بررسی تأثیر اکسیداسیون زیستی گوگرد بر خصوصیات خاک و فراهمی عناصر در برخی از خاک‌های ایران

حسین بشارتی[1]، هوشنگ خسروی، کاظم خاوازی، عبدالحسین ضیائیان، کامران میرزاشاهی، جلال قادری، حمیدرضا ذبیحی، مهرزاد مستشاری، آرش صباح و ناصر رشیدی

استاد پژوهش مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران؛ **besharati1350@yahoo.com**

استادیار پژوهش مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران؛ **hkhosravi@swri.ir**

استاد پژوهش مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران؛ **kkhavazi@yahoo.com**

دانشیار پژوهش مرکز تحقیقات کشاورزی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران؛ **ziaeian@yahoo.com**

مربی پژوهش مرکز تحقیقات کشاورزی خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، دزفول، ایران؛ **kamranmirzashahi@yahoo.com**

مربی پژوهش مرکز تحقیقات کشاورزی کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه ، ایران؛ **ghaderij@yahoo.com**

استادیار پژوهش مرکز تحقیقات کشاورزی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد ، ایران؛ **zabihi_hamidreza@yahoo.com**

استادیار پژوهش مرکز تحقیقات کشاورزی قزوین، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، قزوین ، ایران؛ **mm_mohasses@yahoo.com**

کارشناس ارشد بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمان، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران؛ **Arash14492@yahoo.com**

مربی پژوهش مرکز تحقیقات کشاورزی کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران؛ **n.rashidi@areo.ir**

دریافت: **95/2/26** و پذیرش: **96/3/3**

چکیده

به علت شرایط اقلیمی و مواد مادری تشکیل دهنده خاک‌ها، pH بیشتر خاک های کشاورزی ایران در محدوده قلیایی است، تحت این شرایط حلالیت بیشتر عناصر غذایی کم بوده و جذب آنها توسط گیاه تأمین کننده نیاز گیاه نیست. اکسیداسیون گوگرد و تولید اسید سولفوریک یکی از راهکارهایی است که همواره مورد توجه محققین بوده است. طیف وسیعی از ریزجانداران خاکزی از جمله مهمترین آنها یعنی باکتری‌های جنس *تیوباسیلوس* قادر به اکسایش گوگرد و در نتیجه کاهش pH موضعی خاک هستند. در این پژوهش، تأثیر مصرف گوگرد و مایه تلقیح باکتری‌های *تیوباسیلوس* بر برخی خواص شیمیایی خاک در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی به صورت فاکتوریل در مزارع تحقیقاتی استان‌های فارس، خراسان رضوی، خوزستان، کرمان (کرمان و جیرفت)، کرمانشاه و قزوین انجام شد. فاکتورها شامل مصرف گوگرد (500، 1000 و 2000 کیلوگرم در هکتار) به همراه تیوباسیلوس (10، 20 و 40 کیلوگرمدر هکتار) و مصرف کود سوپر فسفات تریپل (100درصد و 65 درصد مقدار توصیه بر اساس آزمون خاک) بود. آزمون در دو حالت با و بدون حضور گیاه انجام گرفت. نتایج نشان داد که در اکثر مناطق مورد آزمایش، فسفر قابل جذب خاک در تیمار گوگردی و فسفر در مقایسه با تیمار شاهد بطور معنی‌داری افزایش یافت. تغییرات pH و نیز غلظت عناصر کم مصرف خاک اگرچه در مناطق مختلف مورد آزمایش ثبت گردید ولی این تغییرات بدلیل آهک و ظرفیت بافری بالای خاک معنی دار و قابل توجه نبود. در مجموع مصرف حدود نیم تا یک تن گوگرد عنصری به همراه 10 تا 20 کیلوگرم مایه تلقیح *تیوباسیلوس* به عنوان اکسید کننده گوگرد به همراه کود سوپر فسفات تریپل، به عنوان بهترین تیمار، از نتایج این پژوهش محسوب می‌شود. با توجه به نتایج این پژوهش، مصرف مقدار 2 تن گوگرد در هکتار یا بیشتر توصیه نمی‌شود، زیرا در مقایسه با سطح یک تن در هکتار، نه تنها تأثیر بیشتری بر کاهش pH و افزایش قابلیت جذب عناصر ندارد، بلکه موجب افزایش قابلیت هدایت الکتریکی نیز خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: آهک، آهن، تیوباسیلوس، روی، فسفر

---

[1]. نویسنده مسئول، آدرس: کرج، مشکین دشت، بلوار امام خمینی (ره)، موسسه تحقیقات خاک و آب کدپستی: 3177993545

مقدمه

در خاک‌های آهکی به دلیل وجود مقادیر فراوان کربنات‌های کلسیم و منیزیم درجه اشباع بازی کلوئیدهای خاک 100 درصد بوده و pH خاک‌ها بین 7 تا 8 می‌باشد. وجود کربنات کلسیم تأثیر عمیقی بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک‌ها داشته و گیاهان رویش یافته در این خاک‌ها به درجات مختلف متأثر از کربنات‌کلسیم می‌باشند. در چنین شرایطی عناصر غذایی که ترکیبات آنها در pHهای بالا از حلالیت اندکی برخوردار می‌باشند، در خاک به صورت ترکیبات نامحلول و کم محلول تثبیت شده و به تدریج از دسترس گیاهان خارج می‌گردند. از جمله این عناصرغذایی می‌توان به روی و آهن اشاره کرد که به دلیل pH بالای خاک، در خاک رسوب کرده و برای گیاه غیر قابل جذب می‌گردد. در خصوص فسفر مطابق بسیاری از بررسی‌ها دیده شده که بازده کودهای فسفری در خاک‌های آهکی از 20 درصد تجاوز نمی‌کند. فسفر موجود در کودهای فسفری پس از ورود به خاک به تدریج به ترکیبات نامحلول تبدیل شده و در خاک انباشت می‌شوند. به منظور بهبود وضعیت تغذیه گیاهان در شرایط خاک‌های آهکی، بررسی‌ها و تحقیقات زیادی در مناطق مختلف دنیا از جمله ایران انجام شده است.

در برخی از این بررسی‌ها، استفاده از مواد اسیدی (اسید سولفوریک، گوگرد عنصری ....) که بتواند pH خاک را حداقل در اطراف ریشه‌های گیاه کاهش داده و قابلیت جذب عناصر غذایی از قبیل فسفر، آهن و روی را افزایش دهد به عنوان یک راه کار عملی و مؤثر اشاره شده است. از بین مواد اسیدزا، گوگرد عنصری فراوان‌ترین و مقرون به صرفه‌ترین آنها می‌باشد. ایالات متحده، کانادا، روسیه، عربستان، ژاپن، آلمان، امارات متحده عربی، قزاقستان، ایران، مکزیک و لهستان تولیدکنندگان عمده گوگرد دنیا هستند. در ایران سالانه بیش از 2 میلیون تن گوگرد از صنایع نفت و گاز تولید می‌شود. مقادیر کمی از گوگرد تولید داخل در صنایع مختلف مصرف می‌شود و اخیراً برای توسعه مصرف آن در کشاورزی فعالیت‌هایی انجام شده است ولیکن قسمت اعظم گوگرد تولید داخل بعضاً در مراکز تولید توده شده و انباشت آن تهدیدی برای محیط زیست منطقه محسوب می‌شود.

