونی تارتارات ۰/۰۴۳ میلی مولار – ۰/۲۹۱ گرم پتاسیم آنتیمونی تارتارات در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر

۵- محلول مخلوط (Reagent A)

از مخلوط کردن محلول‌های بالا به میزان نصف آنها بدست می‌آید، سپس با آب مقطر آن را به حجم یک لیتر می‌رسانیم.

۶- اسیدآسکوربیک ۱/۱۸ میلی مولار (Reagent B)- ۱/۰۵۵۶ گرم اسیدآسکوربیک را در ۲۰۰ میلی‌لیتر Reagent A حل می‌نمائیم، این محلول روزانه باید تهیه شود.

۷- محلول استاندارد ppm ۵۰۰ فسفر – مقدار ۱/۰۹۸۴ گرم پتاسیم دی هیدروژن فسفات در پانصد میلی‌لیتر آب مقطر

۸- سری استانداردها – از محلول ppm ۵۰۰ فسفر به ترتیب ۲۰، ۱۰، ۵، ۲، ۱، ۰/۲، ۰/۱۵، ۰/۱، ۰/۰۲ و ۰/۰۱ میلی‌لیتر برداشته، با بیکربنات سدیم به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر می‌رسانیم (با توجه به غلظت فسفر در هر منطقه می‌توان غلظت استانداردها را تغییر داد). برای استاندارد صفر از بیکربنات

سدیم استفاده می‌شود. این محلول‌ها دارای ppm ۱۰۰، ۵۰، ۲۵، ۱۰، ۵، ۱، ۰/۷۵، ۰/۵، ۰/۱ و ۰/۰۵ فسفر می‌باشد.

۳-۹-۳- روش کار

یک گرم از نمونه خاک همراه با ۰/۰۲ گرم زغال فعال به لوله ۵۰ میلی‌لیتری منتقل و سپس ۲۰ میلی‌لیتر از محلول عصاره‌گیری بیکربنات سدیم را به آن اضافه نمودیم، بعد از نیم ساعت شیکر بلافاصله با کاغذ صافی شماره ۴۲ صاف شد. بعد از صاف شدن نمونه‌ها به ترتیب ۲، ۰/۶ و ۰/۶ میلی‌لیتر از آب مقطر و استانداردها و Reagent B را با استفاده از پیپتور به کووت منتقل و بعد از کامل شدن رنگ آبی با دستگاه اسپکتروفتومتر روی طول موج ۸۸۲ نانومتر قرائت نمودیم.

۳-۱۰- اندازه گیری فسفر محلول خاک

برای اندازه‌گیری فسفر محلول نیز از همان روش بالا (اولسن) استفاده شد با این اختلاف که برای عصاره گیری به جای بیکربنات سدیم از آب مقطر استفاده شد و همه مراحل بالا تکرار شد.

۳-۱۱- تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

کلیه داده‌های به دست آمده از آزمایشات با استفاده از نرم افزار SAS انجام شد. برای رسم شکل ها از نرم افزار Excel استفاده شد و مقایسه میانگین‌ها با آزمون حداقل اختلاف معنی دار (LSD) و در سطح ۵ درصد انجام گرفت و در انتها با استفاده از نرم افزار Visual minteq کانیهای کنترل کننده فسفر در تیمارها تعیین گردید.

فصل چهارم

نتایج و بحث

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

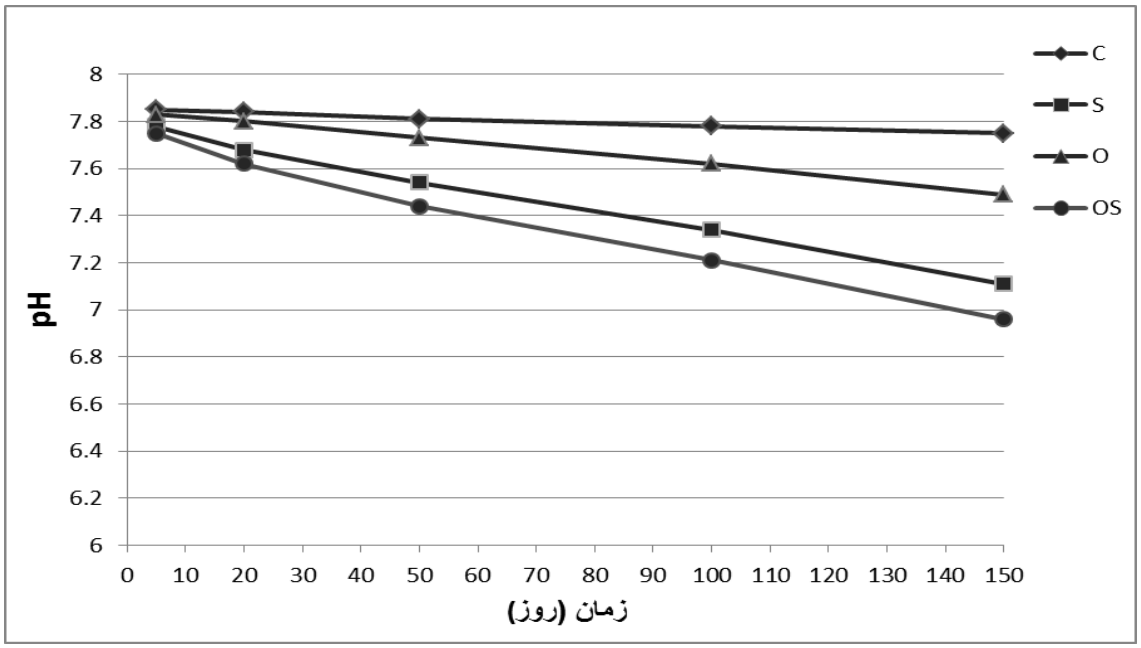
واکنش خاک (pH) از مهمترین عوامل در تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان به ویژه فسفر می-باشد. اثر pH خاک به دو شیوه، اثر مستقیم pH در میزان حلالیت عناصر مغذی گیاه در خاک و اثر غیر مستقیم pH بر فعالیت موجودات ذره‌بینی و جذب سطحی عناصر توسط ریشه، در عملکرد گیاهان زراعی مؤثر می‌باشد. مناسبترین pH برای حلالیت اکثر عناصر غذایی، به ویژه فسفر، بین ۶ تا ۷ است (ملکوتی و نفیسی، ۱۳۸۴).

نتایج حاصل از تجزیه‌ی واریانس در خاک چاه شهرداری همراه با خاک فسفات (جدول پیوست ۴-۱) نشان داد که اثر تیمار کودی و تیمار زمان و همچنین اثر متقابل تیمار کودی در زمان در سطح ۱ درصد برای pH معنی‌دار بود.

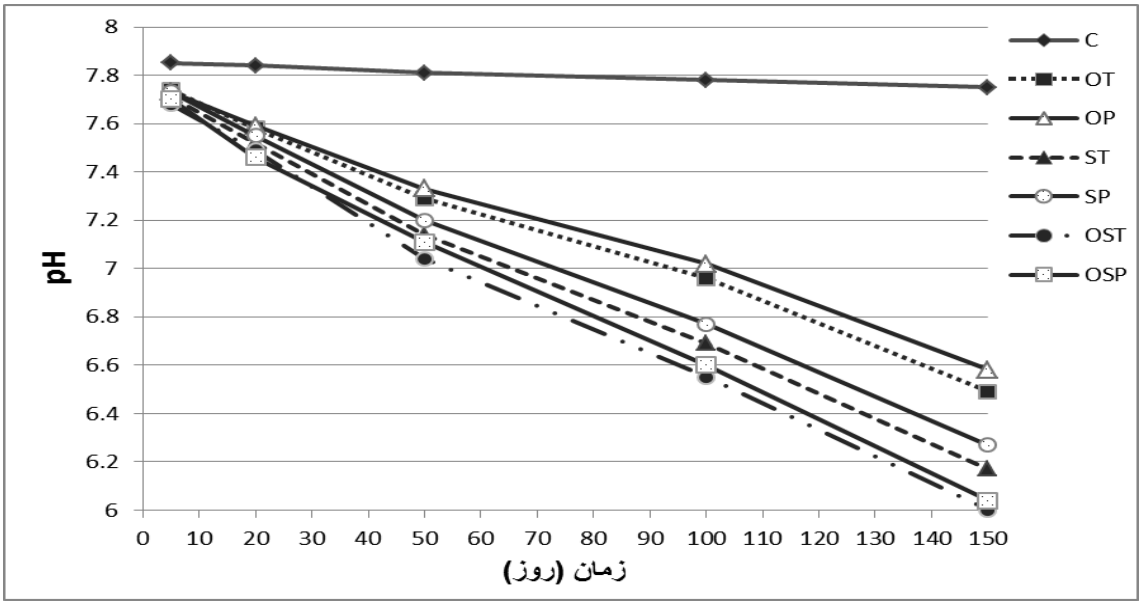
شکلهای ۴-۱ و ۴-۲ اثر تیمارها بر pH خاک چاه شهرداری همراه با خاک فسفات در طول زمان نگهداری نمونه‌ها را نشان می‌دهد. pH سوسپانسیون ۱:۵ خاک به آب این نمونه خاک برابر با ۷/۸۵ بوده که نشاندهنده قلیایی بودن خاک است (جدول ۳-۱) و در طول زمان با به کارگیری تیمارهای کودی pH این خاک کاهش یافته است، میزان کاهش و تغییر pH نسبت به زمان متغیر بوده است به صورتی که با گذشت زمان pH بسته به نوع تیمارهای کودی به میزان بیشتری نسبت به دوره زمانی قبلی کاهش یافته است که نشان دهنده ایجاد شرایط مناسب‌تر در طول زمان برای تأثیر تیمارهای کودی بوده است. با توجه به شکل ۴-۲ مشاهده می‌شود که به بیشترین تغییرات pH در طول زمان مربوط به دوره‌های ۱۰۰ و ۱۵۰ روز می‌باشد که در مقایسه با تیمار شاهد (C) کاهش قابل توجهی را داشته است. همان طور که مشاهده می‌شود دوره‌های ۵ و۲۰ روزه کمترین تأثیر را در کاهش pH دارا بوده‌اند که می‌تواند به دلیل فعالیت کم باکتریها و کندی اکسیداسیون بوده باشد و کاهش pH خاک باید در دراز مدت انجام شود. شکل ۴-۱ نشان می‌دهد که تیمارها تأثیر کمتری را در کاهش pH در مقایسه با تیمارهای شکل ۴-۲ داشته‌اند که می‌تواند مربوط به تأثیر بهتر باکتریهای افزوده شده در

تیمارهای مذکور باشد لذا باکتریها سبب افزایش اسیدیته خاک و در نتیجه کاهش شدیدتر pH شده است. پس از تیمار C، تیمار کود سبز (O) کمترین کاهش pH را در طول ۱۵۰ روز داشته است که دلیل آن کند بودن سرعت تجزیه آن بوده است. مواد آلی حاوی اسیدهای ضعیف آلی می‌باشد که افزودن مستقیم این مواد به خاک نیز باعث ایجاد تغییرات خیلی کم در واکنش خاک می‌شود (آجودان زاده، ۱۳۸۴). در این نمونه خاک pH در کمترین حالت خود نسبت به تیمار شاهد به میزان ۱/۸۵ واحد کاهش یافت که مربوط به تیمار حاوی گوگرد و کودسبز به همراه باکتری تیوباسیلوس (OST) و دوره ۱۵۰ روز بود که می‌توان دلیل آن را اکسیداسیون گوگرد توسط تیوباسیلوس، تجزیه کود سبز و تولید ترکیبات اسیدزا و کاهش pH بیان کرد. ژی هیو و همکاران (۲۰۱۰)، گارسیا و همکاران (۲۰۰۷) با کاربرد گوگرد به همراه باکتری تیوباسیلوس گزارش دادند که میزان pH خاک به نحو قابل ملاحظه‌ای در مقایسه با تیمار شاهد کاهش یافت.

مقایسه تیمارها با توجه به نمودارها نشان می‌دهد که تیمار شاهد پس از ۱۵۰ روز، pH را تنها ۰/۱ واحد کاهش داد. با اعمال باکتریهای تیوباسیلوس و سودوموناس به کود سبز (OT، OP) ، pH به ترتیب به میزان ۱ و ۰/۹ واحد نسبت به تیمار O در آخرین دوره نمونه برداری کاهش یافت که نشان از تأثیر این باکتریها و تولید اسیدهای حاصل از آنها در سرعت بخشیدن تجزیه کود سبز بوده است. در تیمار S به تنهایی pH را ۰/۶۴ واحد نسبت به تیمار C کاهش داد که با تلقیح باکتری های تیوباسیلوس و سودوموناس به آن (ST، SP)، این میزان کاهش به ترتیب به ۱/۵۸ و ۱/۴۸ واحد رسید که مربوط به افزایش واکنش اکسیداسیون در حضور باکتریها بوده است. نتایج تحقیقات رضاپور و صمدی (۱۳۸۲) نیز نشان داد که کاربرد گوگرد عنصری باعث کاهش pH خاک معادل ۰/۷۳ واحد شد. باید یادآور شد که باکتری سودوموناس اختلاف کمی را با باکتری تیوباسیلوس در کاهش pH داشت.



شکل ۴-۱- اثر تیمارها و زمان بر pH خاک چاه شهرداری همراه با خاک فسفات مربوط به تیمارهای بدون باکتری



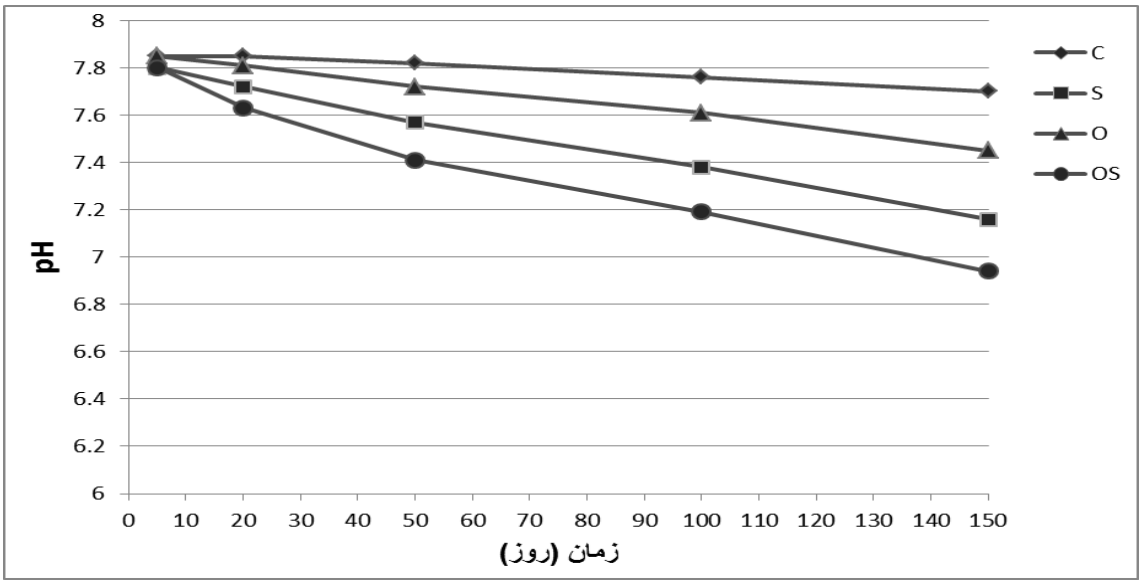
شکل۴-۲- اثر تیمارها و زمان بر pH خاک چاه شهرداری همراه با خاک فسفات مربوط به تیمارهای حاوی باکتریها

نتایج حاصل از تجزیه‌ی واریانس در خاک چاه شهرداری بدون خاک فسفات (جدول پیوست ۴-۲) نشان داد که اثر تیمار کودی و تیمار زمان و همچنین اثر متقابل تیمار کودی در زمان در سطح ۱ درصد برای pH معنی‌دار بود.

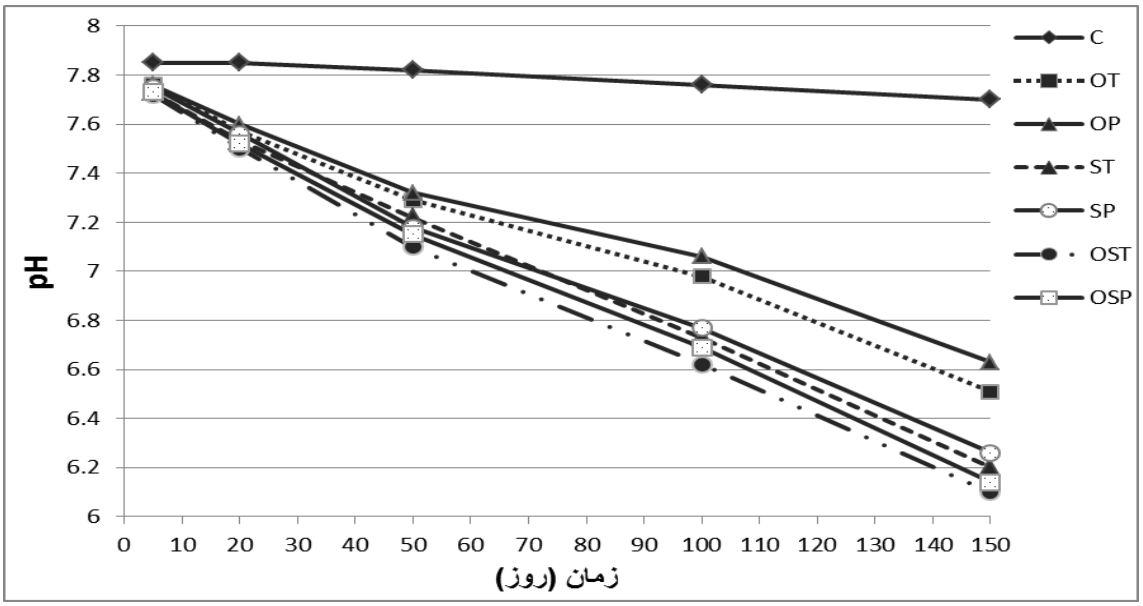
شکل ۴-۳ و ۴-۴ اثر تیمارها بر pH خاک چاه شهرداری بدون خاک فسفات در طول زمان نگهداری نمونه‌ها را نشان می‌دهد. در زمانهای ۵ و ۲۰ روزه کاهش کمتری در pH مشاهده می‌شود که نشان دهنده عدم وجود شرایط مناسب برای فعالیت باکتریها، اکسیداسیون و تجزیه کود سبز در این دوره‌ها است. با گذر زمان تیمارهای کودی تأثیر بیشتری را در کاهش pH داشته‌اند با این تفاوت که در این خاک pH در تیمارهای OST و گوگرد و کودسبز به همراه باکتری سودوموناس (OSP) در دوره ۱۵۰ روز در مقایسه با خاک قبلی به میزان کمتری کاهش داشته است. بیشترین میزان کاهش pH مربوط به تیمار OST بود که به میزان ۱/۷۵ واحد کاهش یافت که بیشترین تأثیر تیمارهای کودی در دوره ۱۵۰ روز را نشان می‌دهد. یکی دیگر از دلایل کاهش pH به غیر از اکسیداسیون گوگرد می‌تواند به دلیل تجزیه کود سبز باشد. با افزایش ماده آلی و تجزیه آن در خاک، CO_2 تولید شده و در اثر حل شدن این گاز در آب خاک، اسید کربنیک تولید می‌شود که باعث کاهش pH می‌شود (آجودان زاده، ۱۳۸۴).

با مقایسه تیمارهای مربوط به خاک چاه شهرداری بدون خاک فسفات با توجه از نمودارها می‌توان دریافت که تیمار O در دوره ۱۵۰ روزه در مقایسه با تیمار C، pH را فقط به میزان ۰/۲۶ واحد کاهش داد که نشان می‌دهد حتی با گذشت ۱۵۰ روز این تیمار تأثیر قابل ملاحظه‌ای را در کاهش pH نداشته است. تیمارهای OT و OP در مقایسه با تیمار C در دوره ۱۵۰ روزه pH را به میزان ۱/۳۶ و ۱/۲۲ واحد کاهش دادند که دلیل آن می‌تواند فعالیت باکتریها در سرعت بخشیدن به تجزیه کود سبز باشد. تیمارهای ST و SP در مقایسه با تیمار شاهد pH را به ترتیب ۱/۶۸ و ۱/۵۸ واحد کاهش دادند. در حالی که تیمار S، pH را به میزان ۰/۷۴ واحد کاهش داد که در این تیمارها اکسیداسیون گوگرد

توسط باکتریها صورت گرفته که باکتریها با ترشح اسیدهای آلی باعث کاهش بیشتری در pH می-شوند.



شکل ۴-۳- اثر تیمارها و زمان بر pH خاک چاه شهرداری بدون خاک فسفات مربوط به تیمارهای بدون باکتری



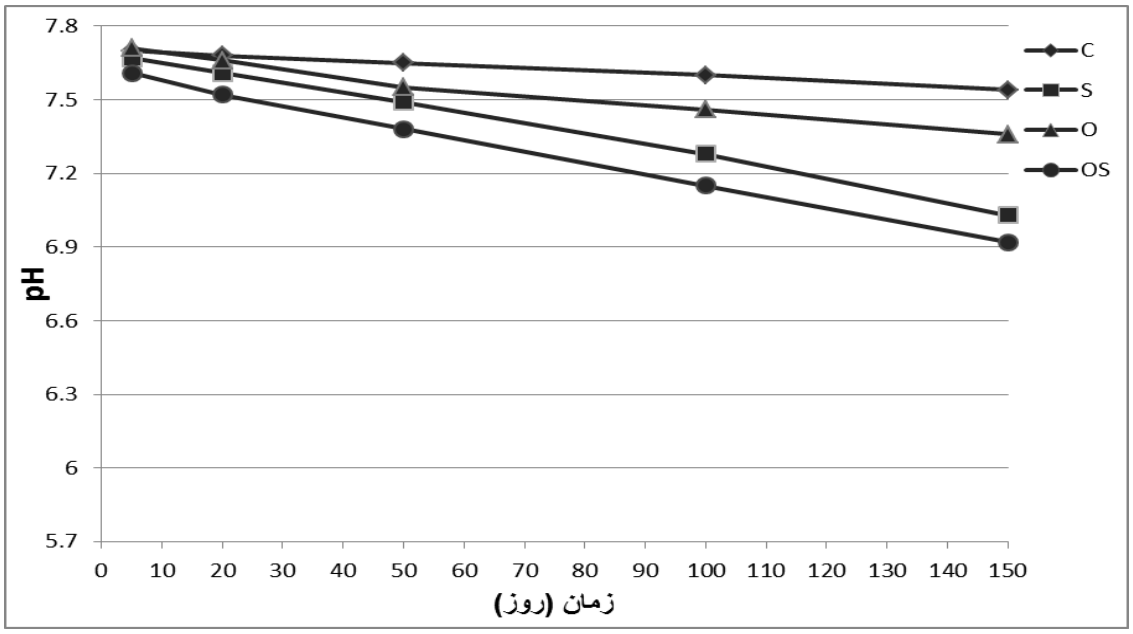
شکل ۴-۴- اثر تیمارها و زمان بر pH خاک چاه شهرداری بدون خاک فسفات مربوط به تیمارهای حاوی باکتریها

نتایج حاصل از تجزیه‌ی واریانس در خاک درخانیاب (جدول پیوست ۴-۳) نیز معنی‌دار بودن اثر تیمار کودی و تیمار زمان و همچنین اثر متقابل تیمارکودی در زمان در سطح ۱ درصد برای pH را نشان می‌دهد.

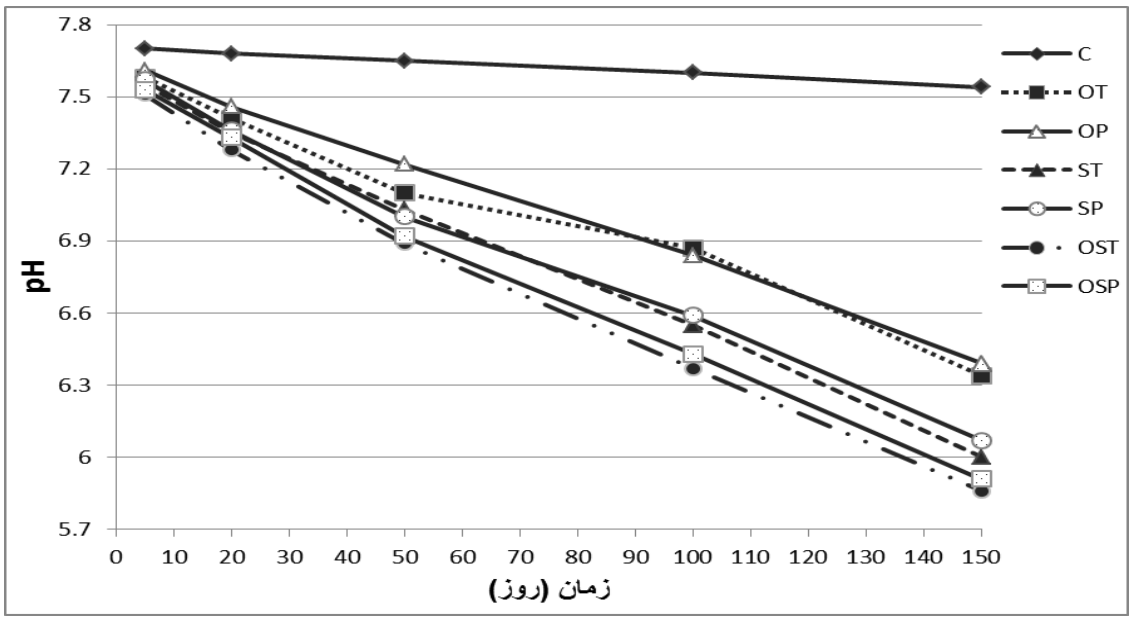
شکل ۴-۵ و ۴-۶ اثر تیمارها بر pH خاک درخانیاب در طول زمان نگهداری نمونه ها را نشان می‌دهد که روند کاهشی داشته است و این روند در بازه زمانی ۵ و۲۰ روزه و در تیمارهای شکل ۴-۵ زیاد چشمگیر نبوده است. pH سوسپانسیون ۱:۵ خاک به آب این نمونه خاک برابر با ۷/۷ بوده (جدول پیوست ۳-۱) که میزان قلیایی بودن آن از نمونه خاک چاه شهرداری کمتر بوده است. در این نمونه خاک نیز اعمال تیمارهای کودی باعث کاهش pH در طول دوره‌های زمانی شده است و در این نمونه خاک pH به کمترین مقدار رسیده است و بیشترین میزان کاهش در دوره زمانی ۱۵۰ روز و تیمار OST دیده شد که به میزان ۱/۸۵ واحد کاهش داشت که دلیل آن می‌توان ناشی از تأثیر تیوباسیلوس بر آزاد سازی یون H^+ در خاک طی اکسیداسیون گوگرد، تجزیه کود سبز باشد. این میزان کاهش با مقدار کاهش pH در خاک چاه شهرداری همراه با خاک فسفات برابر بوده است. اخوان و فلاح (۱۳۹۰) با بررسی تأثیر گوگرد و مایه تلقیح باکتری بر تیوباسیلوس pH و فسفر قابل جذب بیان کردند اثر ساده باکتری و اثر ساده گوگرد و اثر متقابل باکتری و گوگرد در کاهش pH در سطح ۱ درصد معنی-دار بود و pH خاک در مقایسه با خاک اولیه ۱/۰۵ واحد کاهش یافت.

