# بررسی امکان تغییر فسفر قابل جذب خاک‌های آهکی و اثر آن بر عملکرد ذرت

**حمیدرضا دورودیان[1]، حسین بشارتی کلایه[2]، علیرضا فلاح نصرت آباد[2]، حسین حیدری شریف آباد[3]، فرخ درویش[4] و عاصفه الهوردی[5]**

## چکیده

اسیدیته بالای خاک‌ها در اکثر مناطق زیر کشت ذرت در ایران موجب کاهش دسترسی گیاه به عناصر غذایی خصوصاً فسفر می‌گردد. کاربرد گوگرد و اکسایش آن با کاهش موضعی اسیدیته خاک، می‌تواند باعث افزایش قابلیت جذب فسفر در خاک‌های آهکی شود. منابع ارزان قیمت فسفر، مانند خاک‌فسفات و کمپوست امروزه درکشاورزی بسیار مورد توجه قرار گرفته و می‌توانند به منظور افزایش فسفر قابل جذب خاک و برطرف کردن نیاز گیاه مؤثر واقع شوند. در تحقیق حاضر به‌منظور بررسی تأثیر تغییر اسیدیته بخشی از خاک و افزایش فسفر روی عملکرد ذرت رقم سینگل کراس ۳۰۱، آزمایشی با تیمارهای مختلف شامل خاک‌فسفات (آپاتیت)، ریز جانداران حل کننده فسفات، گوگرد تلقیح‌شده با باکتری‌های اکسایندهٔ گوگرد و کمپوست انجام گردید. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار و چهار عامل: باکتری حل کننده فسفات در دو سطح (شاهد و باکتری *Bacillus megaterium*)، آپاتیت در دو سطح (صفر و یک تن در هکتار)، مواد آلی در دو سطح (صفر و ده تن در هکتار) و گوگرد تلقیح‌شده با باکتری‌های تیو باسیلوس *Thiobacillus sp.* در دو سطح (صفر و چهار تن در هکتار) در مزرعه تحقیقاتی موسسه خاک و آب (مشکین دشت کرج) انجام گردید. نتایج آزمایش نشان داد که بیشترین عملکرد دانه (۹۶۰۰ کیلوگرم در هکتار) در تیمار حاوی کمپوست و باکتری باسیلوس به دست آمد. عملکرد دانه در تیمارهایی که آپاتیت در آن‌ها به تنهایی مصرف شده بود (۶۹۳۷ کیلوگرم در هکتار) به طور معنی‌داری کمتر از شاهد (۷۷۰۰ کیلوگرم در هکتار) بود. استفاده از آپاتیت، نه تنها فسفر محلول خاک را افزایش نداد، بلکه با اسیدیته بالا (۸/۸) بر خصوصیات خاک و رشد گیاه در خاک‌های قلیایی اثر منفی داشت. بر اساس نتایج این تحقیق کاربرد باکتری باسیلوس مگاتریوم و کمپوست با افزایش دسترسی ذرت به عناصر غذایی مانند فسفر باعث افزایش عملکرد شده و قابل توصیه می‌باشد.

---

***واژه‌های کلیدی:*** آپاتیت، باسیلوس، باکتری‌های حل‌کننده فسفات، تیوباسیلوس، ذرت، کمپوست، گوگرد.

---

**تاریخ دریافت مقاله: ۸۶/۱۱/۱۵ تاریخ پذیرش: ۸۷/۳/۲۲**

**۱- فارغ التحصیل دوره دکتری دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران**

**۲- استادیار مؤسسه تحقیقات خاک و آب**

**۳- دانشیار مؤسسه تحقیقات ثبت، کنترل و گواهی بذر**

**٤- استاد دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران**

**۵- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد زراعت دانشگاه تربیت مدرس**

## مقدمه و بررسی منابع

کاهش اسیدیته خاک (حتی به‌طور موضعی) یکی از روش‌های مؤثر مقابله با کمبود فسفر و ریز مغذی‌ها در خاک‌های آهکی و قلیایی به شمار می‌رود. استفاده از گوگرد، به‌عنوان فراوان‌ترین و ارزان‌ترین ماده اسیدزا، به همراه باکتری تیوباسیلوس جهت بهبود تغذیه گیاهان در خاک‌های آهکی و تأمین سولفات مورد نیاز گیاه سابقه دیرینه دارد (۳۵). کاربرد گوگرد وقتی مؤثر و نتیجه‌بخش خواهد بود که پس از مصرف مقدار کافی در خاک توسط ریزجانداران مختلف مثل باکتری تیوباسیلوس، اکسید گردد (۱٦). به علت محدود بودن جمعیت و تنوع باکتری‌های تیوباسیلوس در خاک‌های آهکی (٤٥)، استفاده از باکتری‌های تیوباسیلوس به همراه گوگرد به علت افزایش سرعت اکسیداسیون گوگرد در خاک، نتایج سودمندی را در اصلاح خاک و بهبود وضعیت تغذیه گیاهان به‌دنبال داشته است (۷ و ۱٦). ایران کشوری است نفت‌خیز و سالانه بیش از یک میلیون تن گوگرد در صنایع مختلف نفت و گاز داخل کشور تولید شده و با بهای ارزان قابل دست‌یابی است.

مصرف مایه تلقیح تیوباسیلوس همراه با گوگرد در خاک بر اسیدیته و فسفر اندازه‌گیری شده در گیاه و خاک مؤثر بوده است (۱). باکتری‌های حل‌کننده فسفات نیز می‌توانند با ترشح اسیدهای آلی با روش‌های متنوعی مثل اسیدی کردن محیط (۲٦) و کلاته کردن یون‌های مزاحم و یون فسفات (۵۰) بر حلالیت فسفر معدنی خاک و با ترشح آنزیم‌هایی مثل فسفاتاز بر حلالیت فسفر آلی در خاک مؤثر باشند.

