

روند آزادسازی آهن و روی بر اثر اکسایش زیستی گوگرد

آرزو صیامی^{1*} و حسین بشارتی

دانشجوی سابق کارشناسی ارشد دانشگاه زنجان؛ arezusiami@yahoo.com

عضو هیأت علمی موسسه تحقیقات خاک و آب تهران؛ hbesharaty@yahoo.com

چکیده

غلظت زیاد یون کلسیم و pH بالا در خاک‌های آهکی، باعث کاهش قابلیت جذب عناصر وابسته به pH می‌شود. استفاده از گوگرد به عنوان ماده اسیدزا جهت افزایش قابلیت جذب عناصر تثبیت شده همراه با ریزجانداران اکسیدکننده آن (بویژه باکتری‌های تیوباسیلوس) در بسیاری از مناطق دنیا متداول می‌باشد. در تحقیق حاضر اثر مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس بر روند اکسایش گوگرد و آزاد شدن آهن و روی، همچنین بهترین زمان آزادسازی این عناصر در خاک-های آهکی مختلف مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش حاضر به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار با هشت سطح گوگرد (مقداری از گوگرد عنصری که بتواند با 0، 2/5، 5، 10، 20، 30، 40 و 50 درصد مواد خنثی شونده واکنش دهد) و دو سطح مایه تلقیح T_0 (بدون تیوباسیلوس) و T_1 (مقداری از مایه تلقیح که معادل 10^4 سلول باکتری در هر گرم خاک است) در دو خاک آهکی انجام شد. پس از اعمال تیمارها، 96 گلدان 5 کیلوگرمی با رطوبت FC در دمای 28 درجه سانتی‌گراد به مدت 3 ماه انکوباسیون شد و در فواصل زمانی 0، 15، 30، 60 و 90 روز غلظت سولفات، آهن و روی قابل جذب، pH و EC خاک اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد با گذشت زمان و با افزایش مقدار گوگرد مصرفی، غلظت سولفات و آهن روند صعودی نشان داد. غلظت آهن در هر دو خاک و غلظت روی در یکی از خاک‌ها به تدریج افزایش یافت و پس از 60 روز به حداکثر آهن (17/087 میلی‌گرم بر کیلوگرم) و روی (1/92 میلی‌گرم بر کیلوگرم) رسید. باکتری تیوباسیلوس به تنهایی اثر معنی‌داری بر میزان آهن قابل جذب نداشته است. همچنین pH خاک به موازات افزایش مقدار گوگرد پس از 60 روز کاهش (7/27) ولی EC خاک بعد از گذشت 15 روز افزایش یافت که علت آن اکسایش گوگرد در خاک و انحلال کربنات‌ها می‌باشد.

واژه های کلیدی: آهن، روی، گوگرد، مایه تلقیح، باکتری تیوباسیلوس

مقدمه

قابلیت جذب آنها وابسته به pH است، همچنین برخی از عناصر کم مصرف، تثبیت شده و از دسترس گیاه خارج می‌شود (پاتیراتنا و همکاران 1989، رزا و همکاران 1989 و دلوکا و همکاران 1989).

وجود مکانیسم‌های تثبیت کننده عناصر غذایی در این خاک‌ها سبب می‌شود که همواره بخش کمی از کود مصرف شده، در اختیار گیاهان قرار گیرد و کودهای مورد استفاده راندمان پایینی داشته باشد.

کمی نزولات آسمانی و وجود مواد مادری آهکی سبب پیدایش و تحول خاک‌های آهکی در پهنه وسیعی از کشور گردیده است. در خاک‌های مذکور به علت وجود pH بالا و غلظت زیاد یون کلسیم، برخی از عناصر غذایی مانند فسفر، آهن و روی تثبیت شده و از دسترس گیاهان خارج می‌شود. رویاندن گیاه و تولید محصول در خاک‌های آهکی و خاک‌های دارای pH بالا، همواره با مشکلاتی مواجه بوده است. بخش مهمی از این مشکلات از آنجا ناشی می‌شود که در این خاک‌ها عناصر غذایی که

¹ نویسنده مسئول، آدرس: دانشگاه زنجان

* دریافت: تیر 1390 و پذیرش: اردیبهشت 1391

میزان شوری خاک ds/m 0/48 و سولفات محلول 1455 میکروگرم بر گرم افزایش یافت. بر اساس همین نتایج در آزمایش گلخانه‌ای 20 درصد و در آزمایش مزرعه‌ای 22 درصد گوگرد مصرف شده به سولفات تبدیل شد و درصد آهک خنثی شده در آزمایش گلخانه‌ای فقط 2/3 درصد و در آزمایش مزرعه‌ای 5/1 درصد بوده است. در آزمایش گلخانه‌ای میزان منگنز و آهن افزایش یافت ولی میزان فسفر و روی قابل دسترس تغییری نکرد. در آزمایش مزرعه‌ای فقط میزان منگنز به‌طور معنی‌داری افزایش نشان داد (سیفوننتز و لیندمان 1993).

کاپلان و ارمان² (1998) در یک خاک آهکی (pH = 7/88 و $\text{CaCO}_3 = 37/3\%$) پس از افزودن مقادیر 0، 500، 1000 و 1500 کیلوگرم گوگرد در هکتار، در گلدان‌های 5 کیلوگرمی، سورگوم کشت نمودند. نتایج آزمایش آنها نشان داد که مصرف گوگرد تأثیر معنی‌داری بر کاهش pH خاک و افزایش قابلیت جذب فسفر دارد. به‌طوری‌که در تیمارهای مذکور pH خاک به ترتیب 7/90، 7/67، 7/62، 7/55 و مقدار فسفر قابل جذب خاک 2/45، 3/51، 4/05 و 3/43 میلی‌گرم در کیلوگرم بود. آهن و روی قابل جذب خاک در نتیجه مصرف گوگرد افزایش معنی‌داری نشان نداد، در حالی‌که مس و منگنز قابل جذب خاک در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌دار افزایش یافت. کاهش pH و افزایش قابلیت جذب فسفر و عناصر کم مصرف در تیمارهای حاوی گوگرد در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری مشاهده شد. در تیمارهای مذکور وزن خشک سورگوم به ترتیب 5/46، 10/07، 10/44 و 8/01 گرم در گلدان، فسفر جذب شده 8/35، 13/84، 13/57 و 11/13، آهن جذب شده 0/39، 0/63، 1/07 و 0/61، روی جذب شده 0/62، 0/81، 0/89 و 0/74، مس جذب شده 0/09، 0/2، 0/2 و 0/16 و منگنز جذب شده نیز 0/37، 0/67، 0/69 و 0/55 میلی‌گرم در گلدان بود. در تمام موارد مذکور، مصرف گوگرد در مقایسه با شاهد باعث افزایش معنی‌دار شاخص‌های اندازه‌گیری شده، گردید.

کلباسی و همکاران³ (1988) به منظور بررسی اثر گوگرد در جذب آهن، روی و منگنز به‌وسیله سه گیاه ذرت، سورگوم و سویا در یک خاک لوم رسی با 40 درصد آهک یک آزمایش مزرعه‌ای انجام دادند. در این تحقیق مقادیر 0، 100، 200 و 400 کیلوگرم در هکتار گوگرد پودری قبل از کشت به خاک اضافه شد. نتایج نشان داد که مصرف گوگرد نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری، pH و غلظت بی‌کربنات خاک را کاهش و

محققان سعی دارند تا با اسیدی کردن خاک و کاهش pH، از قدرت تثبیت این خاک‌ها کاسته و بر حلالیت عناصر غذایی در این خاک‌ها بیفزایند. در بین موادی که برای اسیدی کردن خاک به کار می‌رود گوگرد متداولترین، بهترین و مقرون به‌صرفه‌ترین آنها می‌باشد (راجان 1983، تیزدال و همکاران 1984 و گارسیا دلا فونته و همکاران 2007).

استفاده از گوگرد و ریزجانداران اکسیدکننده آن به‌عنوان یک راه حل زیستی فاقد پیامدهای مخرب زیست محیطی است که به‌عنوان راه‌کاری جهت بهبود وضعیت تغذیه گیاهان در خاک‌های آهکی و قلیایی در سال‌های اخیر مورد توجه فراوان قرار گرفته و نتایج جالبی را به‌همراه داشته است. با عنایت به وجود منابع فراوان گوگرد در کشور و آهکی بودن اکثر خاک‌ها، استفاده از این ماده ارزان قیمت جهت بهبود تغذیه گیاهان سزاوار توجه بیشتر می‌باشد. شرط بهره‌گیری از توان بالقوه گوگرد، حضور باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد در خاک است، زیرا اکسایش گوگرد عمدتاً به‌صورت زیستی است (وین‌رایت 1984، طباطبایی 1986، استونسون 1986، تات 1995، ساهو و جانا 2000، استمفورد و همکاران 2003 و چی و همکاران 2006 و 2007).