با توجه به نمودار و مقایسه تیمارها مشاهده می‌شود که تیمار OSP، pH را در مقایسه با تیمار C، ۱/۷۹ واحد کاهش داشته که این میزان کاهش در سایر تیمارهای حاوی باکتری سودوموناس (SP و OP) به ترتیب ۱/۶۳ و۱/۳۱ واحد رسید که نشان از ترشح اسیدهای حاصله توسط این باکتری و اثر مثبت آن در تجزیه کود سبز و مؤثر بودن این باکتری در اکسیداسیون گوگرد و کاهش pH دارد. در تیمارهای حاوی باکتریها مشاهده می‌شود که باکتری تیوباسیلوس به نسبت تأثیر بیشتری در کاهش

pH در مقاسیه با باکتری سودوموناس در هر سه نوع خاک داشته است به دلیل اختصاصی عمل کردن این باکتری در اکسیداسیون گوگرد و کاهش pH است.



شکل ۴-۵- اثر تیمارها و زمان بر pH خاک درخانیاب مربوط به تیمارهای بدون باکتری



شکل ۴-۶- اثر تیمارها و زمان بر pH خاک درخانیاب مربوط به تیمارهای حاوی باکتریها

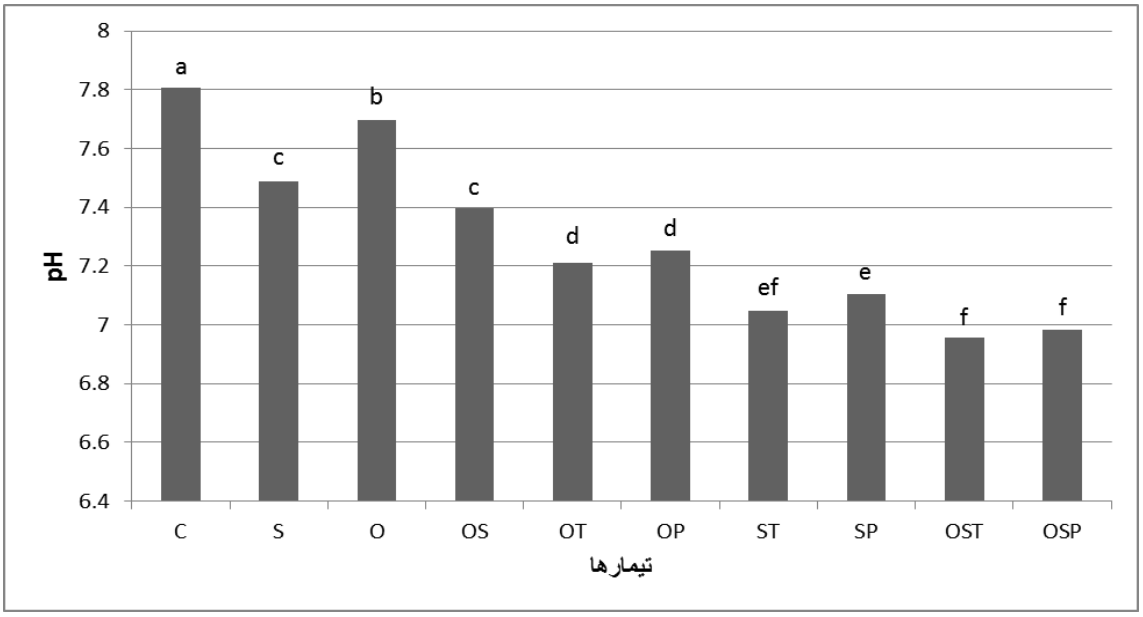
۴-۲- میانگین اثر تیمارها بر pH خاکها

میانگین اثر تیمارها بر pH خاک چاه شهرداری همراه با خاک فسفات (شکل ۴-۷) نشان می‌دهد که با اعمال تیمارهای کودی کاهش pH دیده شده است. می‌توان گفت که همه تیمارها اختلاف معنی-داری را در مقایسه با تیمار شاهد نشان دادند و بیشترین اختلاف معنی‌دار را تیمارهای OST و OSP داشتند که میانگین pH را در مقایسه با تیمار C، به ترتیب ۰/۸۲ و ۰/۸۵ کاهش دادند که دلیل آن فعالیت باکتریها و دخالت آنها در واکنش اکسیداسیون گوگرد و تجزیه کود سبز است. تیمارهای S و OS و همچنین تیمارهای OT و OP نیز اختلاف معنی‌داری درکاهش pH با همدیگر نداشتند ولی دیده می‌شود که در تیمارهای حاوی گوگرد میانگین pH به میزان بیشتری کاهش داشته است که با تلقیح باکتریها این میزان کاهش بیشتر بوده که دلیل آن انجام فرایند بیولوژیکی اکسیداسیون گوگرد در حضور باکتریها بوده که سرعت انجام این فرایند بیشتر از فرایند شیمیایی اکسیداسیون تیمار گوگرد به تنهایی در خاک است و در نتیجه pH در فرایند بیولوژیک بیشتر کاهش می‌یابد.

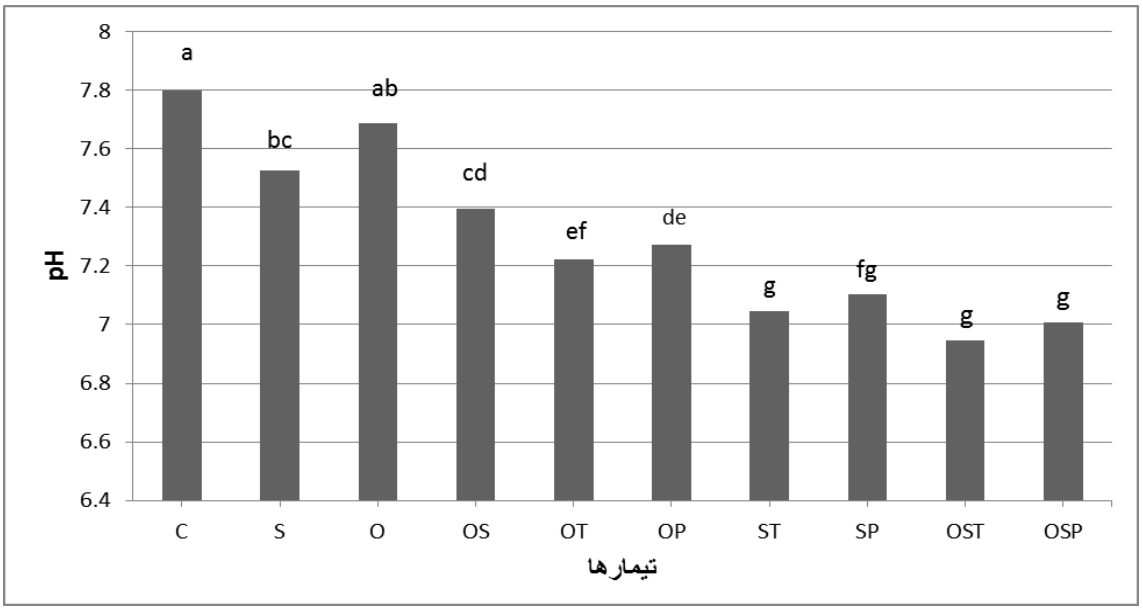
میانگین اثر تیمارها بر pH در خاک چاه شهرداری بدون خاک فسفات (شکل ۴-۸) نیز نشان می‌دهد که همه تیمارها اختلاف معنی‌داری را در کاهش میانگین pH در مقایسه با تیمار C نشان دادند و بیشترین میزان کاهش در pH، مربوط به تیمارهای OST و OSP بوده که میزان کاهش میانگین در آنها در مقایسه با تیمار C به ترتیب ۰/۸۵ و ۰/۷۹ واحد بوده است. با مشاهده اشکال مربوط به میانگین اثر تیمارها بر pH این خاک با خاک قبلی می‌توان دریافت تغییرات pH آنها اختلاف چندانی با هم ندارد که نشان دهنده این است که خاک فسفات تأثیری در کاهش pH در خاک قبلی نداشته است.

میانگین اثر تیمارها بر pH در خاک درخانیاب (۴-۹) نشان می‌دهد که بیشترین میزان کاهش در pH مربوط به تیمار OST بوده است. در این خاک به جز تیمار O، که اختلاف معنی داری را با تیمار C در کاهش میانگین نداشت، بقیه تیمارها اختلاف معنی داری را با تیمار C نشان دادند. کود سبز به

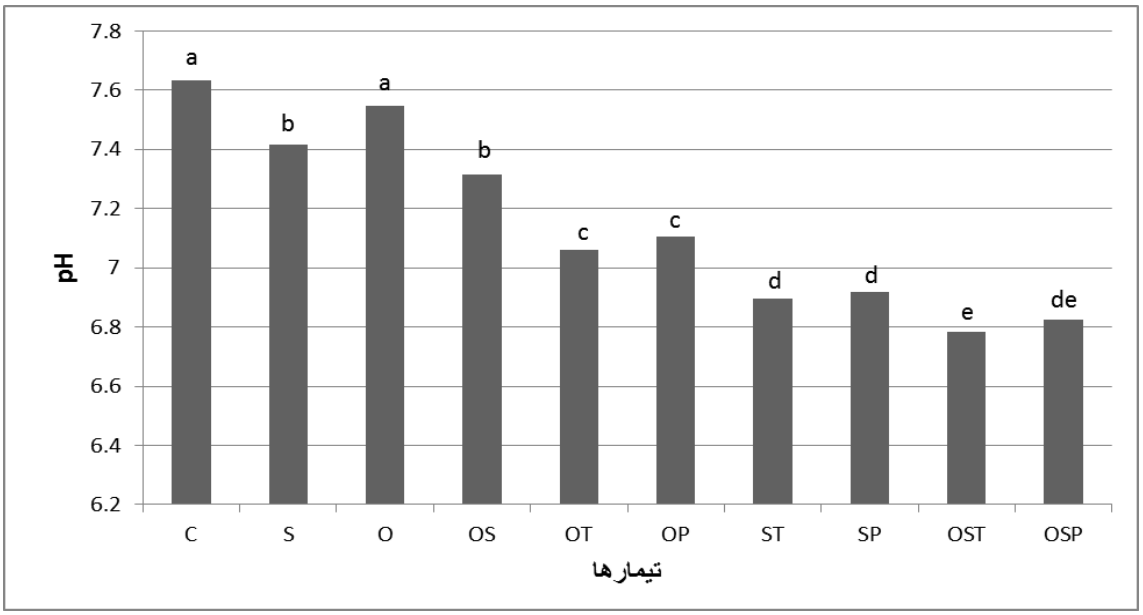
تنهایی تأثیر کمی را در کاهش pH داشت، که دلیل آن سرعت کم تجزیه شیمیایی بوده است. در مقایسه تیمارها مشخص شد که تیمارهای S و OS، OT و OP، ST وSP باهم اختلاف معنی‌داری را در کاهش میانگین pH نشان ندادند. در تیمارهای بدون باکتری، گوگرد تأثیر بیشتری را در مقایسه با کود سبز داشته است. حیدرنژاد و همکاران (۱۳۹۰) با بررسی میزان اکسیداسیون و آزاد شدن برخی عناصرغذایی دریافتند که میزان pH قبل از تیمار با گوگرد دارای میانگین ۷/۸۷۹ بوده که پس از تیمار با گوگرد به میانگین ۶/۵۹۱ کاهش یافت. کاهش pH خاک در اثر مصرف گوگرد توسط (Muharrem et al., 2009) نیز گزارش شده است.



شکل ۴-۷- میانگین اثر تیمارها بر pH خاک چاه شهرداری همراه با خاک فسفات



شکل ۴-۸- میانگین اثر تیمارها بر pH خاک چاه شهرداری بدون خاک فسفات



شکل ۴-۹- میانگین اثر تیمارها بر pH خاک درخانیاب

۴-۳- اثر تیمارها و زمان نگهداری بر EC خاکها

نتایج حاصل از تجزیه‌ی واریانس خاک چاه شهرداری همراه با خاک فسفات (جدول پیوست ۴-۱) نشان داد که اثر تیمار کودی و تیمار زمان در سطح ۱ درصد برای EC معنی‌دار بود. شکل ۴-۱۰ و ۴-۱۱ اثر تیمارها بر EC خاک چاه شهرداری همراه با خاک فسفات و تغییرات آن در طول زمان نگهداری نمونه‌ها را نشان می‌دهد که اعمال تیمارهای کودی در طول زمان باعث افزایش EC شده است که بسته به تیمارها این افزایش اختلاف داشته است. اولین افزایش قابل توجه در EC با افزایش گوگرد مشاهده شد. با توجه به شکل ۴-۱۰ مشاهده می‌شود که تیمارهای S و OS در مقایسه با تیمار O تأثیر بیشتر را در افزایش EC داشته‌اند که دلیل آن وجود خود عنصر گوگرد بوده که عامل اصلی افزایش EC بوده است. لازمه افزایش EC توسط کود سبز آزاد سازی گوگرد موجود در آن است که این پروسه زمان‌بر است در نتیجه در مقایسه با گوگرد EC را به میزان کمتری افزایش می‌دهد که مفید بوده و خاک را به میزان کمتری شور می‌کند. با اعمال باکتری به گوگرد و کود سبز در شکل ۴-۱۱ مشاهده می‌شود که EC به میزان بیشتری افزایش داشته است. در تیمارهای حاوی کود سبز و باکتریها (OP ، OT) می‌بینیم که EC در مقایسه با تیمار کود سبز به تنهایی (O) به میزان بیشتری افزایش یافته و دلیل آن دخالت باکتریها در تجزیه کود سبز و آزاد سازی گوگرد موجود در آن می-باشد. در تیمارهای حاوی گوگرد با تلقیح باکتری، EC به میزان بیشتری بالا رفته که دلیل آن افزایش سرعت اکسیداسیون گوگرد توسط باکتریها بوده است. در همه تیمارها بیشترین افزایش مربوط به ۵۰ روز آخر انکوباسیون بوده است. در نهایت بیشترین میزان افزایش EC مربوط به تیمار OST و دوره ۱۵۰ روزه بود که دلیل آن را می‌توان سرعت بالای اکسیداسیون گوگرد توسط باکتری تیوباسیلوس در این تیمار و وجود کود سبز و تجزیه آن توسط باکتریها دانست. افزایش هدایت الکتریکی خاک با اکسیداسیون ترکیبات گوگرد مرتبط است که سبب تولید اسید سولفوریک می‌گردد. اسید حاصل

سبب انحلال بیشتر کربنات کلسیم و تولید گچ نموده که میزان شوری خاک را افزایش می‌دهد (Velarde et al., 2004 ؛Slaton et al.,2001).

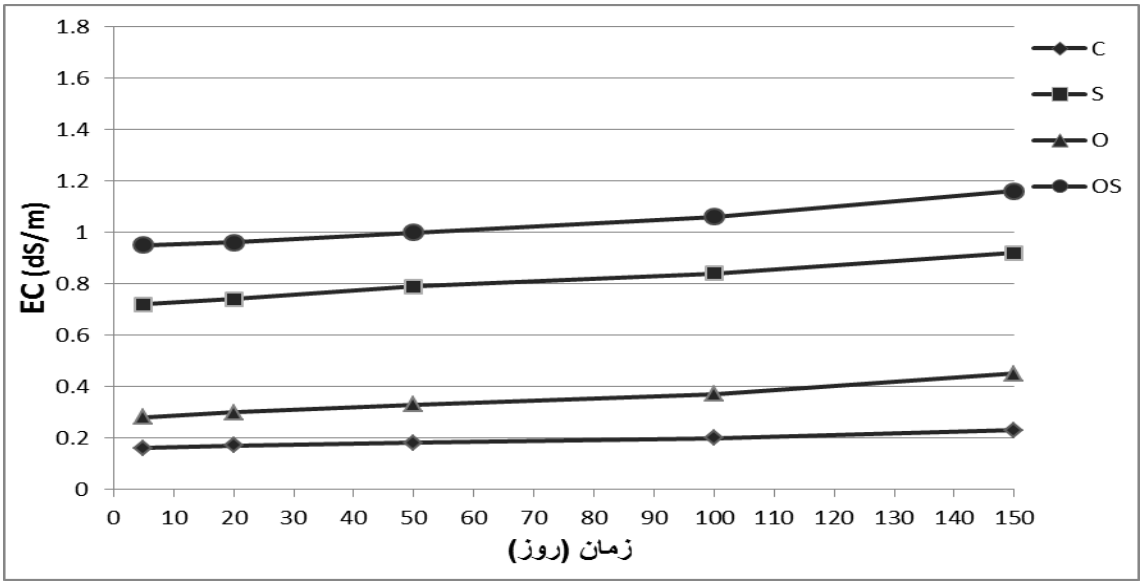
با توجه به اشکال دیده می‌شود که تیمار OSP در دوره ۱۵۰ روزه EC را در مقایسه با تیمار C، ۱/۳۱دسی زیمنس بر متر بیشتر افزایش داد. کمترین میزان افزایش بعد از تیمار C مربوط به تیمار O بود که EC را در دوره ۱۵۰ روزه تنها ۰/۲۲ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به تیمار C افزایش داد.

نتایج حاصل از تجزیه‌ی واریانس خاک چاه شهرداری بدون خاک فسفات (جدول پیوست ۴-۲) نشان داد که اثر تیمار کودی و تیمار زمان و همچنین اثر متقابل تیمارکودی در زمان در سطح ۱ درصد برای EC معنی‌دار بود. شکلهای ۴-۱۲ و ۴-۱۳ اثر تیمارها بر EC خاک چاه شهرداری بدون خاک فسفات و تغییرات آن در طول زمان نگهداری نمونه‌ها را نشان می‌دهند. در این خاک نیز بیشترین افزایش در EC مربوط به تیمار OST بود که EC را در دوره ۱۵۰ روز به ۱/۶۴ دسی‌زیمنس بر متر رساند که در مقایسه با تیمار C، EC را ۱/۴۳ دسی‌زیمنس بر متر افزایش داد. تیمارهایی که فقط در نوع باکتری باهم فرق دارند می‌توان گفت که تقریباً اثر مشابهی را در افزایش EC داشته اند که نشان از تأثیر یکسان باکتریها در اکسیداسیون گوگرد و تجزیه کود سبز دارد.

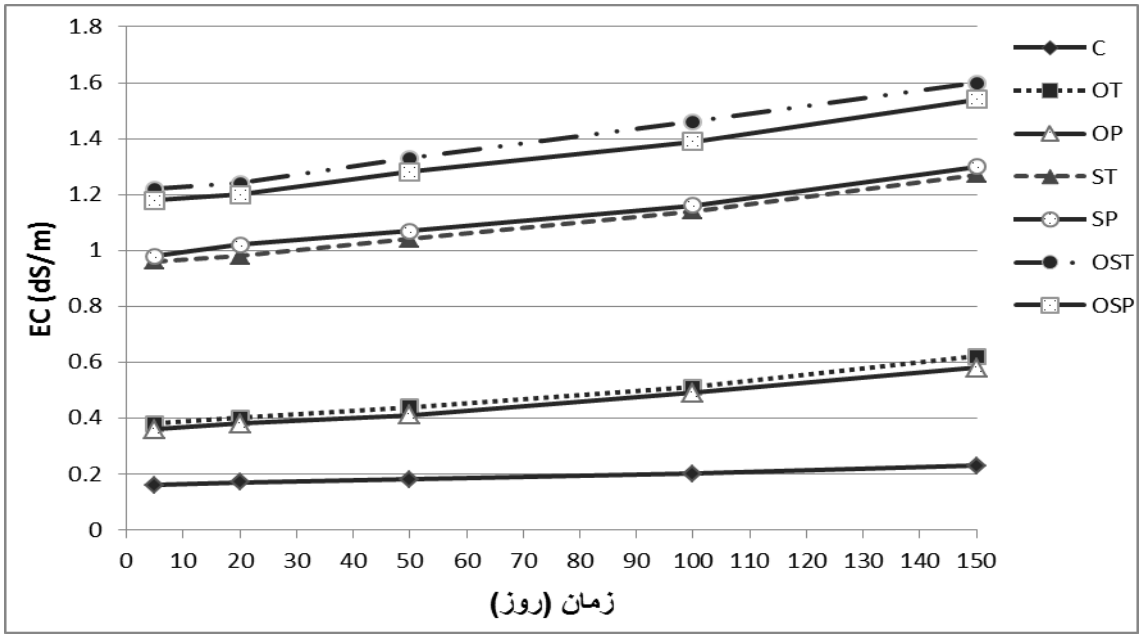
گوگرد عامل اصلی در افزایش EC در این خاکها است. تیمار S و OS در مقایسه با تیمار شاهد باعث افزایش EC به مقدار ۰/۷۶ و ۱ دسی‌زیمنس بر متر شد. خادم و همکارانش (۱۳۹۰) با بررسی اثر کاربرد گوگرد بر قابلیت جذب عناصر غذایی مشاهده کردند که سطوح گوگرد اثر معنی داری بر شوری خاک دارد و با افزایش گوگرد، شوری خاک به شدت افزایش می‌یابد به طوری که تیمار حاوی بیشترین میزان گوگرد بیشترین شوری (۴/۵۲۴ دسی زیمنس بر متر) و تیمار شاهد کمترین شوری (۱/۵۴۱ دسی زیمنس بر متر) را داشت.

تیمار S در دوره ۱۵۰ روز EC را به ۰/۷۶ دسی‌زیمنس بر متر رساند که دلیل آن اکسیداسیون گوگرد و تولید یون سولفات می باشد که از یک طرف ورود این یون در محلول خاک موجب شور شدن خاک

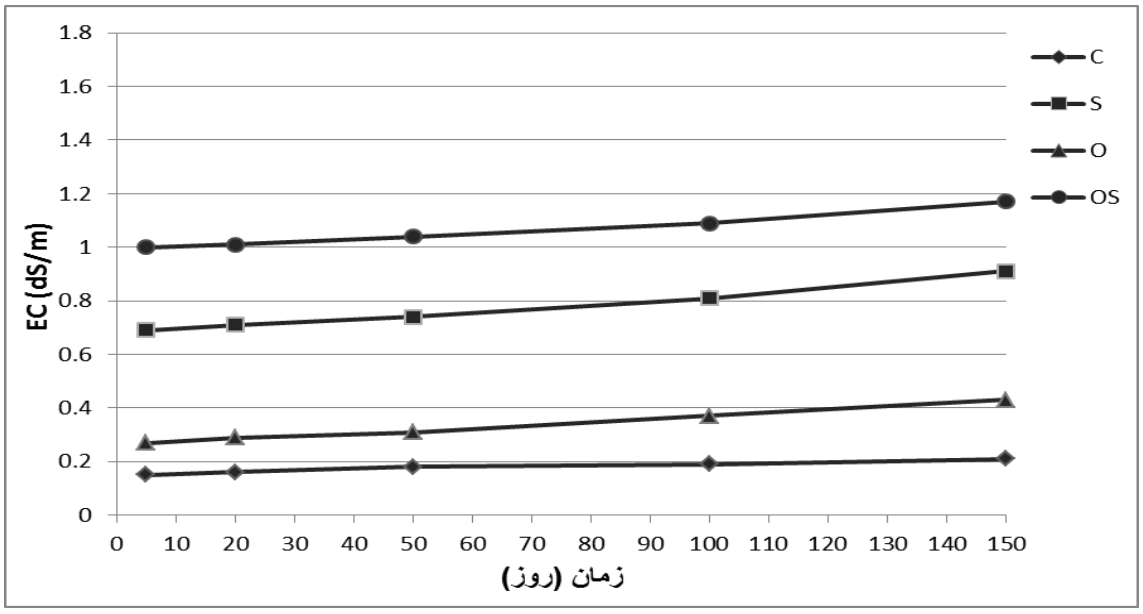
شده و یا به طور غیر مستقیم با کاهش pH و انحلال ترکیبات آهکی و آهن و آلومینیوم بر شوری خاک می‌افزاید (جعفرلو، ۱۳۸۵).