کمپوست شهری دارای مقادیر قابل توجهی فسفر است. کمپوست با داشتن خصوصیات خود می تواند باعث افزایش خاصیت تبادل کاتیونی (۱۹)، نگهداری آب (٤۸)، استقامت خاک‌دانه‌ها (٤)، فعالیت‌های آنزیم‌هایی مانند فسفاتاز (٤۳)، فعالیت‌های میکروبی(۱۲، ۸ و۱۹)، حفظ چرخه عناصر غذایی و تامین عناصر ضروری گیاه (۲٤) گردد. مشکلات ناشی از مصرف کمپوست شامل افزایش اسیدیته (۳۷)، کاهش حلالیت ریز مغذی‌ها (۵۱)، عدم تناسب عناصر موجود با نیاز گیاه (۱۵)، کاهش نیتروژن خاک (۱۸) به علت C/N بالا (۲۷)، افزایش شوری خاک (۲۱) و افزایش غلظت کادمیوم، سرب، نیکل و جیوه در خاک (٤۱) کاربرد آن را نیازمند تحقیق و بررسی بیشتر می‌نماید.

تحقیق حاضر با هدف بررسی اثرات خاک فسفات، ریزجانداران حل کننده فسفات و اکساینده گوگرد و نیز کمپوست بر کاهش اسیدیته خاک و تامین فسفر مورد نیاز و عملکرد ذرت اجرا گردید.

## مواد و روش‌ها

در خرداد ماه ۱۳۸٤یک آزمایش مزرعه‌ای در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی به صورت فاکتوریل با چهار عامل: ۱- باکتری حل‌کننده فسفات در دو سطح (شاهد و ۱۰۰ گرم مایه تلقیح حاوی $۱۰^{۷}$ عدد باکتری *Bacillus megaterium*)، ۲- آپاتیت در دو سطح (صفر و یک تن در هکتار) ۳- مواد آلی در دو سطح (صفر و ده تن در هکتار کمپوست زباله شهری جامد[1]) و ٤- گوگرد خالص تلقیح‌شده با باکتری تیوباسیلوس *Thiobacillus sp.* در دو سطح (صفر و چهار تن در هکتار)، در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی خاک و آب (کرج) انجام گردید. چهار عامل یاد شده در آزمایشات مختلف قبلی، در افزایش فسفر خاک مؤثر بوده‌اند؛ از این‌رو علی‌رغم مشکل بودن تفسیر اثرات متقابل چهارگانه (به دلیل غیر قابل تفسیر بودن در غالب شرایط) وجود یا عدم وجود هر یک از چهار عامل در کنار هم مورد بررسی قرار گرفت.

پس از شخم، دیسک و تسطیح خاک مزرعه آزمایشی، نمونه مرکب از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری تهیه شد که نتایج آن در جدول (۱) آمده‌است. پس از مشخص نمودن ابعاد کرت‌های آزمایشی (۵×۲/٤ متر) و پیاده کردن نقشه طرح، با استفاده از دستگاه فاروزن، پشته‌هایی به فواصل ٦۰ سانتی‌متر ایجاد گردید. نیتروژن از منبع اوره و پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم، بر اساس آزمون خاک (به‌ترتیب بر مبنای ۱۵۰ و ٦۰ کیلوگرم عنصر خالص در هکتار) به تمام کرت‌ها به طور یکسان داده شد.

پس از اعمال تیمارها، بذور ذرت رقم سینگل کراس۳۰۱ به فاصله ۱۵ سانتی‌متر روی پشته‌ها کشت گردید. وجین علف‌های هرز دو مرتبه کامل در زمین انجام شد. آبیاری به‌صورت جوی و پشته مطابق با نیاز مزرعه و انجام گرفت. برای جلوگیری از آلودگی کرت‌های تلقیح نشده با باکتری‌ها، آبیاری هر کرت به طور مجزا صورت گرفت. طی مراحل

1. Municipal solid wast compost

آزمایش نیازی به سم‌پاشی برای مبارزه با آفات و بیماری‌ها احساس نگردید.

پس از رسیدگی محصول در مهر ماه، ۸ گیاه از دو ردیف وسط برداشت شد و عملکرد دانه و بیولوژیک اندازه‌گیری و میانگین‌های به‌دست آمده مورد تجزیه واریانس قرار گرفت. از هر کرت سه نمونه تصادفی خاک از نقاط مختلف (به غیر از حاشیه‌ها) از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک برداشته شد، که پس از اختلاط، یک نمونه مرکب از آن‌ها به دست آمد. داده‌های آزمایشی در نرم‌افزار MSTATC مورد تجزیه واریانس و میانگین تیمارها با استفاده از آزمون چند دامنه دانکن مورد مقایسه قرار گرفتند.

## نتایج و بحث

### اسیدیته (PH)

جدول (۲) نتایج تجزیه واریانس داده‌ها را نشان می‌دهد. اسیدیته خاک در تیمار گوگرد تلقیح شده با باکتری تیوباسیلوس، تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت، ولی اثر متقابل گوگرد تلقیح‌شده با باکتری باسیلوس و آپاتیت بر اسیدیته خاک معنی‌دار بود (جدول۲). نتایج سایر محققین نشان داده که کاربرد گوگرد به همراه تیوباسیلوس باعث کاهش اسیدیته خاک می‌شود (۱٦). هم‌چنین گزارش شده که مواد آلی (از منبع کود دامی) به همراه گوگرد تلقیح‌شده با باکتری تیوباسیلوس باعث افزایش اکسیداسیون گوگرد و کاهش اسیدیته خاک می‌گردد (٤۳ و۹).