سرعت اکسایش گوگرد در خاک‌های مختلف متفاوت بوده و به عوامل مختلفی بستگی دارد. شدت اکسایش زیستی گوگرد (S) به SO_4^{2-} در خاکها به جمعیت باکتری تیوباسیلوس در خاک، اندازه ذرات گوگرد عنصری و شرایط محیطی بستگی دارد. با افزایش گوگرد عنصری به خاک، جمعیت باکتری‌ها و اکسایش گوگرد افزایش می‌یابد. همچنین این باکتری‌ها نیاز به بیشتر عناصر غذایی (نه همه عناصر مورد نیاز گیاهان) دارند. بنابراین فرایند اکسایش گوگرد در خاک‌های حاصلخیز سریعتر صورت می‌گیرد (اگریفکتز 2003).

رازتو¹ (1982) در باغات هلو، میزان 20 کیلوگرم گوگرد را به ازای هر درخت به خاک افزود، در نتیجه این تحقیق pH خاک از 8/2 به 6/4 کاهش یافت و کلروز ناشی از کمبود آهن در درختان هلو برطرف شد.

در یک آزمایش مزرعه‌ای مقدار 15 گرم ماده آلی به صورت کمپوست کود اسبی، کود گاوی تازه و کود سبز برموداگراس و میزان 5 گرم گوگرد به هر کیلوگرم خاک اضافه شد. پس از اعمال تیمارها و گذشت 270 روز، نتایج آزمایش نشان داد که مصرف توأم گوگرد و مواد آلی در خاک، pH خاک را 0/16 واحد کاهش داده و

² Kaplan and orman

³ Kalbasi et al.,

¹ Razeto

گوگرد در هر سه نوع خاک، pH را به طور معنی‌داری نسبت به شاهد کاهش داد. همچنین میزان سولفات محلول، EC، آهن، منگنز، مس و فسفر قابل دسترس نیز نسبت به شاهد به طور معنی‌داری افزایش یافت ولی در میزان روی قابل دسترس خاک تأثیری نداشت. این محققان اظهار داشتند که تغییر قابلیت دسترسی عناصر غذایی به مقدار آهک و نسبت آهک به رس در خاک بستگی دارد. در خاک‌هایی که آهک و نسبت آهک به رس کمتری داشتند، تأثیر مصرف گوگرد بیشتر نمایان بود. در خاک‌هایی که خاصیت بافری بالاتری داشت، مقدار آهن و مس فقط در سطوح بالای گوگرد به طور معنی‌داری افزایش یافت.

بشارتی (1377) در یک بررسی گلخانه‌ای که در خاک آهکی روی ذرت انجام داد، گزارش کرد که با مصرف 0/5 درصد (وزنی) گوگرد عنصری در مقایسه با شاهد، pH خاک 1/3 واحد کاهش یافت. مقدار فسفر قابل جذب خاک بر اثر کاهش pH، از 4/99 به 12/87 و آهن قابل جذب خاک نیز از 2/07 به 3/82 میلی‌گرم در کیلوگرم افزایش یافت.

بشارتی (1377) اثر چهار گونه باکتری تیوباسیلوس، دو سطح مصرف گوگرد و سه تیمار کود فسفره را بر جذب آهن در گیاه ذرت در شرایط گلخانه‌ای مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد که مصرف گوگرد 36/5 درصد و مصرف گوگرد همراه با مایه تلقیح تیوباسیلوس 137/2 درصد مقدار آهن جذب شده توسط ذرت را در مقایسه با شاهد افزایش داد.

وانگ و همکاران³ (2008) مطالعاتی درباره تأثیر گوگرد عنصری بر قابلیت دسترسی مس و روی و ترکیب اجتماع میکروبی خاک در شرایط آزمایشگاهی انجام دادند. نتایج نشان داد که با کاربرد 20 گرم گوگرد در هر کیلوگرم خاک، pH خاک حدود سه واحد کاهش یافت. انحلال‌پذیری مس و روی بعد از 64 روز انکوباسیون به طور معنی‌داری افزایش یافت. غلظت مس در ریشه و ساقه گیاه جاذب مس افزایش پیدا کرد و غلظت مس در ساقه‌های گیاه 156/5 میلی‌گرم در کیلوگرم در تیمارهای گوگردی بود که 2/5 برابر بیش از تیمارهای فاقد گوگرد بود. همچنین حضور باکتری‌های اسیدوفیل در خاک بر اثر کاربرد گوگرد ثابت شد.

آگاهی از سرعت اکسایش گوگرد و به تبع آن آزاد شدن عناصر تثبیت شده در کارایی مصرف گوگرد تأثیر بسزایی دارد. به طوری که با اعمال شیوه‌های مدیریتی

میزان آهن، منگنز و روی قابل استخراج با DTPA در خاک را افزایش داد. به طوری که در تیمارهای مذکور pH خاک در عصاره اشباع خاک به ترتیب 7/7، 7/8، 8/1، 7/7، غلظت بی‌کربنات 2/5، 2/2 و 2/3 میلی‌مول در لیتر، آهن قابل جذب خاک 3/3، 4/7، 4/9 و 5/2، منگنز قابل جذب 5/7، 7/3، 7/7 و 8/8 و روی قابل جذب خاک نیز 0/4، 0/6، 0/6 و 0/6 میلی‌گرم در کیلوگرم بود. در هر سه محصول، جذب آهن و روی در اثر مصرف گوگرد در مقایسه با شاهد به طور معنی‌دار افزایش، در حالی که جذب منگنز کاهش یافت. کاهش pH و افزایش حلالیت عناصر کم مصرف، ضمن رفع کلروز در گیاهان باعث افزایش جذب عناصر غذایی و در نتیجه افزایش وزن خشک گیاهان گردید. در تیمارهای 0، 100، 200 و 400 کیلوگرم گوگرد در هکتار، وزن خشک سورگوم به ترتیب 51/96، 64/8، 68/4 و 70/9، وزن خشک ذرت 82/6، 83/8، 93/2 و 103/6 و عملکرد دانه سویا 2/68، 3/2، 3/3 و 3/3 کیلوگرم در هر کرت بود. در تمام تیمارها به غیر از شاهد، کلروز ناشی از کمبود آهن برطرف شد.

ماهلر و مپلس¹ (1986) اثرات گوگرد عنصری را بر کاهش pH خاک و جذب برخی از عناصر غذایی توسط گندم در یک خاک نسبتاً اسیدی مورد بررسی قرار داده و نتیجه گرفتند که مصرف گوگرد سبب کاهش فسفر جذب شده به وسیله گیاه شده و در جذب مس، منیزیم، کلسیم و نیتروژن اثر معنی‌داری داشت در حالی که در جذب منگنز، آهن و روی روند خاصی مشاهده نشد. همچنین آنها دریافتند که مصرف گوگرد عنصری باعث کاهش pH خاک شده و با افزایش مقدار مصرف گوگرد در خاک، روند کاهش pH سریع‌تر بوده است.

مدیهش و همکاران² (1989) به منظور بررسی اثر گوگرد بر ویژگی‌های شیمیایی و قابلیت دسترسی عناصر غذایی در خاک‌های آهکی، آزمایش گلخانه‌ای را انجام دادند. در این آزمایش به سه خاک آهکی که از نظر بافت، مقدار آهک، میزان فسفر و عناصر کم مصرف با یکدیگر تفاوت داشت، معادل 0/5، 1/5 و 3 درصد وزنی خاک، گوگرد به خاک افزوده شد. ستون‌های خاک در دمای 30 درجه سانتی‌گراد انکوباسیون شد و پس از 3، 6، 9 و 18 هفته جهت اندازه‌گیری عناصر غذایی و ویژگی‌های شیمیایی خاک از آنها نمونه‌برداری شد. میزان pH، EC، سولفات محلول و همچنین مقدار آهن، روی، مس، منگنز و فسفر قابل دسترس موجود در خاک‌ها اندازه‌گیری شد. نتایج این تحقیق نشان داد که مصرف 0/5 درصد

¹ Mahler & Maples

² Modaihsh et al.,

³ wang et al.,

S_0 , S_1 است. جهت اعمال تیمارها از گوگرد عنصری پودری (با خلوص 98%) استفاده شد.