یکی از مهمترین ویژگی‌های گوگرد دارا بودن درجات مختلف اکسیداسیون از 2- تا 6+ می‌باشد. این امر به گردش گوگرد در طبیعت کمک می‌کند. چرخه گوگرد شامل چهار مرحله معدنی شدن، آلی شدن، احیا شدن و اکسید شدن می‌باشد. اکسیداسیون گوگرد مهمترین مرحله چرخه گوگرد محسوب شده و طیف وسیعی از باکتری‌ها قادر به اکسایش آن در محیط خاک هستند. باکتری‌های جنس *تیوباسیلوس*، برخی از باکتری‌های هتروتروف، باکتری‌های گوگردی فتوسنتز کننده و باکتری‌های گوگردی بدون رنگدانه از جمله باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد می‌باشند. از بین موارد فوق باکتری‌های *تیوباسیلوس* و هتروتروف‌ها نقش مهم‌تری در اکسایش گوگرد موجود در خاک ایفا می‌کنند (تیت، 1995). اگرچه ریزجانداران اکسید کننده گوگرد دراکوسیستم خاک پراکنش وسیعی دارند ولی در خاک‌های خیلی خشک و عاری از مواد آلی و رطوبت، جمعیت آنها چندان قابل توجه نمی‌باشد (وین رایت، 1984، چاپمن، 1989). البته در برخی از خاک‌های خشک به‌رغم شرایط نامساعد تعداد اندکی از باکتری‌ها (100 تا 200 سلول در هر گرم خاک) وجود دارد، که این جمعیت با افزودن مواد اصلاح کننده گوگردی افزایش می‌یابد و در نتیجه این افزایش، اکسیداسیون گوگرد در فصول بعدی تشدید می‌شود (طباطبایی، 1986). اکسیداسیون گوگرد و تولید اسید سولفوریک در نقاط ریز اطراف ریشه‌ها افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی، افزایش جذب عناصر توسط گیاه و در نهایت افزایش رشد و عملکرد گیاه را سبب می‌شود. در بسیاری از مناطق دنیا همانند استرالیا، نیوزلند و سریلانکا جهت افزایش بازدهی کودهای فسفری، آنها را با گوگرد مخلوط می‌کنند. گاهی اکسیداسیون گوگرد در خاک کند بوده و بدین جهت از ریزجانداران اکسیدکننده گوگرد (به‌ویژه تیوباسیلوس‌ها) به‌منظور تشدید فرایند اکسیداسیون استفاده می‌شود، در سریلانکا که دارای معادن فراوان آپاتیت می‌باشد، از مخلوط کردن آپاتیت، گوگرد و باکتری‌های تیوباسیلوس یک کود فسفری به نام بیوسوپر تولید می‌کنند که اثر آن معادل با کود سوپرفسفات گزارش شده است (پتی راتنا و همکاران ، 1989).

در یک آزمایش مزرعه‌ای اثر گوگرد در جذب آهن، روی و منگنز به وسیله سه گیاه ذرت، سورگوم و سویا در یک خاک لوم رسی با 40 درصد آهک بررسی و گزارش شده که مصرف گوگرد نسبت به شاهد به طور معنی‌داری، pH و غلظت بی‌کربنات خاک را کاهش و میزان آهن، منگنز و روی را در خاک افزایش داده است. همچنین میزان عملکرد، مقدار آهن و روی جذب شده توسط گیاهان نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری داشته و در تمام تیمارها به غیر از شاهد، کلروز ناشی از کمبود آهن برطرف شده است (کلباسی و همکاران، 1988). تأثیر مصرف گوگرد عنصری همراه با مواد آلی بر قابلیت دسترسی عناصر غذایی در خاک‌های آهکی در شرایط

گلخانه و مزرعه بررسی و گزارش شده که در تیمارهای حاوی مواد آلی و گوگرد، pH، 0/24 واحد نسبت به تیمارهای حاوی گوگرد کاهش و میزان قابلیت هدایت الکتریکی خاک 0/42 dS/m و سولفات خاک 246 میکروگرم بر گرم افزایش یافت (سیفوئنتز و لیندمن، 1993).

Deluca و همکاران (1989) تأثیر مصرف گوگرد و تلقیح تیوباسیلوس را در سه خاک آهکی در گلخانه و مزرعه مورد بررسی قرار دادند. مصرف گوگرد همراه با *تیوباسیلوس* نسبت به مصرف گوگرد بدون تلقیح، به طور معنی‌داری pH خاک را کاهش داد. مصرف گوگرد همراه با سوپر فسفات‌تریپل در تیمارهای تلقیح شده و تلقیح نشده به طور معنی‌داری pH خاک را نسبت به تیمارهای گوگرد تنها و سوپر فسفات تنها کاهش داد، در هر سه نوع خاک میزان فسفر جذب‌شده و فسفر قابل دسترس موجود در خاک در تیمار گوگرد و سوپرفسفات به طور معنی‌داری بیشتر از تیمار سوپرفسفات بود. پسندیده و همکاران (1382) گزارش کردند که در نتیجه مصرف گوگرد و زادمایه تیوباسیلوس pH چالکودها کاهش محسوسی پیدا کرد و pH از 7/13 به 6/46 کاهش و غلظت فسفر قابل جذب در چالکود از63 به 103/7 میلی گرم در کیلوگرم افزایش یافت. در تحقیقی تلقیح مخلوط گوگرد و سنگ فسفات با باکتری *تیوباسیلوس* تیواکسیدانس موجب کاهش سریع pH خاک گردید و فسفر قابل دسترس موجود در خاک را به اندازه کافی برای رشد سورگوم افزایش داد، به‌طوری‌که عملکرد سورگوم در این تیمار به اندازه عملکرد حاصل از مصرف کود سوپر فسفات تریپل بود. تیمار حاوی سوپرفسفات‌تریپل+ گوگرد + باکتری چهار برابر تیمار آپاتیت + گوگرد + ماده آلی + *تیوباسیلوس* فسفر جذب شده را افزایش داد ولی میزان عملکرد این دو تیمار یکسان بود (رزا و همکاران (1989)). پنکین (1977) در طی آزمایشات مختلف نشان داد که میزان فسفر قابل استفاده سنگ‌های فسفاتی در خاک، در نتیجه مخلوط کردن آنها با گوگرد افزایش می‌یابد، بنابراین او مخلوط کردن سنگ‌های فسفاتی با گوگرد را جهت کاهش pH خاک و فراهم نمودن یک منبع فسفر قابل جذب برای گیاه توصیه کرد.

نور و طباطبایی (1977) در رابطه با اثرات pH خاک بر اکسیداسیون گوگرد و افزایش فسفر قابل جذب گیاه ذرت، در خاک‌هایی با pH های مختلف (اسیدی تا قلیایی) مطالعات زیادی انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که افزودن گوگرد به خاک باعث افزایش فسفر قابل جذب خاک می‌شود.