ولی گزارشات نور و طباطبائی[1] (۱۹۷۷) نشان می‌دهد که گوگرد به علت بالا بودن خاصیت تامپونی خاک کارآیی زیادی در کاهش اسیدیته خاک‌های آهکی ندارد.

استفاده از آپاتیت به همراه باکتری تیوباسیلوس+ گوگرد باعث افزایش اسیدیته خاک نسبت به شاهد گردید (شکل۱). از آنجا که آپاتیت دارای اسیدیته بالا (معادل ۸/۸۷) است، افزایش اسیدیته را می‌توان به کاربرد آپاتیت نسبت داد (شکل۱). افزایش اسیدیته در خاک‌های قلیایی از لحاظ قابلیت جذب عناصر غذایی بسیار نامطلوب است. کاربرد خاک‌فسفات در خاک باعث افزایش اسیدیته خاک می‌شود (۳٤). هم‌چنین کلسیم یکی از عناصر موجود در آپاتیت است که در ریزوسفر آزاد شده و باعث افزایش اسیدیته خاک می‌گردد.

تیمار باسیلوس+ آپاتیت+ گوگرد تلقیح‌شده، اسیدیته خاک را از ۷/۷ به ۷/۵۷ کاهش داد، که این امر می‌تواند در چند سال بر کاهش بیشتر اسیدیته و حلالیت ریزمغذی‌ها مؤثر واقع گردد.

باسیلوس تنها زمانی توانست اسیدیته خاک را کاهش دهد که کمپوست مصرف نشده بود (شکل ۲). در آزمایشات برخی محققین تغییر اسیدیته محیط کشت در اثر آزاد شدن آسیدهای آلی از باکتری حل‌کننده فسفات با تغییرات اسیدیته حاصل از کاربرد کلریدهیدروژن (HCl) برابر بوده است (۲۷).

آزمایش روی ۳۱ باکتری و ۱۱ قارچ حل‌کننده فسفات به منظور تعیین قابلیت حل‌کنندگی فسفر در محیط کشت نشان داد که در صورت استفاده از مقدار زیادی باکتری به همراه خاک فسفات، رابطه بسیار معنی‌داری (۰/۹- تا ۰/۷- $r=$) بین اسیدیته نهایی و فسفر محلول وجود دارد (۳۹). اسید لاکتیک و پس از آن اسید مالیک، سوکسینیک و استیک به‌عنوان مؤثرترین اسیدهای مترشحه از باکتری‌های حل‌کننده فسفات معرفی شده‌اند که می‌توانند اسیدیته خاک را علی‌رغم خاصیت بافری آن تغییر دهند (٤۹).

فلاح[1] (۲۰۰۳) گزارش کرد که تلقیح محیط کشت به‌وسیله انواع باکتری‌های حل‌کننده فسفات باعث شد که اسیدیته محیط کشت، پس از ١٤ روز در تمامی نمونه‌های باکتری مورد استفاده کاهش یابد. برخی از محققین در نتایج خود، با اشاره به اثرات سایر ریزجانداران در جذب فسفر و اسیدهای مترشحه و خاصیت تامپونی خاک بیان کردند که باکتری‌های حل‌کننده فسفات علی‌رغم توان کاهش اسیدیته در محیط آزمایشگاه، قابلیت کاهش اسیدیته را در ریزوسفر ندارند (۳۸).

افزودن کمپوست به میزان ۵ تن در هکتار به مدت ۳ سال اسیدیته خاک را از ۵/۸ به ٦/٤ افزایش داد (۳٦). تغییر اسیدیته ناشی از کاربرد کمپوست به خصوصیات مواد اولیه کمپوست بستگی دارد. کمپوست حاصل از ضایعات بستر قارچ باعث افزایش اسیدیته و کمپوست حاصل از تفاله چای و یا توتون باعث کاهش اسیدیته خاک‌های آهکی شده است (۳). کاربرد مواد زاید شهری در اکثر آزمایشات موجب افزایش واکنش خاک گردیده است (۱۳، ۱۷، ۲۳، ۳٦، ٤٤، ٤۷، ۵۲، ۵۳).

1. Noor and Tabatabai

1. Fallah

**فسفر قابل جذب خاک**

اثر متقابل گوگرد تلقیح‌شده با باکتری، کمپوست و آپاتیت بر میزان فسفر قابل جذب در خاک (فسفر عصاره‌گیری شده با روش اولسن) معنی‌دار گردید (جدول۲). نتایج آزمایش نشان داد که تیمار گوگرد تلقیح‌شده و کمپوست بیشترین فسفر قابل جذب خاک را به خود اختصاص داد (شکل۳). سه تیمار گوگرد تلقیح‌شده، آپاتیت و کمپوست از نظر غلظت فسفر محلول خاک تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشتند (شکل ۳).

به گزارش برخی از محققین نیز کاربرد آپاتیت به تنهایی یا به همراه کود دامی باعث کاهش فسفر قابل دسترس گیاه می‌شود (٦).

نتایج آزمایش حاضر نشان داد که تیمارهای گوگرد تلقیح شده+ آپاتیت و آپاتیت+ کمپوست، فسفر محلول خاک را در حدود۳۰ درصد افزایش دادند.

بر اساس برخی گزارشات، باکتری‌های حل کننده فسفات در محیط غیر بافر در آزمایشگاه توانستند آپاتیت را محلول نمایند، ولی مواد مترشحه از آن‌ها در محیط بافر ۲۰ تا۳۰ برابر کمتر از میزان مورد نیاز برای تأثیر در اسیدیته خاک و حل کردن فسفات معدنی خاک و خاک‌فسفات بود (۲۰).