مایه تلقیح تیوباسیلوس

دو سطح T_0 (بدون تیوباسیلوس) و T_1 (مقداری از مایه تلقیح که معادل 10^4 سلول باکتری در هر گرم خاک است) بکار رفت. برای کشت خالص باکتری‌های تیوباسیلوس، محیط کشت پستگیت¹ با اسیدیته برابر هفت به مقدار کافی تهیه شد. از محیط کشت مذکور در شرایط استریل به میزان 100 سی سی در ارلن‌های 250 میلی‌لیتری که قبلاً استریل شده بودند، توزیع گردید. سپس 5 میلی‌لیتر از سوسپانسیون کشت خالص باکتری تیوباسیلوس به ارلن‌های حاوی محیط کشت اضافه شد، در ضمن برای جلوگیری از رشد قارچ‌ها در محیط، میزان 80 میلی‌گرم در لیتر از قارچ‌کش سیکلوهگزیمید² به محیط‌های تلقیح شده افزوده شد. لازم به ذکر است که قارچ‌کش قبل از مصرف به روش فیلتراسیون توسط میلی‌پور استریل شد. ارلن‌های تلقیح شده در دستگاه گرمخانه شیکردار، در دمای 28 درجه سانتی‌گراد و در 180 دور به مدت یک هفته انکوباسیون شدند. پس از انقضای یک هفته، pH محیط‌های کشت به حدود 4 رسید. سپس سوسپانسیون باکتری تا زمان مصرف در یخچال (دمای 4 درجه سانتی‌گراد) نگهداری گردید. ضمناً قبل از مصرف تعداد باکتری‌های تیوباسیلوس در سوسپانسیون آماده شده به روش کلنی کانت³ شمارش گردید که معادل 10^7 سلول در هر میلی‌لیتر بود. بدین ترتیب با توجه به وزن خاک گلدان‌ها، 50 میلی‌لیتر سوسپانسیون باکتری به صورت مایع برای هر گلدان استفاده شد.

ماده آلی

شامل دو سطح M_0 (بدون ماده آلی) و M_1 (5 گرم در هر کیلوگرم خاک یا معادل 0/5 درصد یا حدود 15 تن در هکتار) می‌باشد، که به هر گلدان حدود 25 گرم کمپوست مواد آلی اضافه شد. کمپوست مواد آلی قبل از مصرف در گلدان‌ها از الک 2 میلیمتری عبور داده شد و تا رسیدن به وزن ثابت (هوا خشک شدن) در آزمایشگاه باقی مانده لذا از مواد آلی ریز و هوا خشک در گلدان‌ها استفاده گردید. با احتساب سه تکرار برای هر تیمار در مجموع 192 گلدان 5 کیلوگرمی آماده و هر نوع خاک (لرستان و کرج) در 96 گلدان توزیع شدند.

پس از اعمال تیمارها، رطوبت گلدان‌ها با افزودن آب مقطر به حد ظرفیت مزرعه رسیده و در دمای

مناسب می‌توان مقدار و زمان مصرف گوگرد را چنان انتخاب نمود تا زمان بیشترین اکسیداسیون گوگرد و آزاد شدن عناصر، با زمان حداکثر نیاز گیاه به عناصر غذایی بیشترین همپوشی را داشته باشد که نیل به این مهم همان افزایش بازده مصرف گوگرد است.

لذا در تحقیق حاضر تغییرات اکسایش گوگرد و آزاد شدن عناصر غذایی با بکارگیری باکتری‌های تیوباسیلوس، به عنوان یک راه حل زیستی، جهت افزایش قابلیت جذب آهن و روی خاک بررسی گردید. واکنش خاک آهنی در ترکیب با گوگرد و باکتری اکسیدکننده گوگرد در حضور ماده آلی برای رهاسازی آهن و روی می‌تواند دستاورد جالبی در بهبود حاصلخیزی خاک برای افزایش تولید محصول با کیفیت خوب و مدیریت خاک مطرح باشد. در راستای مدیریت عناصر در خاک و برای جلوگیری از هدررفت عناصر در خاک می‌توان بیشترین نیاز گیاه را با زمانی که غلظت آهن و روی در خاک به بالاترین حد خود رسیده است تنظیم کرد. با تعیین زمان حداکثر آزادسازی آهن و روی در خاک و آگاهی از زمان اوج نیاز گیاهان مختلف به این عناصر، می‌توان تلقیح خاک را به گونه‌ای زمانبندی کرد که این دو زمان اوج روی هم منطبق شوند.

مواد و روشها

کشت گلخانه‌ای به صورت طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی در قالب آزمایشات فاکتوریل با سه تکرار به اجراء درآمد. چهار فاکتور منظور شده در این طرح عبارت است از:

نوع خاک

از خاکهای آهنی زیرکشت گندم که درصد مواد خشتی شونده آنها کم (کمتر از 10 درصد) و متوسط (10-30 درصد) است، استفاده شد. لذا فاکتور نوع خاک دارای دو سطح L (خاک لرستان حاوی درصد مواد خشتی شونده کم) و K (مخلوط خاک کرج و قزوین با درصد مواد خشتی شونده متوسط) است. در نمونه‌های آماده شده خصوصیات از قبیل pH، EC، درصد مواد خشتی شونده، بافت، ماده آلی، رطوبت ظرفیت مزرعه و همچنین مقدار فسفر، آهن، روی و سولفات قابل جذب گیاه به روش معمول و استاندارد آزمایشگاهی تعیین شد (جدول 1).

گوگرد

مقداری از گوگرد عنصری که بتواند با 0، 2/5، 5، 10، 20، 30، 40 و 50 درصد مواد خشتی شونده واکنش دهد، در هر خاک مصرف گردید، بنابراین فاکتور گوگرد به ترتیب دارای هشت سطح مختلف S_2 ، S_3 ، S_4 ، S_5 ، S_6 ، S_7

¹. postgate

². cycloheximide

³. Colony Count

با مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل دو فاکتور نوع خاک و گوگرد مشخص شد که تیمار LS_6 پس از یک ماه و LS_7 پس از 2 ماه به ترتیب با میانگین‌های 15/01، 19/02 میلی‌گرم بر کیلوگرم بیشترین غلظت آهن قابل جذب خاک را به خود اختصاص داد (شکل 1). روند تغییرات در هر دو خاک تقریباً مشابه است ولی به دلیل این‌که غلظت اولیه آهن در خاک کرج کم‌تر بوده، اثر گوگرد هم در افزایش آهن قابل جذب خاک کرج کم‌تر مؤثر واقع شده است.

اثرات متقابل نوع خاک، مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس و ماده آلی بر غلظت آهن قابل جذب خاک پس از 30 روز در سطح آماری 5% معنی‌دار شد. مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل سه فاکتور نوع خاک، مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس و ماده آلی بر غلظت آهن قابل جذب خاک نشان داد که تیمار LT_0M_0 با میانگین 14/56 میلی‌گرم آهن قابل جذب در کیلوگرم خاک پس از یک ماه بیشترین غلظت آهن قابل جذب خاک را نشان داد.

پس از گذشت 3 ماه از شروع آزمایش، مقایسه اثرات متقابل سه فاکتور نوع خاک، گوگرد و باکتری تیوباسیلوس نشان داد که تیمار LS_7T_1 (18/59) در سطح آماری 5% معنی‌دار شد. تیوباسیلوس‌های اضافه شده با اکسایش گوگرد مصرف شده در خاک، pH را به‌طور موضعی کاهش داده و حلالیت ترکیبات آهن را افزایش می‌دهند. بشارتی (1385) مشاهده کرد که با مصرف 0/5 درصد گوگرد همراه با باکتری‌های تیوباسیلوس آهن قابل جذب خاک نسبت به شاهد 96/2 درصد افزایش یافت. با افزایش سطوح گوگرد مصرفی میزان آهن قابل جذب افزایش یافته است. بسیاری از محققان اثرات مفید کاربرد گوگرد در خاک‌های آهکی و خاک‌هایی با pH بالا را در افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی مثل فسفر، روی و آهن گزارش کرده‌اند (کلباسی و همکاران 1988، مدیپش و همکاران 1989، دلوکا و همکاران 1989، خان و همکاران 1989، تیزدال و همکاران 1993، کاپلان و ارمان 1998، گارسیا دلا فونته و همکاران 2007، باتی و یواو 2010، ادانگو و همکاران 2007، نیشانت و بیسواس 2008 و محمدی آریا و همکاران 2010).