هدف از انجام پژوهش حاضر این بود که آیا استفاده از مخلوط گوگرد و باکتری‌های اکسید کننده گوگرد و کود سوپر فسفات تریپل تأثیری بر افزایش حلالیت و قابلیت دسترسی عناصر متأثر از pH و آهک همانند فسفر، آهن و روی و همچنین pH، قابلیت هدایت الکتریکی و کربن آلی دارد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر کاربرد گوگرد و زادمایه باکتری‌های تیوباسیلوس بر برخی خواص فیزیکی و شیمیایی خاک، آزمونی به صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در 3 تکرار در استان-های خراسان رضوی، فارس، خوزستان، کرمان (کرمان و جیرفت)، کرمانشاه و قزوین انجام گرفت. فاکتورها شامل گوگرد به همراه باکتری‌های اکسید کننده گوگرد و مصرف کود سوپر فسفات تریپل بود. سطوح فاکتور گوگرد شامل:1- شاهد بدون مصرف گوگرد و باکتری (S_0)، 2- مصرف گوگرد به میزان 500 کیلوگرم در هکتار توأم با مصرف باکتری‌های اکسید کننده گوگرد به میزان 10 کیلوگرم در هکتار (S_1)، 3- مصرف گوگرد به میزان 1000 کیلوگرم در هکتار توأم با مصرف باکتری‌های اکسید کننده گوگرد به میزان 20 کیلوگرم در هکتار (S_2)، 4- مصرف گوگرد به میزان 2000 کیلوگرم در هکتار توأم با مصرف باکتری‌های اکسید کننده گوگرد به میزان 40 کیلوگرم در هکتار (S_3) و سطوح فاکتور کود سوپر فسفات تریپل شامل:1- شاهد بدون مصرف کود سوپر فسفات تریپل (P_0).2- مصرف کود سوپر فسفات تریپل بر اساس آزمون خاک (P_1).3- مصرف کود سوپر فسفات تریپل به میزان 65 درصد مقدار تیمار قبل (P_2) بود.

مزرعه مورد نظر به گونه‌ای انتخاب شد تا خاک آن از لحاظ فسفر زیر حد بحرانی برای ذرت باشد. سپس قبل از شروع آزمایش از خاک مزرعه مورد آزمایش، شش کیلوگرم نمونه خاک مرکب تهیه شد. پس از عبور از الک دو میلی‌متری به کیسه‌های پلاستیکی مناسب منتقل گردید. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک از جمله مقادیر کربن آلی، فسفر، پتاسیم، روی، آهن و همچنین مقادیر pH، TNV (کل مواد خنثی شونده)، قابلیت هدایت الکتریکی و بافت نیز بر اساس روش‌های استاندارد آزمایشگاهی تعیین شد (علی احیایی و بهبهانی زاده، 1372). گوگرد از پژوهشگاه صنعت نفت در خانگیران به صورت گرانول تهیه گردید. اوره در سه نوبت، یک سوم در زمان کاشت، یک سوم در مرحله V4-

V6) و یک سوم در مرحله قبل از V9-V10 و پتاسیم نیز در زمان کاشت مصرف شد. برای اعمال تیمارهای گوگردی ابتدا گوگرد و باکتری‌های اکسید کننده گوگرد به خوبی با هم مخلوط شده و سپس به کرت موردنظر اضافه و پس از مخلوط شدن یکنواخت با خاک، جوی و پشته‌ها ایجاد شد. مساحت هر کرت 36 متر مربع شامل 6 پشته به فاصله 60 سانتیمتر و طول 10 متر انتخاب شد. چهار پشته میانی کشت و پشته اول و ششم به صورت نکاشت باقی گذاشته شد. فاصله بوته‌ها از هم نیز 15 سانتیمتر انتخاب شد. لازم به ذکر است که فقط 8 متر از 10 متر، کاشت شد و دو متر انتهایی بدون کاشت بود ولی کلیه تیمارها اعمال و سایر عملیات انجام شد. بنابراین در داخل هر تیمار و با همان عنوان تیمار بدون گیاه نیز وجود داشت به عنوان مثال علاوه بر (S_0 P_0) عملاً یک تیمار (S_0 $P_0$$Plant_0$) نیز وجود داشت. فاصله بین دو کرت یک متر و فاصله بین تکرار نیز 3 متر و بذر مصرفی ذرت رقم 704 بود. عملیات زراعی بر اساس دستورالعمل‌های تحقیقات هر منطقه صورت گرفت و آب مورد نیاز هر منطقه نیز براساس کتاب نیاز آبی محاسبه و مصرف شد.

برای تهیه زادمایه باکتری‌های اکسید کننده از محیط کشت پستگیت (Postgate) استفاده شد (پستگیت، 1966). پس از تهیه محیط کشت، باکتری‌های مورد نظر در دمای 28 درجه سانتیگراد و با جمعیت تقریبی 10^7 سلول در میلی‌لیتر محیط کشت، تکثیر و به ماده حامل پرلیت با درجه R0 مخلوط و زادمایه‌های یک کیلوگرمی تهیه و در پلاستیک‌های مناسب بسته‌بندی و همراه گوگرد به سایت ها ارسال شد. تجزیه و تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم افزارهای آماری Minitab و SAS پس از نرمال سازی داده‌ها انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج مربوط به تجزیه خاک مناطق مورد آزمایش در جدول یک ارائه شده است.

مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای گوگرد و فسفر بر مقدار فسفر خاک در مناطق مختلف

مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای گوگرد و فسفر بر مقدار فسفر خاک در مناطق مختلف در جدول دو نشان داده شده است.

از مناطق مختلف، منطقه جیرفت حداقل و فارس حداکثر فسفر خاک را دارا بودند. در تمامی مناطق کمترین مقدار فسفر قابل جذب خاک مربوط به تیمار P0 (بدون مصرف کود فسفری) و بیشترین مقدار فسفر قابل جذب مربوط به سطوح سوم و چهارم گوگرد بود. همچنین در اکثر مناطق بیشترین فسفر قابل جذب سطح دوم مصرف فسفر بود. لذا مصرف بیشتر فسفر تأثیر چندانی در افزایش قابلیت جذب فسفر خاک نداشت. با در نظر گرفتن جنبه های اقتصادی برای افزایش فسفر قابل جذب خاک، سطح سوم گوگرد و سطح دوم فسفر در اراضی زیر کشت ذرت قابل توصیه می‌باشد. مقدار درصد افزایش فسفر قابل جذب در مناطق مختلف از 40 تا حدود 200 درصد متغیر بود. نکته قابل توجه آنکه در مناطقی که مقدار فسفر اولیه خاک کمتر بوده است اثر تیمارها در افزایش فسفر بیشتر بوده است. آزمایشات مختلف نشان داده اند که میزان فسفر قابل استفاده سنگ‌های فسفاتی در خاک، در نتیجه مخلوط کردن آنها با گوگرد افزایش می‌یابد (پنکین، 1977). نتایج بررسی تأثیر کاربرد گوگرد عنصری در سه رژیم رطوبتی مختلف (40، 60 و 120%) و سه رژیم دمایی متفاوت (12، 24 و 36 درجه سانتی‌گراد) بر تغییرات pH و قابلیت دسترسی فسفر در سه نوع خاک، اسیدی (pH=4/9)، خنثی (pH=7/1) و قلیایی (pH=10/2) نشان داد که اکسیداسیون گوگرد باعث کاهش pH خاک قلیایی گردید و در نتیجه باعث افزایش غلظت فسفر قابل دسترس شد. اکسیداسیون گوگرد وابسته به رطوبت و دمای خاک می‌باشد و می‌تواند باعث اصلاح pH خاک و غلظت فسفر قابل دسترس گردد. کاهش pH خاک در خاک قلیایی بدون گوگرد، در شرایط غرقاب بیشترین مقدار بود و در خاک آهکی با گوگرد در شرایط رطوبتی 60% در مرحله‌ایی که اکسیداسیون گوگرد سریع بود، باعث بهبود شرایط خاک جهت دسترسی به عناصر گردید (جاجی و همکاران، 2005).