اکسایش گوگرد در خاک تأثیر مثبت و معنی‌داری بر حلالیت آپاتیت و افزایش فسفر قابل جذب گیاه دارد (۵). فسفر آزاد شده از خاک فسفات با اسید سولفوریک ناشی از اکسایش گوگرد رابطه مستقیم دارد (۳۱).

اثر کمپوست به تنهایی بر غلظت فسفر محلول خاک معنی‌دار نبود که نشان می‌دهد، استفاده از کمپوست در خاک، به منظور افزایش فسفات محلول باید با ترکیبات دیگری مثل گوگرد تلقیح‌شده با تیوباسیلوس که به کارآیی آن کمک می‌کند همراه باشد، تا از فواید آن کمال بهره حاصل آید. در ضمن استفاده از کمپوست تنها باعث افزایش اسیدیته خاک شد که همراه بودن آن با تیوباسیلوس+گوگرد این مشکل را برطرف می‌کند (شکل۳).

**عملکرد دانه**

استفاده از باکتری‌های باسیلوس به همراه کمپوست به باعث افزایش عملکرد گیاه نسبت به شاهد گردید (جدول۲). استفاده از کمپوست در شرایط عدم استفاده از آپاتیت باعث افزایش کارآیی باسیلوس شد. استفاده از آپاتیت به تنهایی باعث کاهش عملکرد دانه در واحد سطح، نسبت به تمام تیمارهای مورد آزمایش شد (شکل٤). استفاده از آپاتیت به تنهایی، در هیچ یک از منابع توصیه نمی‌شود (۲۱ و ۳۰). زیرا مصرف این ماده با میزان فسفر محلول پایین، نه تنها مشکلی از گیاه حل نمی‌کند، بلکه با اسیدیته بالای خود (بالای ۸/۸) و آزاد کردن یون‌هایی مانند کلسیم در خاک، خصوصاً در خاک‌های آهکی اثرات مخربی نیز ایجاد خواهد کرد.

تیمار باسیلوس همراه با مصرف کمپوست تنها تیماری بود که عملکرد دانه را در مقایسه با شاهد افزایش داد. سایر تیمارها (به جز تیمار آپاتیت که اثر منفی معنی‌دار بر عملکرد دانه داشت)، تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشتند (شکل٤).

باکتری باسیلوس به عنوان یک باکتری ترشح‌کننده مواد محرک رشد (PGPR)، می‌تواند اثرات مفیدی علاوه بر قابلیت جذب فسفر در گیاه داشته باشد (١٤ و ۲۹). تولید اکسین یکی از مکانیسم‌های مؤثر باکتری‌های حل‌کننده فسفات در بهبود رشد و افزایش عملکرد گیاه است (۳۳). همین‌طور اسیدهای آلی مترشحه از باکتری باسیلوس می‌توانند در حلالیت ریز مغذی‌ها مؤثر گردیده و با افزایش غلظت عناصری مثل آهن، روی و سایر ریز مغذی‌ها، نیاز گیاه به آن‌ها را تأمین نموده و نهایتاً در افزایش عملکرد دانه گیاه مؤثر باشند.

در بعضی موارد، حلالیت فسفات ناشی از آزاد شدن یون هیدروژن به علت تنفس ریزجانداران خاک و یا تولید $NH_4^+$ توسط آن‌ها می‌باشد و ارتباطی به تولید اسیدهای آلی ندارد (۲۷). گزارشات متعددی درخصوص اثرات متقابل مثبت کودهای آلی و باکتری‌های حل‌کننده فسفات وجود دارد (٦ و ۲۸). کاربرد کودهای فسفر می تواند باعث کاهش جذب ریز مغذی‌ها خصوصاً عنصر روی گردد (٤٦).

با توجه به نتایج این آزمایش، اثر متقابل مثبت باسیلوس و کمپوست بر عملکرد دانه نمی‌تواند به دلیل اثر بر تغییرات اسیدیته خاک باشد، زیرا همان‌طور که شکل ۳ نشان می‌دهد، باکتری باسیلوس و کمپوست اثری در کاهش اسیدیته خاک ندارند. مواد آلی خاک به کمک روش‌های دیگری غیر از اثر بر اسیدیته خاک بر حلالیت فسفر و عملکرد گیاه مؤثر بوده‌اند. مواد آلی می‌توانند سطوح آهک موجود در خاک را بپوشانند و قابلیت جذب فسفر را از طریق کاهش واکنش فسفر و کلسیم افزایش دهند. در حضور مواد آلی، تشکیل هسته کریستال‌های ترکیبات فسفر و کلسیم کاهش (۲۷) و عملکرد گیاه نیز بر اثر

استفاده از کمپوست و آپاتیت در مقایسه با تیمار آپاتیت افزایش می‌یابد.

نوع ماده آلی مصرفی و حتی نوع کمپوست می‌تواند نتایج آزمایش را تغییر دهد (۳). باکتری باسیلوس و کمپوست حاصل از زباله‌های شهری با مکانیسم‌های دیگر (به غیر از اثر بر واکنش خاک و میزان فسفر محلول) می‌تواند بر رشد و عملکرد گیاه ذرت اثر گذارد.

بر خلاف گزارش پاتیرانتا[1] و همکاران (۱۹۸۹)، ترکیب باکتری باسیلوس و آپاتیت اثر مفیدی بر عملکرد ذرت نداشت، البته این اختلاف می‌تواند مربوط به نوع خاک مورد استفاده، خصوصاً به اسیدیته اولیه آن مربوط باشد؛ چراکه غالباً در آزمایشاتی که در خاک‌های اسیدی انجام گرفته، آپاتیت از حلالیت قابل توجهی برخوردار بوده و در آزمایشاتی که (مثل این آزمایش) از خاک‌های آهکی استفاده شده است، اثر آپاتیت بر رشد گیاه بی‌تأثیر بوده یا تأثیر آن معنی‌دار نبوده است (۳۲). نتایج محدودی اثرات مثبت آپاتیت را در خاک‌های آهکی تایید می‌کنند (۱۱).

## نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان داد که کاربرد باکتری باسیلوس مگاتریوم و کمپوست در زراعت ذرت رقم سینگل کراس ۳۰۱ بیشترین عملکرد دانه را سبب شد و کاربرد آپاتیت به تنهایی در خاک‌های آهکی باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه گردید. پیشنهاد می‌گردد کاربرد آپاتیت به عنوان منبع فسفر در خاک‌های قلیایی ایران متوقف و یا با بررسی‌های بیشتری صورت گیرد. هم‌چنین کاربرد توأم باکتری باسیلوس و کمپوست در افزایش عملکرد دانه ذرت مؤثر بوده قابل توصیه می‌باشد.

## سپاسگزاری

از زحمات آقای دکتر اسفندیار فاتح در آزمایشگاه زراعت دانشگاه تهران و آقای مهندس مجید قلی‌بیگیان در دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران و آقای مهدی دولتی به دلیل کمک در انجام مراحل آزمایشگاهی قدردانی می‌گردد.

**جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه محل اجرای آزمایش در سال ۱۳۸٤ قبل از کشت**

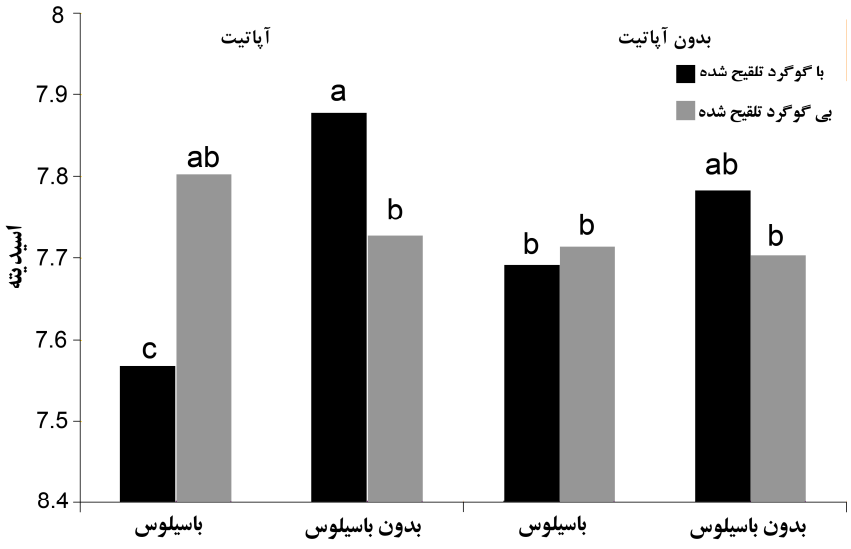
| ویژگی | اسیدیته | بافت | CEC | هدایت الکتریکی | کربنات کلسیم | نیتروژن | کربن آلی | پتاسیم | فسفر | منگنز | مس | آهن | روی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| واحد | | | $Meq^{+}/100\ g\ soil$ | dS/m | درصد | | | میلی‌گرم بر کیلوگرم | | | | | |
| مقدار | ۷/۷۵ | لومی | ۱۸ | ۰/۹ | ۸ | ۰/۰۵ | ۰/۷ | ۲۵٦ | ۹ | ۱۲ | ۱/٦٤ | ۵/۸٦ | ۰/۵۵ |

1. Pathiratna

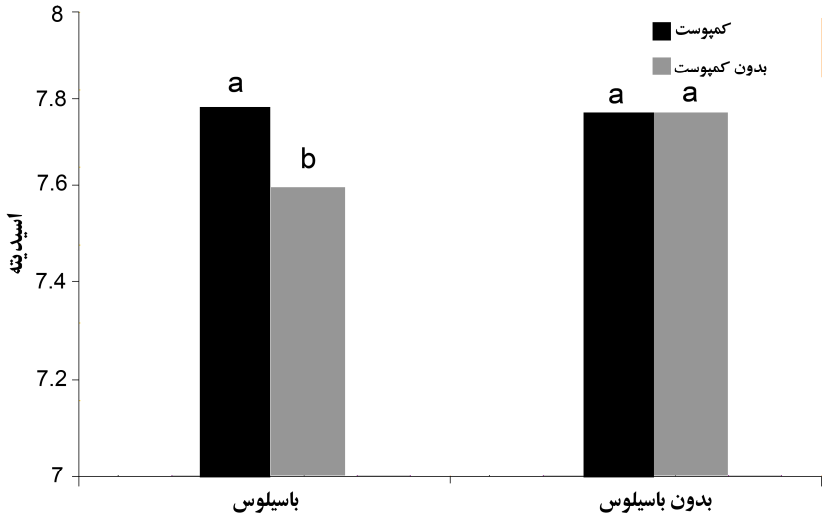
جدول ۲- تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایشی بر صفات مورد مطالعه