نتایج تجزیه واریانس اثرات اصلی و متقابل تیمارهای مختلف بر غلظت روی قابل جذب خاک

دو هفته پس از شروع آزمایش هیچ‌گونه اثر معنی‌داری میان تیمارها و غلظت روی قابل جذب در خاک مشاهده نشد. در حالی‌که اثر اصلی فاکتور نوع خاک بر غلظت روی قابل جذب در خاک، با گذشت 30 روز از شروع آزمایش در سطح آماری 1% معنی‌دار شد و خاک

28 تا 30 درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. رطوبت خاک گلدان‌ها در مدت آزمایش به روش وزنی در حد ظرفیت مزرعه ثابت نگهداشته شد. نمونه‌برداری از خاک گلدان‌ها در فواصل زمانی 0، 15، 30، 60 و 90 روز پس از شروع آزمایش انجام شد و شاخص‌های pH، EC، سولفات، آهن و روی قابل جذب اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری یون سولفات به روش کدورت سنجی¹ و اندازه‌گیری آهن و روی با عصاره‌گیر عناصر کم مصرف DTPA با $pH = 7/3$ و سپس قرائت با دستگاه جذب اتمی برای هر یک از عناصر (Zn و Fe) صورت گرفت.

نتایج بدست آمده با نرم‌افزار آماری SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و مقایسه میانگین‌ها به کمک آزمون چنددامنه‌ای دانکن صورت گرفت.

نتایج

برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در کشت گلدانی در جدول 1 ارائه شده است. همچنین با توجه به جدول تجزیه واریانس و معنی‌دار شدن اثرات اصلی یا متقابل مقایسه میانگین‌های اثرات اصلی و متقابل تیمارهای مختلف بر غلظت آهن، روی و سولفات قابل جذب خاک، همچنین pH و EC، در زمان شروع آزمایش و پس از گذشت دو هفته، 1، 2 و 3 ماه از شروع آزمایش به‌طور مجزا در زمان‌های ذکر شده انجام گرفت و نتایج زیر بدست آمد.

نتایج تجزیه واریانس اثرات اصلی و متقابل تیمارهای مختلف بر غلظت آهن قابل جذب خاک

پس از گذشت دو هفته از شروع آزمایش، اثر اصلی نوع خاک بر غلظت آهن قابل جذب خاک در سطح آماری 1% معنی‌دار شد. آهن قابل جذب خاک لرستان با میانگین 10/37 میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌طور معنی‌داری بیشتر از خاک کرج بود و در مدت آزمایش سیر صعودی در میزان آهن قابل جذب در هر دو خاک کاملاً مشهود است. پس از یک و دو ماه اثر متقابل دو فاکتور مقدار گوگرد و مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس بر غلظت آهن قابل جذب خاک در سطح آماری 5% معنی‌دار شد و تیمار S_7T_1 به ترتیب با میانگین‌های 12/65، 12/98 میلی‌گرم بر کیلوگرم بیشترین غلظت آهن قابل جذب خاک را به خود اختصاص داد. نتایج تلقیح خاک با باکتری‌های تیوباسیلوس وقتی مؤثرتر خواهد بود که به خاک‌های آهکی، گوگرد و باکتری توأمأ اضافه شود (وین‌رایت 1984).

¹Turbidimetric

اثر متقابل دو فاکتور نوع خاک و ماده آلی بر غلظت روی قابل جذب خاک با گذشت 90 روز از شروع آزمایش در سطح آماری 1% معنی دار شد. تیمار LM₁ با میانگین 2/35 میلی گرم بر کیلوگرم بیشترین غلظت روی قابل جذب خاک را دارا بود (شکل 2). با توجه به اینکه در خاک لرستان غلظت اولیه روی از خاک کرج بیشتر است اثر مثبت 0/5 درصد ماده آلی در این خاک محسوس تر است

نتایج تجزیه واریانس اثرات اصلی و متقابل تیمارهای مختلف بر غلظت سولفات قابل جذب خاک

مقایسه میانگین‌های چهار فاکتور ماده آلی، مقدار گوگرد، باکتری تیوباسیلوس و نوع خاک بر غلظت سولفات قابل جذب خاک نشان داد که تیمارهای LS₇T₁M₀، LS₅T₀M₁ و KS₇T₁M₁ پس از گذشت یک، دو و سه ماه از شروع آزمایش بترتیب با میانگین‌های 403/67، 917/25 و 951/01 میلی گرم سولفات در کیلوگرم خاک بیشترین غلظت سولفات قابل جذب خاک را دارا می‌باشد. همان‌طور که قبلاً ذکر شد، با توجه به اینکه خصوصیات فیزیکی (تخلخل، دانه‌بندی و ...) خاک کرج ضعیف‌تر از خاک لرستان است، بنابراین در مقایسه با خاک لرستان در زمان طولانی‌تری به حداکثر اکسیداسیون گوگرد رسیده است.

نتایج تجزیه واریانس اثرات اصلی و متقابل تیمارهای مختلف بر pH و EC

اثر اصلی مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس بر pH عصاره اشباع خاک پس از 14 روز در سطح آماری 5% و پس از 30 روز در سطح آماری 1% معنی دار شد. مقایسه میانگین‌های اثر اصلی مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس بر pH عصاره اشباع خاک نشان داد که تیمار مایه تلقیح (10⁴) سلول به ازاء هر گرم خاک) نسبت به شاهد بدون باکتری به‌طور معنی‌داری باعث کاهش pH خاک گردید. باکتری‌های جنس تیوباسیلوس که مهم‌ترین اکسیدکنندگان گوگرد در خاک‌های زراعی محسوب می‌شوند، (کلی و هریسون 1984). با اکسایش گوگرد مقداری اسیدسولفوریک در محیط زیست خود تولید می‌کنند که در صورت قابل توجه نبودن خاصیت تامپونی محیط، کاهش قابل ملاحظه‌ای در pH خاک ایجاد می‌نماید (ویشنیاک و سانتر 1957). اثر متقابل سه فاکتور نوع خاک، گوگرد و ماده آلی بر pH عصاره اشباع خاک پس از 14 روز در سطح آماری 5% و پس از 30، 60 و 90 روز در سطح آماری 1% معنی دار شد. در هر دو خاک کرج و لرستان مصرف گوگرد نسبت به شاهد بدون گوگرد باعث کاهش معنی‌دار pH خاک گردیده است، در زمان 14 روز

لرستان با میانگین 2/51 میلی گرم بر کیلوگرم بیشترین غلظت روی قابل جذب در خاک را دارا بود.

یک ماه پس از شروع آزمایش اثر اصلی گوگرد بر روی قابل جذب در سطح آماری 5% معنی دار شد. مقایسه میانگین‌های اثر اصلی گوگرد بر غلظت روی قابل جذب خاک نشان داد که تیمار S₅ با 2/36 میلی گرم بر کیلوگرم روی بیشترین میزان روی قابل جذب خاک را دارد. با افزایش سطوح گوگرد مصرفی تغییر قابل ملاحظه‌ای در میزان روی قابل جذب خاک مشاهده نشد. فقط دو تیمار S₅ و S₇ پس از 30 روز با یکدیگر تفاوت معنی دار داشتند در حالی که سایر تیمارها در یک سطح آماری قرار گرفتند. همان‌طور که پیشتر ذکر شد، در خاک‌های آهکی و قلیایی کمبود مقدار جذب عناصری چون آهن، روی و فسفر مطرح است (مدپهش و همکاران 1989، تیزدال و همکاران 1993 و کاپلان و ارمان 1998). جهت رفع این مشکل استفاده از گوگرد از دیرباز متداول بوده است (نائرو و روپلا 1973، رازتو 1982، راجان 1983، کلباسی و همکاران 1988، تیزدال و همکاران 1993، کاپلان و ارمان 1998، گارسیا دلا فونته و همکاران 2007 و وانگ و همکاران 2008).

با گذشت 60 روز از شروع آزمایش، اثر اصلی فاکتور ماده آلی بر غلظت روی قابل جذب خاک، در سطح 1% معنی دار شد. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمار 0/5 درصد ماده آلی (M₁) پس از 60 روز با 2/5 میلی گرم بر کیلوگرم بیشترین غلظت روی قابل جذب خاک را دارا می‌باشد. اثرات متقابل دو فاکتور نوع خاک و مقدار گوگرد پس از گذشت 60 روز در سطح آماری 5% معنی دار شد. تیمار S₇ در خاک لرستان با 2/77 میلی گرم روی قابل جذب بیشترین روی قابل جذب را به خود اختصاص داد. با استفاده از گوگرد فعالیت ریزجانداران بومی خاک افزایش یافته است.