جدول 1- نتایج تجزیه خاک مناطق مورد آزمایش

Mn	Cu	Zn	Fe	K	P	O.C	T.N.V	pHe*	ECe*	منطقه Region
		mg kg^{-1}				%		-	dS m^{-1}	
13/26	1/42	1/34	5/2	405	13/2	0/37	19/6	7/83	0/92	مشهد
1/22	0/69	0/62	1/22	215	6/7	0/50	7/44	7/81	1	قزوین
5/38	1/2	0/92	6/78	350	10	1/02	-**	7/70	1	کرمانشاه
13/26	1/42	1/34	5/2	405	13/2	0/37	19/6	7/80	0/92	دزفول
-	-	-	-	300	14	0/48	-	8/20	2/96	کرمان
-	-	0/66	5/0	242	10/50	0/60	32/00	8/10	1/31	فارس
-	-	0/9	5/7	390	6/25	0/01	10/25	7/60	3/10	جیرفت

جدول 2- مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای گوگرد و فسفر بر مقدار فسفر خاک در مناطق مختلف

		جیرفت	کرمان	قزوین	خراسان	کرمانشاه	خوزستان	فارس
S0	P0	حضور گیاه	2/87 b	5/73	5/73 bf	11/33 bc	9/20 dg	6/57fg	13/93 bd
		بدون گیاه	3/47 b	7/8	4/55 ef	11/47 ac	10/00 bg	9/17cg	24/27 ab
	P1	حضور گیاه	3/20 b	8/6	7/67 bc	11/87 ac	9/60 cg	12/67ae	13/60 bd
		بدون گیاه	4/07 ab	8/1	7/91 b	14/00 ac	11/53 ad	14/70ac	16/13 bd
	P2	حضور گیاه	3/07 b	7/73	6/68 bf	10/53 bc	10/27 bg	10/50bg	10/27 cd
		بدون گیاه	4/00 ab	8/0	3/79 f	13/73 ac	10/93 af	14/37ac	17/33 ad
S1	P0	حضور گیاه	3/47 b	5/26	4/76 cf	13/07 ac	8/27 g	7/27 eg	10/00 cd
		بدون گیاه	3/07 b	12/00	4/08 f	14/80 ac	9/47 cg	11/37af	13/13 bd
	P1	حضور گیاه	2/93 b	6/53	7/15 be	13/33 ac	8/76 fg	9/33 cg	23/40 ac
		بدون گیاه	5/07 ab	10/33	5/88 bf	15/20 ac	10/47 bg	17/10a	12/00 bd
	P2	حضور گیاه	3/47 b	12/20	4/60 ef	10/53 bc	11/73 ad	8/33dg	17/13 ad
		بدون گیاه	3/60 b	10/00	5/30 bf	14/40	10/30 bg	13/37ad	15/80 bd
S2	P0	حضور گیاه	3/33 b	5/06	4/03 f	9/33 bc	9/80 bg	5/33g	14/73 bd
		بدون گیاه	4/03 ab	8/00	5/08 bf	12/93 ac	10/17 bg	7/97dg	29/60 a
	P1	حضور گیاه	4/40 ab	8/93	7/55 bd	14/00 ac	13/07 a	15/57 ab	12/13 bd
		بدون گیاه	4/53 ab	11/00	5/79 bf	14/80 ac	11/33 ae	17/10a	22/20 ac
	P2	حضور گیاه	3/87 ab	8/26	7/86 b	11/87 ac	12/27	10/27bg	16/67 ad
		بدون گیاه	5/93 a	9/20	6/03 bf	15/33 ab	10/90 af	15/60 ab	8/40 d
S3	P0	حضور گیاه	4/73 ab	5/40	4/29 ef	8/13 c	9/87 bg	9/90 bg	20/60 ad
		بدون گیاه	3/13 b	7/66	4/69 df	11/20 bc	10/83 af	7/80dg	8/27 d
	P1	حضور گیاه	2/80 b	14/00	11/11 a	12/53 ac	11/80 ac	12/00af	10/40 cd
		بدون گیاه	4/20 ab	11/60	6/57 bf	18/40 a	11/47 ad	14/60ac	12/87 bd
	P2	حضور گیاه	2/93 b	16/93	4/85 cf	13/20 ac	8/867 eg	11/37af	12/93 bd
		بدون گیاه	4/20 ab	14/00	5/69 bf	14/80 ac	10/93 af	12/67ad	10/20 cd

S0، S1، S2 سطوح گوگرد و P0، P1، P2 سطوح فسفر می‌باشند.

در یک آزمایش گلخانه‌ای امکان استفاده از مخلوط خاک فسفات و گوگرد را به عنوان کود فسفری مورد بررسی قرار گرفت. در این آزمایش گوگرد و سنگ فسفات با نسبت‌های مختلف با یکدیگر مخلوط شده و به صورت پودر یا گرانول به خاک اضافه شدند. تیمارهای دیگر شامل کود سوپر فسفات و تلقیح با باکتری‌های *تیوباسیلوس* بودند. پس از اعمال تیمارها تعداد 50 عدد بذر چاودار در هر گلدان کاشته شد. پس از 8 هفته گیاهان

برداشت شده و میزان عملکرد و فسفر جذب شده در تیمارهای مختلف اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که مخلوط خاک فسفات و گوگرد به طور معنی‌داری عملکرد و میزان فسفر جذب شده را در مقایسه با سنگ فسفات تنها، افزایش داد. البته میزان این افزایش در خاک‌هایی که آهک بیشتری داشتند کمتر بود. حداقل مقدار گوگرد اکسید شده (حدود 10 درصد) مربوط به گوگرد گرانوله و حداکثر آن مربوط به گوگرد پودری (82 درصد) بود (کیتامز و آتو، 1965)

مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای گوگرد و فسفر بر مقدار آهن خاک در مناطق مختلف

مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای گوگرد و فسفر بر مقدار آهن خاک در مناطق مختلف در جدول سه نشان داده شده است. از مناطق مختلف، منطقه کرمان حداقل و فارس حداکثر آهن خاک را دارا بودند. در بیشتر مناطق کمترین مقدار آهن قابل جذب خاک مربوط به تیمار P0 (بدون مصرف کود فسفری) و بیشترین مقدار آهن قابل جذب مربوط به سطوح سوم و چهارم گوگرد بود. همچنین در اکثر مناطق بیشترین آهن قابل جذب مربوط به سطح سوم و چهارم گوگرد بود.

جدول 3- مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای گوگرد و فسفر بر مقدار آهن خاک در مناطق مختلف