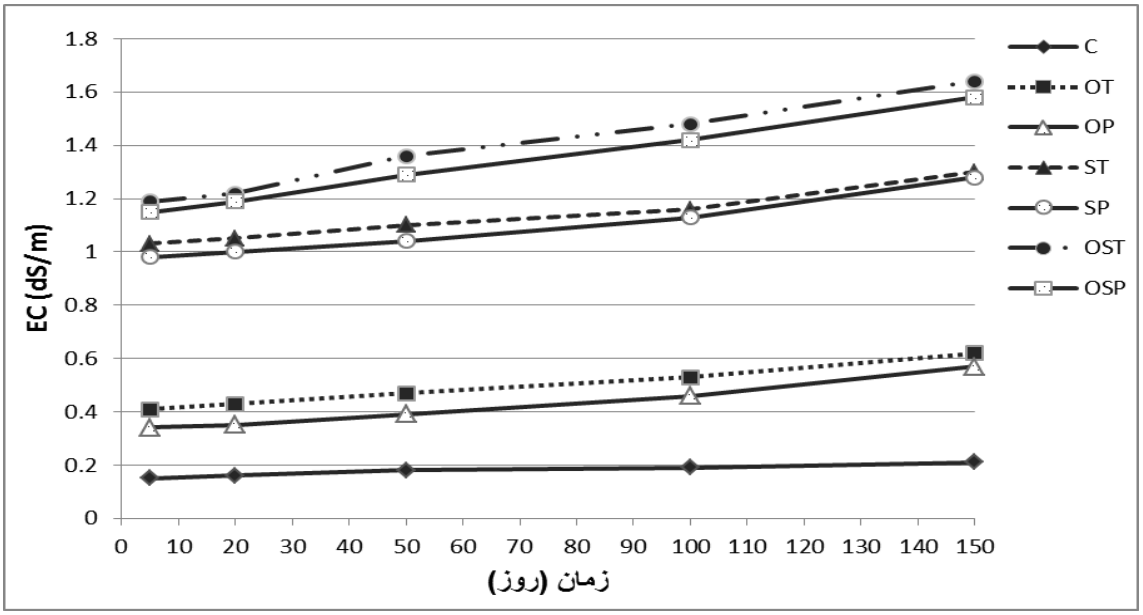
شکل ۴-۱۰- اثر تیمارها و زمان بر EC خاک چاه شهرداری همراه با خاک فسفات مربوط به تیمارهای بدون باکتری



شکل ۴-۱۱- اثر تیمارها و زمان بر EC خاک چاه شهرداری همراه با خاک فسفات مربوط به تیمارهای حاوی باکتریها



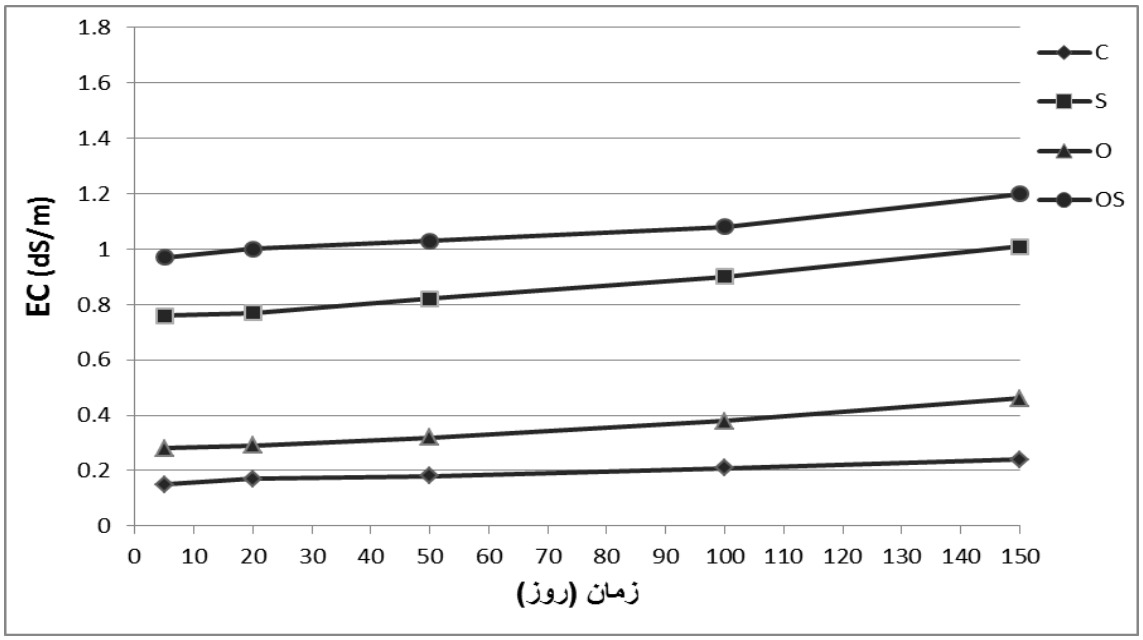
شکل ۴-۱۲- اثر تیمارها و زمان بر EC خاک چاه شهرداری بدون خاک فسفات مربوط به تیمارهای بدون باکتری



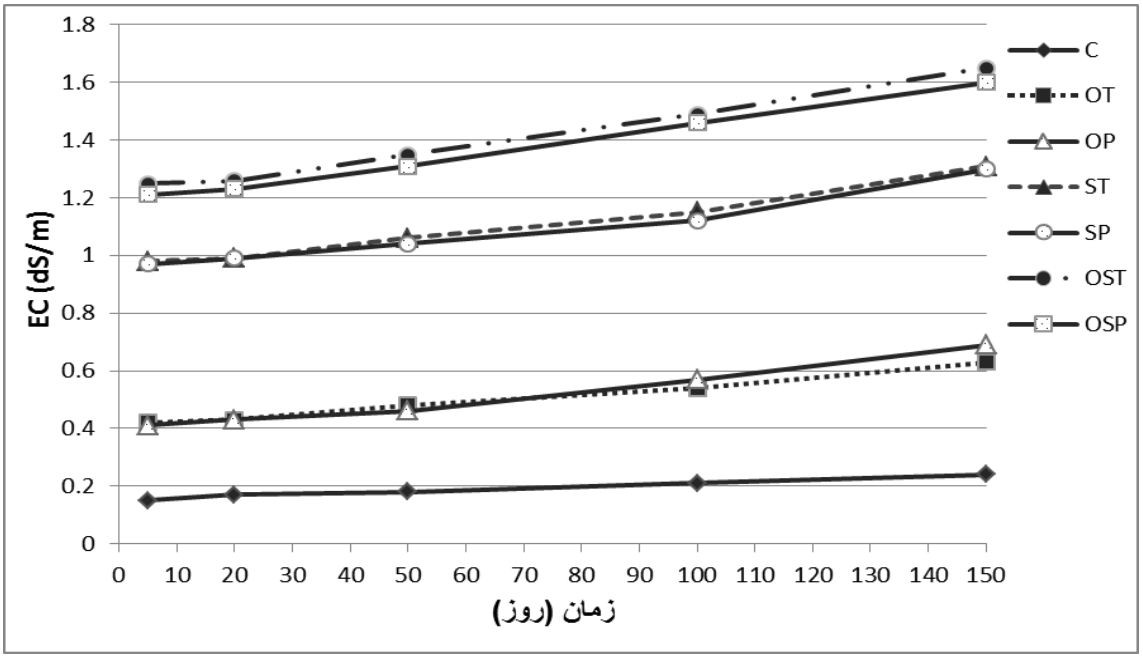
شکل ۴-۱۳- اثر تیمارها و زمان بر EC خاک چاه شهرداری بدون خاک فسفات مربوط به تیمارهای حاوی باکتریها

نتایج حاصل از تجزیه‌ی واریانس خاک درخانیاب (جدول پیوست ۴-۳) نشان داد که اثر تیمار کودی و تیمار زمان و همچنین اثر متقابل تیمار کودی در زمان در سطح ۱ درصد برای EC معنی‌دار بوده است. شکل ۴-۱۴ و ۴-۱۵ اثر تیمارها بر EC خاک درخانیاب و تغییرات آن در طول زمان نگهداری نمونه ها را نشان می‌دهد. در این خاک نیز بیشترین تغییرات مربوط به دوره ۱۵۰ روزه و در تیمار OST بوده است که EC را نسبت به تیمار C، ۱/۴ دسی‌زیمنس بر متر افزایش داد که نشان از سرعت بالای اکسیداسیون گوگرد توسط باکتری تیوباسیلوس و کاهش pH در این تیمار دارد. با اکسیداسیون گوگرد در خاک اسید سولفوریک تولید می‌شود که این اسید با کربنات‌های کلسیم خاک واکنش داده و با کاهش pH آنها را حل می‌نماید (خادم و همکاران، ۱۳۹۰). علت افزایش هدایت الکتریکی را نیز می‌توان ناشی از تجمع نمک‌های حاصل از اکسایش گوگرد دانست، معمولاً تجمع نمک‌های حاصل از افزایش گوگرد در سطح فوقانی خاک باعث شوری آن می‌شود (Finch et al., 2004).

با بررسی تیمارهای این خاک با توجه به نمودار دیده می‌شود که تیمارهای OT و OP پس از طی ۱۵۰ روز هدایت الکتریکی را به ترتیب ۰/۲۱ و ۰/۲۸ دسی زیمنس بر متر بیشتر از دوره ۵ روزه افزایش دادند نشان دهنده تأثیر کم کود سبز حتی با وجود باکتریها در افزایش EC خاک دانست. تیمار OSP که پس از تیمار OST بیشترین تأثیر را در افزایش EC داشت، میزان EC را در دوره ۱۵۰ روز در مقایسه با تیمار C، ۱/۳۶ دسی‌زیمنس بر متر بیشتر افزایش داد که توانایی بالای این باکتری را در اکسیداسیون گوگرد نشان می‌دهد و همچنین بخشی از این افزایش EC می‌تواند مربوط به وجود کود سبز و رها سازی گوگرد موجود در آن در اثر فعالیت باکتریها و تجزیه آن دانست.



شکل ۴-۱۴- اثر تیمارها و زمان بر EC خاک درخانیاب مربوط به تیمارهای بدون باکتری



شکل ۴-۱۵- اثر تیمارها و زمان بر EC خاک درخانیاب مربوط به تیمارهای‌حاوی باکتریها و شاهد

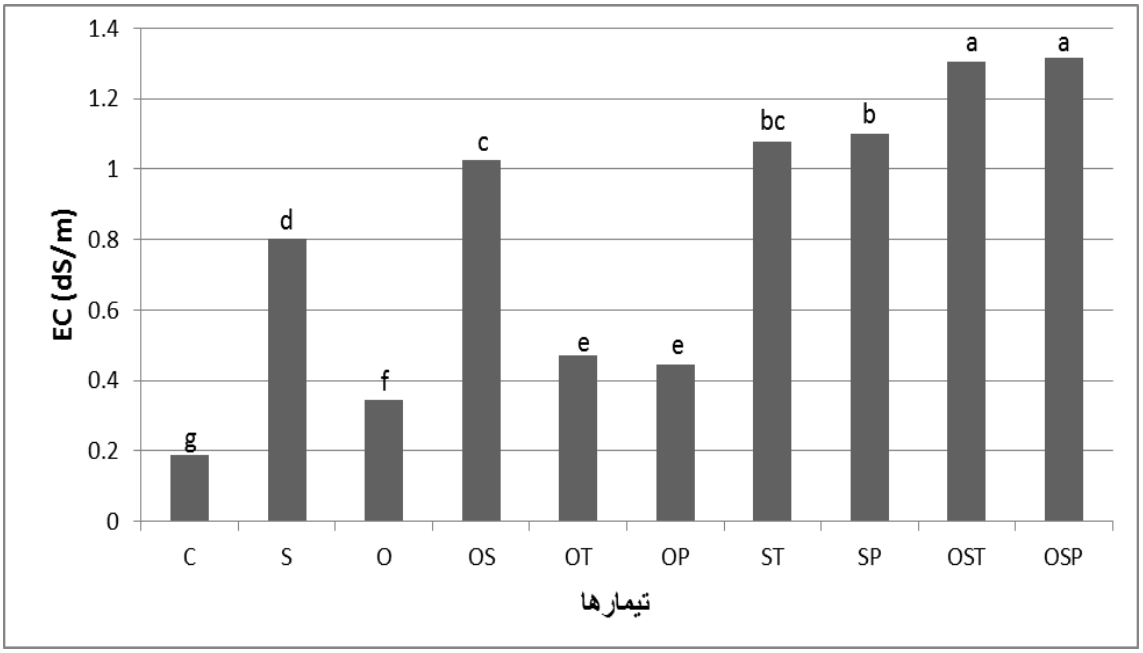
۴-۴- میانگین اثر تیمارها بر EC خاکها

شکل ۴-۱۶ میانگین اثر تیمارها بر EC خاک چاه شهرداری همراه با خاک فسفات را نشان می‌دهد. همه تیمارها اختلاف معنی‌داری را با تیمار C داشتند. بیشترین افزایش در میانگین EC مربوط به تیمارهای OST و OSP بوده است که هر کدام میانگین EC را نسبت به تیمار C، ۷برابر افزایش دادند که نشان دهنده تأثیر یکسان باکتریها در افزایش EC می‌باشد. در این تیمارها سرعت بالای اکسیداسیون و تولید یون سولفات و همچنین تجزیه کود سبز به وسیله اسیدهای ترشح یافته از باکتریها باعث بالا رفتن EC و شوری خاک شده است.کمترین میزان افزایش را تیمار O داشت که میانگین EC را نسبت به تیمار C، ۱/۸۴ برابر افزایش داد که کمترین میزان افزایش را به دلیل سرعت کند تجزیه کود سبز به صورت شیمیایی و در طول زمان داشته است. با مقایسه اثر تیمارها مشخص شد که تیمارهای OT و OP با هم اختلاف معنی‌داری را در افزایش میانگین EC در این خاک نشان ندادند. همچنان که مشاهده می‌شود اولین افزایش قابل ملاحظه در EC در مقایسه تیمار C با اضافه شدن گوگرد مشاهده شده است و با تلقیح باکتری‌ها به خاک این افزایش بیشتر شده است چون گوگرد عامل اصلی شوری خاک بوده و باعث افزایش سرعت اکسیداسیون شده است. در خاکهای آهکی، عناصر کلسیم و منیزیم به میزان بیشتری وجود دارد که با استفاده گوگرد در این خاکها و اکسید شدن تدریجی آن منجر به تولید یون سولفات شده و افزایش غلظت این سه عنصر در خاک باعث افزایش EC خاک می‌شود (Finch et al., 2004).

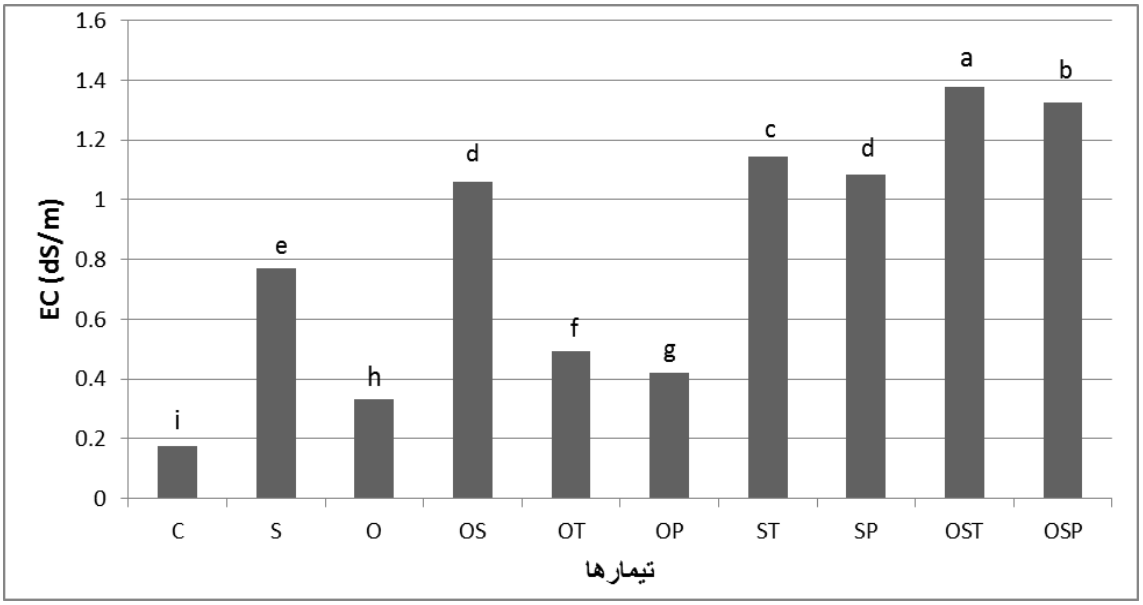
شکل ۴-۱۷ میانگین اثر تیمارها بر EC خاک چاه شهرداری بدون خاک فسفات را نشان می‌دهد. در این خاک در مقایسه با خاک قبلی همه تیمارها اختلاف معنی‌داری را نسبت به تیمار C نشان دادند. بیشترین میزان افزایش در میانگین مربوط به تیمار OST بود که میانگین EC را نسبت به تیمار C، ۷/۸ برابر افزایش داد که نشان از تأثیر بیشتر باکتری تیوباسیلوس در اکسیداسیون گوگرد و تولید یون سولفات و افزایش شوری خاک دارد. تیمار OS در مقایسه با تیمار S میانگین هدایت الکتریکی را

تقریباً ۲۴ درصد افزایش داد که می‌تواند به دلیل حضور کود سبز همراه با گوگرد بوده باشد، که آزاد سازی گوگرد موجود در کود سبز در طول زمان باعث افزایش EC در این تیمار نسبت به تیمار S شده است. در این خاک OS با SP اختلاف معنی‌داری را با هم در افزایش میانگین EC نشان ندادند که دلیل آن را می‌توان اثر یکسان این دو باکتری در افزایش EC بیان کرد.

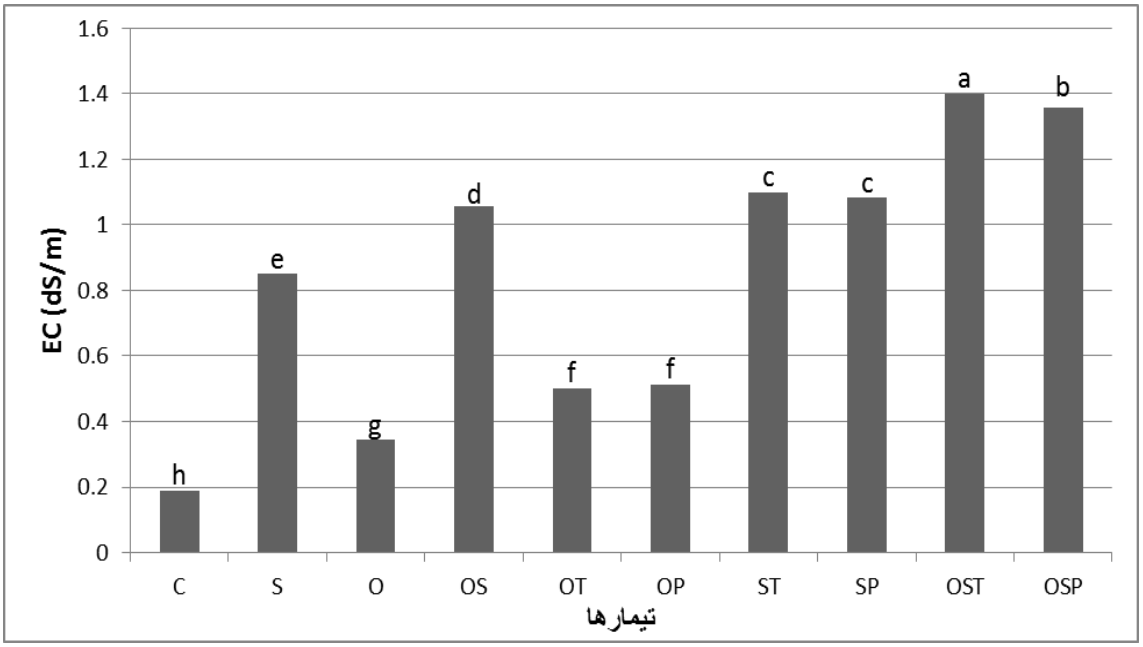
میانگین اثر تیمارها بر EC خاک درخانیاب در شکل ۴-۱۸ نشان داده شده است. در این خاک تیمارهای OST دارای بیشترین افزایش میانگین در EC بود که اختلاف معنی‌داری را نسبت به تیمار C داشت. تیمار OSP در این خاک باعث افزایش ۷ برابری میانگین EC نسبت به تیمار C شده است که این میزان در تیمار OP، ۲/۷ برابر بود. در این خاک تیمارهای OT و OP در مقایسه با تیمار O میانگین EC را تقریباً ۴۸ درصد افزایش دادند. در آزمایش گلخانه‌ای و مزرعه ای در خاک‌های آهکی مشاهده شد که مصرف گوگرد باعث کاهش pH و افزایش هدایت الکتریکی خاک شده است (Kaplan and Orman, 1998).



شکل ۴-۱۶- میانگین اثر تیمارها بر EC خاک چاه شهرداری همراه با خاک فسفات



شکل ۴-۱۷- میانگین اثر تیمارها بر EC خاک چاه شهرداری بدون خاک فسفات



شکل ۴-۱۸- میانگین اثر تیمارها بر EC خاک درخانیاب

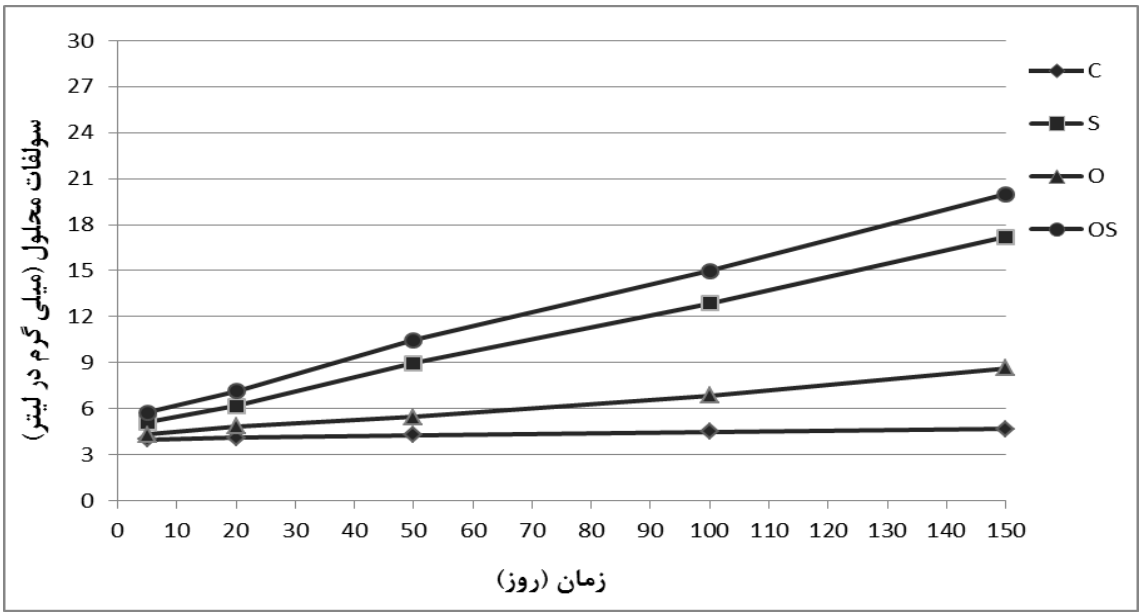
۴-۵- اثر تیمارها و زمان نگهداری بر سولفات محلول خاکها

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمار کودی و تیمار زمان و همچنین اثر متقابل تیمارکودی در زمان برای هر سه نوع خاک در سطح ۱ درصد برای سولفات محلول معنی‌دار بود (جداول پیوست ۴-۱، ۴-۲، ۴-۳).

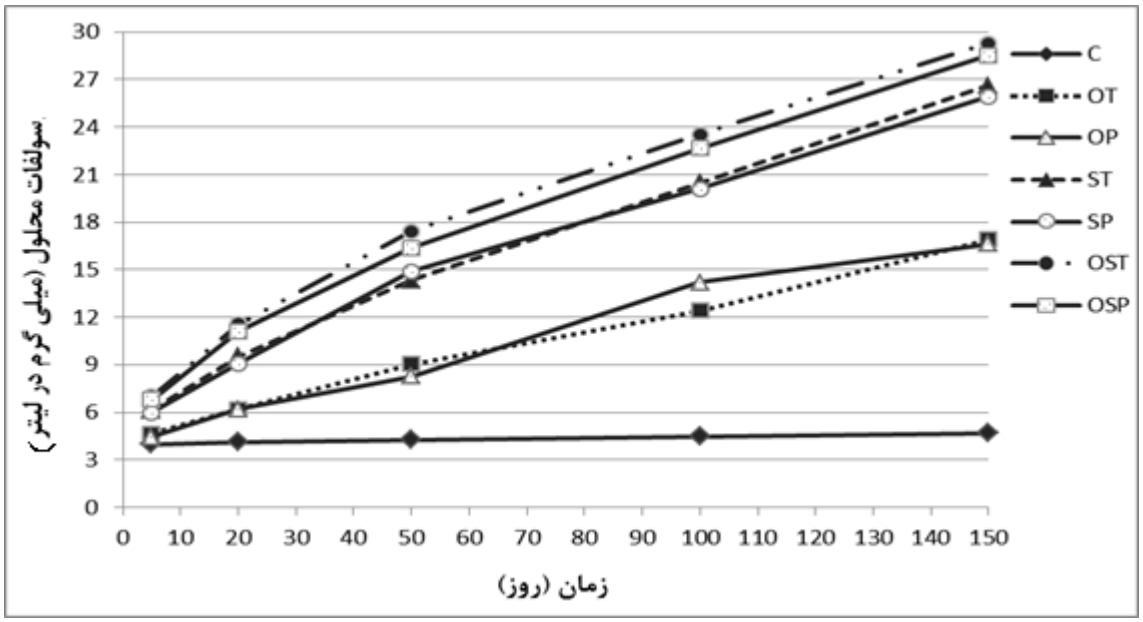
شکل ۴-۱۹ و ۴-۲۰ اثرات تیمارها و زمان بر سولفات محلول خاک چاه شهرداری همراه با خاک فسفات را نشان می‌دهند. با توجه به شکل ۴-۱۹ می‌توان گفت بعد از تیمار شاهد کمترین تأثیر را در افزایش سولفات خاک تیمار O داشته است که بعد از ۱۵۰ روز میزان سولفات محلول را تنها ۴/۶۲ میلی‌گرم در لیتر افزایش داده است که دلیل آن می‌تواند یا به دلیل کند بودن سرعت تجزیه آن و یا به دلیل کم بودن میزان گوگرد موجود در آن دانست که در نتیجه یون سولفات کمتری را نسبت به سایر تیمارها تولید کرده است. بیشترین میزان افزایش در دوره زمانی ۱۵۰ روزه و در تیمار OST بدست آمد. اکسیداسیون گوگرد توسط باکتریهای اکسید کننده گوگرد (تیوباسیلوس) باعث افزایش سولفات خاک می‌شود که با افزودن گوگرد مقدار بیشتری از آن اکسید شده و به سولفات تبدیل می‌گردد. تیمارهای حاوی گوگرد تنها (S) تأثیر بیشتری را نسبت به تیمارهای حاوی کود و باکتری (OT و OP) داشته‌اند و با افزودن گوگرد و تلقیح باکتری به آن میزان سولفات محلول افزایش پیدا کرده است. گوگرد عنصری که به خاک اضافه شود، به وسیله باکتریهای اکسیدکننده گوگرد اکسیده شده و به سولفات تبدیل می‌شود. این فرآیند اسیدزاست و در نهایت تولید اسید سولفوریک می‌کند و پروتون اسیدسولفوریک باعث اسیدی شدن خاک می‌گردد (ملکوتی،۱۳۸۲). با توجه به نمودار ۴-۲۰ دیده می‌شود که در دوره ۱۰۰ روزه تیمار OP تأثیر بیشتری را در افزایش سولفات داشته ولی در پایان ۱۵۰ روز این تیمار OT بود که میزان سولفات محلول بیشتری داشت که دلیل آن اثر گذاری بیشتر باکتری تیوباسیلوس در دوره ۱۵۰ روز باشد. در دوره‌های ۵ و ۲۰ روزه به دلیل نامناسب بودن شرایط برای اکسیداسیون و کاهش pH، یون سولفات به میزان کمتری تولید شده است.

با مقایسه تیمارها در خاک چاه شهرداری همراه با خاک فسفات مشخص شد که تیمار OST میزان سولفات محلول را نسبت به تیمار C، ۷/۳۶ برابر افزایش داد. تیمار OS در مقایسه با تیمار S پس از طی ۱۵۰ روز سولفات محلول را ۲/۸ میلی‌گرم در لیتر بیشتر افزایش داد که نشان دهنده آزاد سازی گوگرد موجود در کود سبز از طریق فرایند بیوشیمیایی بوده است. تیمار O پس از ۱۵۰ روز سولفات محلول را ۴/۶۶ میلی‌گرم در لیتر افزایش داد.

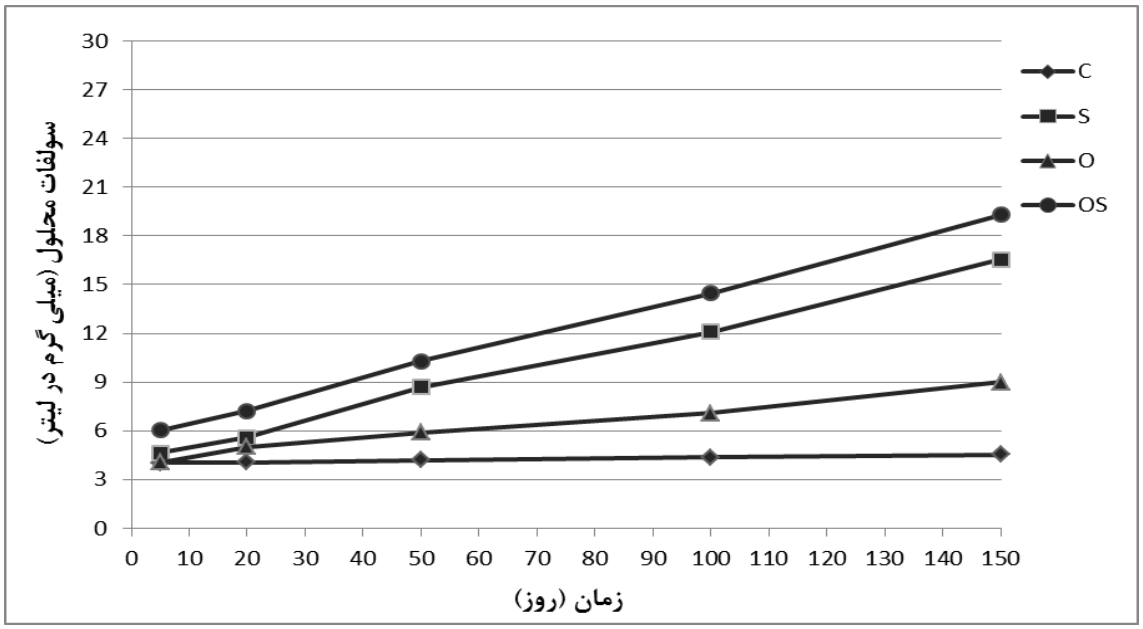
با توجه به شکل ۴-۲۱ و ۴-۲۲ مربوط به اثر تیمارها و زمان بر سولفات محلول خاک چاه شهرداری بدون خاک فسفات دیده می‌شود که در این خاک نیز بیشترین میزان افزایش مربوط به تیمار OST بوده است با این تفاوت که در دوره ۱۰۰و۱۵۰ روز تیمارهای حاوی گوگرد در این خاک در مقایسه با خاک قبلی سولفات محلول را به میزان کمتری افزایش دادند که می‌تواند مربوط به آزاد سازی گوگرد موجود در خاک فسفات در خاک قبلی باشد. با تلقیح باکتری به گوگرد در تیمارهای ST و SP میزان سولفات محلول نسبت به تیمار S، ۵۰ تا ۵۵ درصد افزایش یافت که به دلیل فعالیت باکتریها در اکسیداسیون گوگرد و تولید یون سولفات بیشتری در طی فرایند بیولوژیکی اکسیداسیون بوده است. باکتری تیوباسیلوس به عنوان اکسیدکننده مهم گوگرد در خاک باعث افزایش چشم‌گیر میزان سولفات در خاک می‌شود (Vidyalakshmi et al., 2009).