با گذشت 90 روز از شروع آزمایش، اثر اصلی مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس بر غلظت روی قابل جذب در خاک، در سطح آماری 1% معنی دار شد. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمار 10⁴ سلول باکتری در هر گرم خاک (T₁) با میانگین 1/84 میلی گرم بر کیلوگرم بیشترین اثر را دارا می‌باشد. با وارد کردن باکتری‌های تیوباسیلوس در خاک، اکسایش اندک گوگرد که به جمعیت کم اکسیدکنندگان بومی خاک مربوط می‌شود، شدت یافته و مقدار کافی اسیدسولفوریک جهت واکنش با روی تثبیت شده و افزایش حلالیت آن را سبب می‌شود (بشارتی، 1379).

پس از شروع آزمایش، حضور ماده آلی اثر تعدیل کننده داشته و اثر گوگرد در کاهش pH خاک را متعادل نموده است، در حالی که پس از یک، دو و سه ماه از شروع آزمایش، اثر ماده آلی تشدید کننده بوده و کاهش pH در تیمارهای حاوی ماده آلی و گوگرد بیشتر از تیمارهای فقط حاوی گوگرد می‌باشد (شکل 3).

پس از 60 روز اثر متقابل سه فاکتور مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس، مقدار گوگرد و نوع خاک بر pH عصاره اشباع خاک در سطح آماری 1% و پس از 90 روز در سطح آماری 5% معنی‌دار شد. تلقیح باکتری‌های تیوباسیلوس با تشدید اکسیداسیون گوگرد، اثر گوگرد در کاهش pH را شدت بخشیده و تقریباً در تمام سطوح گوگرد، مایه تلقیح تیوباسیلوس نسبت به تیمارهای بدون باکتری کاهش pH بیشتری را به دنبال داشته است (شکل 4). همچنین اثر متقابل سه فاکتور مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس، مقدار گوگرد و ماده آلی بر pH عصاره اشباع خاک پس از 60 و 90 روز در سطح آماری 1% معنی‌دار شد. ماده آلی و مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس اثر تشدید کننده در اکسیداسیون گوگرد و کاهش pH خاک داشته‌اند. اثر اصلی فاکتور مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس بر EC عصاره اشباع خاک با گذشت 14 و 90 روز از شروع آزمایش در سطح آماری 1% معنی‌دار شد و تیمار T₁ به ترتیب با میانگین‌های 3/61 و 3/04 دسی‌زیمنس بر متر نسبت به تیمار بدون باکتری (T₀) هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک را به طور معنی‌دار افزایش داد. در هر زمان با افزایش مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس و نتیجتاً افزایش حلالیت عناصر غذایی، شوری خاک بیشتر می‌شود و هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک در تیمار تلقیح افزایش می‌یابد. در مدت دوره آزمایش با افزایش مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس و افزایش شوری، انتظار می‌رود که EC افزایش یابد در صورتی که با گذشت زمان EC کاهش می‌یابد. اثرات متقابل دو فاکتور گوگرد و نوع خاک بر هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک پس از دو هفته و 90 روز در سطح آماری 1% معنی‌دار شد. مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل دو فاکتور مقدار گوگرد و نوع خاک بر EC عصاره اشباع خاک نشان داد که پس از زمان‌های 14 و 90 روز، در هر دو خاک کرج و لرستان که خاصیت بافری متفاوتی دارند، مصرف گوگرد در مقایسه با شاهد بدون گوگرد (S₀) هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک را به طور معنی‌داری افزایش داد.

اثر متقابل سه فاکتور نوع خاک، مقدار گوگرد و ماده آلی بر EC خاک با گذشت 30 و 60 روز از شروع آزمایش در سطح آماری 1% معنی‌دار شد. در خاک لرستان

استفاده از ماده آلی همراه با گوگرد باعث افزایش هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک در مقایسه با تیمارهای حاوی گوگرد شده است. این در حالی است که در خاک کرج اثر ماده آلی در تشدید اثر گوگرد خیلی مشهود نمی‌باشد (شکل 5). اثر متقابل سه فاکتور مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس و مقدار گوگرد و نوع خاک بر EC خاک پس از 60 روز در سطح آماری 1% معنی‌دار شد و تیمار KS₅T₀ با میانگین EC 4/47 پس از 60 روز بیشترین EC را نشان داد.

بحث

بررسی نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که کاربرد گوگرد همراه با باکتری‌های تیوباسیلوس در خاک، سبب ایجاد تغییرات معنی‌داری در پارامترهای اندازه‌گیری شده در خاک، نسبت به شاهد بدون گوگرد شده است.

به طوری که غلظت سولفات، آهن و روی قابل جذب در خاک لرستان با 21% آهک به طور معنی‌داری بیش از خاک کرج با 8% آهک بود. روند صعودی غلظت سولفات قابل جذب خاک لرستان و کرج طی 90 روز دوره آزمایش کاملاً مشهود است (شکل 6).

با توجه به نتایج، غلظت آهن قابل جذب در خاک لرستان به طور معنی‌داری بیش از خاک کرج بود و در مدت آزمایش سیر صعودی در میزان آهن قابل جذب در هر دو خاک کاملاً مشهود است (شکل 7). با افزایش سطوح گوگرد مصرفی میزان آهن قابل جذب افزایش یافته است. باکتری تیوباسیلوس به تنهایی اثر معنی‌داری بر میزان آهن قابل جذب نداشته ولی همراه با گوگرد یا ماده آلی باعث افزایش میزان آهن قابل جذب در خاک لرستان بیش از خاک کرج بود. در ضمن اثر گوگرد همراه با ماده آلی بیشتر از اثر گوگرد همراه با تیوباسیلوس و تیوباسیلوس با ماده آلی است به طوری که بیشترین مقدار آهن قابل جذب در مدت آزمایش مربوط به اثر متقابل ماده آلی و گوگرد در بالاترین سطح مصرفی در خاک لرستان با میانگین 21/8 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک پس از سه ماه است.

غلظت روی قابل جذب خاک لرستان به طور معنی‌داری بیش از خاک کرج بود. روند نزولی غلظت روی قابل جذب خاک طی دوره آزمایش در خاک لرستان و روند صعودی در خاک کرج مشاهده شد (شکل 8). با افزایش سطوح گوگرد مصرفی تغییر قابل ملاحظه‌ای در میزان روی قابل جذب خاک مشاهده نشد.

در هر دو خاک (کرج و لرستان) مصرف مقادیر مختلف گوگرد در مقایسه با شاهد بدون گوگرد باعث

ضمن اکسایش گوگرد مقداری اسیدسولفوریک در محیط زیست باکتری‌ها تولید می‌شود (ویشنیاک و سانتر 1957، چی و همکاران 2006 و 2007 و بشارتی و همکاران 2007) که در صورت قابل توجه نبودن خاصیت تامپونی محیط، کاهش قابل ملاحظه‌ای در pH عارض می‌گردد. خاصیت بافیری خاک به وجود رس، مواد آلی، آهک، ترکیبات فسفره و بسیاری از ترکیبات شیمیایی دیگر برمی‌گردد. هرگاه مقدار اسید تولید شده بر اثر اکسایش گوگرد، توان خنثی کردن عوامل بافر را دارا باشد، pH خاک کاهش می‌یابد. کاهش pH در تمام سطوح گوگرد مصرفی نسبت به شاهد بیانگر کافی بودن اسید تولید شده در اثر اکسایش گوگرد می‌باشد. از طرفی این احتمال که آهک موجود در خاک از نوع غیر فعال بوده که در واکنش خنثی کردن شرکت نکرده است نیز وجود دارد (بشارتی 1377).