			جیرفت	کرمان	قزوین	خراسان	کرمانشاه	خوزستان	فارس
S0	P0	حضور گیاه	2/787 ab	2/51ab	4/130 ac	2/953 af	7/2500 ag	4/99ac	11/78 ac
		بدون گیاه	3/080 a	2/46ab	4/080 ac	2/900 bf	6/7067 cg	5/23 ac	11/25 bd
	P1	حضور گیاه	2/700 ab	2/20ab	4/030 bc	2/780 cf	7/1467 ag	4/87 bc	11/67 ac
		بدون گیاه	2/927 ab	2/41ab	4/080 ac	2/907 bf	6/2533 eg	5/38ac	11/58 ac
	P2	حضور گیاه	2/587 ab	2/06ab	4/440 ac	2/513 ef	8/0133 ad	4/83ac	11/49 ac
		بدون گیاه	2/953 ab	2/44ab	4/070 ac	2/807 bf	6/0100 fg	4/89 bc	12/07 ac
S1	P0	حضور گیاه	2/933 ab	2/30ab	4/260 ac	2/427 f	6/1700 eg	4/88 bc	11/27 bd
		بدون گیاه	2/687 ab	2/60a	4/390 ac	2/893 bf	6/8000 bg	5/05 ac	11/17 bd
	P1	حضور گیاه	2/580 ab	2/26ab	4/727 ab	2/607 df	8/2400 ac	4/68 c	10/91 bd
		بدون گیاه	2/553 ab	2/12ab	4/220 ac	3/553 a	5/6467 g	5/04ac	10/58 cd
	P2	حضور گیاه	2/960 ab	2/28ab	4/630 ac	2/593 df	8/0633 ad	5/23 ac	11/33 bd
		بدون گیاه	2/607 ab	2/16ab	4/280 ac	3/093 ae	6/4533 dg	5/55ab	10/80 cd
S2	P0	حضور گیاه	2/720 ab	2/25ab	4/480 ac	2/453 Ef	8/2800 a	4/73c	11/43 ad
		بدون گیاه	2/700 ab	2/41ab	3/233 d	3/240 ad	6/6867 cg	4/69c	11/19 bd
	P1	حضور گیاه	2/967 ab	2/31ab	4/580 ac	2/540 ef	7/5933 af	5/28ac	11/13 bd
		بدون گیاه	2/747 ab	2/55ab	4/180 ac	2/920 af	6/2133 eg	5/13ac	10/73 cd
	P2	حضور گیاه	2/713 ab	2/16ab	4/890 a	2/547 ef	8/6567 a	4/61c	10/91 bd
		بدون گیاه	2/633 ab	2/34ab	3/880 cd	2/887 bf	7/2167 ag	4/96ac	9/48 e
S3	P0	حضور گیاه	2/887 ab	1/88b	4/030 bc	2/573 ef	8/4000 ab	5/72a	10/75 cd
		بدون گیاه	2/700 ab	2/34ab	4/142 ac	3/440 ab	6/7233 cg	5/41 ac	10/19 de
	P1	حضور گیاه	2/453 b	2/13ab	4/540 ac	2/373 f	7/7667 ae	5/41ac	11/44 ac
		بدون گیاه	2/500 b	2/39ab	4/030 bc	3/287 ac	6/5800 dg	5/37 ac	11/71 ac
	P2	حضور گیاه	2/920 ab	2/24ab	4/140 ac	2/373 f	6/9800 bg	4/86 bc	11/74 ac
		بدون گیاه	2/773 ab	2/52ab	4/350 ac	3/333 ac	7/4267 af	5/23ac	12/58 a

S0، S1، S2 سطوح گوگرد و P0، P1، P2 سطوح فسفر می‌باشند.

مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای گوگرد و فسفر بر مقدار روی خاک در مناطق مختلف

مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای گوگرد و فسفر بر مقدار روی خاک در مناطق مختلف در جدول چهار نشان داده شده است.

کمترین مقدار روی خاک قابل جذب مربوطه به سطح اول و دوم گوگرد بود. در بیشتر مناط هم مربوط به عدم حضور گیاه بدست آمد.

جدول 4- مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای گوگرد و فسفر بر مقدار روی خاک در مناطق مختلف

				جیرفت	کرمان	قزوین	خراسان	کرمانشاه	خوزستان	فارس
S0	P0	حضور گیاه		0/507 ac	1/32a	2/427 dg	1/433 b	1/473 ac	2/13 ac	2/13 ac
		بدون گیاه		0/500 ac	1/00abc	1/173 fg	2/380 b	1/130 eh	2/30 ab	2/30 ab
	P1	حضور گیاه		0/467 bc	1/12ab	3/970 be	1/027 b	1/283 ah	2/19 ac	2/19 ac
		بدون گیاه		0/540 ac	0/82 bcd	0/527 g	1/047 b	1/140 eh	2/29 ab	2/29 ab
	P2	حضور گیاه		0/540 ac	0/85 bcd	2/040 dg	1/360 b	1/267 bh	2/29 ab	2/29 ab
		بدون گیاه		0/513 ac	0/60dc	0/380 g	1/233 b	0/936 h	2/19 ac	2/19 ac
S1	P0	حضور گیاه		0/493 ac	1/00abc	4/307 bd	1/407 b	1/366 ae	1/21 d	1/21 d
		بدون گیاه		0/480 bc	0/59dc	1/120 fg	2/753 b	1/050 gh	1/20 d	1/20 d
	P1	حضور گیاه		0/460 bc	0/77 bcd	3/440 cf	0/8267 b	1/190 ch	1/97 ad	1/97 ad
		بدون گیاه		0/467 bc	0/78bcd	2/113 dg	1/907 b	1/130 eh	1/88 ad	1/88 ad
	P2	حضور گیاه		0/473 bc	0/70bcd	3/547 cf	1/420 b	1/450 ad	2/08 ad	2/08 ad
		بدون گیاه		0/613 ac	0/77 bcd	1/520 eg	1/587 b	1/190 eh	1/90 ad	1/90 ad
S2	P0	حضور گیاه		0/667 ac	0/74 bcd	6/190 ab	4/667 b	1/2667 bh	1/57 ad	1/57 ad
		بدون گیاه		0/407 c	0/77 bcd	1/793 dg	1/153 b	1/150 ch	1/41 bd	1/41 bd
	P1	حضور گیاه		0/473 bc	1/02abc	6/790 a	2/147 b	1/346 af	2/41 a	2/41 a
		بدون گیاه		0/500 ac	0/44d	1/740 eg	1/333 b	1/175 eh	1/89 ad	1/89 ad
	P2	حضور گیاه		0/467 bc	0/04abc	5/130 ac	1/347 b	1/600 ab	1/67 ad	1/67 ad
		بدون گیاه		0/493 ac	0/85 bcd	2/110 dg	1/313 b	1/180 eh	1/35 cd	1/35 cd
S3	P0	حضور گیاه		0/413 c	0/96abc	7/320 a	1/333 b	1/293 ag	1/53 ad	1/53 ad
		بدون گیاه		0/673 ac	1/00abc	1/193 fg	1/320 b	1/113 dh	1/33 cd	1/33 cd
	P1	حضور گیاه		0/587 ac	1/09ab	5/660 ac	1/167 b	1/230 ch	1/46 bd	1/46 bd
		بدون گیاه		0/607 ac	0/86 bcd	1/680 eg	1/193 b	1/115 fh	1/81 ad	1/81 ad
	P2	حضور گیاه		0/720 ab	0/82 bcd	2/060 dg	1/533 b	1/626 a	1/93 ad	1/93 ad
		بدون گیاه		0/793 a	0/86 bcd	3/440 cf	1/047 b	1/130 eh	2/15 ac	2/15 ac

S0، S1، S2 سطوح گوگرد و P0، P1، P2 سطوح فسفر می‌باشند.

مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای گوگرد و فسفر بر مقدار کربن آلی خاک در مناطق مختلف

مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای گوگرد و فسفر بر مقدار کربن آلی خاک در مناطق مختلف در جدول پنج نشان داده شده است.

مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای گوگرد و فسفر بر مقدار هدایت الکتریکی خاک در مناطق مختلف

مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای گوگرد و فسفر بر مقدار هدایت الکتریکی خاک در مناطق مختلف در جدول شش نشان داده شده است.