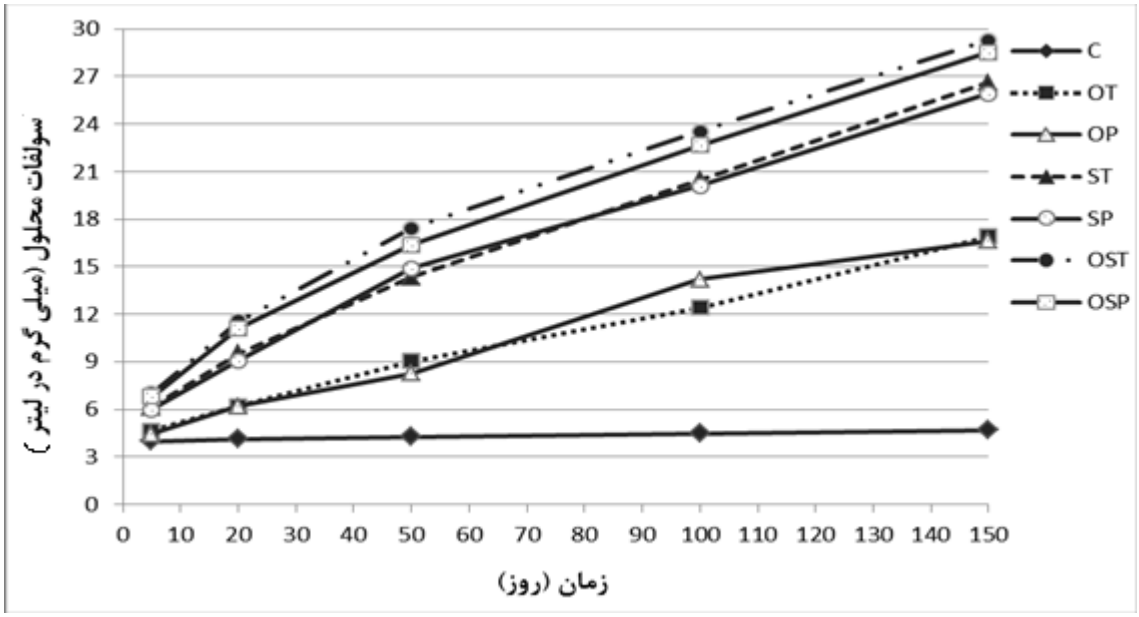
شکل۴-۱۹- اثر تیمارها و زمان بر سولفات محلول خاک چاه شهرداری همراه با خاک فسفات مربوط به تیمارهای بدون باکتری



شکل ۴-۲۰- اثر تیمارها و زمان بر سولفات محلول خاک چاه شهرداری همراه با خاک فسفات مربوط به تیمارهای حاوی باکتریها

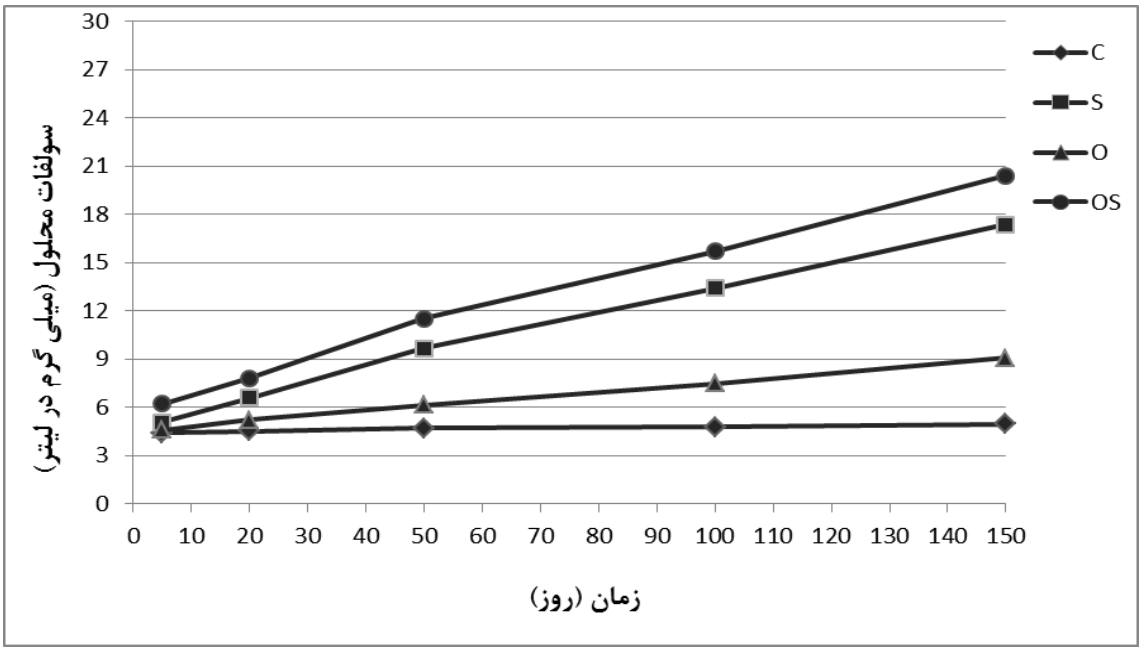


شکل ۴-۲۱- اثر تیمارها و زمان بر سولفات محلول خاک چاه شهرداری بدون خاک فسفات مربوط به تیمارهای بدون باکتری

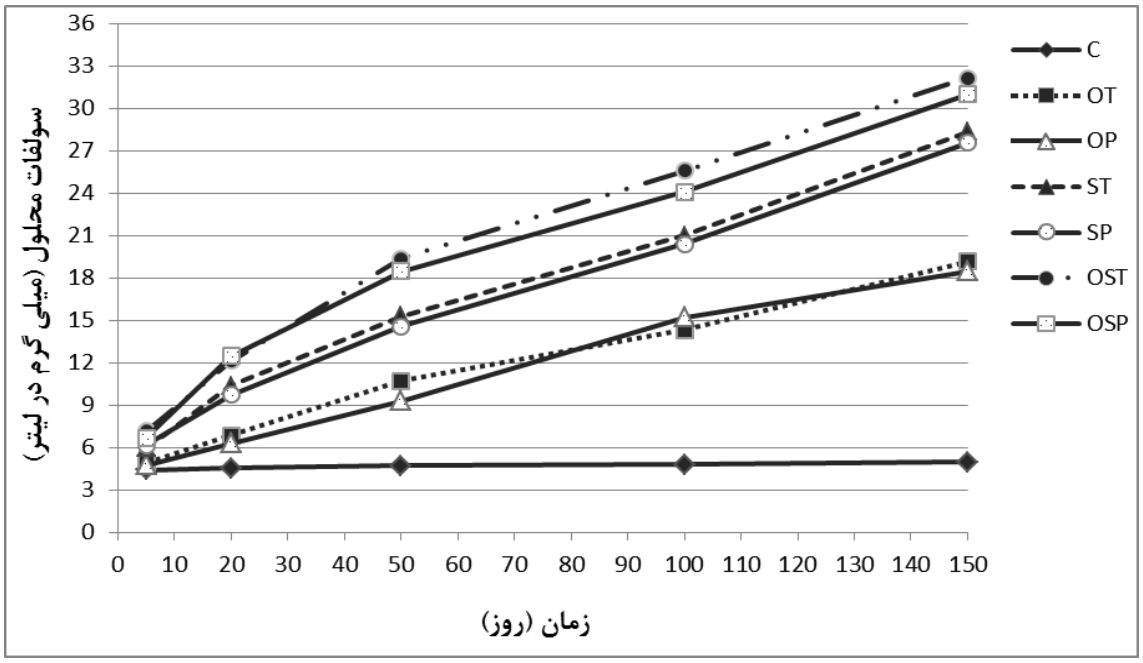


شکل ۴-۲۲- اثر تیمارها و زمان بر سولفات محلول خاک چاه شهرداری بدون خاک فسفات مربوط به تیمارهای حاوی باکتریها

شکلهای ۴-۲۳ و ۴-۲۴ اثرات تیمارها و زمان را بر سولفات محلول خاک درخانیاب نشان می‌دهند. با توجه به شکل ۴-۲۴، در این خاک بیشترین میزان افزایش در سولفات محلول مربوط به تیمار OST بود که میزان آن را نسبت به تیمار C، ۷ برابر افزایش داد که نشان از فعالیت بالای تیوباسیلوس در اکسیداسیون گوگرد در این تیمار بوده است. ال ترابلی و همکاران (۲۰۰۶) با تلقیح باکتری اکسیدکننده گوگرد به گوگرد دریافتند، با کاربرد این تیمار PH خاک کاهش و میزان سولفات افزایش پیدا کرد. بیشترین افزایش در سولفات محلول بین سه خاک در خاک درخانیاب دیده شد.



شکل ۴-۲۳- اثر تیمارها و زمان بر سولفات محلول خاک درخانیاب مربوط به تیمارهای بدون باکتری



شکل ۴-۲۴- اثر تیمارها و زمان بر سولفات محلول خاک درخانیاب مربوط به تیمارهای حاوی باکتریها

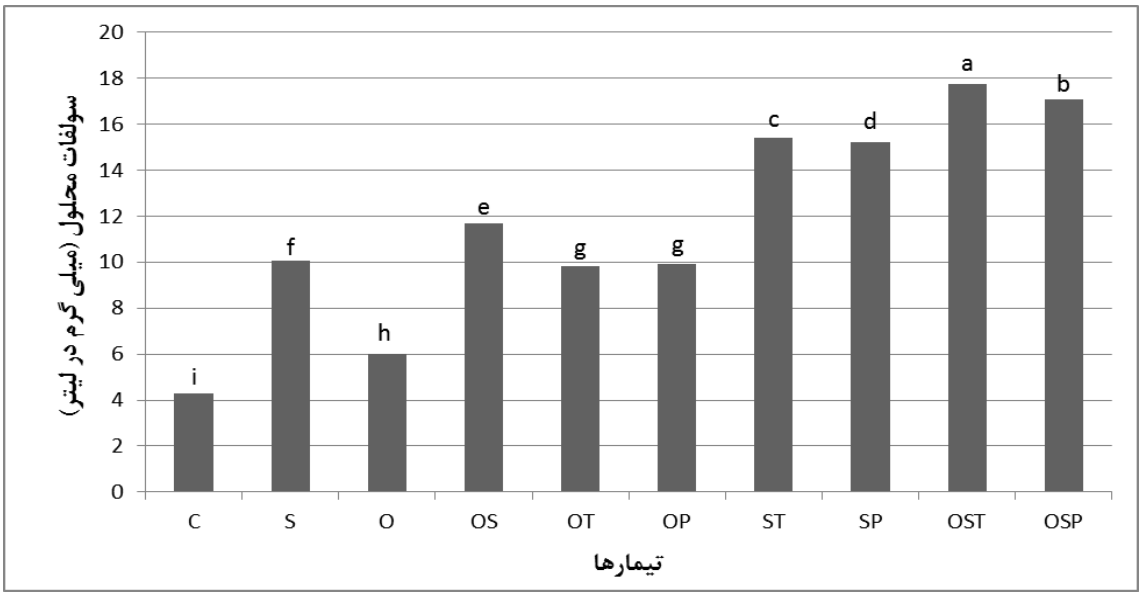
۴-۶- میانگین اثر تیمارها بر سولفات محلول خاکها

شکل ۴-۲۵ میانگین اثر تیمارها را بر سولفات محلول خاک چاه شهرداری همراه با خاک فسفات نشان می‌دهد. در این خاک همه تیمارها اختلاف معنی‌داری را با تیمار C نشان دادند و بیشترین افزایش در میانگین سولفات محلول مربوط به تیمار OST بود که میزان میانگین سولفات محلول را در مقایسه با تیمار C، ۴ برابر افزایش داد که نشان از توانای بالای باکتری تیوباسیلوس در اکسیداسیون گوگرد و تولید یون سولفات دارد. البته نباید نادیده گرفت که باکتری سودوموناس اختلاف چندانی را در افزایش یون سولفات در مقایسه با تیوباسیلوس نداشته است. در مقایسه تیمارها باهم، تیمارهای OT و OP با هم اختلاف معنی‌داری را در افزایش سولفات محلول نشان ندادند که نشان دهنده تأثیر یکسان این دو باکتری در تجزیه کود سبز است. تیمار OST در مقایسه با تیمار OSP میانگین سولفات محلول را ۳/۷۹ درصد بیشتر افزایش داد که مقدار ناچیزی است. تیمار S میانگین سولفات محلول را در مقایسه با تیمار C، ۲/۳ برابر افزایش داد که در نتیجه اکسیداسیون گوگرد به صورت شیمیایی

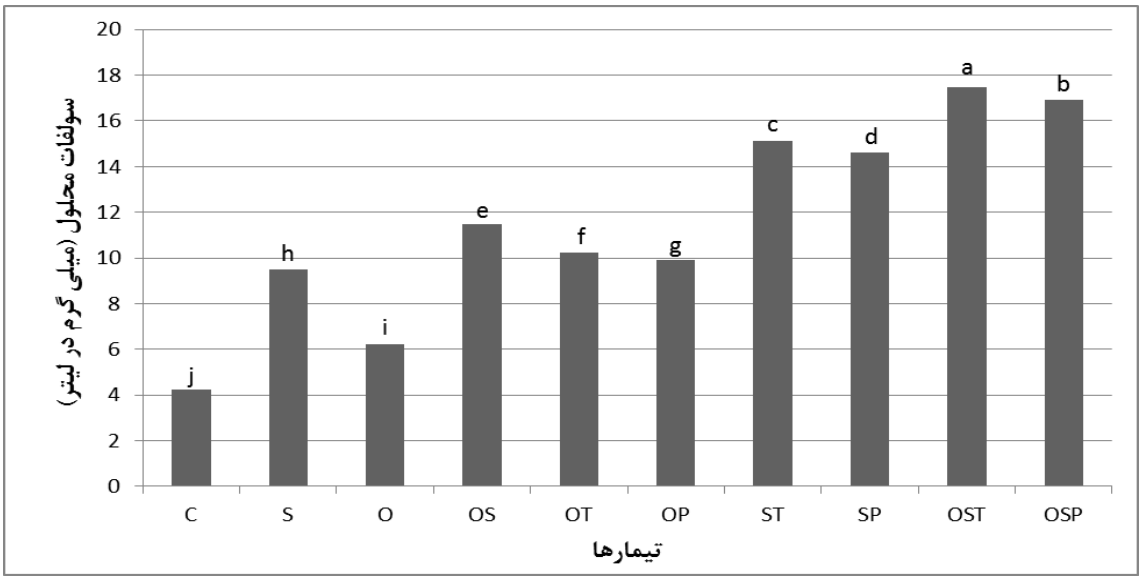
حاصل آمده است. کسرائیان و همکاران (۲۰۱۰) در یافتند که با افزایش سطوح گوگرد میزان سولفات و هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک در تیمارهای مورد آزمایش افزایش داشته است.

با مشاهده شکل ۴-۲۶ مربوط به اثر میانگین تیمارها بر سولفات محلول خاک چاه شهرداری بدون خاک فسفات می‌توان گفت که در این خاک همه تیمارها اختلاف معنی‌داری را با تیمار C در افزایش سولفات محلول داشتند که نشان از تأثیر گذاری تیمارهای کودی در افزایش سولفات خاک است ولی این تأثیر گذاری بسته به نوع تیمار و دوره زمانی فرق داشته به صورتی که در تیمارهای باکتری و گوگرد و کود سبز و دوره‌های ۱۰۰ و ۱۵۰ روزه بیشترین میزان حاصل آمده است. در این خاک نیز بیشترین افزایش متعلق به OST بود. تیمار S در مقایسه با تیمار شاهد سولفات محلول را ۲/۲۵ برابر افزایش دادند که با تلقیح باکتری به این تیمار (ST و SP) این میزان افزایش نسبت به تیمار شاهد بترتیب به ۳/۶ و ۳/۴ برابر رسید. این در حالی است که کود سبز سولفات محلول خاک را ۱/۴۵ برابر افزایش داد. سعادت پور (۱۳۹۲) با بررسی حلالیت فسفر در ریزوسفر گیاه کلزا بیان کرد که کاربرد گوگرد به همراه تیوباسیلوس سبب افزایش ۷۶ درصدی سولفات خاک شده است.

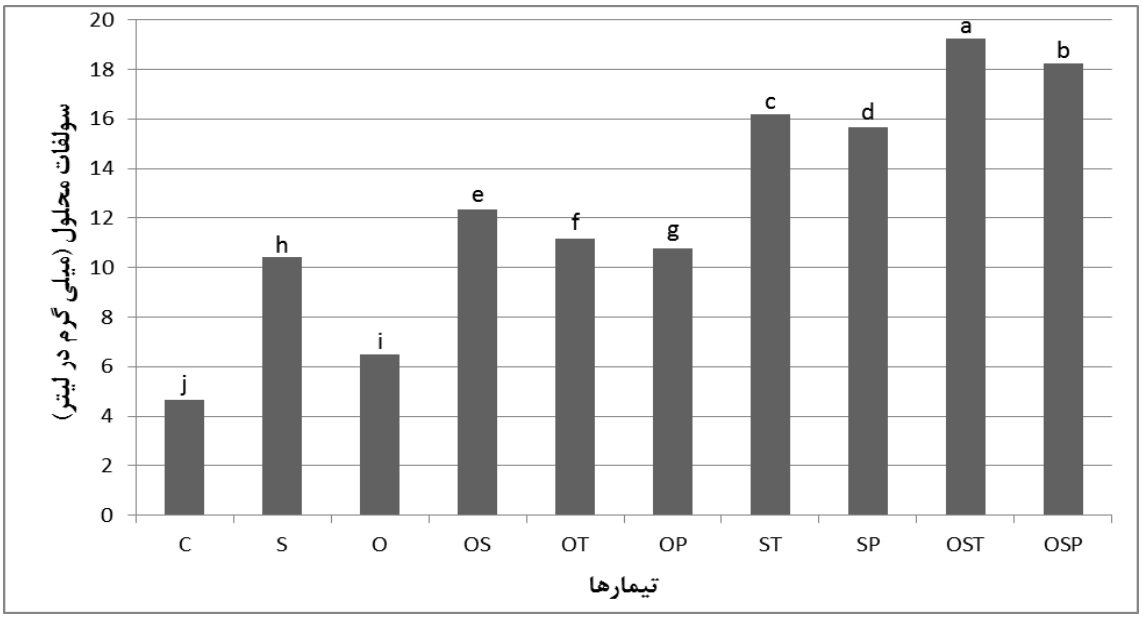
در شکل میانگین اثر تیمارها بر سولفات محلول خاک درخانیاب (۴-۲۸) مشاهده می‌شود که در این خاک نیز همه تیمارها اختلاف معنی‌داری را با تیمار C نشان دادند. بیشترین میزان افزایش در میانگین مربوط به تیمار OST بوده است. بیشترین میانگین سولفات محلول مربوط به تیمارهای این خاک نسبت به دو خاک دیگر بوده است. در تیمارهای حاوی باکتریها، باکتری تیوباسیلوس تأثیر بیشتری را در اکسیداسیون و افزایش سولفات محلول داشته است.



شکل ۴-۲۵- میانگین اثر تیمارها بر سولفات محلول خاک چاه شهرداری همراه با خاک فسفات



شکل ۴-۲۶- میانگین اثر تیمارها بر سولفات محلول خاک چاه شهرداری بدون خاک فسفات



شکل ۴-۲۷- میانگین اثر تیمارها بر سولفات محلول خاک درخانیاب

۴-۷- اثر تیمارها و زمان نگهداری نمونه ها بر فسفر محلول خاکها

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جداول پیوست ۴-۱، ۴-۲، ۴-۳) نشان داد که اثر تیمار کودی و تیمار زمان و همچنین اثر متقابل تیمارکودی در زمان برای هر سه نوع خاک در سطح ۱ درصد برای فسفر محلول معنی‌دار بود.

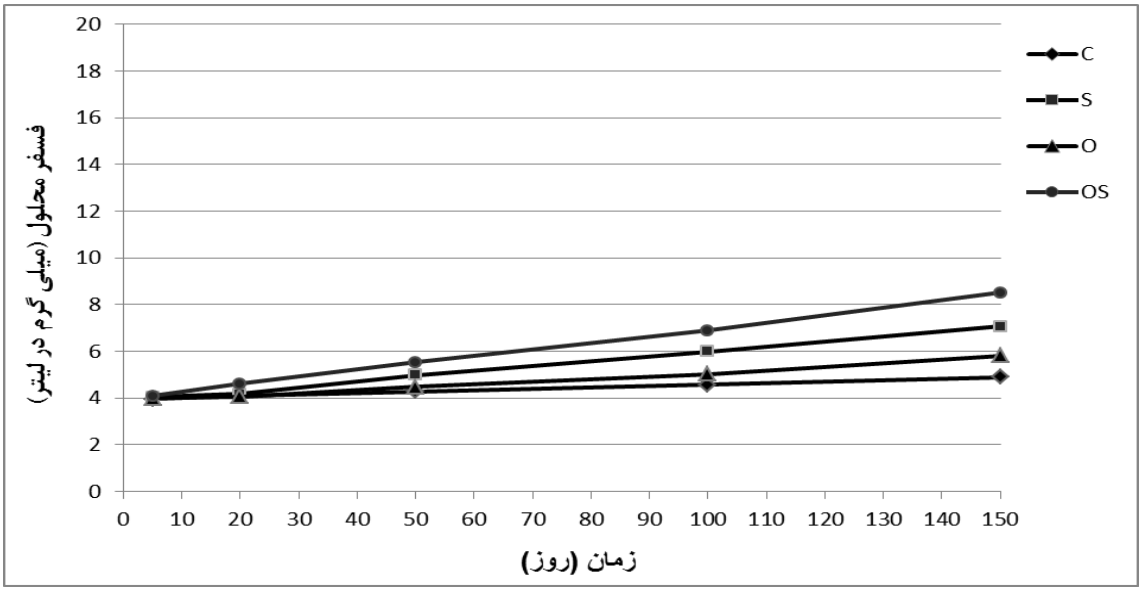
شکل ۴-۲۸ و ۴-۲۹ اثر تیمارها و زمان را بر فسفر محلول خاک چاه شهرداری همرا با خاک فسفات نشان می‌دهد که با اعمال تیمارهای کودی فسفر محلول افزایش داشته است. میزان افزایش در تیمارهای حاوی گوگرد قابل توجه می‌باشد که دلیل آن تولید اسیدهای آلی و اکسید شدن گوگرد و در نهایت کاهش pH می‌تواند باشد در شکل ۴-۲۸ کمترین میزان تغییر در فسفر محلول بعد از تیمار شاهد مربوط به تیمار O بوده است که در طول زمان تجزیه آن کند صورت گرفته و در نتیجه میزان فسفر کمتری از آن آزاد شده است. با افزودن گوگرد در تیمارهای S و OS فسفر محلول افزایش پیدا کرد که البته این میزان افزایش در مقایسه با وقتی که باکتری به آنها تلقیح شد چشمگیر نبود. در

تیمارهای OT و OP پس از ۱۵۰ روز فسفر محلول در مقایسه با تیمارهای S و OS بیشتر افزایش یافت که دلیل آن دخالت این باکتریها در آزادسازی فسفر از منابع نامحلول خاک بوده است. منتها با تلقیح باکتری به تیمارهای حاوی گوگرد این میزان افزایش در تیمارهای ST، SP، OST و OSP بیشتر شد به طوری که تیمار OST دارای بیشترین میزان فسفر محلول بعد از ۱۵۰ روز بود و میزان فسفر محلول به ۱۷/۵ میلی‌گرم بر لیتر رسید. در مقایسه تیمارها با هم دیده شد که در دوره ۵۰ روزه، تیمار SP در افزایش فسفر محلول مؤثرتر از تیمار ST بود ولی با گذر زمان تیمار ST تأثیر بیشتری را در این افزایش داشت که دلیل آن را می‌توان تأثیر گذاری بیشتر باکتری تیوباسیلوس با گذشت زمان دانست. رزا و همکاران (۱۹۸۹) در یک بررسی مشاهده کردند که افزایش فسفر محلول در آب در خاک فسفات به علت اسیدی شدن موضعی و کاهش pH در خاک می‌باشد. محمدی آریا و همکاران (۲۰۱۰) دریافتند که با افزایش گوگرد، pH خاک فسفات کاهش یافته و با این کاهش فسفر محلول در آب افزایش پیدا کرد.

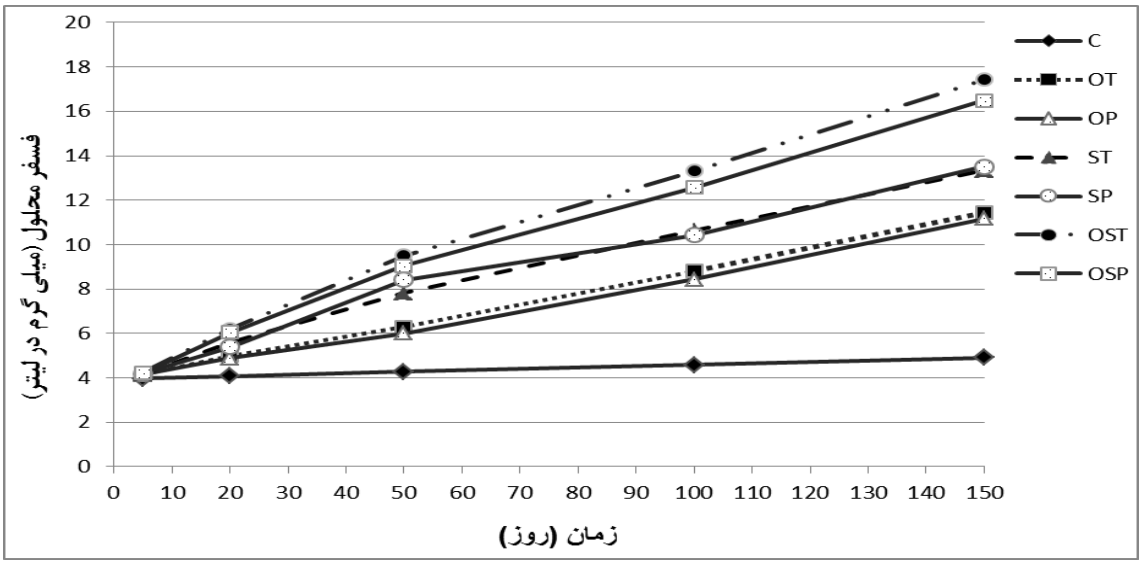
تیمار OST در این خاک در مقایسه با مقدار اولیه فسفر محلول خاک پس از ۱۵۰ روز میزان آن را ۴/۴ برابر افزایش داد که این میزان افزایش بیشتر از خاکهای دیگر بود که به دلیل کاربرد خاک فسفات در این خاک است. باکتریها علاوه بر آزاد سازی فسفر موجود در خاک، باعث آزاد سازی فسفر از خاک فسفات شده‌اند. در این خاک تیمار C پس از طی ۱۵۰ روز فسفر محلول را تنها ۰/۹ میلی‌گرم در لیتر افزایش داد.