معنی دار بودن اثر تلقیح باکتری‌های تیوباسیلوس و گوگرد به تنهایی، در مقایسه با شاهد مؤید این مطلب است که وقتی تیمار تلقیح در خاک استفاده نشده است، جمعیت اندک اکسیدکنندگان بومی خاک عمل اکسایش گوگرد را انجام می‌دهند و در نتیجه باعث تغییر برخی از ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در خاک نسبت به شاهد شده‌اند و گوگرد مصرف شده به تنهایی نتوانسته است به اندازه اکسایش گوگرد همراه با تلقیح باکتری‌های تیوباسیلوس در خاک تغییرات ایجاد نماید زیرا جمعیت اکسیدکنندگان گوگرد در اغلب خاک‌ها پایین است (طباطبایی 1986) و زمانی که باکتری‌های تیوباسیلوس بدون مصرف گوگرد به خاک تلقیح شده، باعث ایجاد تغییراتی در ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در خاک گردیده است. وقتی باکتری‌ها بدون مصرف گوگرد به خاک تلقیح شد، فقط مقادیر جزئی ترکیبات گوگردی احیاء شده‌ای که نتیجه چرخه طبیعی گوگرد در خاک است (بردیا و همکاران 1982، طباطبایی 1986 و کیلهام 1994) اکسید شد. همچنین ممکن است که باکتری‌های تیوباسیلوس با سازوکار دیگری غیر از اکسایش گوگرد مانند ترشح متابولیت‌های اسیدی، بعضی از آنزیم‌ها، مواد محرک رشد و مواد کلات کننده تغییراتی را در ویژگی‌های اندازه‌گیری شده ایجاد نماید. نتایج تلقیح خاک با باکتری‌های تیوباسیلوس وقتی مؤثرتر خواهد بود که در خاک‌های آهکی به‌طور همزمان گوگرد و باکتری افزوده شود (وین-رایت 1984). در تیمارهایی که گوگرد و باکتری همزمان ولی با مقادیر کم گوگرد به خاک اضافه شده‌اند نیز تغییرات کمتری قابل مشاهده است، زیرا مقدار گوگرد اکسید شده جهت کاهش pH و آزاد شدن عناصر غذایی،

کاهش معنی‌دار pH شده است، این در حالی است که در خاک لرستان اگرچه سطوح مختلف گوگرد نسبت به شاهد بدون گوگرد pH را کاهش داده‌اند ولی بین سطوح مختلف گوگرد تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد ولی در مورد خاک کرج این حالت در مورد سطوح بالای گوگرد مصداق دارد.

اثر اصلی مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس بر pH عصاره اشباع خاک نشان داد که پس از 14 و 60 روز، تیمار مایه تلقیح (10^4 سلول به ازاء هر گرم خاک) نسبت به شاهد بدون باکتری به‌طور معنی‌داری باعث کاهش pH خاک گردید.

قابلیت هدایت الکتریکی خاک لرستان در طول زمان آزمایش بیشتر از خاک کرج بوده که در هر دو خاک مصرف مقادیر مختلف گوگرد در مقایسه با شاهد بدون گوگرد باعث افزایش معنی‌دار آن شده است. حضور ماده آلی همراه با گوگرد باعث افزایش هدایت الکتریکی خاک شده است، البته با گذشت زمان تفاوت بین تیمار شاهد با سایر تیمارها کمتر شده به‌طوری‌که در زمان دو ماه پس از شروع آزمایش کمترین تفاوت‌ها مشاهده می‌شود این در حالی است اثر تشدید کنندگی ماده آلی همراه با مایه تلقیح تیوباسیلوس و گوگرد، در تیمار بدون باکتری تیوباسیلوس بیشتر مشهود است.

طبق نتایج حاصله تیمارهای محدودی مقدار روی قابل جذب را نسبت به شاهد به‌طور معنی‌دار افزایش دادند که سه دلیل احتمالی می‌توان در نظر گرفت: 1) روش اندازه‌گیری روی قابل جذب خاک که در این روش pH عصاره گیر DTPA، $7/3$ است بنابراین حتی اگر pH خاک برای آزادسازی روی مناسب باشد، هنگام اندازه‌گیری روی، در اثر افزایش pH خاک توسط محلول عصاره‌گیر، واکنش حلالیت و آزاد شدن روی برمی‌گردد و مقداری از روی آزاد شده مجدداً تثبیت می‌شود (بشارتی، 1377). 2) آزاد شدن عناصر غذایی از جمله روی بر اثر اکسایش گوگرد و کاهش pH، در میکروسایته‌ها که درصد ناچیزی از حجم کل خاک را تشکیل می‌دهند، صورت می‌گیرد بنابراین اگر مقدار روی قابل جذب در این نقاط بر اثر کاهش pH خاک خیلی هم بالا رفته باشد، مقدار روی موجود در نقاط ریز نمی‌تواند روی قابل جذب کل نمونه خاک را به‌طور معنی‌داری افزایش دهد (بشارتی 1377). 3) ممکن است pH خاک به اندازه کافی جهت آزاد شدن روی کاهش یافته باشد ولی مقدار کانی‌های حاوی روی به اندازه کافی نباشد تا مقدار آن را در خاک به‌طور معنی‌داری افزایش دهد (بشارتی 1377).

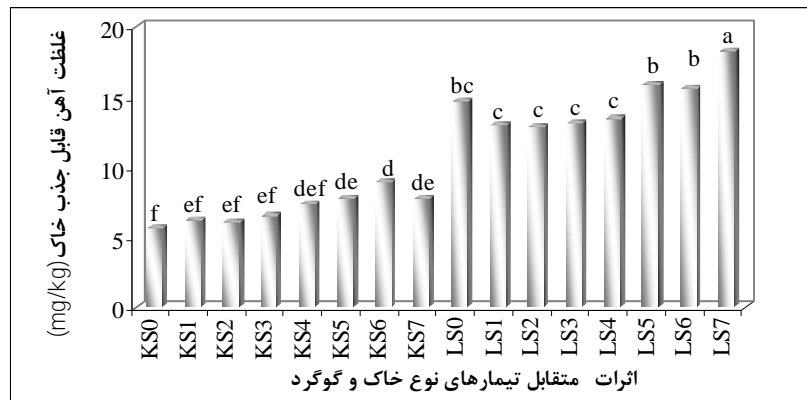
گذشت زمان اکسایش گوگرد و فراهمی عناصر غذایی تا 60 روز روند صعودی نشان داد (شکل 6). به طوری که با گذشت زمان غلظت سولفات قابل جذب همواره روند صعودی داشت ولی غلظت روی و آهن پس از 60 روز به حداکثر رسید و پس از این مدت روند نزولی نشان داد (شکل‌های 7 و 8). با توجه به شکل 9 و با عنایت به این که حداکثر کاهش pH هم پس از 60 روز مشاهده شد و با گذشت زمان تعادل قبلی در اسیدیته خاک برقرار شد روند کاهش برای غلظت آهن و روی قابل جذب در خاک پس از 60 روز قابل انتظار است.

به دلیل ظرفیت بافری زیاد خاک کافی نبوده است (کلباسی و همکاران 1986، مدیپش و همکاران 1989 و کاپور و همکاران 1991). این در حالی است که کاربرد مقادیر زیادتر گوگرد با مایه تلقیح تیوباسیلوس سبب ایجاد تغییرات معنی‌دار در برخی از شاخص‌های اندازه‌گیری شده گردید (بشارتی 1382). بطور کلی می‌توان گفت:

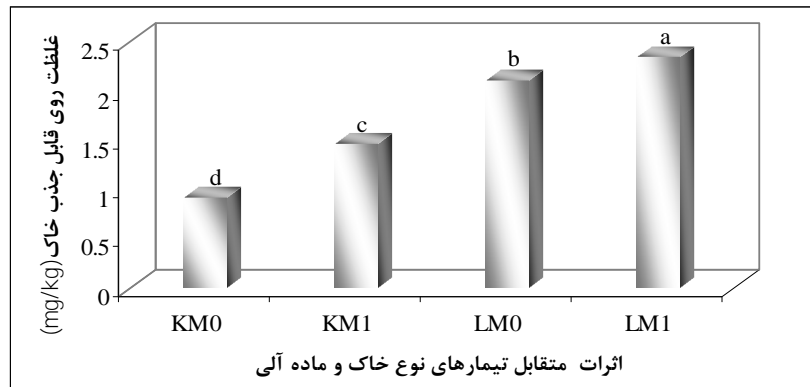
تلقیح باکتری تیوباسیلوس نسبت به شاهد تلقیح نشده، با افزایش اکسایش گوگرد شاخص‌های اندازه‌گیری شده را به طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داده است. با

جدول 1- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه خاکهای کرج و لرستان