جدول 5- مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای گوگرد و فسفر بر مقدار کربن آلی خاک در مناطق مختلف

				جیرفت	کرمان	قزوین	خراسان	کرمانشاه	خوزستان	فارس
S0	P0	حضور گیاه		0/06 cg	0/42	0/56 bc	0/64 a	0/93 cd	0/65	0/77 bf
		بدون گیاه		0/06 cf	0/44	0/54 c	0/47 af	1/10 ad	0/60	0/73 f
	P1	حضور گیاه		0/05 fg	0/45	0/59 bc	0/57 ad	1/00 ad	0/67	0/79 ae
		بدون گیاه		0/05 fg	0/44	0/60 bc	0/37 df	0/99 ad	0/61	0/77 ef
	P2	حضور گیاه		0/06 dg	0/42	0/61 bc	0/54 af	0/96 ad	0/63	0/82 ad
		بدون گیاه		0/06 dg	0/36	0/60 bc	0/38 cf	1/01 ad	0/65	0/87 cf
S1	P0	حضور گیاه		0/05 g	0/44	0/66 ab	0/61 ab	0/97 ad	0/61	0/87 ab
		بدون گیاه		0/06 dg	0/33	0/65 ab	0/487 af	1/21 a	0/66	0/80 ab
	P1	حضور گیاه		0/07 bd	0/50	0/66 ab	0/57 ad	0/94 bd	0/63	0/85 ad
		بدون گیاه		0/06 cg	0/30	0/62 ac	0/48 af	0/97 ad	0/69	0/72 af

	P2	حضور گیاه	0/07 bd	0/45	0/71 a	0/55 ae	1/15 ad	0/66	0/77 ae
		بدون گیاه	0/06 cf	0/34	0/61 ac	0/46 af	0/97 ad	0/72	0/77 ef
	P0	حضور گیاه	0/07 ce	0/43	0/59 bc	0/59 ac	0/01 ad	0/65	0/89 a
		بدون گیاه	0/06 cf	0/41	0/61bc	0/35 ef	0/99 ad	0/67	0/84 ae
S2	P1	حضور گیاه	0/05 eg	0/45	0/65 ab	0/47 af	1/15 ac	0/71	0/90 ab
		بدون گیاه	0/06 dg	0/36	0/61 bc	0/47 af	1/07 ad	0/65	1/03 af
	P2	حضور گیاه	0/09 a	0/45	0/65 ab	0/54 af	1/06 ad	0/65	0/82 ad
		بدون گیاه	0/08 ab	0/44	0/59 bc	0/46 af	0/91 cd	0/65	0/79 df
	P0	حضور گیاه	0/07 bcd	0/48	0/60 bc	0/54 af	1/02 ad	0/72	0/83 ad
		بدون گیاه	0/05 eg	0/33	0/60 bc	0/41 bf	1/15 ac	0/70	0/76 ac
S3	P1	حضور گیاه	0/073 bc	0/50	0/64 ab	0/55 ae	1/16 ac	0/59	0/88 ac
		بدون گیاه	0/07 ce	0/38	0/62 ac	0/33 f	1/19 ab	0/69	0/81 cf
	P2	حضور گیاه	0/07 ce	0/46	0/63 ac	0/59 ac	1/10 ad	0/65	0/96 ad
		بدون گیاه	0/06 cg	0/34	0/61 bc	0/40 cf	0/89 d	0/65	0/80 df

S0، S1، S2 سطوح گوگرد و P0، P1، P2 سطوح فسفر می‌باشند.

جدول 6- مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای گوگرد و فسفر بر مقدار هدایت الکتریکی خاک در مناطق مختلف

			جیرفت	کرمان	قزوین	خراسان	کرمانشاه	خوزستان	فارس
	P0	حضور گیاه	1/07 bf	5/12	0/94 bc	5/06 ab	0/75 g	1/28 a	0/97 bf
		بدون گیاه	0/92 df	3/9	0/76 c	3/52 b	0/88 eg	1/48a	1/87 f
S0	P1	حضور گیاه	1/35 ad	2/68	0/99 bc	4/27 ab	0/95 df	1/23a	3/31 ae
		بدون گیاه	0/88 df	2/63	0/79 c	7/23 ab	1/02 be	1/33 a	2/05 ef
	P2	حضور گیاه	0/98 df	2/68	0/84 c	5/52 ab	0/96 df	1/57a	3/57 ad
		بدون گیاه	0/78 ef	2/90	0/97 bc	5/13 ab	1/02 be	1/30a	2/58 cf
	P0	حضور گیاه	1/02 cf	3/56	0/85 c	5/96 ab	0/83 fg	1/43a	4/09 ab
		بدون گیاه	0/83 ef	2/53	0/92 bc	5/85 ab	1/11 ad	1/20a	4/28 ab
S1	P1	حضور گیاه	1/17 bf	3/37	1/06 bc	4/97 ab	0/88 eg	1/77 a	3/45 ad
		بدون گیاه	1/20 ae	3/70	0/75 c	4/52 ab	1/11 ad	1/12 a	3/07 af
	P2	حضور گیاه	1/16 bf	3/54	0/92 bc	5/14 ab	1/01 be	1/43a	3/26 ae
		بدون گیاه	0/89 df	2/60	0/84 c	5/56 ab	1/14 ac	1/53 a	1/98 ef
	P0	حضور گیاه	1/56 ab	4/35	0/97 bc	6/03 ab	0/95 df	1/19 a	4/42 a
		بدون گیاه	0/82 ef	3/23	0/84 c	4/28 ab	1/18 ab	1/30 a	3/24 ae
S2	P1	حضور گیاه	1/51 ac	3/82	1/40 bc	5/06 ab	1/15 ac	1/24a	4/01 ab
		بدون گیاه	1/08 bf	2/43	1/35 bc	5/88 ab	0/96 cf	1/40 a	3/23 af
	P2	حضور گیاه	1/03 cf	4/55	0/96 bc	6/29 ab	0/97 cf	1/69a	3/47 ad
		بدون گیاه	0/833 ef	3/33	0/83 c	5/49 ab	1/13 ad	1/42 a	2/26 df
	P0	حضور گیاه	1/16 bf	3/73	2/36 a	6/26 ab	1/06 ae	1/25a	3/43 ad
		بدون گیاه	1/27 ae	2/30	0/84 c	5/07 ab	0/95 df	1/42a	3/89 ac
S3	P1	حضور گیاه	1/16 bf	5/20	0/63 b	5/36 ab	1/23 a	1/48a	3/92 ac
		بدون گیاه	0/68 ef	3/93	0/88 c	7/38 a	1/08 ad	1/57a	2/63 cf
	P2	حضور گیاه	1/67a	4/83	1/42 bc	6/00 ab	1/21 a	1/34 a	3/48 ad
		بدون گیاه	1/05 bf	3/70	1/11 bc	4/64 ab	1/09 ad	1/30a	2/24 df

S0، S1، S2 سطوح گوگرد و P0، P1، P2 سطوح فسفر می‌باشند.

مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای گوگرد و فسفر بر مقدار اسیدیته خاک در مناطق مختلف

مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای گوگرد و فسفر بر مقداراسیدیته خاک در مناطق مختلف در جدول هفت نشان داده شده است. در سه منطقه خراسان، کرمانشاه،

کرمان و خوزستان تغییرات معنی‌داری در اسیدیته خاک مشاهده نشد. در سایر مناطق بیشترین کاهش مربوط به سطح چهارم مصرف گوگرد بوده است. گرچه تغییرات زیادی در اسیدیته اندازه‌گیری شده مشاهده نمی‌شود اما با توجه به اینکه این اندازه‌گیری در انتهای آزمایش انجام شده است و آهکی بودن خاک و خواص بافری آن موجب برگشت اسیدیته به مقادیر اولیه می‌شود و این در حالی است که اثر اصلی گوگرد به علت تغییرات pH در نقاط ریز اطراف ریشه می‌باشد.