| منابع تغییر | درجه آزادی | میانگین مربعات | | |
|---|---|---|---|---|
| | | عملکرد دانه | فسفر خاک | واکنش خاک |
| تکرار | ۲ | ۱۵۷۹۹۰۷ | ۸/۹۰۵ | ۰/۰۳۸ |
| آپاتیت | ۱ | ۱۷٤۵۱۵۱ | ۱/٦۳ | ۰/۰۰۵ |
| باسیلوس | ۱ | ۲۰۲٤۲۱۹ | ٤۳/٤۲ | ۰/۰۷۲* |
| تیوباسیلوس+ گوگرد | ۱ | ۸۹۹۱۷۹ | ۳۲/۲۱٤ | ۰ |
| کمپوست | ۱ | ۲۸۲۵۹۱٤ | ۲۵/۲۵۹ | ۰/۱۲۱** |
| آپاتیت× باسیلوس | ۱ | ۲٤۰۲٦٤ | ٤۹/٤۰۲* | ۰/۰۱۸ |
| (تیوباسیلوس+ گوگرد)× آپاتیت | ۱ | ۸۸۷٤۸۳ | ۰/۹۷۷ | ۰/۰۱٦ |
| (تیوباسیلوس+گوگرد)× باسیلوس | ۱ | ۳۳۸۲۱۹ | ۰/۲ | ۰/۱۷۹** |
| آپاتیت× کمپوست | ۱ | ۸۹۵۵۲۰ | ۱۰/٦۲۷ | ۰/۰۲۵ |
| باسیلوس × کمپوست | ۱ | ۵۸۲٦۳ | ۰/۸۲۲ | ۰/۱۱۱** |
| (تیوباسیلوس+گوگرد)× کمپوست | ۱ | ٦٦۸۷۵٤ | ۰/۰٤۵ | ۰/۰٤۵ |
| (تیوباسیلوس+گوگرد)× آپاتیت× باسیلوس | ۱ | ٦۲۱۰۳۸۸ | ۱/٦۸٦ | ۰/۰٦* |
| آپاتیت× باسیلوس× کمپوست | ۱ | ۱۹۸۰۹۵۰۰** | ۰/۸۱۳ | ۰/۰۱۲ |
| آپاتیت× (تیوباسیلوس+ گوگرد)× کمپوست | ۱ | ۹۷۹۳۰۷ | ٤۷/۹۲* | ۰ |
| باسیلوس× (تیوباسیلوس+ گوگرد)× کمپوست | ۱ | ۳٦۰۲۱۲ | ٦/۵٦۲ | ۰/۰۳۵ |
| آپاتیت× باسیلوس× (تیوباسیلوس+ گوگرد)× کمپوست | ۱ | ۸۸٦۱۰۲ | ۵/۲۷۲ | ۰/۰۰۸ |
| اشتباه آزمایشی | ۲۰ | ٤۵٦۸٦۰۵ | ۱۷/٤٤۲ | ۰/۰۱٤ |
| ضریب تغییرات (درصد) | | ۲۵/۵۱ | ۲۳/۷۹ | ۱/۵۰ |

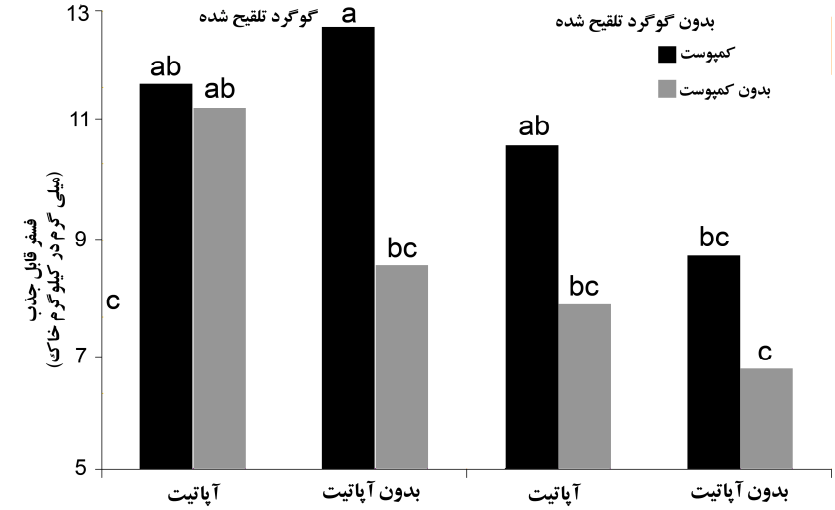
*، ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪



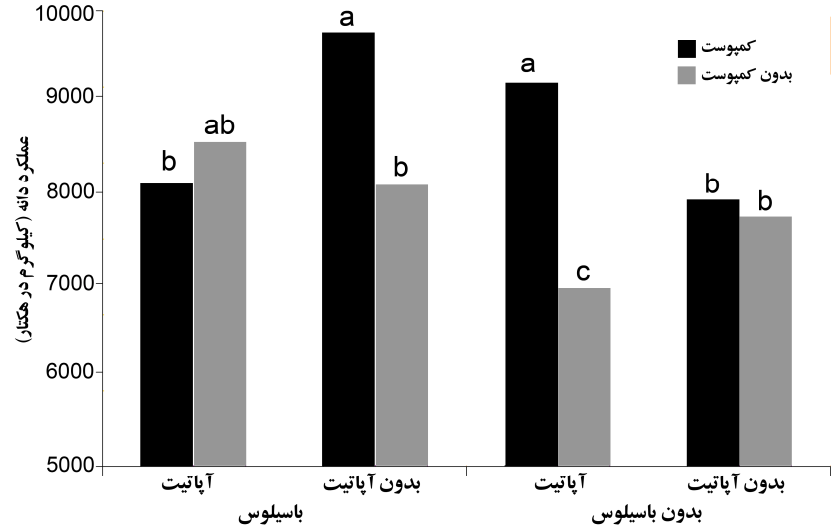

شکل۱- مقایسه ترکیبات تیماری آپاتیت، باسیلوس و گوگرد تلقیح شده بر واکنش خاک




شکل۲- مقایسه ترکیبات تیماری کمپوست و باسیلوس بر واکنش خاک




شکل۳- مقایسه ترکیبات تیماری آپاتیت،گوگرد تلقیح شده و کمپوست بر غلظت فسفر محلول خاک