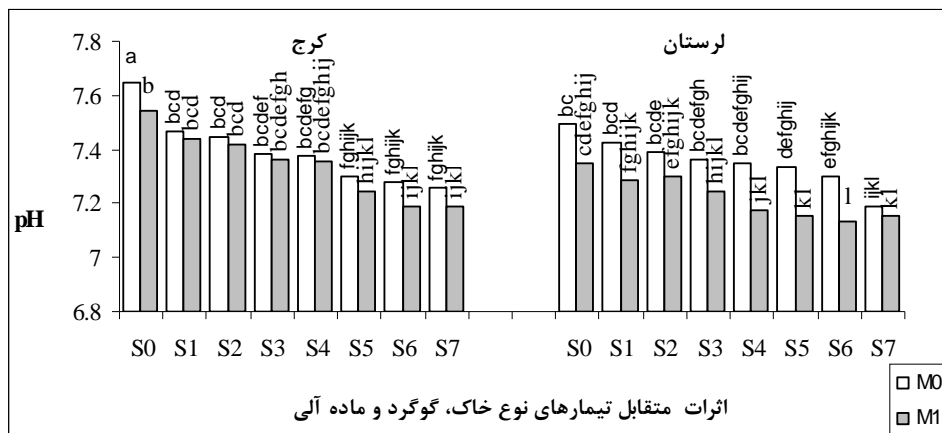
عمق cm	درصد اشباع	EC dS/m	pH گل اشباع	درصد مواد خنثی شونده	درصد کربن آلی	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب	آهن قابل جذب	روی قابل جذب	منگنز قابل جذب	مس قابل جذب	بافت خاک	نوع خاک
0-30	32	1/2	7/6	8/65	0/45	8/2	280	4/05	0/865	4/36	1/68	لومی	کرج
0-30	35	1/78	7/95	21	1/35	14/06	320	6/47	1/88	5/13	2/32	لومی	لرستان



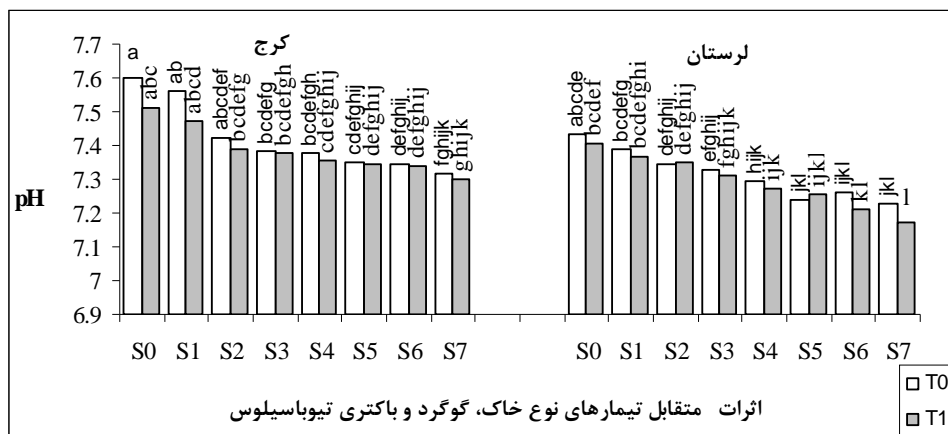
شکل 1- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل خاک و گوگرد بر غلظت آهن قابل جذب خاک 2 ماه پس از شروع آزمایش



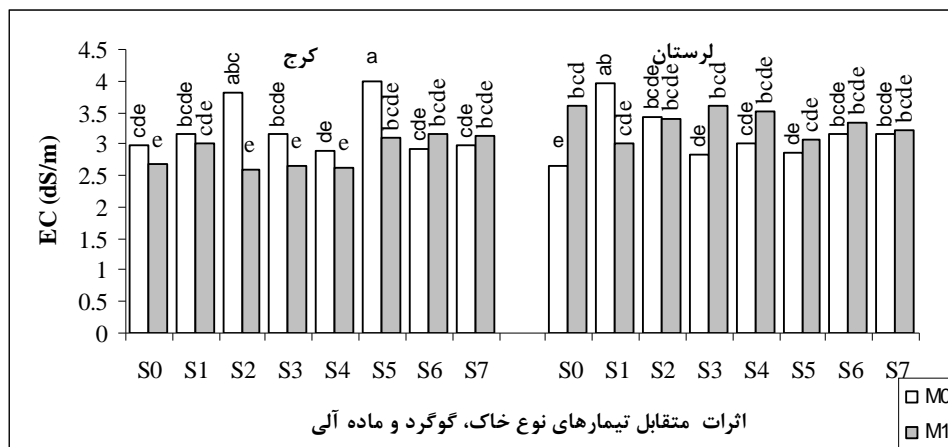
شکل 2- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل ماده آلی و خاک بر غلظت روی قابل جذب خاک سه ماه پس از شروع آزمایش



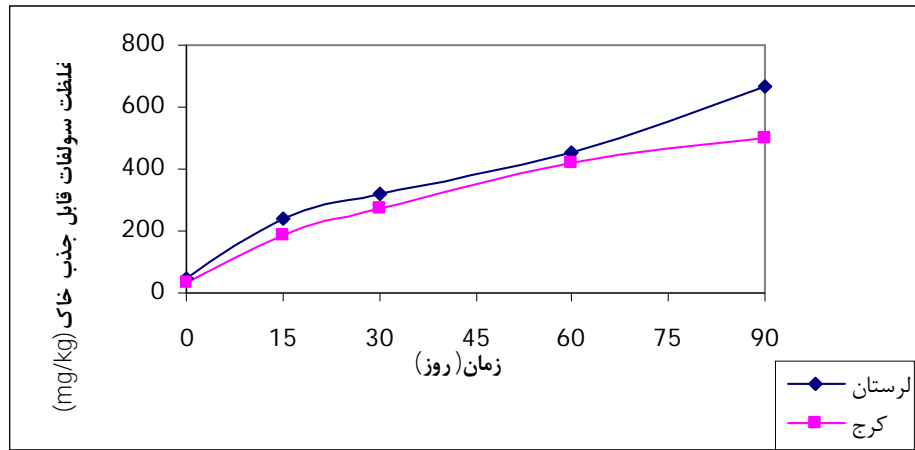
شکل 3- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل نوع خاک، گوگرد و ماده آلی بر pH عصاره اشباع خاک دو ماه پس از شروع آزمایش



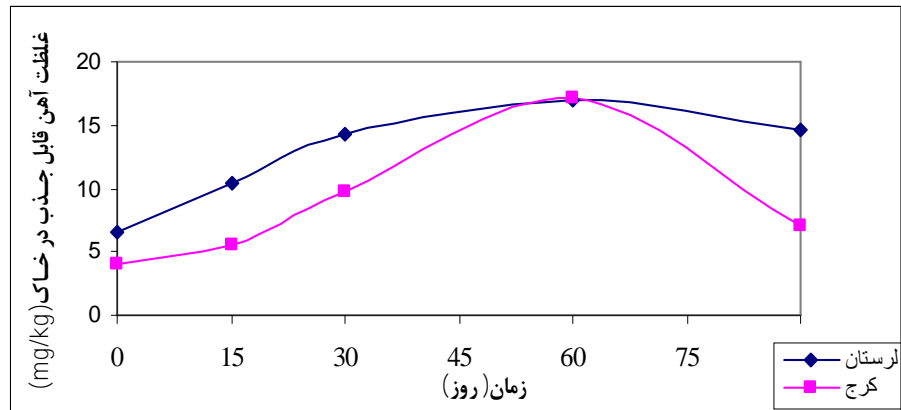
شکل 4- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل نوع خاک، گوگرد و باکتری تیوباسیلوس بر pH عصاره اشباع خاک دو ماه پس از شروع آزمایش



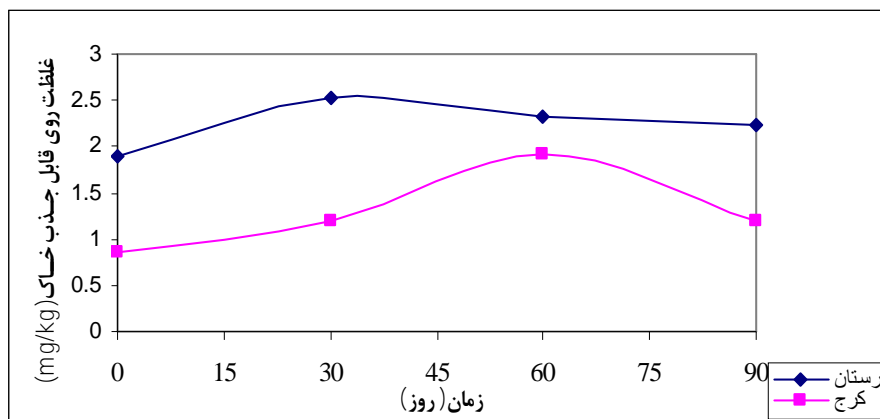
شکل 5- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل نوع خاک، گوگرد و ماده آلی بر EC عصاره اشباع خاک دو ماه پس از شروع آزمایش