با انجام یک آزمایش گلخانه‌ای در یک خاک اکسی‌سل تأثیر مصرف مخلوط گوگرد و کودهای فسفری، مواد آلی (کمپوست) و تلقیح خاک با باکتری *تیوباسیلوس تیواکسیدانس* بر عملکرد سورگوم و میزان جذب فسفر توسط آن را مورد بررسی قرار دادند. سنگ فسفات و سوپر فسفات تریپل به نسبت 5:1 با گوگرد مخلوط شدند، نتایج نشان داد که تلقیح مخلوط گوگرد و سنگ فسفات با باکتری *تیوباسیلوس تیواکسیدانس* موجب کاهش سریع pH خاک گردید و فسفر قابل دسترس موجود در خاک را به اندازه کافی برای رشد سورگوم افزایش داد. مک کردی و کروس (1982) یک خاک سولونتزی که قبلاً با گوگرد تیمار شده بود را با باکتری *تیوباسیلوس تیوپاروس* و *تیوباسیلوس تیواکسیدانس* تلقیح کردند، سپس میزان سولفات، pH و مقدار گوگرد اکسید شده در خاک‌های تلقیح نشده و تلقیح شده را اندازه‌گیری کردند. نتایج اندازه‌گیری‌ها نشان داد که در خاک‌های تلقیح شده سولفات محلول و مقدار گوگرد اکسید شده نسبت به خاک‌های تلقیح نشده به طور معنی‌داری افزایش یافت. همچنین کاهش pH در خاک‌های تلقیح شده نسبت به خاک‌های تلقیح نشده معنی‌دار بود (رزا و همکاران، 1989).

جدول 7- مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای گوگرد و فسفر بر مقدار اسیدیته خاک در مناطق مختلف

			جیرفت	کرمان	قزوین	خراسان	کرمانشاه	خوزستان	فارس
S0	P0	حضور گیاه	7/93 d	7/90	7/92 ab	7/70 a	7/90 a	7/59 a	8/33 cf
		بدون گیاه	8/07 bd	7/66	7/83 ae	7/87 a	7/63 a	7/76 a	8/60 a
	P1	حضور گیاه	7/99 cd	7/76	7/87 ad	7/73 a	7/73 a	7/88 a	8/33 cf
		بدون گیاه	8/11 ad	7/80	7/97 a	7/80 a	7/63 a	7/76a	8/53 ab
	P2	حضور گیاه	8/26 ab	7/77	7/91 ac	7/70 a	7/76 a	7/84a	8/30 dg
		بدون گیاه	8/10 ad	7/80	7/93 ab	7/83 a	7/90 a	7/75 a	8/43 ad
S1	P0	حضور گیاه	8/10 ad	7/86	7/81 ae	7/70 a	7/82 a	7/77a	8/20 fg
		بدون گیاه	8/12 ad	7/77	7/92 ab	7/77 a	7/90 a	7/85 a	8/23 eg
	P1	حضور گیاه	8/03 cd	7/83	7/82 ae	7/70 a	7/77 a	7/70a	8/30 dg
		بدون گیاه	7/97 cd	7/53	7/88 ac	7/87 a	7/97 a	7/80a	8/47 ad
	P2	حضور گیاه	8/05 bd	8/00	7/84 ae	7/77 a	7/78 a	7/81 a	8/30 dg
		بدون گیاه	8/16 ad	7/77	7/96 a	7/83 a	7/67 a	7/78 a	8/50 ac
S2	P0	حضور گیاه	8/29 a	7/90	7/90 ac	7/67 a	7/79 a	7/84a	8/20 fg
		بدون گیاه	8/10 ad	7/73	7/94 ab	7/87 a	7/63a	7/78a	8/37 bf
	P1	حضور گیاه	8/17 ac	7/83	7/80 ae	7/73 a	7/69 a	7/84 a	8/13 g
		بدون گیاه	8/14 ad	7/86	7/687 de	7/77 a	7/77 a	7/81a	8/20 fg
	P2	حضور گیاه	8/08 ad	7/77	7/80 ae	7/733 a	7/84 a	7/73a	8/23 eg
		بدون گیاه	8/16 ac	7/66	7/91 ab	7/73 a	7/83 a	7/74a	8/47 ad
S3	P0	حضور گیاه	8/16 ac	7/86	7/67 e	7/67 a	7/71 a	7/78a	8/20 fg
		بدون گیاه	8/09 ad	7/80	7/94 ab	7/80 a	7/77 a	7/74a	8/30 dg
	P1	حضور گیاه	8/16 ac	7/83	7/72 ce	7/70 a	7/74 a	7/73a	8/13 g
		بدون گیاه	8/15 ad	7/66	7/83 ae	7/70 a	7/90 a	7/76a	8/37 bf
	P2	حضور گیاه	8/06 bd	8/00	7/76 be	7/70 a	7/90 a	7/72 a	8/20 fg
		بدون گیاه	8/07 bd	7/73	7/81 ae	7/83 a	7/83 a	7/85 a	8/4 be

S0، S1، S2 سطوح گوگرد و P0، P1، P2 سطوح فسفر می‌باشند.

در طی دو آزمایش گلخانه‌ای و یک آزمایش انکوباسیون اثر مخلوط گوگرد و آپاتیت بر رشد و میزان فسفر جذب شده در یک گیاه لگوم را در سریلانکا بررسی کردند نتایج نشان داد که مصرف توأم گوگرد،

آپاتیت و باکتری *تیوباسیلوس* باعث کاهش سریع pH شد به طوری که پس از 20 روز pH را از 7/5 به 4 کاهش داد و در فاصله 20 تا 40 روز تغییر چندانی نکرد. همچنین در اثر کاهش pH میزان فسفر محلول خاک افزایش یافت. با توجه به نتایج حاصل از این آزمایشات محققین اظهار داشتند که مخلوط گوگرد، آپاتیت و باکتری‌های *تیوباسیلوس* (کود بیوسوپر یا بیوسوپرفسفات) می‌تواند به عنوان یک کود مناسب برای گیاهان استفاده شود (پتی راتنا و همکاران، 1989). تأثیر مصرف گوگرد و تلقیح *تیوباسیلوس* را بر افزایش فسفر قابل دسترس در سه خاک آهکی در گلخانه و مزرعه مورد بررسی قرار دادند. تیمارها شامل تلقیح با *تیوباسیلوس* تیوپاروس، گوگرد، گوگرد و تلقیح، کود سوپر فسفات‌تریپل، سوپر فسفات‌تریپل و گوگرد، سوپر فسفات‌تریپل و تلقیح، سوپرفسفات و گوگرد و تلقیح بودند. پس از 8 هفته گندم برداشت شده و میزان عملکرد، فسفر جذب شده توسط گندم و pH خاک اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که مصرف گوگرد همراه با *تیوباسیلوس* نسبت به مصرف گوگرد بدون تلقیح، به طور معنی‌داری pH خاک را کاهش داد. مصرف گوگرد همراه با سوپر فسفات‌تریپل در تیمارهای تلقیح شده و تلقیح نشده به طور معنی‌داری pH خاک را نسبت به تیمارهای گوگرد تنها و سوپر فسفات تنها کاهش داد، احتمالاً مصرف فسفر باعث افزایش فعالیت *تیوباسیلوس*ها شده‌است. در هر سه نوع خاک میزان فسفر جذب‌شده و فسفر قابل دسترس موجود در خاک در تیمار گوگرد و سوپرفسفات به طور معنی‌داری بیشتر از تیمار سوپرفسفات بود. (دلوکا و همکاران، 1989).