شکل٤- مقایسه ترکیبات تیماری آپاتیت، باسیلوس و کمپوست بر عملکرد دانه ذرت

## منابع


1. Annabi, M., Houot, S., Francou, C., Poitrenaud, M. and Le Bissonnais, Y. 2007. Soil aggregate stability improvement with urban composts of different maturities. Journal of Soil Science Society of America 71: 413-423.
2. Attoe, O. J. and Olson, R. A. 1966. Facrots affecting the rate of oxidation of elemental sulfur and that added in rock phosphate sulfur fusion. Soil Science 101: 317-324.
3. Banik, S. and Dey, B. K. 1982. Available phosphate content of an alluvial soil as influenced by inoculation of some isolated phosphate-solubilizing microorganisms. Plant Soil 69: 353–364.
4. Bardiya, M. C., Narula, N. and Vyas, S. R. 1972. Reclamation of saline alkaline soil by application of sulphur and inoculation of *Thiobacillus.* 1. Effect on physico-chemical properties of soil. Haryana Agricultural University Journal of Research 2 (3): 218-221.
5. Beshsarati, H. 2001. Preparing appropriate medium for *Thiobacillus* and study of it's interaction with VAM and grain yield of wheat. Ph.D. Thesis, Tarbiat Modares University. 212 Pp. [In Persian with English Abstract].
6. Bhattacharyya, P., Chakrabarti, K. and Chakraborty, A. 2003. Effect of MSW compost on microbiological and biochemical soil quality indicators. Compost Science Utility 11(3): 220-227.
7. Caldwell, A. C., Seim, E. C. and Rehm, G. W. 1969. Effects of elemental sulfur on compositon of alfalfa (*Medicago sative*) and corn *(Zea maize*). Agronomy Journal 61: 632-634.
8. Chien, S. H., Adams, F., Khasawneh, F. E. and Henao, J. 1987. Effects of combinations of triple superphosphate and a reactive phosphate rock on yield and phosphorus uptake by corn. Journal of Soil Science Society of America 51: 1656-1658.
9. Chein, S. H., Carmona, G. and Heano, J. 2003. Evaluation of rape response to different sources of phosphate rock in an alkaline soil. Commericial Soil Science Plan 34: 1825-1835.
10. Crecchio, C., Curci, M., Mininni, R., Ricciuti, P. and Ruggiero, P. 2001. Short-term effects of municipal solid waste compost amendments on soil carbon and nitrogen content, some enzyme activities and genetic diversity. Biology of Fertile Soils 34: 311-318.
11. Crecchio, C., Curci, M. and Pizzigallo, M. 2004. Effects of municipal solid waste compost amendments on soil enzyme activities and bacterial genetic diversity. Soil Biology Biochemistry 36:1595-1605.
12. De Freitas, J. R., Banerjee, M. R. and Germida, J. J. 1997. Phosphate-solubilizing Rhizobacteria enhance the growth and yield, but not phosphorus uptake of canola *(Brassica napus* L.) Biology of Fertile Soils 24: 358-364
13. De Haan, S. 1981. Results of municipal waste compost research over more than fifty years for soil fertility at Haren/Groningen, the Netherlands. Netherland Journal of Agriculture 29: 49-61.
14. 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. Biology of Fertile Soils 7: 346-350.
15. Deportes, I., Benoit-Guyod, J. and Zmirou, D. 1995. Hazard to man and the environment posed by the use of urban waste compost: a review. Science Total Environment 172: 197-222.
16. Eriksen, G., Coale, F. and Bollero, G. 1999. Soil nitrogen dynamics and maize production in municipal solid waste amended soil. Agronomy Journal 91: 1009-1016.
17. Fallah, A. 1382. Evaluation of dispersion of PSMs in soil of Guilan and it's effect on wheat and rice yield. Ph.D. Thesis, Tarbiat Modares University, 124 Pp. [In Persian with English Abstract].
18. Garcia-Gil, J. C., Plaza, C., Soler-Rovira, P. and Polo, A. 2000. Long-term effects of municipal solid waste compost application on soil enzyme activities and microbial biomass. Soil Biology Biochemistry 32: 1907-1913.
19. Gyaneshwar, P., Kumar, G. N. and Parekh, L. J. 1998. Effect of buffering on the phosphate-solubilizing ability of microorganisms. Journal of Microbiology and Biotechnology 14: 669-673.
20. Hammond, L. L., Chien, S. H., Roy, A. H. and Mokwunye, A. U. 1989. Solubility and agronomic effectiveness of partially acidulated phosphate rocks as influenced by their iron and aluminium oxide content. Fertilizer Research 19: 93-98.
21. He, X., Logan, T. and Traina, S. 1995. Physical and chemical characteristics of selected U.S. municipal solid waste composts. Journal of Environity Qualmental 24: 543-552.
22. Hernando, S., Lobo, M. and Polo, A. 1989. Effect of the application of a municipal refuse compost on the physical and chemical properties of soil. Science of Total Environment 81/82: 589-596.
23. Hicklenton, P., Rodd, V. and Warman, P. R. 2001. The effectiveness and consistency of source-separated municipal solid waste and bard composts as components of container growing media. Science of Horticulture 91: 365-378.
24. Iglesias-Jimenez, E., Garcia, V., Espino, M. and Hernandez, J. 1993. City refuse compost as a phosphorus source to overcome the P-fixation capacity of sesqui oxide rich soils. Plant and Soil 148: 115-127.