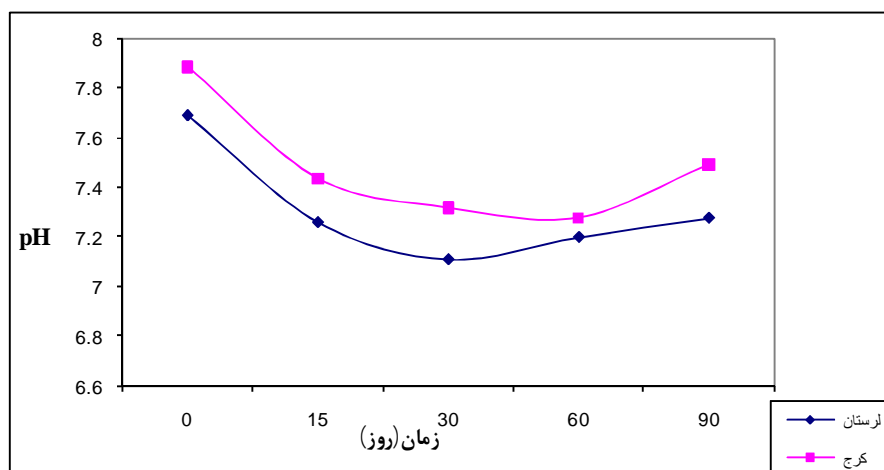
شکل 6- تغییرات غلظت سولفات قابل جذب خاک طی مدت آزمایش



شکل 7- تغییرات غلظت آهن قابل جذب خاک در مدت آزمایش



شکل 8- تغییرات غلظت روی قابل جذب خاک در مدت آزمایش



شکل 9- تغییرات pH خاک در مدت آزمایش

فهرست منابع:

1. بشارتی، ح. 1377. بررسی اثرات کاربرد گوگرد همراه با گونه‌های تیوباسیلوس در افزایش قابلیت جذب برخی از عناصر غذایی در خاک. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران. 176 صفحه.
2. Agrifacts. 2003. Sulfate- VS. Elemental sulfur Part II: Characteristics of S oxidation sou. / URL: [http:// WWW. Back- To- basics. Net/agrifacts/ pdf/ b2b2 9 b. pdf](http://WWW.Back-To-basics.Net/agrifacts/pdf/b2b29b.pdf).
3. Bardiya, M. C., Narunarula, N. and Vyas, S. R. 1982. Effect of inoculation of Thiobacillus on the Lucerne crop (Madicago Sativa L.) grown in alkali soils. *HAU J. Res.*, 11(4): 286-290.
4. Besharati, H., Atashnama, K. and S. Hatami. 2007. Biosuper as a phosphate fertilizer in a calcareous soil with low available phosphorus. *African Journal of Biotechnology* 6: 1325-1329.
5. Bhatti, T. M. and W. Yawar. 2010. Bacterial solubilization of phosphorus from phosphate rock containing sulfur-mud. *Hydrometallurgy*. 103: 54-59.
6. Cifuentes, F. R., and W. C. Lindemann. 1993. Organic matter stimulation of elemental sulfur oxidation in calcareous soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 57:727-731.
7. Chi, R., Xiao, C. and H. Gao. 2006. Bioleaching of phosphorus from rock phosphate containing pyrite by *Acidithiobacillus ferrooxidans*. *Minerals Engineering* 19: 979-981.
8. Chi, R., Xiao, C., Hang, X., Wang, C. and Y. Wu. 2007. Biodecomposition of rock phosphate containing pyrite by *Acidithiobacillus ferrooxidans*. *Journal of Central South University of Technology*. 14:233-238.
9. Deluca, T. H., E. O. Skogley, and R. E. Engle. 1989. Band-applied elemental sulfur to enhance the phytoavailability of phosphorus in alkaline calcareous soils, *Biol. Fert. Soils*. 7:346-350.
10. Garcia, de. La., Fuente, R., Carrion, C., Botella, S., Fornes, F., Noguera, V. and M. Abad. 2007. Biological oxidation of elemental sulfur added to three composts from different feedstocks to reduce their pH for horticultural purposes. *Bioresource Technology* 98: 3561-3569.
11. Kalbasi, M., Filsoof, F. and Y. rezai-Nejad. 1988. Effect of sulfur treatment on yield and uptake of Fe, Zn and Mn by corn, sorghum and soybean. *J. plant Nutr.*, 11(6-11): 1353-1360.
12. Kaplan, M. and Orman, S. 1998. Effect of elemental sulfur and sulfur containing west in calcareous soil in Turkey. *J. plant Nutr.*, 21 (8): 1655- 1665.

13. Kapoor, K., Mishra, M. M., Malik, R. S. and Banger, K. C. 1991. Solubilization of Mussoorie rock phosphate by use of pyrite and Thiobacilli. *Environ. Ecor.*, 9(3): 635-637.
14. Khan, M. I., Ibrahim, M. and Rashid-Ayub, A. 1986. *Berseen response to sulfur application*. Agron. Abstract., 411-426.
15. Kilham, K. 1994. *Soil Ecology*. Cambirdge University Press.
16. Kittmas, H. A., and Attoe, O. J. 1965. Availability of phosphorus in rock phosphate – sulfur fusion. *Agronomy J.*, 57:331-334.
17. Mahler, R. J., and Maples, R. L. 1986. Response of wheat to sulfur fertilization commun. *Soil Sci. Plant Anal.* 17: 975-988.
18. Miller, J. R. 1965. Effect of sulfur and gypsum addition on availability of rock phosphate. *Soil. Sci.* 82: 129-134.
19. Modaihsh, S., A. AL. Mustafa and A. E. Metwally. 1989. Effect of elemental sulfur on chemical changes and nutrient availability in calcareous soils. *Plant and Soil*, 116:95-101.
20. Mohammady Aria, M., Lakzian, A., Haghnia, G. H., Berenji, A. R., Besharati. H. and A. Fotovat. 2010. Effect of Thiobacillus, sulfur and vermicompost on the water-soluble phosphorus of hard rock phosphate. *Bioresource Technology* 101: 551-554.
21. Nishanth, D. and D R. Biswase. 2008. Kinetics of phosphorus and potassium release from rock phosphate and waste mica enriched compost and their effect on yield and nutrient uptake by wheat (*Triticum aestivum*). *Bioresource Technology* 99: 3342-3353.
22. Odongo, N., Hyoung, K., Choi, H., Van Straaten, P., McBride, W., and D. Romney. 2007. Improving rock phosphate availability through feeding, mixing and processing with composting manure. *Bioresour. Technol.* 98: 2911-2918.
23. Pathiratna, L. S. S., De, U. P., Waidyanatha, S. and O. S. Perirs. 1989. The effect of apatite and elemental sulfur mixtures on growth and p content of *centrocema pubescens*. *Fertilizer Research* 21: 37-43.
24. Rajan, S. S. S. 1983. Effect of sulfur content of phosphate rock/ sulfur granules on the availability of phosphate to plants. *Nutr. Cycle Agroecosys* 4: 287- 296.
25. Razeto, B. 1982. Treatment of iron chlorosis in peach trees. *J. plant Nutr.*, 5: 917-922.
26. Rosa. M. C., Muchovey, J. J. and J. V. H. Alwares. 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.
27. Sahu, S. N. and B. B. Jana. 2000. Enhancement of the fertilizer value of rock phosphate engineered through phosphate-solubilizing bacteria. *Ecol. Eng.* 15: 27-39.
28. Stamford, N. P., Santos, P. R., Moura, A. M. M. F., Santos, C. E. R. S. and A. D. S. Freitas. 2003. Biofertilizers with natural phosphate sulfur and *Acidithiobacillus* in Soil with low available p. *Scientia Agricola* 60: 767-773.
29. Stevenson, F. J. 1986. *Cycles of soil*. John Wiley and Sons Inc., New York.
30. Tabatabai, M. A. 1986. *Sulfur in Agriculture*. Am. Soc. Agron. Inc., Madison, Wis., USA.
31. 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.
32. Tisdal, S. L. , W. L. Nelson and J. D. Beaton. 1984. *Soil Fertility and fertilizers*. Fourth edition. Mcmillon Publishing Company, New York.
33. Tisdal, S.I., W. I. Nelson, J. D. Beaton, and J. I. Havlin. 1993. *Soil Fertility and Fertilizer*. 5th eds. Mc millan. Pub. Co., New York.
34. Vishniac, W. and Santer, M. 1957. *The Thiobacilli*. *Bacteriol. Rev.*, 21: 195-213.
35. Wainwright, M. 1984. Sulfur oxidation in soils. *Advances in Agronomy*. 37: 346-396.
36. Wang, Y.P., Li, Q. B., Hui, W., Shi, J. Y., Lin, Q., Chen, X. C. and Y. X. Chen. 2008. Effect of sulfur on soil Cu/Zn availability and microbial community composition. *Journal of Hazardous Materials* 159: 385-389.