در تحقیقی بر روی اثر گوگرد و مایه تلقیح *تیوباسیلوس* گزارش شد که pH چالکودها کاهش محسوسی پیدا کرد و pH از 7/13 به 6/46 کاهش و غلظت فسفر قابل جذب در چالکود از63 به 103/7 میلی گرم در کیلوگرم افزایش یافت. پسندیده و همکاران، 2003). تحقیق پتانسیل خوب باکتری *تیوباسیلوس* و گوگرد در افزایش آزادسازی فسفر از منبع خاک فسفات گزارش به طوری که با انتخاب گونه مناسب از باکتری *تیوباسیلوس*، ماده آلی مناسب و نسبت مناسبی از گوگرد به خاک فسفات می‌توان 90 تا 100 درصد از عملکرد ناشی از سوپر فسفات‌تریپل را تأمین کرد (خاوازی و همکاران، 2001)

نتیجه‌گیری

به طور کلی مصرف حدود نیم تا یک تن گوگرد عنصری گوگرد به همراه 10 تا 20 کیلوگرم زادمایه *تیوباسیلوس* به عنوان اکسید کننده گوگرد به همراه کود سوپر فسفات تریپل به عنوان بهترین تیمار در افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی خاک در اراضی زیر کشت ذرت در مناطق مورد مطالعه می باشد.

فهرست منابع:

1. علی احیایی م و بهبهانی زاده ع ا، 1372 . شرح روش‌های تجزیه شیمیایی خاک) جلد اول .(نشریه 893 ، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، وزارت کشاورزی، تهران.
2. پسندیده، م.، ملکوتی، م. ج. و کشاورز، پ. 1382. بررسی اثر گوگرد و مایه تلقیح تیوباسیلوس بر اکسایش گـوگرد، pH محتویات چالکود و فراهمی فسفر از کود بیوفسفات طلایی. اولین سمینار ملی تولید و مصرف گوگرد در کشور، مشـهد، ایران.
3. Cifuentes, F. R. and Lindemann, W. C. 1993. Organic matter stimulation of elemental sulfur oxidation in calcareous soil. Soil Sci. Soc. Am. J., 57: 727-731.
4. 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. Fert. Soils. 7: 346-350.
5. Jaggi, R. C., Aulakh, M. S. and Sharma, R. 2005. Impacts of elemental S applied under various temperature and moisture regimes on pH and available P in acidic, neutral and alkaline soils. Biol. Fertil. Soils, 41: 52-58.
6. Kalbasi, M., Filsoof, F. and Rezai-Nejad, Y. 1988. Effect of sulfur treatment on yield and uptake of Fe, Zn and Mn by corn, sorghum and soybean. J. plant Nutr., 11: 1353-1360.

8. Khavazi, K., Nourgholipour, F. and Malakouti, M. J. 2001. Effect of Thiobacillus and phosphate solubilizing bacteria on increasing P availability from rock phosphate and related Appropriate Technology-Latest Development and Practical Expriences. Kuala Lampur, Malasia.
9. Kittmas,H. A. and Attoe, O. J. 1965. Availability of phosphorus in rock phosphate-sulfur fusion. Agron. J. 57: 331-334.
10. McCready, R. G. L. and Krouse, H. R. 1982. Sulfur isotope fractionation during the oxidation of elemental sulfur by *Thiobacilli* in a solonetzic soil. Can. J. Soil Sci., 62: 105-110.
11. Nor, Y. M. and Tabatabai, M. A. 1977. Oxidation of elemental sulfur in soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 41: 736-741.
12. Pasandideh, M., M.j. Malakouti and P. Keshavarz. 2003. Evaluation of sulfur and thiobacillus on sulfour oxidation, pH of fertilizer placement and availability of Golden-Biophosphate., Mashhad, Iran. (In Persian).
13. Pathiratna, L. S. S., De, U. P. Waidyanatha, S. and Perirs, O. S. 1989. The effect of appatite and elemental sulfur mixtures on growth and p content of *Centrocema pubescens.* Fertil. Res. 21: 37-43.
14. Penkin, C. F. 1977. Invention, relating to mixing phosphate and sulfure. U. S. Patent. No. 193, P: 896.
15. Postgate, J.R. 1966. Media for sulfur bacteria. Laboratory Practice Journal, 15,1239-1244.
16. Rosa. M. C., Muchovey, J. J. and Alwares, J. V. H. 1989. Temporal relations of phosphorous fraction in an oxisol amended with rock phosphate and Thiobacillus thiooxidans. Soil Sci. Soc. of Am. J., 53: 1096-1100.
17. Tabatabai, M. A. 1986. Sulfur in Agriculture. Am. Soc. Agron. Inc., Madison, Wis., USA.
18. Tate III, R. L. 1995. The sulfur and related biogeochemical cycle. P: 359-372. In M. Alexander (ed) Soil Microbiology. John Wiley and Sons Inc., New York.

Effects of Biological Oxidation of Sulfur on Soil Properties and Nutrient Availability in Some Soils of Iran

H. Besharati[1], H. Khosravi, K. Khavazi, A. Ziaeian, K. Mirzashahi, J. Ghaderi, H. R. Zabihi, M. Mostashari, A. Sabah, and N. Rashidi

Professor, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran; E-mail: besharati1350@yahoo.com
Assistant Professor, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran; E-mail: hkhosravi@swri.ir
Professor, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran; E-mail: kkhavazi@yahoo.com
Associate Professor, Fars Agricultural Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran; E-mail: ziaeian@yahoo.com
Research Instructor, Safiabad Agricultural Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Dezful, Iran; E-mail: kamranmirzashahi@yahoo.com
Research Instructor, Kermanshah Agricultural Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kermanshah, Iran; E-mail: ghaderij@yahoo.com
Assistant Professor, Khorasan Razavi Agricultural Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Mashhad, Iran; E-mail: zabihi_hamidreza@yahoo.com
Assistant Professor, Qazvin Agricultural Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Qazvin, Iran; E-mail: mm_mohasses@yahoo.com
MSc. of Soil Science, Soil and Water Research Department, Kerman Agricultural Natural resources research and education center, AREEO, Kerman, Iran; E-mail: Arash14492@yahoo.com
Research Instructor, Kerman Agricultural Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kerman, Iran; E-mail: n.rashidi@areo.ir

Received: May, 2016 and Accepted: May, 2017

Abstract

There are problems in solubility and bioavailability of nutrient elements in soils of Iran because of parent materials and climate. Sulfur oxidation and sulfuric acid production is one of the strategies for overcoming this problem. Many soil microorganisms including *Thiobacillus* are capable of oxidizing sulfur and thereby decreasing soil pH. In the present study, the effect of sulfur and *Thiobacillus* was studied for evaluation of some chemical soil characteristics in a factorial randomized complete block design in research fields of provinces of Khorasan Razavi, Fars, Kermanshah, Khuzestan, Qazvin and Kerman (Kerman and Jiroft). The factors including sulfur at levels of 500, 1000, and 2000 $kg.ha^{-1}$, *Thiobacillus* at levels of 10, 20, and 40 $kg.ha^{-1}$ and triple super phosphate fertilizer based on soil testing and 65% of this recommended rate. The experiment was performed both with and without plant. The results showed that the available phosphorous in soil increased significantly in many regions. The amount of sulfur exceeding 2000 kg caused increase in EC in some regions, therefore, we do not recommended sulfur application over 2000 $kg.ha^{-1}$. The best treatment for this research was application of 500 to 1000 kg sulfur with combination of 10 to 20 kg *Thiobacillus* and triple super phosphate.According to the results of this study, application of 2000 $kg.ha^{-1}$ or more sulfur is not recommended, since compared with 1000 $kg.ha^{-1}$, it does not only cause soil pH reduction and increase the availability of the elements, but also increases the electrical conductivity.

Keywords: Lime, Iron, Zinc, Thiobacillus, Phosphorous.

[1]. Corresponding author: Soil and Water Research Institute, Imam Khomeini Blvd., Meshkin Dasht Road, Karaj, Iran, P.O.Box: 31785-311