در شکل ۴-۳۰ و ۴-۳۱ اثر تیمارها و زمان را بر فسفر محلول خاک چاه شهرداری بدون خاک فسفات بررسی شد. با مشاهده شکلها می‌توان دید که میزان فسفر محلول با اعمال تیمارهای کودی افزایش یافت ولی این افزایش در مقایسه با خاک قبلی که خاک فسفات استفاده شد کمتر بود. بیشترین افزایش در این خاک تقریباً ۱۴ میلی‌گرم در لیتر بود که ۳/۵ میلی‌گرم در لیتر از خاک قبلی کمتر بود که نشان می‌دهد افزایش خاک فسفات در خاک قبلی اثر مثبتی را در آزاد سازی فسفر محلول داشته

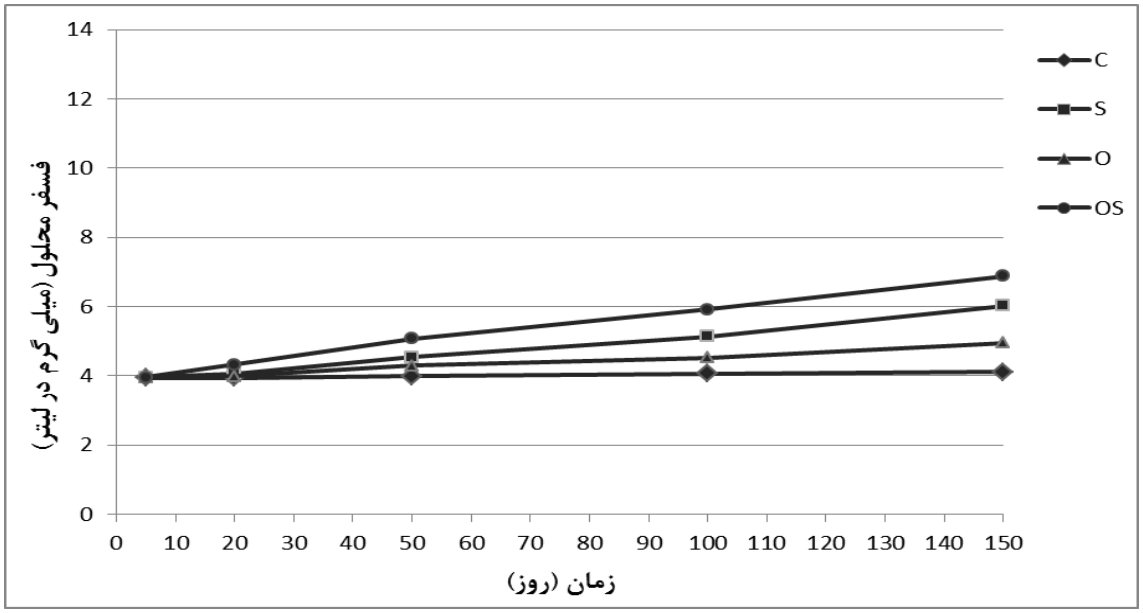
به طوری که این افزایش در همه تیمارها مشاهده می‌شود ولی در تیمارهای حاوی گوگرد و کود سبز و باکتریها قابل توجه‌تر بوده است. با توجه به شکل ۴-۳۱ در دوره ۵۰ روزه تیمارهای OT و OP تقریباً تأثیر یکسانی را در افزایش فسفر محلول نشان دادند ولی با گذشت زمان این تیمار OT بود که بیشترین تأثیر را داشت که نشان می‌دهد با گذشت زمان شرایط بهتری برای تأثیر گذاری تیمار کودی OT مهیا شده است. در همه تیمارها مشخص شد که در دوره‌های ۵ و ۲۰ روزه تأثیر قابل ملاحظه‌ای دیده نشد چون که در این دو دوره باکتریها فعالیت زیادی را نداشته‌اند و ترشحات حاصل از آنها به میزانی نبوده که باعث آزاد سازی فسفر شود. با افزایش گوگرد در این خاک میزان فسفر محلول در بیشترین حالت تقریباً ۳/۵ برابر افزایش یافت. در تحقیقات محمدی آریا و همکاران (۲۰۱۰) میزان فسفر محلول پس از طی ۶۰ روز کاربرد ۱۰ درصد گوگرد نسبت به تیمار شاهد حدود ۲ برابر افزایش یافت.



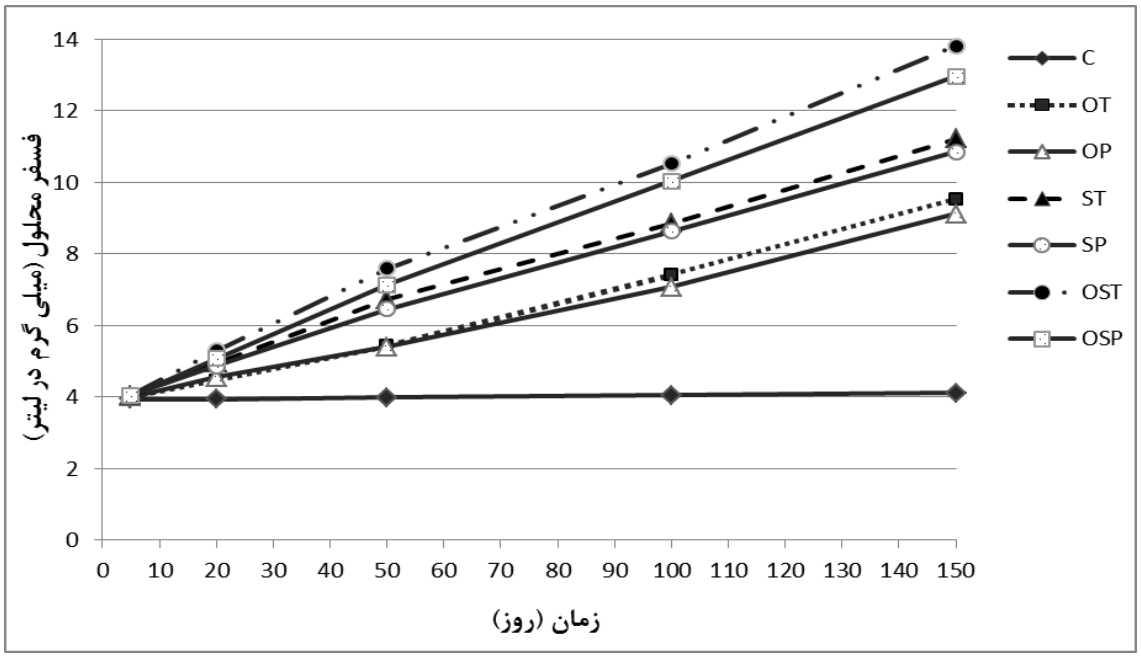
شکل ۴-۲۸- اثر تیمارها و زمان بر فسفر محلول خاک چاه شهرداری همراه با خاک فسفات مربوط به تیمارهای بدون باکتری



شکل ۴-۲۹- اثر تیمارها و زمان بر فسفر محلول خاک چاه شهرداری همراه با خاک فسفات مربوط به تیمارهای حاوی باکتریها



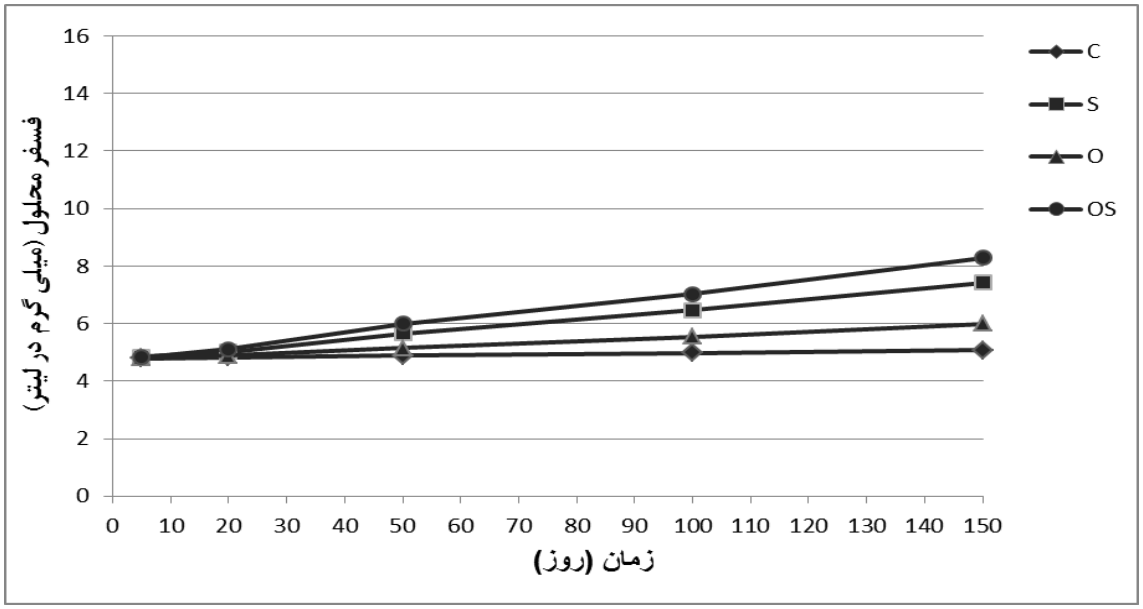
شکل ۴-۳۰- اثر تیمارها و زمان بر فسفر محلول خاک چاه شهرداری بدون خاک فسفات مربوط به تیمارهای بدون باکتری



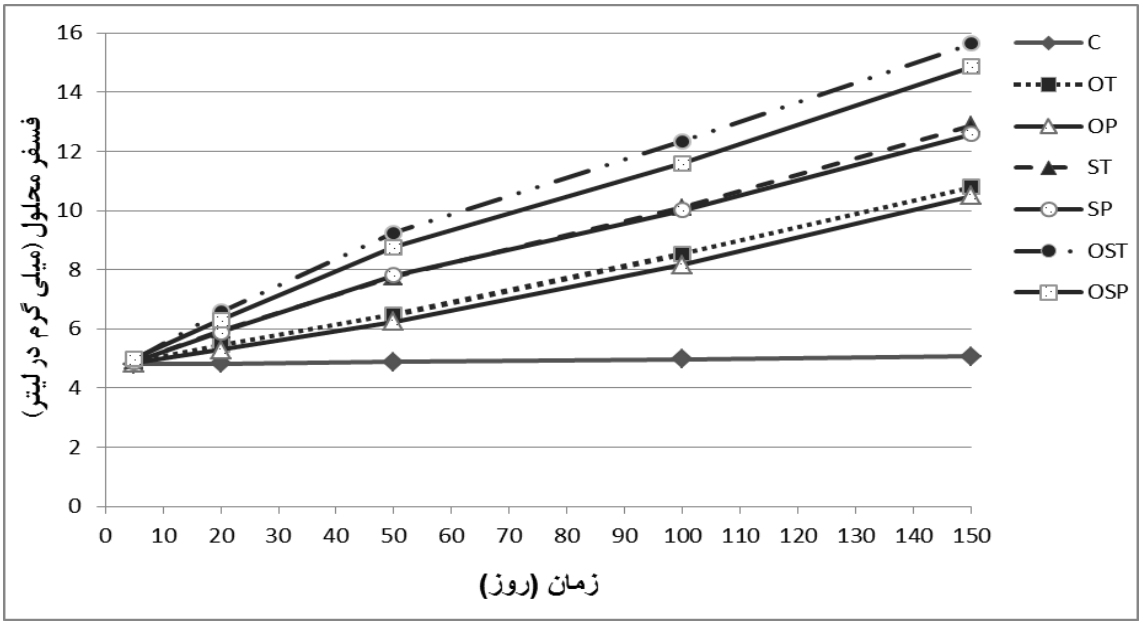
شکل ۴-۳۱- اثر تیمارها و زمان بر فسفر محلول خاک چاه شهرداری بدون خاک فسفات مربوط به تیمارهای‌حاوی باکتریها

شکل ۴-۳۲ و ۴-۳۳ اثر تیمارها و زمان را بر فسفر محلول درخانیاب نشان می‌دهد. با بررسی سه نمونه خاک مشخص شد که خاک درخانیاب در ابتدا دارای فسفر محلول بیشتری نسبت به دو خاک بوده و با اعمال تیمارهای کودی در این خاک نیز فسفر محلول افزایش پیدا کرد ولی این افزایش از هر دو خاک قبلی کمتر بود. در این خاک در بیشترین حالت مقدار فسفر محلول حدوداً به ۱۶ میلی‌گرم در لیتر رسید. در این خاک تیمارهای ST و SP تقریباً تأثیر یکسانی را در افزایش فسفر محلول داشتند. همچنین تیمار OS تأثیر بیشتری را در افزایش فسفر محلول در مقایسه با تیمار S داشت که دلیل آن را می‌توان اسیدهای آلی تولید شده در اثر تجزیه کود سبز دانست که باعث افزایش فراهمی فسفر می شود. گارگ و بال (۲۰۰۸) بیان کردند که کودهای آلی، فعالیت آنزیم فسفاتاز را در خاک بیشتر کرده و از طریق فرایند معدنی شدن و انحلال، باعث فراهم شدن فسفر بیشتردر محلول خاک می‌شوند.

با بررسی اثرات متقابل تیمار کودی و زمان در این خاک این نتایج حاصل شد. تیمار OST در این خاک فسفر محلول را نسبت به تیمار C، ۳/۲ برابر افزایش داد.



شکل ۴-۳۲- اثر تیمارها و زمان بر فسفر محلول خاک درخانیاب مربوط به تیمارهای بدون باکتری



شکل ۴-۳۳- اثر تیمارها و زمان بر فسفر محلول خاک درخانیاب مربوط به تیمارهای حاوی باکتریها

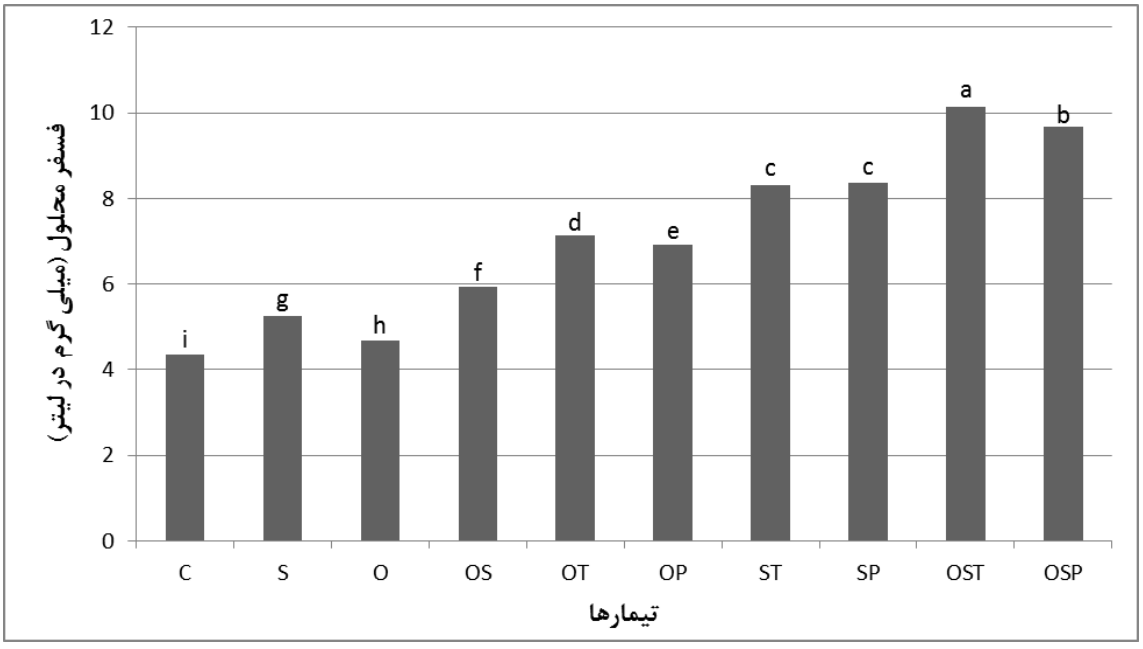
۴-۸- میانگین اثر تیمارها بر فسفر محلول خاکها

شکل ۴-۳۴ اثر تیمارها را بر میانگین فسفر محلول خاک چاه شهرداری همراه با خاک فسفات نشان می‌دهد. شکل نشان داد که همه تیمارها اختلاف معنی داری را با تیمار C در افزایش فسفر محلول داشتند. بیشترین میانگین فسفر محلول مربوط به تیمار OST بود که در مقایسه با تیمار C میانگین فسفر محلول را ۲/۳ برابر افزایش داد که مؤثرتر بودن این تیمار را در افزایش فسفر محلول نشان می دهد. کمترین افزایش میانگین را نسبت به تیمار شاهد تیمار O نشان داد. در تیمار OSP میانگین فسفر محلول ۲ برابر افزایش یافت. باکتری‌های سودوموناس و باسیلوس از طریق تولید و ترشح اسیدهای آلی به ویژه اسید اگزالیک و اسید سیتریک، در حلالیت فسفات های کم محلول و با تولید آنزیم های فسفاتاز در آزاد شدن فسفر از ترکیبات آلی فسفره نقش مهمی دارند (Amooaghaei and Mostajeran, 2007).

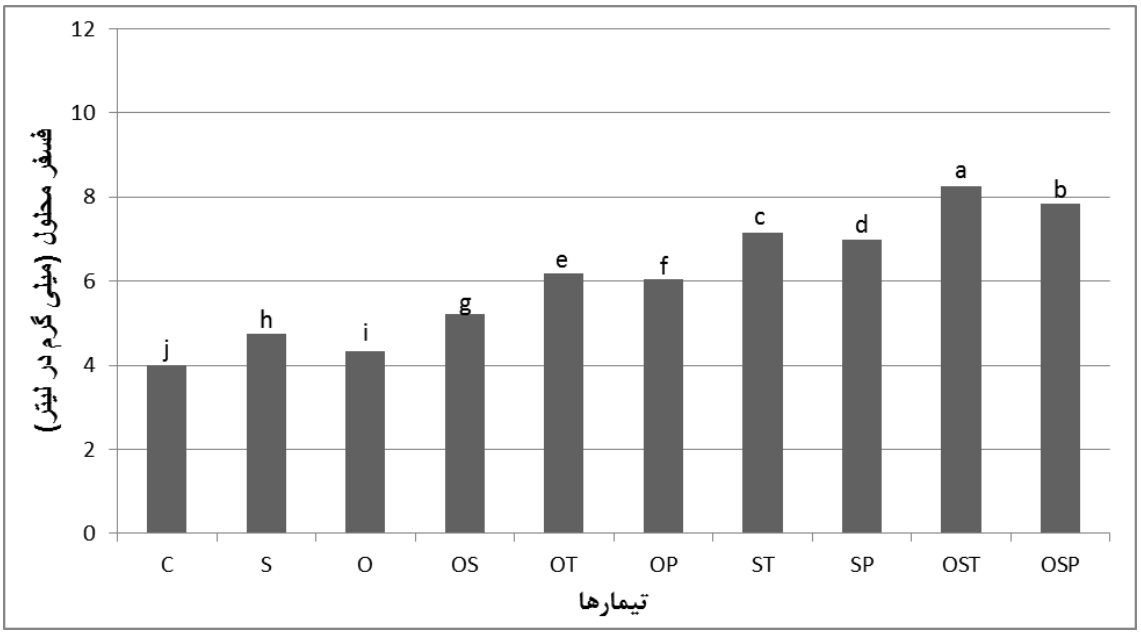
شکل ۴-۳۵ میانگین اثر تیمارها بر فسفر محلول خاک چاه شهرداری بدون خاک فسفات را نشان می-دهد. در این خاک همه تیمارها اختلاف معنی‌داری را در افزایش فسفر محلول نسبت به تیمار شاهد نشان دادند. در این خاک نیز بیشترین میانگین مربوط به تیمار OST بوده است که میانگین فسفر محلول را ۲ برابر افزایش داد با این اختلاف که میزان افزایش فسفر محلول با اعمال تیمارهای کودی در این خاک در مقایسه با خاک قبلی که حاوی خاک فسفات بود کمتر دیده شد. تیمارهای OT و OP میانگین فسفر محلول را نسبت به تیمار C، تقریباً ۱/۵ افزایش دادند. تیمارهای ST و SP میانگین فسفر محلول را در مقایسه با تیمار C، حدداً ۱/۸ برابر افزایش دادند. والن و چانگ (۲۰۰۲) بیان کردند که استفاده دراز مدت از مواد آلی باعث نگه‌داری فسفر با پیوندهای کم انرژی‌تر شده و قابلیت فراهمی آن را در خاک افزایش می دهد.

با مشاهده میانگین اثر تیمارها بر فسفر محلول خاک درخانیاب در شکل ۴-۳۶ می‌توان دید که در این خاک نیز مانند دو خاک قبل بیشترین افزایش میانگین فسفر محلول مربوط به تیمار OST بود. همه

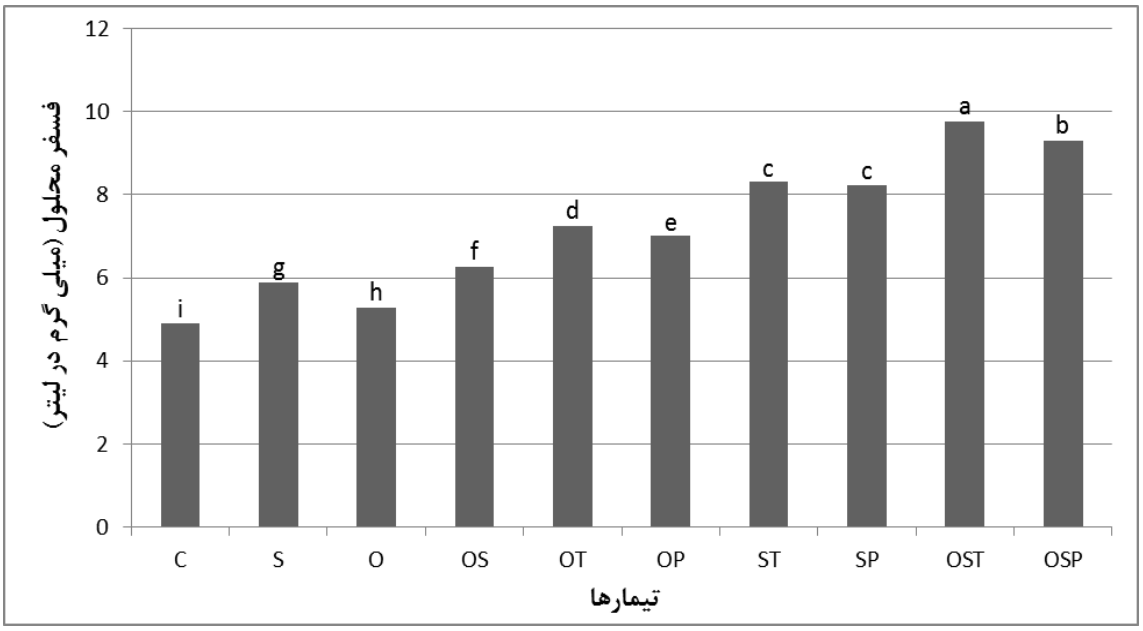
تیمارها اختلاف معنی داری را با تیمار C در افزایش میانگین فسفر محلول داشتند. در مقایسه تیمارها با هم دیده می‌شود که تیمارهای ST و SP با هم اختلاف معنی‌داری در افزایش میانگین فسفر محلول نداشتند.. البته باید به این نکته توجه کرد که میزان فسفر محلول در این خاک در ابتدا بیشتر بوده است و با اعمال تیمارهای کودی این میزان افزایش پیدا کرده است که این میزان افزایش در مقایسه با خاک چاه شهرداری همراه با خاک فسفات کمتر و از خاک چاه شهرداری بدون خاک فسفات بیشتر بود زیرا که در خاک چاه شهرداری همراه با خاک فسفات وجود خاک فسفات باعث شده میزان فسفر محلول آن بیشتر از دو خاک دیگر باشد ولی در خاک در خانیاب چون میزان فسفر محلول آن در ابتدا بیشتر بوده و در این خاک pH به میزان بیشتری در مقایسه با خاک شهرداری بدون خاک فسفات کاهش داشته است در نتیجه سرعت اکسیداسیون بالاتر بوده و فسفر محلول که با pH خاک در ارتباط است بیشتر افزایش یافته است.



شکل ۴-۳۴- میانگین اثر تیمارها بر فسفر محلول خاک چاه شهرداری همراه با خاک فسفات



شکل ۴-۳۵- میانگین اثر تیمارها بر فسفر محلول خاک چاه شهرداری بدون خاک فسفات



شکل ۴-۳۶- میانگین اثر تیمارها بر فسفر محلول خاک درخانیاب

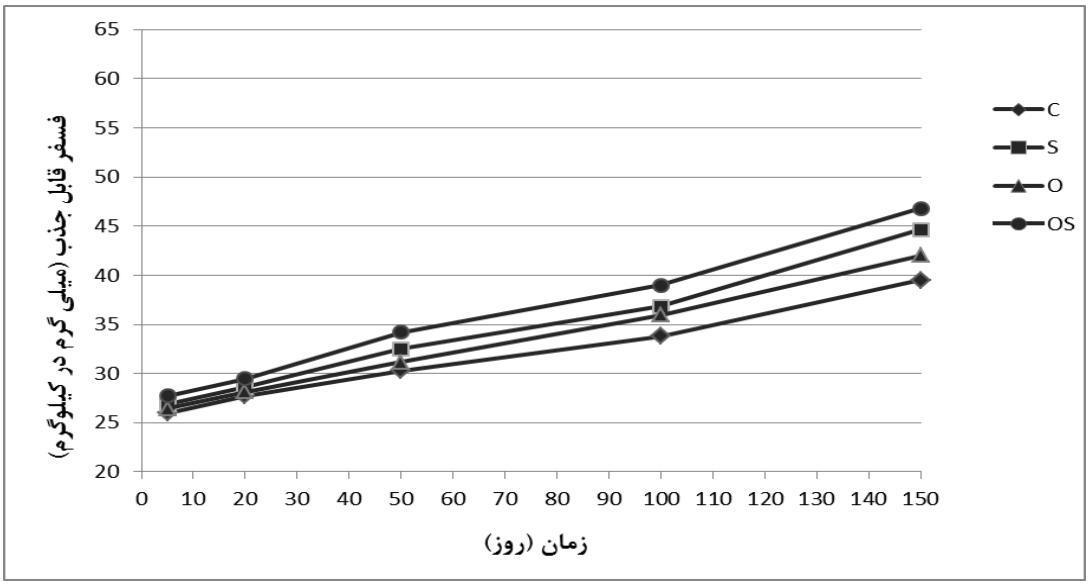
۴-۹- اثر تیمارها و زمان نگهداری بر فسفر قابل جذب خاکها

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمار کودی و تیمار زمان و همچنین اثر متقابل تیمارکودی در زمان برای هر سه نوع خاک در سطح ۱ درصد برای فسفر قابل جذب معنی‌دار بود (جداول ۴-۱،۴-۲ و ۴-۳).