25. Illmer, P. and Schinner, F. 1992. Solubilizition of inorganic phosphates by microorganisms isolated from forest soils. Soil Biology and Biochemistry 24(4): 389-395.
26. Inskeep, W. P. and Silvertooth, J. C. 1988. Inhibition of Hydroxyapatite perception in the presence of Fulvic, Humic and Tannic acids. Journal of Soil Science Society of America 52: 941-946.
27. Jones, D. L. 1998. Organic acids in the rhizosphere- a critical review. Plant and Soil 205: 25-44.
28. Khan, M. S., Zaidi, A. and Wani, P. A. 2006. Role of phosphate solubilizing microorganisms in sustainable agriculture – a review. Agronomy Sustainable Development 26:1–15.
29. Khasawneh, F. and Doll, E. C. 1978. The use of phosphate rock for direct application to soils. Adventures in Agronomy 30: 159-206
30. Kittams, H. A. and Attoe, O. J. 1965. Availability of phosphorus in rock phosphate-sulfur fusion. Agronomy Journal 57: 331-334.
31. Kochakzadeh, Y. 2003. Effect of S and *Thibacillus* and organic matter on required P of corn in calcuros soils. M.Sc. Thesis. Tarbiat Modares University, 212 Pp. [In Persian with English Abstract].
32. Laheurte, F. and Berthelin, J. 1988. Effect of phosphate-solubilizing bacteria on maize growth and root exudation over four levels of labile phosphorus. Plant and Soil 105:11-17.
33. Leinhos, V. and Nacek, O. 1994. Biosynthesis of auxins by PSMs from wheat and rye. Microbiology Research 149: 31-35.
34. Lewis, D. C., Hindell, R. P. and Hunter, J. 1997. Effects of phosphate rock products on soil pH. Australian Journal of Experimental Agriculture 37(8): 1003-1008.
35. Lipman, J. G., Mc lean, H. C. and Lint, H. C. 1916. The oxidation of sulphur in soils as a means of increasing the availability of mineral phosphates. Soil Science 1: 533-539.
36. Maynard, A. 1995. Cumulative effect of annual additions of MSW compost on the yield of field-grown tomatoes. Compost Science Utility 3 (2): 47-54.
37. Mkhabela, M. and Warman, P. R. 2005. The influence of municipal solid waste compost on yield, soil phosphorus availability and uptake by two vegetable crops, grown in a wash sandy loam soil in Nova Scotia. Agriculture, Ecosystem, Environment 106: 57-67.
38. Molla, M. A. Z. and Chodhury, A. A. 1984. Microbial mineralization of organic phosphate in soil, Plant and Soil 78 (3): 393-399.
39. Nahas, E. 1996. Factors determining rock phosphate solubilization by microorganisms isolated from soil Journal Microbiology and Biotechnology 12 (6): 567-572.
40. Noor, Y. M. and Tabatabai, M. A. 1977. Oxidation of elemental sulphur in soils. American Journal of Soil Science 41: 736-741.
41. Ozores-Hampton, M. and Hanlon, E. 1997. Cadmium, copper, lead, nickel and zinc concentrations in tomato and squash grown in MSW compost amended calcareous soil. Compost Science Utility 5 (4): 40-46.
42. Pathiratna, L., Waidyanatha, S. and Peries, O. S. 1989. The effect of apatite and elemental sulfur mixtures on growth and P content of *Centrocema pubescens*. Fertilizer Research 21:37-43.
43. Perucci, P. 1990. Effect of the addition of municipal soild-waste compost on microbial biomass and enzyme activities in soil. Biology of Fertile Soils 10: 221-226.
44. Rodd, A., Warman, P. R., Hicklenton, P. and Webb, K. 2002. Comparison of N fertilizer, source-separated municipal solid waste compost and semi-solid beef manure on the nutrient concentration in boot-stage barley and wheat tissue. Canadian Journal of Soil Science 82: 33-43.
45. Rupela, O. P. and Taura, P. 1973. Isolation and characterization of *Thiobacillus* from alkaline soils. Soil Biology Biochemistry 5: 891– 897.
46. Saeed, M. 1977. Phosphate fertilization reduces zinc adsorption by calcareous soils. Plant Soil 48: 641-649.
47. Shanmugam, G. S. and Warman, P. R. 2004. Soil and plant response to organic amendments to three strawberry cultivars. Proceedings of the International Humic Substances Society. Embrapa (Pub.), Sao Pedro, pp. 230-232.
48. Soumare, M., Tack, F. and Verloo, M. 2003. Characterization of Malian and Belgian solid waste composts with respect to fertility and suitability for land application. Waste Management 23: 517-522.
49. Taha, S. M., Mahmoud, S. A. Z., Halim, A., Damaty, E. L. and Abd El–Hafez, A. M. 1969. Activity of phosphate dissolving bacteria in Egyptian soils. Plant Soil 31(1):149-159.
50. Tian, G. and Kolawole, G. O. 2004. Comparison of various plant residues as phosphate rock amendment on savanna soils of west Africa. Journal of Plant Nutrition 27(4): 571-583.
51. Warman, P. R., Murphy, C., Burnham, J. and Eaton, L. 2004. Soil and plant response to MSW compost applications on lowbush blueberry fields in 2000 and 2001. Small Fruit Research 3(1/2):19-31.
52. Zhang, M., Heaney, D., Henriquez, B., Solberg, E. and Bittner, E. 2006. A four-year study on influence of biosolids/MSW compost application in less productive soils in Alberta: nutrient dynamics. Compost Science Utility 14 (1): 68-80.
53. Zheljazkov, V. and Warman, P. R. 2004. Phytoavailability and fractionation of copper, manganese, and zinc in soil following application of two composts to four crops. Environmental Pollution 131: 187-195.