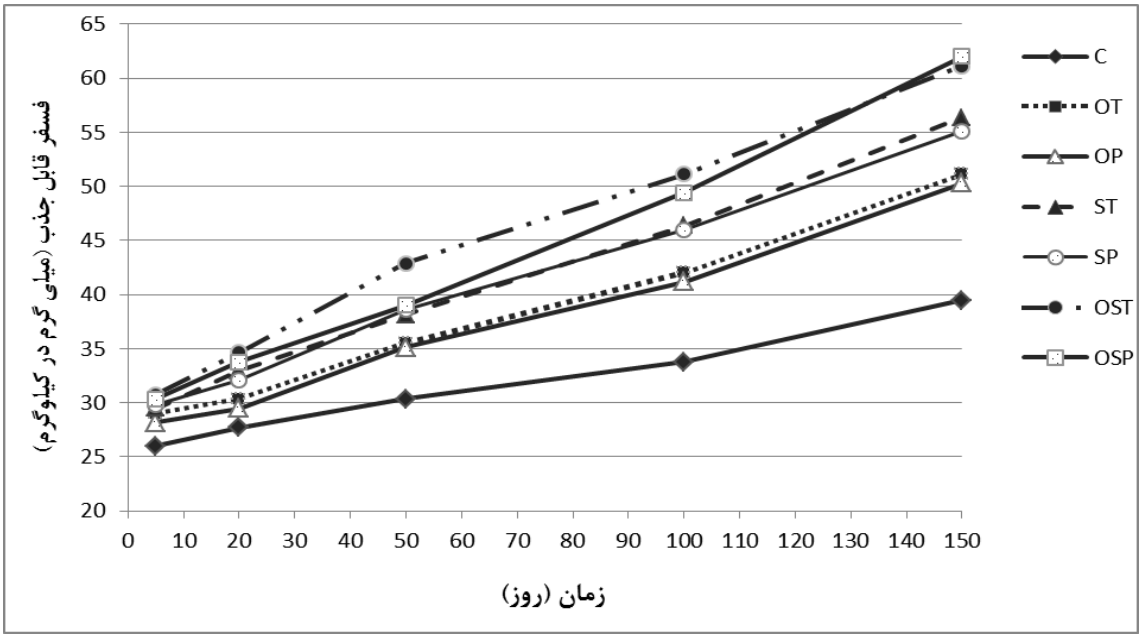
شکل ۴-۳۷ و ۴-۳۸ اثر تیمارها و زمان را بر روی فسفر قابل جذب خاک چاه شهرداری همراه با خاک فسفات نشان می‌دهد. اعمال تیمارهای کودی و افزایش خاک فسفات به این خاک با توجه به شکلها باعث افزایش فسفر قابل جذب شده است با این تفاوت که این افزایش در شکل ۴-۳۸ قابل توجه‌تر بوده است. میزان فسفر قابل جذب در این خاک تقریباً ۲۶ میلی‌گرم در کیلوگرم بوده است که با گذر زمان این میزان به دلیل فعالیت باکتریها و اکسید شدن گوگرد و تجزیه کود سبز افزایش پیدا کرده است. بیشترین میزان فسفر در ۱۵۰ روز مربوط به تیمار OSP بوده است که میزان فسفر قابل جذب را به بالای ۶۰ میلی‌گرم در کیلوگرم رساند که نشان از توانایی این باکتری در انحلال فسفر از ترکیبات نامحلول با تولید اسیدهای ترشح شده دارد. شیب افزایش در شکل ۴-۳۷ کم و با تلقیح باکتری به تیمارها در شکل ۴-۳۸ شیب افزایش بیشتر و قابل ملاحظه بود. تیمار OSP با اضافه شدن خاک فسفات پس از۱۵۰ روز در مقایسه با تیمار شاهد بدون خاک فسفات، فسفر قابل جذب را ۲/۶ برابر افزایش داد که نشان دهنده تأثیر افزایش خاک فسفات در مقایسه با خاکهای بعدی می‌باشد. خیامی و همکاران (۱۳۹۰) با بررسی اثرات تلقیح میکروارگانیسم‌های حل کننده فسفات بر محتوای فسفر در چند خاک مشاهده کردند که تیمار باکتری سودوموناس بیشترین فسفر قابل جذب خاک را داشت. آنتون (۲۰۰۲) در تحقیقی روی ریزجانداران حل کننده فسفات بیان کردند که این ریز-جانداران با تولید اسید، قابلیت انحلال فسفر را از منابع فسفات غیر قابل انحلال نظیر سنگ فسفات افزایش می‌دهند.

تیمار OS در مقایسه با تیمار S در دوره ۱۵۰روزه فسفر را تنها ۲/۱۷ میلی‌گرم در کیلوگرم افزایش داد ولی با تلقیح باکتری به گوگرد در تیمارهای STو SP، میزان افزایش فسفر نسبت به تیمار S بترتیب به ۱۱/۷۱ و ۱۰/۴۱ میلی‌گرم در کیلوگرم رسید. در این خاک بیشترین عامل در افزایش فسفر خاک فسفات بود و اعمال سایر تیمارهای کودی باعث تأثیر بیشتر خاک فسفات در افزایش فسفر شده است. اعمال تیمارهای کودی و خاک فسفات میزان فسفر قابل‌جذب را در بیشترین مقدار خود در مقایسه با فسفر اولیه خاک ۳۸ میلی‌گرم در کیلوگرم افزایش داد.

در این خاک با اعمال تیمارهای کودی فسفر محلول و فسفر قابل جذب افزایش یافتند با این تفاوت که بیشترین میزان فسفر محلول در این خاک مربوط به تیمار OST، و بیشترین میزان فسفرقابل جذب مربوط به تیمار OSP بود. در بیشترین حالت میزان فسفر محلول در این خاک نسبت به تیمار C، ۴/۴ برابر افزایش یافت در حالی که این میزان افزایش برای فسفر قابل جذب ۲/۶ برابر بود که نشان از تأثیرگذاری بیشتر تیمارهای کودی در طول زمان بر روی فسفر محلول دارد که دلیل آن می‌تواند این باشد که pH بیشتر با فسفر محلول در ارتباط است تا با فسفر قابل جذب، و کاهش pH تأثیر بیشتری را در افزایش فسفر محلول دارد.



شکل ۴-۳۷- اثر تیمارها و زمان بر فسفر قابل جذب خاک چاه شهرداری همراه با خاک فسفات مربوط به تیمارهای بدون باکتری



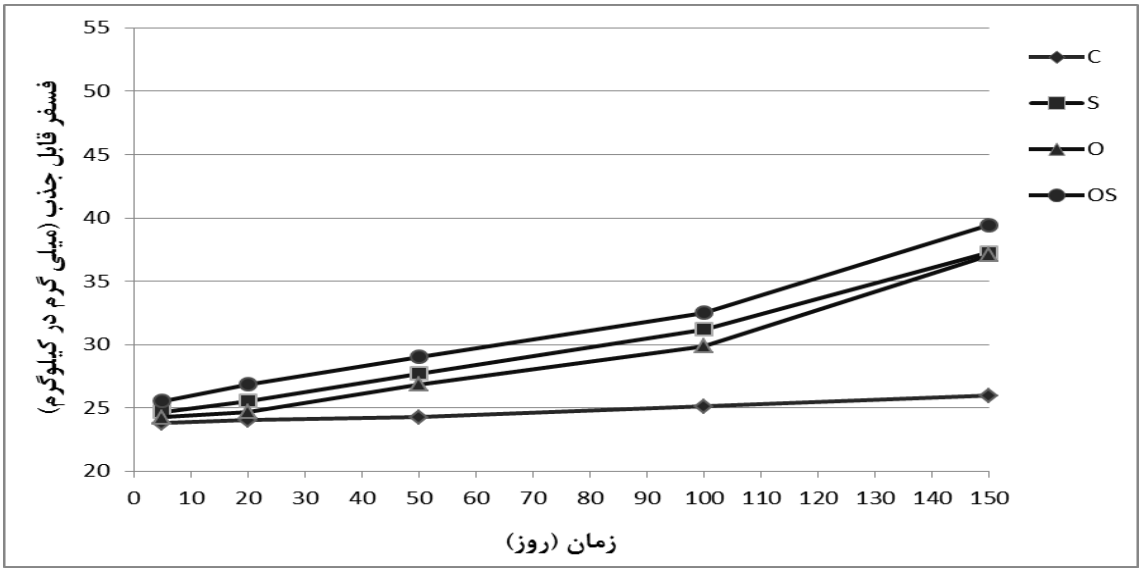
شکل ۴-۳۸- اثر تیمارها و زمان بر فسفر قابل جذب خاک چاه شهرداری همراه با خاک فسفات مربوط به تیمارهای حاوی باکتریها

اثر تیمارها و زمان بر فسفر قابل جذب خاک چاه شهرداری بدون خاک فسفات در شکلهای ۴-۳۹ و ۴-۴۰ نشان داده شده است. با مقایسه این خاک با خاک قبلی می‌توان دید که میزان افزایش فسفر قابل جذب در این خاک نسبت به خاک قبلی که حاوی خاک فسفات بود، کمتر است. با مشاهده شکل ۴-۳۹ مشخص شد که میزان افزایش فسفر قابل جذب در تیمار C در مقایسه با تیمار C درخاک قبلی قابل ملاحظه نبوده و پس از ۱۵۰ روز میزان فسفر را تنها ۲/۱۷ میلی‌گرم در کیلوگرم افزایش داد در حالی که این میزان افزایش در خاک قبلی با کاربرد خاک فسفات، در تیمار شاهد پس از ۱۵۰ روز ۱۳/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. این اختلاف در افزایش فسفر در تیمارهای دیگر دو خاک نیز قابل مشاهده است. قابل توجه‌ترین میزان افزایش در ابتدا در دوره ۱۰۰ روز دیده شد. در این خاک بیشترین میزان فسفر مربوط به تیمار OST در دوره ۱۵۰ روزه بود که میزان فسفر قابل جذب را در مقایسه با تیمار C، ۲/۲ برابر افزایش داد.

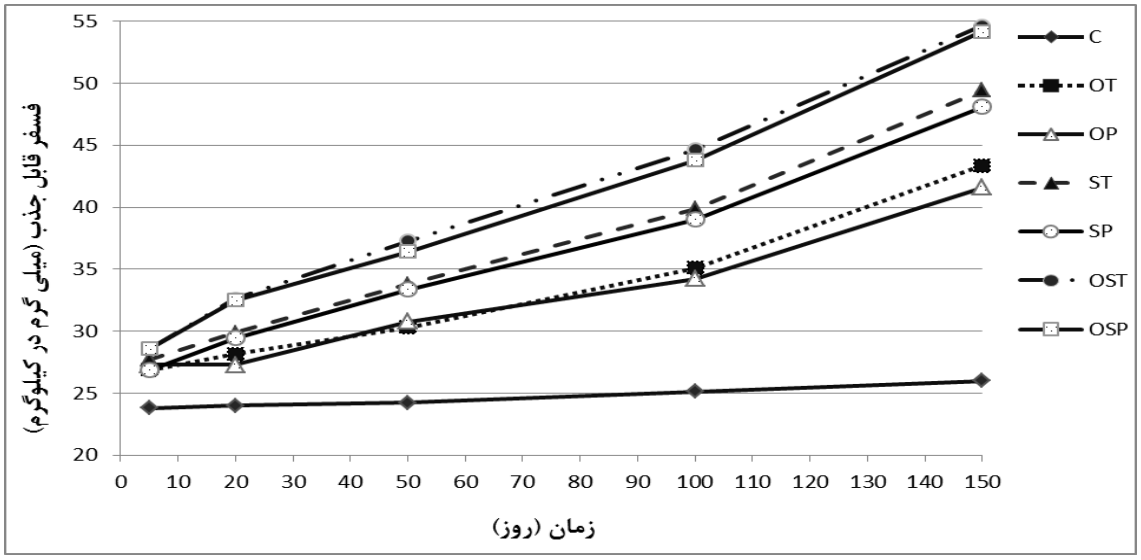
تیمار OSP نیز فسفر قابل جذب را در مقایسه با تیمار C، ۲ برابر افزایش داد که دلیل کم بودن میزان افزایش فسفر در این خاک در مقایسه با خاک قبلی، آزاد سازی فسفر از خاک فسفات می‌باشد. یکی از دلایل عمده حل کنندگی فسفات، تولید اسیدهای آلی توسط میکروارگانیسم‌ها می‌باشد. تولید اسیدهای آلی موجب اسیدی شدن محیط اطراف شده و در نتیجه فسفر در اثر جایگزینی پروتون به جای کلسیم آزاد می‌شود (Rodríguez and Reynaldo, 1999) .

پس از ۱۵۰ روز در تیمار S میزان فسفر قابل جذب ۳۷/۲۷ میلی‌گرم در کیلوگرم بود که با تلقیح باکتری‌ها به آن (ST و SP) این میزان به ۴۹/۴۱ و ۴۸/۱۱ میلی‌گرم در کیلوگرم رسید. اخوان و فلاح (۱۳۹۰) با بررسی تأثیر گوگرد و تیوباسیلوس بر pH و فسفر قابل جذب خاک بیان کردند که متوسط فسفر قابل جذب در تیمارهای بدون تلقیح ۲۱ میلی‌گرم در کیلوگرم بوده در حالی که این مقدار در تیمارهای تلقیح شده ۲۶/۴۸ میلی‌گرم در کیلوگرم بود و با افزایش گوگرد، فسفر از ۱۶/۴۸ به ۳۵/۰۱ میلی‌گرم در کیلوگرم افزایش یافته است. با مقایسه فسفر قابل جذب و فسفر محلول این خاک

مشاهده شد که در هر دو بیشترین افزایش مربوط به تیمار OST بود با این تفاوت که تیمار OST فسفر قابل جذب را ۲/۳ برابر و فسفر محلول را ۳/۵ افزایش داشت که نشان از تأثیر گذاری بیشتر این تیمار در افزایش فسفر محلول می‌باشد.



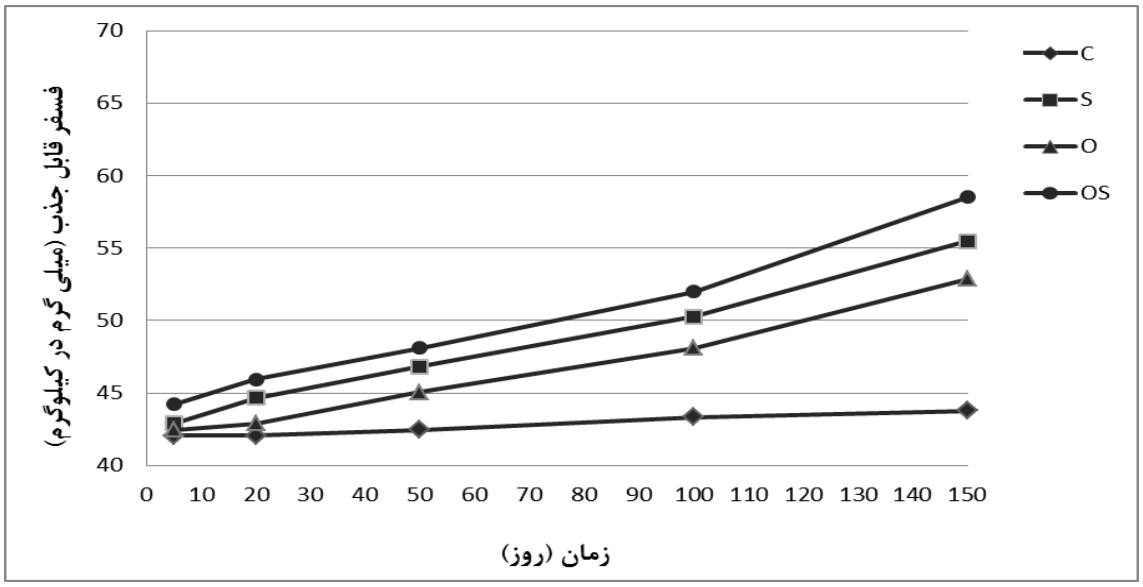
شکل ۴-۳۹- اثر تیمارها و زمان بر فسفر قابل جذب خاک چاه شهرداری بدون خاک فسفات مربوط به تیمارهای بدون باکتری



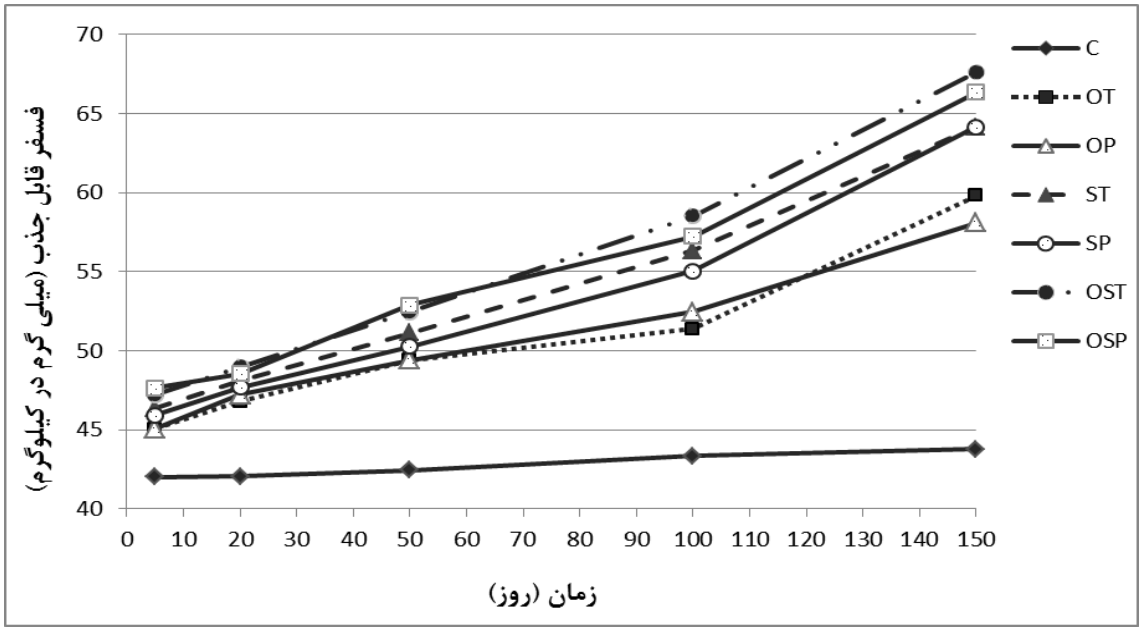
شکل ۴-۴۰- اثر تیمارها و زمان بر فسفر قابل جذب خاک چاه شهرداری بدون خاک فسفات مربوط به تیمارهای حاوی باکتریها

شکلهای ۴-۴۱ و ۴-۴۲ اثر تیمارها و زمان بر فسفر قابل جذب خاک درخانیاب را نشان می‌دهد. در این با توجه به شکل مشخص شد که فسفر قابل جذب در این خاک نسبت به خاک چاه شهرداری در ابتدا بیشتر بوده است و مقدار آن درتیمار شاهد ۴۲ میلی‌گرم درکیلوگرم بوده است که با اعمال تیمارهای کودی در بیشترین حالت این میزان ۱/۶ برابر افزایش یافت و در بیشترین حالت به حدود ۶۸ میلی‌گرم درکیلوگرم رسید. احسانی و همکاران (۱۳۹۰) دریافتند که اثر گوگرد بر میزان فسفر قابل جذب خاک تأثیر معنی داری ایجاد کرد که مصرف گوگرد در دو سطح میزان فسفر قابل جذب را ۴۹/۳۹ و ۷۲/۴۰ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. با توجه به شکلهای ۴-۴۱ و ۴-۴۲ در این خاک نیز تیمار شاهد تغییر معنی‌داری را در افزایش فسفر پس از ۱۵۰ روز نشان نداد. تیمار O نیز در طول زمان میزان فسفر قابل جذب را افزایش داده است که می تواند به دلیل تولید اسیدهای آلی حاصل از تجزیه آن در طول زمان باشد.

در مقایسه فسفر محلول و قابل جذب این خاک می‌توان گفت در هر دو بیشترین میزان افزایش مربوط به تیمار OST بود. در طول ۱۵۰ روز میزان فسفر محلول ۳/۲ برابر افزایش یافت که این میزان برای فسفر قابل ۱/۶ برابر بود. در این خاک میزان افزایش فسفر قابل جذب در مقایسه با مقدار اولیه فسفر این خاک، ۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم افزایش داشت که این میزان افزایش از هر دو خاک کمتر است زیرا که این خاک دارای فسفر قابل جذب اولیه بیشتری بوده و میزان کمتری از آن تثبیت شده و در نتیجه میزان فسفر نامحلول کمتری را در مقایسه با دو خاک قبل داشته است.



شکل ۴-۴۱- اثر تیمارها و زمان بر فسفر قابل جذب خاک درخانیاب مربوط به تیمارهای بدون باکتری



شکل ۴-۴۲- اثر تیمارها و زمان بر فسفر قابل جذب خاک درخانیاب مربوط به تیمارهای حاوی باکتری‌ها

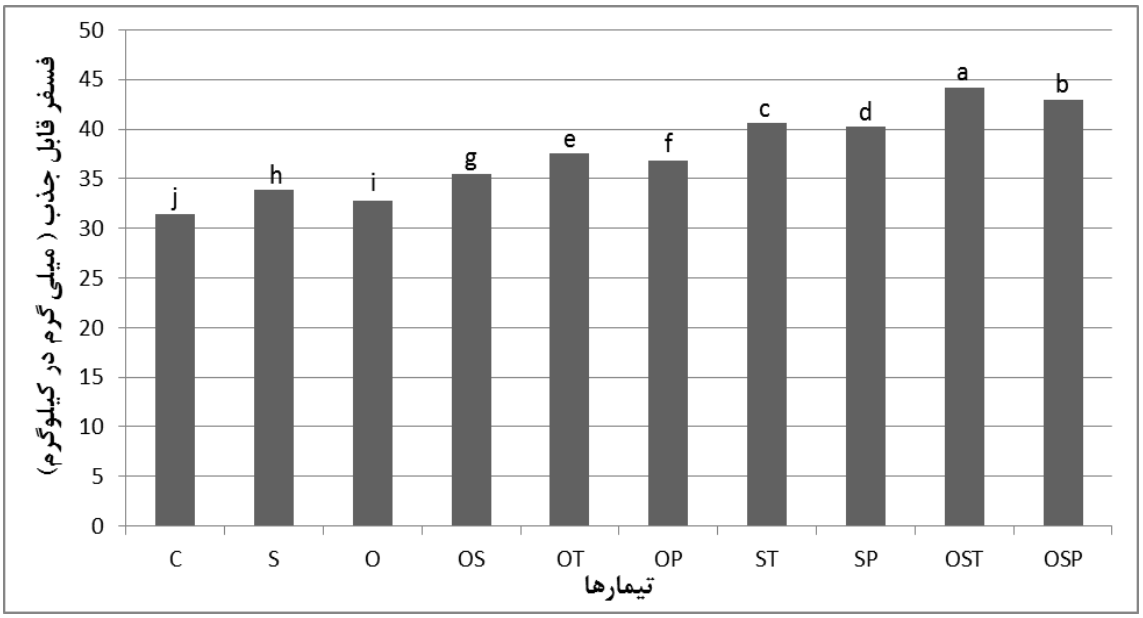
۴-۱۰- میانگین اثر تیمارها بر فسفر قابل جذب خاکها

میانگین اثر تیمارها بر فسفر قابل جذب خاک شهرداری همراه با خاک فسفات در شکل ۴-۴۳ نشان داد که بیشترین میانگین مربوط به تیمار OST بوده است همه تیمارها اختلاف معنی‌داری را نسبت به تیمار C نشان دادند که نشان از تأثیر هر یک از تیمارها در افزایش فسفر دارد. بیشترین میانگین فسفر قابل جذب در این خاک مربوط به تیمار OST بوده که فسفر قابل جذب را در مقایسه با تیمار C، ۱/۴ برابر افزایش داد. رزا و همکاران (۱۹۸۹) با بررسی کاربرد خاک فسفات به همراه گوگرد و تیوباسیلوس به این نتیجه رسیدند که باعث افزایش فراهمی فسفر از خاک فسفات شد. باکتری تیوباسیلوس، گوگرد را به اسید سولفوریک تبدیل نموده که با تأثیر بر روی خاک فسفات باعث آزادسازی فسفر از آن می-شود.

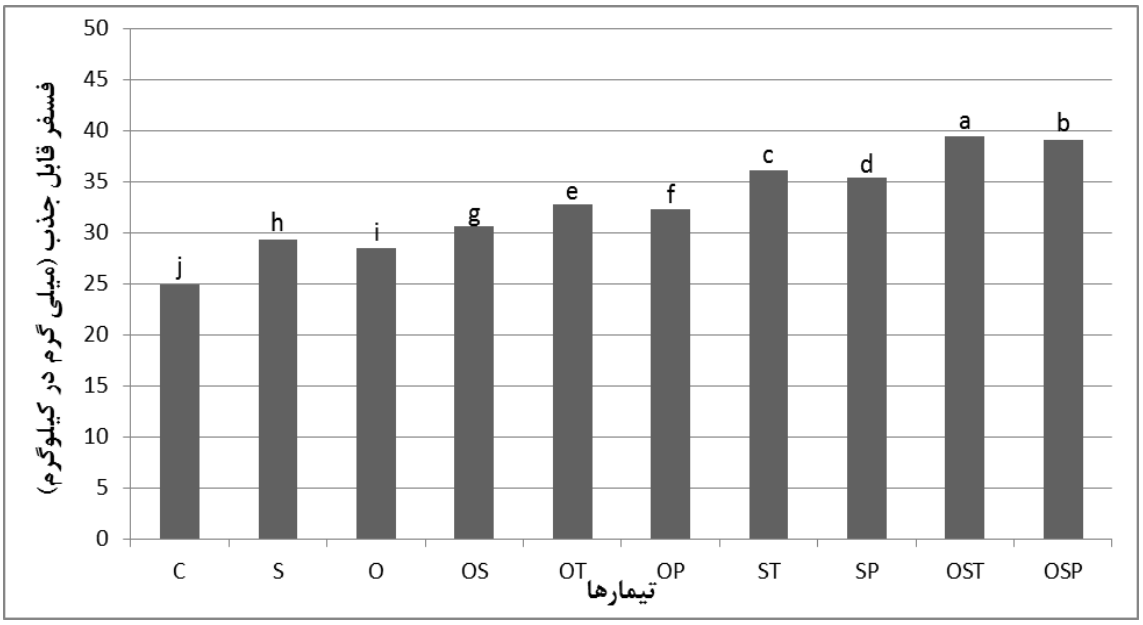
شکل ۴-۴۴ میانگین اثر تیمارها را بر فسفر قابل جذب در خاک چاه شهرداری بدون خاک فسفات نشان می‌دهد. در این خاک نیز همه تیمارها اختلاف معنی‌داری را در مقایسه با تیمار C در افزایش فسفر نشان دادند. بیشترین میانگین مربوط به تیمار OST بوده است. با این تفاوت که در مقایسه با خاک قبلی میانگین فسفر در این خاک کمتر بوده است ولی تأثیر تیمارها در افزایش میانگین نسبت به تیمار شاهد در این خاک بیشتر است به طوری که تیمارهای ST و SP در این خاک میانگین فسفر قابل جذب را نسبت به تیمار C به ترتیب ۱/۵ برابر افزایش دادند و این میزان افزایش در تیمارهای OST و OSP، ۱/۶ برابر بود. ریزجانداران حل کننده فسفات با معدنی کردن فسفر آلی در خاک از طریق حل کردن فسفات‌های نامحلول باعث افزایش فراهمی فسفر برای گیاه می‌شوند (Chen et al, 2006).

با بررسی شکل ۴-۴۵ مربوط به اثر تیمارها بر فسفر قابل جذب خاک درخانیاب این نتایج حاصل شد که این خاک در مقایسه با خاکهای قبلی دارای میانگین‌های فسفر قابل جذب بیشتری بوده که دلیل آن تأثیر بیشتر تیمارهای کودی نبوده است بلکه به علت بالا بودن فسفر اولیه در این خاک قبل از

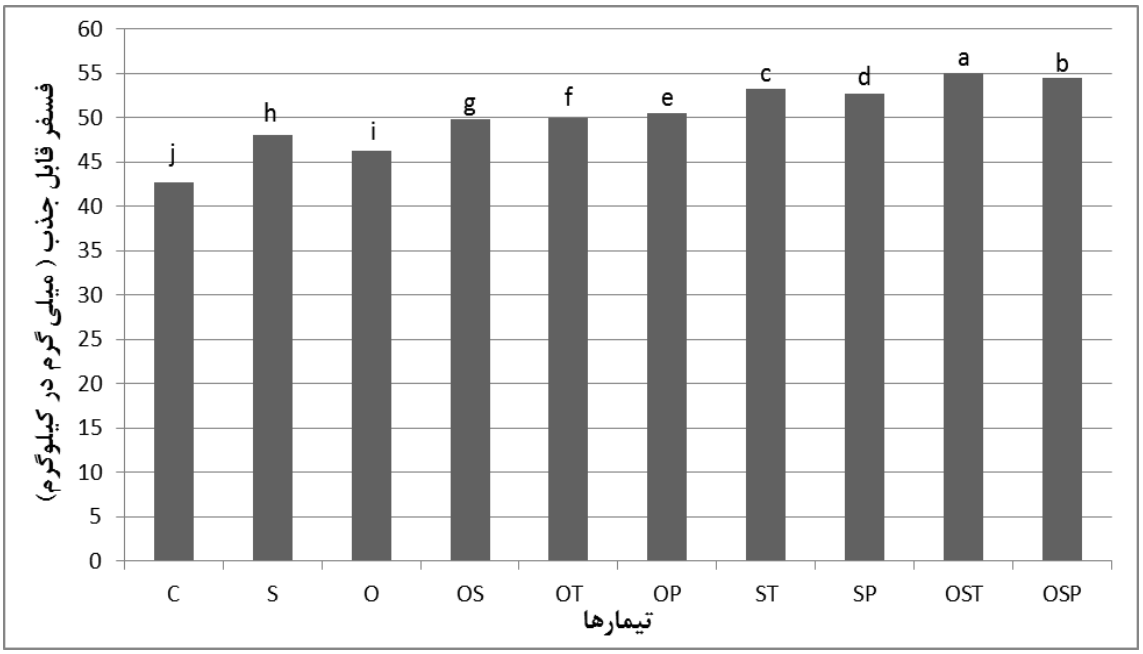
اعمال تیمارهای کودی است و تیمارهای کودی در طول زمان این میزان را افزایش دادند. در این خاک نیز مانند دو خاک قبل بیشترین میانگین مربوط به تیمار OST بود که اختلاف معنی‌داری را با تیمار C و سایر تیمارها داشت. میکروارگانیسم‌های حل کننده فسفات با مکانیسم های مختلفی مانند ترشح اسیدهای آلی و تولید آنزیم فسفاتاز، فسفات‌های نامحلول را حل می‌کنند (Wiederholt and Johnson, 2005).



شکل ۴-۴۳- میانگین اثر تیمارها بر فسفر قابل جذب خاک چاه شهرداری همراه با خاک فسفات



شکل ۴-۴۴- میانگین اثر تیمارها بر فسفر قابل جذب خاک چاه شهرداری بدون خاک فسفات



شکل ۴-۴۵- میانگین اثر تیمارها بر فسفر قابل جذب خاک درخانیاب

۴-۱۱- اثر تیمارهای کودی بر تغییرات حلالیت فسفر در خاکها

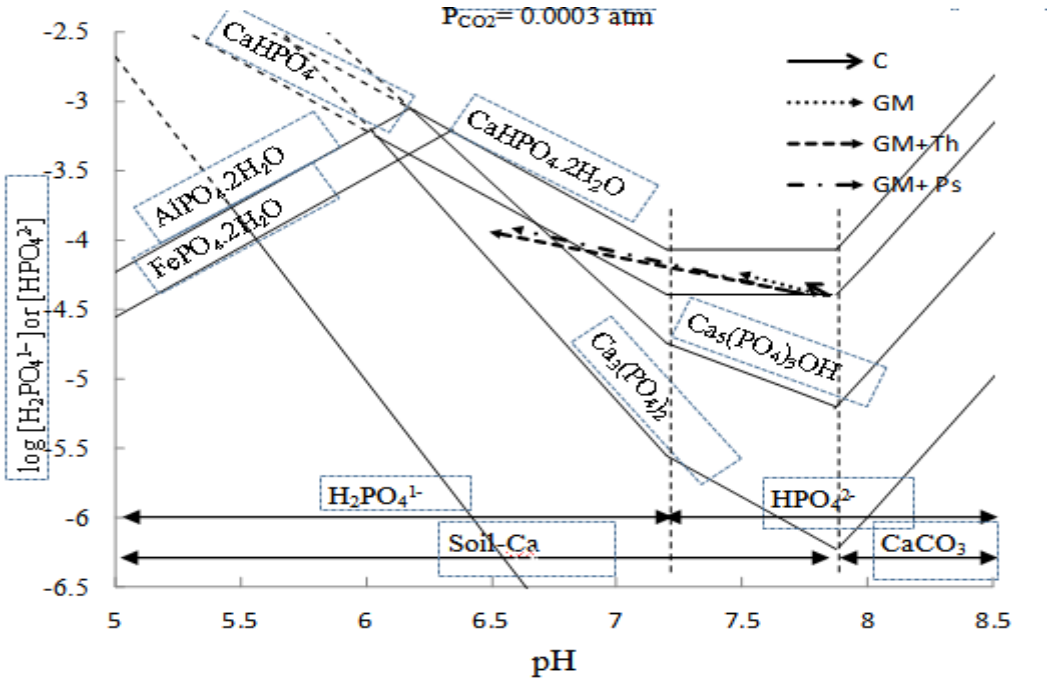
شکلهای ۴-۴۶ و ۴-۴۷ تغییرات حلالیت فسفر در خاک چاه شهرداری همراه با خاک فسفات را به عنوان تابعی از pH خاک نشان می‌دهد. در ابتدای زمان همه خاکهای مربوط به تیمارهای مورد بررسی نسبت به کانی دی فسفات کلسیم ($CaHPO_4$) در حالت اشباع قرار داشتند. شکل ۴-۴۶ اثر پودر یونجه(کودسبز) و باکتری‌ها بر تغییرات حلالیت فسفردر خاک را نشان می‌دهد. باگذشت ۱۵۰ روز مشاهده شد که خاکهای مربوط به تیمارهای شاهد (C) و کود سبز (GM) تأثیر زیادی روی حلالیت نداشتند که نسبت به کانی دی فسفات کلسیم با دو مولکول آب ($CaHPO_4.2H_2O$) در حالت زیراشباع اما نسبت به کانی دی فسفات کلسیم ($CaHPO_4$) در حالت فوق اشباع می باشد. درحالی که خاک‌های مربوط به تیمارهای حاوی کود سبز و باکتری‌های تیوباسیلوس(GM+Th) و سودوموناس (GM+Th) با گذشت زمان نسبت به کانی هیدروکسی آپاتیت ($Ca_5(PO_4)_3OH$) زیر اشباع اما نسبت به کانی تری کلسیم فسفات ($Ca_3(PO_4)_2$) فوق اشباع می‌باشند که نشان از حلالیت بالای فسفر خاک دارد. شکل ۴-۴۷ اثر گوگرد و باکتریها بر تغییرات حلالیت فسفردر خاک را نشان می‌دهد. خاکهای حاوی S و S+GM تأثیر بیشتری را روی حلالیت فسفر در مقایسه با خاکهای بدون گوگرد داشتند. در طول زمان خاک‌های حاوی تیمار S+Th و S+GM+Th نسبت به کانی تری کلسیم فسفات ($Ca_3(PO_4)_2$) فوق اشباع اما نسبت به کانیهای واریسایت ($AlPO_4.2H_2O$) و استرنژایت ($FePO_4.{}_2H_2O$) زیر اشباع می‌باشند که می‌توان اینگونه استنباط کرد که با گذشت زمان و تأثیر تیمارهای کودی، pH کاهش یافته، کانی‌های حاوی کلسیم و بعضی دیگر از عناصر محلول شده و به تدریج اکسیدهای آهن و آلومینیم جایگزین شده اند.

شکل ۴-۴۸ و ۴-۴۹ تغییرات حلالیت فسفر در خاک چاه شهرداری بدون خاک فسفات را به عنوان تابعی از pH خاک نشان می‌دهد. تغییرات حلالیت فسفر در این خاک مانند خاک قبل بوده است با

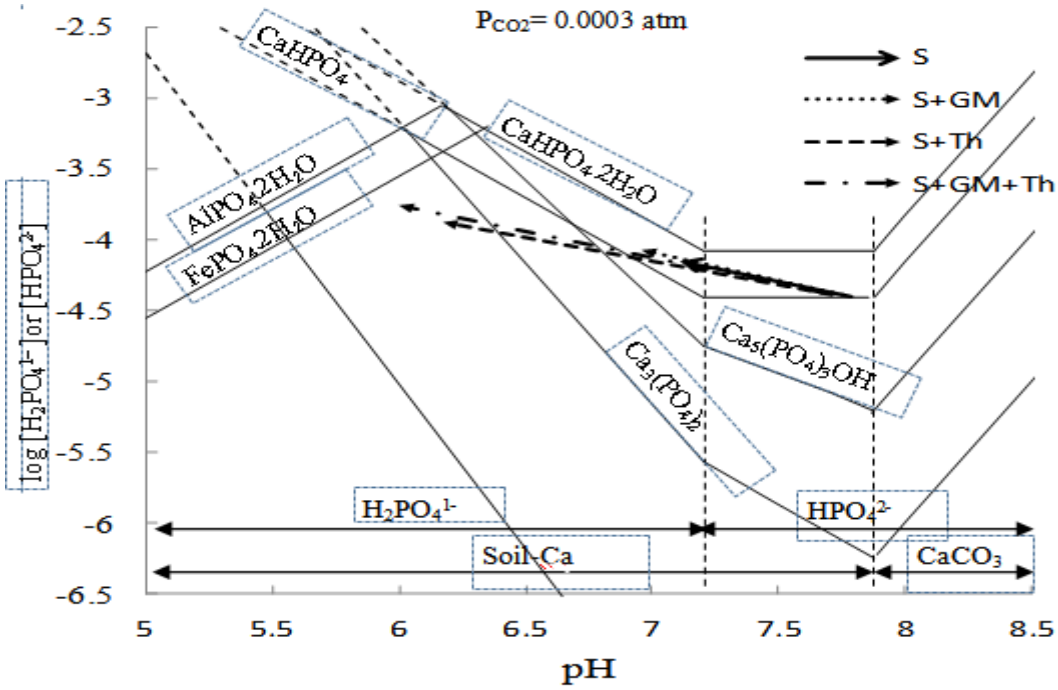
این تفاوت که خاک حاوی تیمار شاهد پس از ۱۵۰ روز نسبت به کانی دی کلسیم فسفات ($CaHPO_4$) در حالت اشباع باقی ماند.

شکل ۴-۵۰ و ۴-۵۱ تغییرات حلالیت فسفر در خاک درخانیاب را به عنوان تابعی از pH خاک نشان می‌دهد. در ابتدا مشاهده می شود که همه خاک های مربوط به تیمارهای مورد بررسی نسبت به کانی کانی دی کلسیم فسفات ($CaHPO_4$) فوق اشباع اما نسبت به کانی دی فسفات کلسیم با دو مولکول آب ($CaHPO_4.2H_2O$) زیر اشباع بودند که با گذشت ۱۵۰ روز در شکل ۴-۵۰ مشاهده می شود که خاک حاوی تیمار شاهد و کودسبز در همان وضعیت باقی ماندند ولی خاک حاوی تیمارهای کود سبز و باکتریها متفاوت بوده، خاک حاوی تیمار کود سبز و تیوباسیلوس در طول زمان و پس از ۱۵۰ روز به سمت کانیهای واریسایت و استرنژایت حرکت کرده و نسبت به این کانی در حالت فوق اشباع و نسبت به کانی تری کلسیم فسفات ($Ca_3(PO_4)_2$) زیر اشباع در آمد. خاک حاوی تیمار کودسبز و سودوموناس در طول زمان نسبت به کانی تری کلسیم فسفات ($Ca_3(PO_4)_2$) به حالت فوق اشباع درآمد.

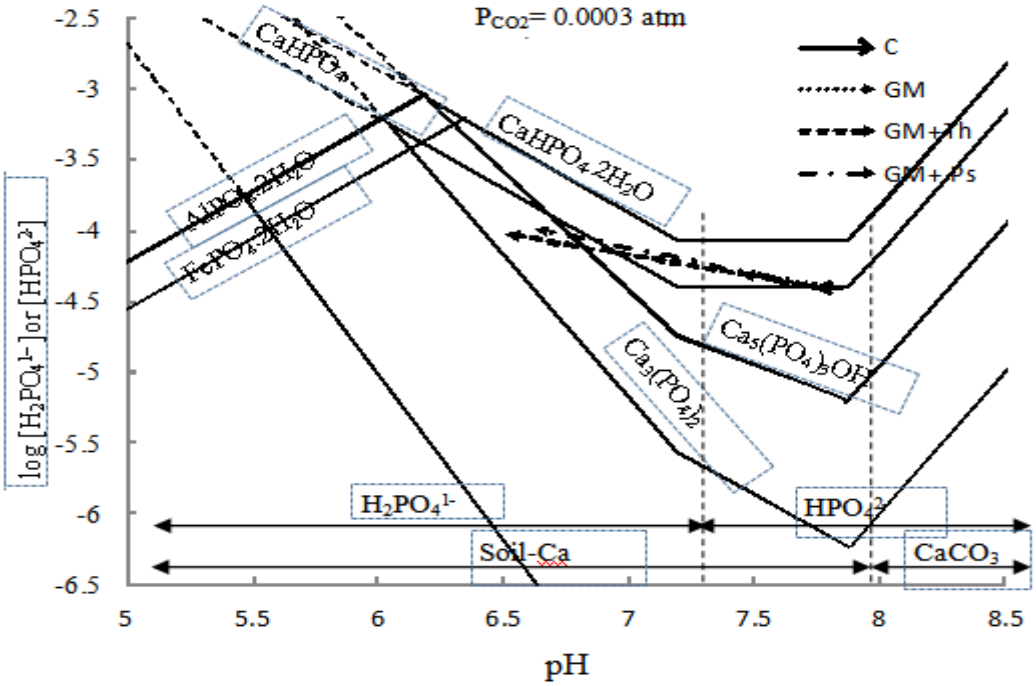
در شکل ۴-۵۱ نیز که گوگرد و تیوباسیلوس به خاک ها اضافه شد مشاهده می شود که تأثیر بیشتری را در تغییرات حلالیت فسفر داشته وخاک حاوی تیمار گوگرد و گوگرد بهمراه کود سبز که باکتری تیوباسیلوس به آن تلقیح شده باعث شده که در طول زمان خاک نسبت به کانیهای واریسایت و استرنژایت به حالت فوق اشباع و نسبت به کانی تری کلسیم فسفات به حالت زبر اشباع درآید.



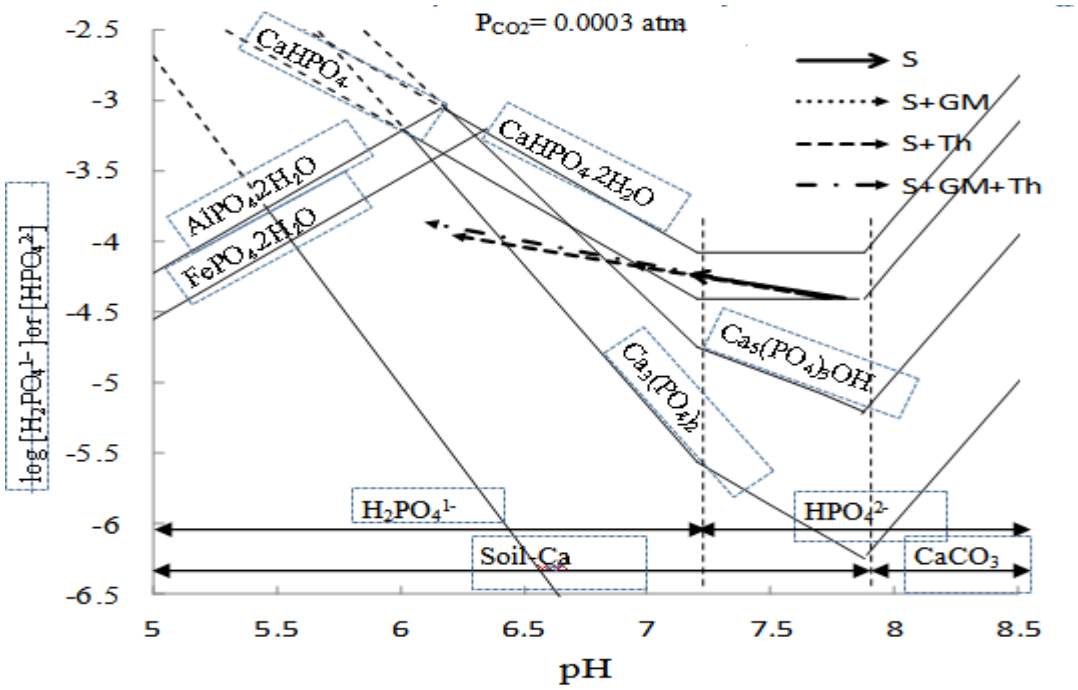
شکل ۴-۴۶- اثر پودر یونجه و باکتریها بر تغییرات حلالیت فسفردر خاک چاه شهرداری همراه با خاک فسفات(ابتدا و انتهای پیکان ابتدا و انتهای زمان نگهداری را نشان میدهد)



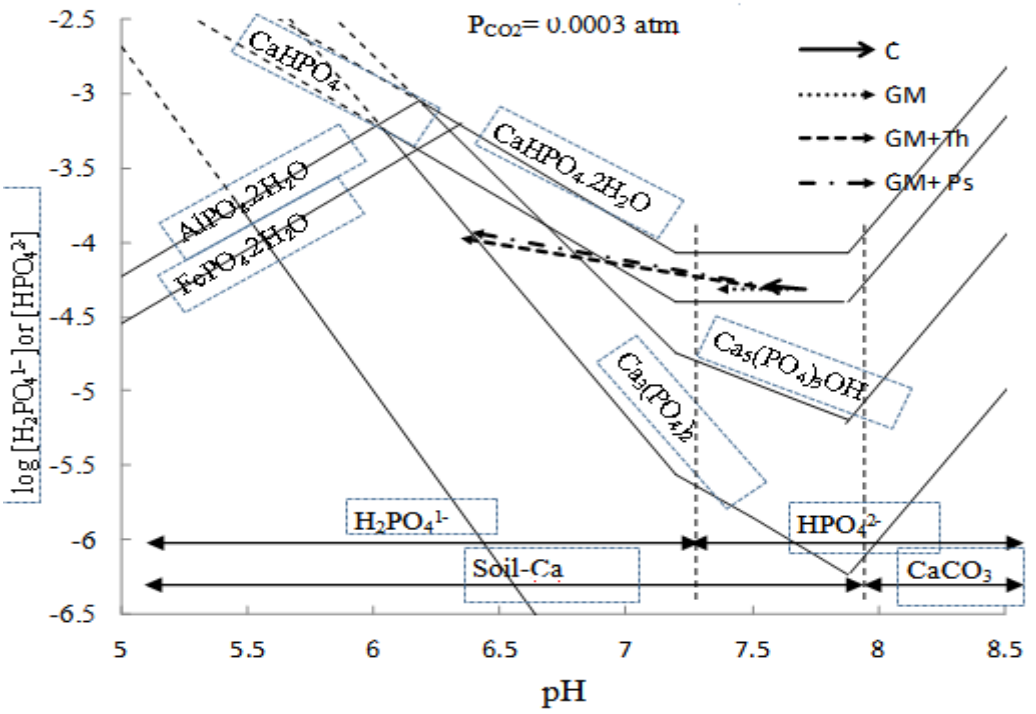
شکل ۴-۴۷- اثر گوگرد و باکتریها بر تغییرات حلالیت فسفردر خاک چاه شهرداری همراه با خاک فسفات



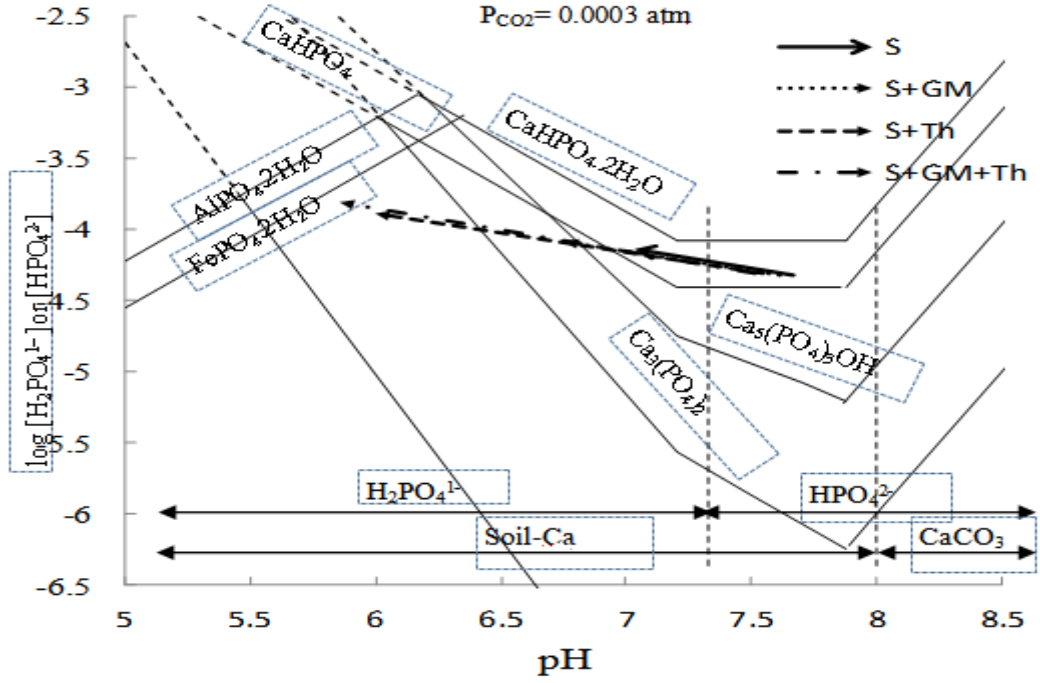
شکل ۴-۴۸- اثر پودر یونجه و باکتریها بر تغییرات حلالیت فسفردر خاک چاه شهرداری بدون خاک فسفات



شکل ۴-۴۹- اثر گوگرد و باکتریها بر تغییرات حلالیت فسفردر خاک چاه شهرداری بدون خاک فسفات



شکل ۴-۵۰- اثر پودر یونجه و باکتریها بر تغییرات حلالیت فسفردر خاک درخانیاب



شکل ۴-۵۱- اثر گوگرد و باکتریها بر تغییرات حلالیت فسفردر خاک درخانیاب

نتیجه‌گیری

در نهایت می‌توان گفت که اعمال تیمارهای کودی باعث افزایش EC، سولفات محلول، فسفر محلول و فسفر قابل جذب و کاهش pH شد. به صورتی که با گذشت زمان تأثیر تیمارهای کودی به میزان بیشتری نمایان شد. در هر سه خاک با اعمال تیمارهای کودی واکنش خاک (pH) با گذشت زمان کاهش پیدا کرد ولی این کاهش در دوره‌های ۵ و ۲۰ روزه زیاد چشمگیر نبوده است که دلیل آن را می‌توان مهیا نبودن شرایط مناسب تأثیرگذاری برای تیمارها دانست. در دوره‌های ۱۰۰ و ۱۵۰ روزه تأثیر بیشتری نسبت به دوره‌های قبل مشاهده شد. با اعمال تیمارهای کودی واکنش خاک کاهش پیدا کرد و این کاهش نسبت به نوع تیمار کودی فرق داشت ولی در کل تیمار حاوی کود سبز، گوگرد و باکتریها بیشترین تأثیر را در کاهش pH داشته‌اند که این کاهش pH باعث شده شرایط برای اکسیداسیون گوگرد مهیا شود و به تبع آن میزان فسفر و سولفات خاکها نیز تحت تأثیر قرار گرفته و افزایش پیدا کرده است. بیشترین تأثیرگذاری را روی خصوصیات مورد بررسی تیمارهای حاوی گوگرد، کودسبز و باکتریها و کمترین تأثیر را تیمار کود سبز به تنهایی داشت. در هر سه خاک افزودن تیمارهای کودی فسفر محلول را نسبت به فسفر قابل جذب بیشتر افزایش داد. در خاک چاه شهرداری که خاک فسفات به آن افزوده شد میزان فسفر محلول و قابل جذب بیشتر افزایش یافت. در کل نتایج حاصل از این آزمایش را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

- یکسان بودن تاثیر دو نوع باکتری بر خصوصیات مورد بررسی
- دامنه تغییرات کاهش pH خاکها با اعمال تیمارهای کودی در بیشترین حالت ۱/۷۵ تا ۱/۸۵ واحد بود.
- هدایت الکتریکی خاکها با گذشت زمان افزایش پیدا کرد و این افزایش در بیشترین حالت نسبت به خاک اولیه در محدوده ۱/۴ تا ۱/۵ دسی زیمنس بر متر بود.

- تیمارهای کودی در بیشترین حالت میزان سولفات محلول خاکها را ۷/۱ تا ۷/۳۵ برابر افزایش داد.

- فسفر محلول با اعمال تیمار کودی نسبت به مقدار اولیه خاکها در بیشترین حالت ۳/۲ تا ۴/۸ برابر افزایش یافت.

- فسفر قابل جذب خاکها با اعمال تیمارهای کودی ۱/۶ تا ۲/۴ برابرافزایش یافت.

پیشنهادها

- استفاده از ترکیبات آلی بجای گوگرد در خاکهای شور به دلیل افزایش بیش از حد شوری توسط افزودن گوگرد

- توصیه می‌شود که در مناطق با میزان فسفر بالا برای مدت زمانی از کودهای فسفره استفاده نشده و هر ساله میزان فسفر موجود در خاک بررسی شود.

- توصیه می‌شود که آزمایش انجام شده در حالت کشت گیاه نیز مورد بررسی قرار گیرد تا میزان جذب عناصر آزاده شده بوسیله گیاه توسط این روش مورد بررسی قرار گیرد.

- به علت قلیایی بودن این خاکها و میزان بالای کربنات کلسیم موجود در این خاکها پیشنهاد می‌شود سایر عناصر ضروری خاک نیز مورد بررسی قرار گیرد تا توازن عناصردر خاک به وجود بیاید.

- استفاده از سطوح کمتر کود سبز و گوگرد به دلیل افزایش شدید فسفر قابل دسترس و محلول در سطوح بکار رفته

- بهتر است در مورد تعیین وضعیت بقاء باکتریهای حل کننده فسفات و اکسید کننده گوگرد بعد از کاربرد آنها تحقیقاتی صورت گیرد.

- توصیه می‌شود استفاده از سطوح مختلف خاک فسفات و گوگرد مورد بررسی قرار گیرد.

پیوست‌ها

جدول پیوست ۴-۱- جدول تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه مربوط به خاک چاه شهرداری همراه با خاک فسفات

		میانگین مربعات				
منابع تغییرات	درجه آزادی	pH	EC (dS/m)	سولفات محلول (mg/l)	فسفر محلول (mg/l)	فسفر قابل جذب (mg/kg)
تیمار کودی(T)	۹	۱/۳۱۸**	۲/۵۹۶**	۳۱۳/۳۴۵**	۶۱/۸۵۵**	۲۷۸/۹۸۳**
زمان	۴	۵/۵۵۳**	۰/۲۳۹**	۹۷۰/۸۸۹**	۲۳۲/۱۰۶**	۲۴۹۰/۳۰۹**
تیمارکودی ×زمان	۳۶	۰/۱۵۸**	۰/۰۰۷۵^{ns}	۲۶/۷۶۶**	۸/۸۹۸**	۱۹/۶۰۶**
خطا	۲۰	۰/۰۱۶	۰/۰۰۷۹	۰/۰۲۱	۰/۰۱۲۶	۰/۰۱۵
C.V٪		۰/۹۱۸	۱۱/۱۱	۰/۴۲۴	۱/۶۳۵	۰/۳۶۸

جدول ۴-۲- جدول تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه مربوط به خاک چاه شهرداری بدون خاک فسفات

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		pH	EC (dS/m)	سولفات محلول (mg/l)	فسفر محلول (mg/l)	فسفر قابل جذب (mg/kg)
تیمار کودی(T)	۹	۱/۲۹۵**	۲/۸۶۹**	۲۹۵/۶۵۲**	۳۲/۸۰۷**	۳۳۲/۱۷۳**
زمان	۴	۶/۱۴۴**	۰/۳۰۱**	۸۷۱/۳۸۳**	۱۲۲/۵۵۴**	۱۳۳۲/۳۱۴**
تیمارکودی× زمان	۳۶	۰/۱۹۶**	۰/۰۰۸ **	۲۵ /۲۳۵**	۵/۴۸۹**	۲۶/۴۸۳**
خطا	۲۰	۰/۰۴۵	۰/۰۰۲	۰/۰۳۳۹	۰/۰۰۸۶	۰/۱۹۰۹
C.V %		۲/۳۴	۵/۷	۰/۶۲۹	۱/۵۷	۱/۳۲

جدول ۴-۳- جدول تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه مربوط به خاک درخانیاب

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		pH	EC (dS/m)	سولفات محلول (mg/l)	فسفر محلول (mg/l)	فسفر قابل جذب (mg/kg)
تیمار کودی(T)	۹	۱/۴۳۱**	۲/۷۳۵**	۳۵۳/۷۵۱**	۴۱/۴۹۱**	۲۲۰/۸۷۴**
زمان	۴	۵/۵۲۸**	۰/۳۶۲**	۱۱۲۴/۰۲۵**	۱۵۱/۹۶۹**	۹۶۲/۹۶۷**
تیمارکودی ×زمان	۳۶	۰/۱۵۳**	۰/۰۰۵۲**	۳۲/۲۵۴**	۶/۳۳۱**	۱۵/۴۱۹**
خطا	۲۰	۰/۰۱۹۶	۰/۰۰۱۱	۰/۰۲۹۵	۰/۰۱۲۵	۰/۰۱
C.V %		۰/۶۴۶	۴/۶۳	۰/۳۵۶	۱/۴۶	۰/۲۶۹

منابع

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

- احسانی ا، جلالی هنرمند س، خرمی وفا م، صیادیان ک و اصغرزاده ا، (۱۳۹۰)، بررسی اثر گوگرد، منیزیم و تیوباسیلوس بر حاصلخیزی خاک و تغذیه سویا، دوازدهمین کنگره علوم خاک ایران، تبریز.

- اخوان ز و فلاح ع، (۱۳۹۰)، " بررسی تأثیر گوگرد و مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس بر pH خاک و فسفر قابل جذب خاک"، دوازدهمین کنگره علوم خاک ایران، تبریز.

- 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.

- 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 و اصلاح نباتات ایران، پردیس ابوریحان، صفحه ۱۸.

- بشارتی ح، حیدرنژاد س. ف، (۱۳۹۰)، " بررسی میزان اکسیداسیون گوگرد و آزاد شدن برخی از عناصر غذایی غذایی در خاکهای آهکی استان کرمان"، دوازدهمین کنگره علوم خاک ایران، تبریز.

- بشارتی ح، کریمی نیا آ، صالح راستین ن، یخچالی ب، خاورزی ک و ملکوتی م. ج، (۱۳۷۹) " شناسایی تیوباسیلوس بومی ایران و ارزیابی تأثیر آنها در کاهش پ هاش خاک"، مجله خاک و آب (ویژه نامه بیولوژی)، جلد ۱۲، شماره ۷.

بشارتی ح، نورقلی پور ف، ملکوتی م. ج و خاوازی ک، (۱۳۸۳)، "مروری بر کارهای انجام شده در زمینه نحوه استفاده مستقیم از خاک فسفات در خاکهای آهکی"، ص ۵۶-۳۹، (مصرف بهینه کود راهی برای پایداری در تولیدات کشاورزی (مجموعه مقالات))، چاپ اول، ملکوتی م. ج و بلالی م. ر، نشر آموزش کشاورزی، کرج.

- 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، ص ۸۲۷-۸۲۵، گرگان.

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

-جعفرلو ا، (۱۳۸۵)، پایان نامه: " تأثیر دوره آبیاری و سطوح مختلف نیتروژن و گوگرد بر عملکرد سیر"، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان.

- 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 و کلاه‌چی 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)، پایان نامه:"مطالعه قابلیت جذب فسفر در خاکهای تیمار شده با مواد آلی مختلف"، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان.

- چاکرالحسینی م. ر، رونقی ع. م، مفتون م، و کریمیان ن. ج، (۱۳۸۱) "پاسخ سویا به کاربرد آهن و فسفر در یک خاک آهکی"، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد۶، شماره۴، ص۱۰۱-۹۱.

- حجازی راد پ، (۱۳۹۲)، پایان نامه " تأثیر گوگرد، میکوریزا و تیوباسیلوس بر خصوصیات کمی و کیفی سیر"، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهرود.

- 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.

- حسین پور ع، (۱۳۸۷) "شیمی و حاصلخیزی خاک"، چاپ اول، انتشارات دانشگاه پیام نور، تهران، ۲۳۰صفحه.

- حسین زاده ح، (۱۳۸۳) "گزارش اثر کود زیستی فسفاته بارور-۲ روی عملکرد حبوبات" انتشارات جهاد دانشگاهی تهران و فناوری سبز، ۲۵ صفحه.

- حیدرنژاد س. ف، بشارتی ح، شاهین رخسار پ، (۱۳۹۰)، " بررسی میزان اکسیداسیون گوگرد و آزاد شدن برخی عناصر غذایی در خاکهای استان آذربایجان شرقی"، دوازدهمین کنگره علوم خاک ایران، تبریز.

- خادم ا، گلچین ا و زارع، (۱۳۹۰)، " تأثیر سطوح مختلف گوگرد بر قابلیت جذب فسفر و عناصر غذایی کم مصرف" دوازدهمین کنگره علوم خاک ایران، تبریز.

- خادم ا، گلچین ا، زارع ا و عبدالله نیا ع، (۱۳۹۰)، "تأثیر نوع و مقدار ماده آلی و سطوح مختلف گوگرد بر میزان فسفر و عناصر کم مصرف قابل جذب یک خاک آهکی"، دوازدهمین کنگره علوم خاک ایران، تبریز.

- خیامی س، میرسیدحسینی ح، بشارتی ح، فلاح ع و بای‌بوردی ص. (۱۳۹۰)، "بررسی اثرات تلقیح میکروارگانیسم‌های حل کننده فسفات بر محتوای فسفر گیاه و خاک در چند خاک آهکی با مقادیر فسفر متفاوت" دوازدهمین کنگره علوم خاک ایران، تبریز.

- رائی‌پور ل و علی‌اصغرزاده ن، (۱۳۸۶) " اثرات باکتری های حل کننده فسفات و *Bradyrhizobium japaniccum* برشاخص های رشد، غده بندی و جذب برخی عناصر غذایی در سویا " مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال یازدهم، شماره چهارم (الف).

- رجالی ف، اسدی رحمانی ه، خاوازی ک، اصغرزاده ا و افشاری م. (۱۳۸۹)، جایگاه کودهای بیولوژیک فسفاتی و ضرورت توسعه آنها در کشاورزی ایران، اولین کنگره چالش های کود در ایران : نیم قرن مصرف کود، تهران.

- رضاپور س و صمدی ع، (۱۳۸۲)، برهمکنش گوگرد عنصری و کود دامی در اصلاح خاکهای جنوب غربی ارومیه، خلاصه مقالات سومین همایش ملی توسعه کاربرد مواد بیولوژیک و استفاده بهینه از کود و سم در کشاورزی، تهران، صفحه ۲۲۵.

- رمضانپور م. ر، اسدی رحمانی ه و خاوازی ک، (۱۳۹۱) " بررسی تأثیر گونه‌های مختلف باکتری سودوموناس بر عملکرد، اجزای عملکرد و جذب فسفر سه رقم برنج " مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، شماره ۳.

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

- سالاردینی ع، (۱۳۸۲) " کودها و حاصلخیزی خاک" انتشارات دانشگاه تهران، ۴۲۸ صفحه.

- سالاردینی ع، (۱۳۷۱) "حاصلخیزی خاک" چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه تهران، ۴۴۰ صفحه.

- سپهری م، صالح راستین ن، اسدی رحمانی ه و علیخانی ح. ع، (۱۳۸۵) "اثرات آلودگی خاک به کادمیوم بر توان گره زایی و تثبیت نیترژن سویه های بومی سینوریزوبیوم ملیلوتی(*Sinorhizobium meliloti*)" مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال دهم، شماره۱، ص۱۶۲-۱۵۳.

- سعادت پور م، (۱۳۹۲)، پایان نامه: " بررسی حلالیت فسفر در ریزوسفر گیاه کلزا در اثر کاربرد مقادیر مختلف گوگرد و تیوباسیلوس"، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهرود.

- 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. صفحات ۱۹۳ تا ۱۹۷. نهمین کنگره علوم خاک ایران، تهران.

- سیلیسپور م، (۱۳۸۲)، "مطالعه مزرعه‌ای اثر بخشی کودهای میکروبی فسفاته حاوی میکروارگانیسم‌های حل کننده فسفات بر عملکرد کمی و کیفی ذرت"، سومین همایش ملی توسعه کاربرد مواد بیولوژیک و استفاده بهینه از کود و سم در کشاورزی، تهران، ایران.

- صالح راستین ن، (۱۳۸۰) "کودهای بیولوژیک و نقش آن ها در راستای نیل به کشاورزی پایدار" مجله علوم خاک و آب (ویژه نامه کودهای بیولوژیک)، شماره ۳۴، صفحه ۲۲.

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

- 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.

- فرشادی راد ا و دردی پور ا، (۱۳۸۸)، "تعین حد بحرانی فسفر برای گندم و بررسی پاسخ آن به کود سوپرفسفات تریپل در تعدادی از خاکهای لسی استان گلستان"، مجموعه مقالات یازدهمین کنگره علوم خاک ایران، ص ۱۰۷۹-۱۰۷۷، گرگان.

- 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 مریدانی م، (۱۳۹۲)، " نقش فسفر در حاصلخیزی خاک شالیزار"، فصلنامه نظام مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی، سال یازدهم، شماره ۴۰، صفحات ۲۴ تا ۲۹.

- کسرایی پ، (۱۳۹۰)، "درسنامه اکولوژی تکمیلی گیاهان زراعی مقطع کارشناسی ارشد"، دانشکده کشاورزی آزاد اسلامی واحد ورامین.

- لطف اللهی م، ملکوتی م. ج، خاوازی ک، بشارتی ح، (۱۳۷۹)، "ارزیابی روشهای مختلف مصرف خاک فسفات در افزایش عملکرد ذرت علوفه ای در کرج" مجله علمی و پژوهشی خاک و آب (ویژه نامه تیوباسیلوس)، جلد ۱۲، شماره ۱۱، صفحات ۵۵ تا ۵۹. موسسه خاک و آب تهران، ایران.

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

- ملکوتی م. ج و همایی م، (۱۳۸۳) "حاصلخیزی خاکهای مناطق خشک و نیمه خشک" چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس تهران، ۴۸۸ ص.

- موسوی س. ز، (۱۳۹۲)، پایان نامه " بررسی تأثیر قارچ مایکوریزا در سطوح مختلف کاربرد کودهای فسفر و پتاسیم بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت در منطقه بردسکن"، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهرود.

- میراحمدی م، ملکوتی م. ج و خاوازی ک، (۱۳۹۰)، " اثر باکتریهای حل کننده فسفات در تأمین فسفر مورد نیاز ذرت در خاکهای آهکی"، دوازدهمین کنگره علوم خاک ایران، تبریز.

- میرباقری ا. (۱۳۹۰)، " ارزیابی قابلیت دسترسی فسفر در برخی مزارع سیب زمینی منطقه مجن" ، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهرود.

-Abdul J. C. Manivinnan P. Sanker B. Kishorekumar A. Gopi R. Somasundaram R and Panneerselvam. (2007) "Pseudomonas fluorescens biomass yield and aajmalicine production in catharanthus rosens under water deficit stress" Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. 60: 7-11.

- Abril A. Baleani D. Casado-Murillo N and Noe L. (2007) " Effect of wheat crop fertilization on nitrogen dynamics and balance in the Humid Pampas, Argentina" Agric. Eco. Environ. 119: 171-176.

- Alam S. Khalil S. Ayub N and Rashid M. (2002) " In vitro solubilization of inorganic phosphate by phosphate solubilizing microorganism (PSM) from maize rhizosphere" Intl. J. Agric. Biol. 4:454-458.

- Amooaghaei R. Mostajeran A. (2007) " Symbiosis (Associative systems of plant and bacteria)" Volume 3. Esfahan University Publishing Company. p: 237.

- Antoun H. (2002) " Field and green house trials performed with phosphate solubilizing bacteria and fungi" pp: 235-237, Proceedings of the 15th International meeting on Microbial Phosphate Solubilization. Salamanca University, 16-19 july 2002, Salamanca, Spain.

- Badanur V. P. Poleshi C. M and Balachandra K. N. (1990) " Effect of organic matter on crop yield and physical and chemical properties of vertisol" J. Indian Soc. Soil Sci. 38: 426-429.

- Barber S. A. (1984) "Soil Nutrient Bioavailability", John Wiley & Sons Pub., New York.

- Bharathi C. and Poongothai S. (2008) " Direct and residual effect of sulphur on growth, nutrient uptake, yield and its use efficiency in maize and subsequent greengram" Research Journal of Agriculture and Biological S9cience, 4(5):368-372.

- Borggard O. K. Jorgensen S. S. Meberg J. P and Raben-Lange B. (1990) " Influence of organic matter on phosphate adsorption by aluminum and iron oxides in sandy soils. J. Soil Sci.41:443-449.

- 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. 34:33-41.

- Cifuentes F. R and Lindemann W. C. (1993) "Organic matter stimulation of elemental sulfur oxidation in a calcareous soil" Soil Sci. Soc. Am. J., 57: 727-731.

- 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". Journal of Plant and Soil 245: 277-286.

- Deluca T. H Skogley E O and Engle R E. (1989) " Band – applied elemental sulfur to enhance the phytoavailability of phosphorus in alkaline calcareous soils" Biol. Fertil. Soils 7: 346-350.

- Dey R. Pal K. K. Bhatt D. M and Chauhan S. M. (2004) " Growth promotion and yield enhancement of peanut (Archis hypogaea L.) by application of plant growth promoting rhizobacteria, microbiol Res" 159: 371-394.

- Eldor A. P. (2007) " Soil Microbiology, Ecology and biochemistry" Colorado State University Fort Collins, Co, USA, PP 400 – 431.

El-Tarabily K. A. Soaud A. A. Saleh M. E. Matsumoto S. (2006) " Isolation and characterisation of sulfur-oxidising bacteria, including strains of Rhizobium, from calcareous sandy soils and their effects on nutrient uptake and growth of maize (Zea mays L.) " Aust. J. Agric. Res. 57, 101–111.

- Euzeby J. P. (2008) " List of Prokaryotic Names with Standing in Nomenclature" URL: www. bacterio.cict.fr/.

- Fageria N. K. (2009) "The use of nutrients in crop plants" CRC Press, Taylor & Francis Group, LLC. USA. New york.

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

- Finch C. Grant G. Patersons J and Extension B. C. (2004) Sulfur and Soil pH, Http://www.plantansewers.com. garden column.

- Garcia de la Fuente R. Carrioin C. Botella S. Fornes F. Noguera V and Noguera A. (2007) "Biological oxidation of elemental sulphur added to three composts from different feedstocks to reducetheir pH for horticultural purposes" Bioresource Technology 98, pp 3561–3569.

- Garg S. H. and Bahl G. S. (2008) " Phosphorus availability to maize as influenced by organic manures and fertilizer P associated phosphatase activity in soil" Bioresour. Technol 99: 5773-5777.

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

-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.

- Illmer P and Schinner F. (1992) "Solubilization of inorganic phosphates by microorganisms isolated from forest soil" Soil Biol. Biochem. 24:389–395.

- Inskeep W. P and Silvertooth J. C. (1998) " Inhibition of hydroxyl apatite precipitation in the presence of fulvic, humic and tannic acids" Soil Sci. Soc. Amer. J. 52:941-946.

- Isherword K. F. (1998) " Fertilizer use and environment" p. 57-76. In: N. Ahmed and A. Hamid (eds.) Proc. Symp. Plant Nutrition Management for Sustainable Agricultural Growth" NFDC, Islamabad.

- Jaillard B. Plassard C and Hinsinger P. (2003) " Measurement of H+ fluxes and concentrations in the rhizosphere" In Handbook of Soil Acidity. Ed. Z Rengel. pp. 231–66. Marcel Dekker, USA.

- Kaplan M and Orman S. (1998) " Effect of elemental sulfur an sulfur containing waste in a calcareous soil in turkey" J. plant nutrition. 21 (8): 1655-1665.

- Kasraian A. Karimian N. Pazira E. (2010) " Effect of Sulfur Appliccation on Spinach Phytoremedation Process of Cadmium in Contraminated Calcareous Soil " Journal of Water and Wastewater, 2:52-58.

- Kaya M. Kucukyumuk Z and Erdal I. (2009) " Effects of elemental sulfur and sulfur-containing waste on nutrient concentrations and grown on calcareous soil African " Journal of Biotechnology, 8(18): 4481- 4489.

- 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. 27:29–43.

- Khavazi K. Besharati H. Nourgholipour F and Malakouti M. J. (2001) " Effect of thiobacillus bacteria on increasing P availibility from rock phosphate for corn grown on the calcareous soils of Iran" International Meeting on Direct Application of Rock Phosphate and related Appropriate Technology-Latest Development and Practical Experiences. Kuala Lumpur, Malaysia.

- Krauss H. A and Attoe O. J. (1995) "Availability of phosphorus in rock phosphate-sulfur fusion" Agronomy, J. 57: 331-334.

- Lindemann W. C. Abutro, J. J. Haffner M. W. and Bono A. A. (1991) “ Effect of sulfur source on sulfur oxidation” J. of Soil Sci. Soc. Am., 55, 85-90.

- Malakouti M. J. Khavazi K. Besharati H and Nourgholipour F. (2001) " Review on the direct application of rock phosphate on the calcareous soils of Iran (country report). International Meeting on Direct Application of Rock Phosphate and related Appropriate Technology-Latest Development and Practical Experiences" Kuala Lumpur, Malaysia.

-Meixner R. E and Singer M. J. (1985) "Phosphorus fraction from a chornosequence of alluvial soils, Sanjonquin Valley, California" Soil Sci. 139:37-46.

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

- Muharrem K. Kucukyumuk Z and Erdal I. (2009) " Effects of elemental sulfur and sulfurcontaining waste on nutrient concentrations and growth of bean and corn plants grown on a calcareous soil" African Jornal of Biotechnology. 8: 4481-4489.

- Narayanasamy G and D. R. Biswas. (1998) " Phosphate rock of India" Fertilizer News., 43:21-28.

- Nazar R. Iqbal N. Masood A. Syeed S and khan N. A. (2011) " Understanding the significance of sulfur in improving salinity tolerance in plants" Environmental and Experimental Botany 70, pp 80–87.

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

- Pradhan N and Sukla L. B. (2005) "Solubilization of inorganic phosphate by fungi isolated from agriculture soil" African J. Biotechnol. 5:850-854.

- 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. 62:181-190.

- Ress 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-Hébert T. (2006) "Phosphorus Sources and Sinks in Watersheds: A Review" Alberta Soil Phosphorus Limits Project.

- Rodriguez J. A. Nanos N. Grav J. M and Gil L. (2008) " Multiscale analysis of heavy metal contents in Spanish agricultural topsolis" Chemosphere, 70:1085-1096.

- Rodríguez H and Reynaldo F. (1999) " Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion" Biotechnology Advances. 17: 319–339.
- Rodriguez H and Fraga R. (1999) " Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion" Biotech. Adv. 17:319-339.

- Rosa M. C. Muchovej J. Muchovegand J and Alvarez V. H. (1989) " Temporal relation of phosphorus fraction in an oxisol amended rock phosphate and Thiobacillus thiooxidans" Soil Sci. Soc. Am. J., 53: 1096-1100.

- Rubio G. Cabello M. J., Gutiérrez Boem F. H. (2008), "Estimating Available Soil Phosphorus Increases after Phosphorus Additions in Mollisols", Soil Sci. Soc. Am. J. 72:1721-1727.

- Ryan P. R. Delhaize E. and Jonse, D. L. (2001) "Function and mechanism of organic anion exudation from plant roots", Plant Mol. Biol. 52:527-60.

- Sagoe C. I. Ando T. Kouno, K and Nagaoka T. (1998) " Residual effects of organic acid treated phosphate rocks on some soil properties and phosphate availability" Soil Science and Plant Nutrition, 44:627-634.

- Samrit P. Jongruk C. Charier S. and Nipon T. (2002) " Changes of some chemical properties, inorganic phosphate fractions and available P in some paddy Soils in Thailand" Pp. 14-21 17 th WCSS, Aug., Bangkok, Thailand.

- Scott J. T. Condron. L. M. (2003) "Dynamics and availability of phosphorus in the rhizosphere of a temperate silvopastoral syste", Biol Fertil Soils 39:65–73.

- Sharma A. K and Johri B. N. (eds.). (2002) " Arbuscular Mycorrhizae, Interaction in Plants, Rhizosphere and Soils" Oxford and IBH Publishing. New Delhi. P. 308.

- Sharma A. R and Mittra B. N. (1988) " Effect of green manuring and mineral fertilizer on growth and yield of crops in rice-based cropping system on acid lateritic soil" J. Agric. Sci. 110: 605-608.

- Slaton N. A. Norman R. J. Gilmore J. T. (2001) " Oxidation rates of commercial elemental sulfur products applied to an alkaline silt loam from Arkansas " Soil Sci. Soc. Am. J. l 65, 239–243.

- Stamford N. P. Silva J. A. Freitas A .D. S and Araujo Filho J. T. (2003) " Effect of sulphur inoculated with Acidithiobacillus in a saline soil grown with Leucena and mimosa tree legumes" Bioresource Technology, 81,pp 53 -59.

- 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: 1.125-132.

- Tejada M. Hernandez M. T and Garcia C. (2006) " Application of Two Organic Amendments on Soil Restoration: Effects on the Soil Biological Properties" J. Environ. Qual. 35: 1010-1017.

- Thonnissen C. Midmore D. J. Ladha J. K. Olk D. C and Schmidhalter U. (2000) " Legume decomposition and nitrogen release when applied as green manure to tropical vegetable production system" Agron. J. 92: 253-260.

- Turk M. A and Tawaha A. R. M. (2002) "Impact of seeding rate, seeding date, rate and method of phosphorus application in faba bean (*Vicia faba* L. minor) in the absence moisture strees" Biotechnol. Agron. Soc. Environ., 6, 3, pp 171.

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

- Vance C. P. Uhde-Stone C. and Allan D. L. (2003) "Phosphorus acquisition and use: Critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource", New Phytol, 157:423–448.

- Velarde M. Felkera P and Gardiner D. (2004) " Influence of elemental sulfur, micronutrients, phosphorus, calcium, magnesium and potassium on growth of Prosopis Alba on high pH soils in Argentina " Journal of Arid Environments 62, 525–539.

- Vidyalakshmi R. Paranthaman R and Bhakyaraj R. (2009) " Sulphur Oxidizing Bacteria and Pulse Nutrition" World Journal of Agricultural Sciences, 5 (3): 270-278.

- Wagar A. Shahrna B. Zahir Z. A and Arshad. M. (2004) " Icolation with Acc deaminase containing rhizobacteria for improvming growth and yield of wheat" Pakistan Journal of Agriculture. 41: 119-124.

- 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. 33:1011-1026.

- Wiederholt R and Johnson B. (2005) " Phosphorus behaviour in the environment. Nutrient " Management Specialists. NM- 1298.

- Zahir A. Z. Arshad M and Frankenberger W. F. (2004) " Plant growth promoting rhizobacteria: Applications and perspectives in agriculture" Adv. Agron. 81:97-168.

- Zhi hui Y. Stoven K. Haneklaus S. Singh B. R and Schnug E. (2010) " Elemental Sulfur Oxidation by Thiobacillus spp. And Aerobic Heterotrophic Sulfur-Oxidizing Bacteria" Soil Science Society of China, 20, 1, pp 71–79.

Abstract

Calcareous soils that include most of our agricultural lands and gardens have caused a reduction in the use of phosphorus fertilizers, thus farmers every year, add a huge amount these fertilizers to lands that are under cultivation causing the aggravation and fixation of phosphor in the soil. On the other hand, the shortage of phosphor sources and high cost of importing such fertilizers are another problematic matter and high consumption of them might result environmental pollutions. Direct use of phosphate rocks could be a supply source of phosphor for plants. Phosphate soil originated from phosphate rock inoculation with the use of Thiobacillus, Pseudomonas , sulfur and organic compounds could provide the phosphor from the phosphate rock or the phosphor could be obtained from the soil just by bacteria inoculation, the utilization of sulfur and organic compounds. The purpose of this research is to examine the effects of Thiobacillus, Pseudomonas, sulfur and green manure on phosphor and some other soil traits. This research was carried out based on a complete randomized design on 2 types of soil with 10 treatments and 3 repetitions. The applied treatments included sulfur, green manure, Thiobacillus neopum and Pseudomonas fluorescens. 50 gram samples were made and 0.5% sulfur, 2% green manure and 1% phosphate soil were added to them according to the treatment type. The soils were sampled in 5, 20, 50, 100, 150 day intervals and soil characteristics like pH, EC, soluble sulfate, soluble phosphorus and available phosphorus were measured. The results showed that applying fertilizing treatments have had a positive effect on the reduction of pH. Applying fertilizing treatments caused the EC and soil salinity to increase, indicating a positive result. Moreover the increase of soluble phosphorus and available phosphorus proved to be a good sign but the increase of soluble phosphorus was notable, the amount of Soluble sulfate was also increased by applying fertilizing treatments. Green manure, sulfur and thiobacillus neopum treatments were affected the most.

Key words: Phosphate Rock, Thiobacillus neopum, Pseudomonas fluorescens, Sulfur, Green Manure

Shahrood University of Technology

Faculty of Agriculture

Department of Water and Soil

The effect of thiobacillus and Pseudomonas bacteria with elemental sulfur and green manure on soluble phosphorus from phosphate rock

Saman Ebrahimi

Supervisor:

Dr. A. Abbaspour

Advisors:

Dr. H. R. Asghari

Eng. A. A. Naderi

August 2014