

تأثیر مصرف گوگرد بر روند تغییرات pH و قابلیت جذب فسفر خاک در گندم (*Triticum aestivum* L.)

سارا نوروزی¹، اکبر سهرابی، کاظم خاوازی و حمیدرضا متین فر

محقق بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان قزوین، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، قزوین،

ایران؛ norouzi_sa85@yahoo.com

استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران؛ akbarsohrabi.as@gmail.com

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

دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران؛ matinfar44@gmail.com

دریافت: 95/12/3 و پذیرش: 96/12/22

چکیده

در بسیاری از خاک‌های ایران به دلیل مقدار کربنات کلسیم و pH بالا، فرم محلول و قابل جذب اغلب عناصر کمتر از مقدار لازم برای رشد و نمو مناسب گیاه می‌باشد. pH خاک یکی از مهمترین خصوصیات شیمیایی خاک می‌باشد که در حالیت و انتقال یون‌ها مؤثر است. در مناطق خشک و نیمه خشک، مواد آلی و ترکیبات تولیدکننده اسید برای کاهش pH به خاک اضافه می‌کنند. گوگرد عنصری، از مهمترین ترکیبات مورد استفاده در اسیدی کردن خاک می‌باشد. این تحقیق به منظور بررسی مصرف گوگرد بر روند تغییرات pH و قابلیت جذب فسفر خاک در گندم، به صورت طرح پایه بلوک کامل تصادفی با پنج سطح مصرف کود گوگرد (صفر، 500، 750، 1500 و 3000 کیلوگرم در هکتار) در دو سال در سه تکرار در قزوین به اجرا درآمد. نتایج تجزیه مرکب دو سال متوالی نشان داد که میزان pH و سولفات قابل جذب خاک در مراحل مختلف اندازه‌گیری در طول رشد گیاه، همچنین فسفر قابل جذب در سطح یک درصد معنی‌دار شد. بیشترین میزان سولفات و فسفر قابل جذب خاک همچنین بیشترین کاهش pH خاک در سال دوم بدست آمد. بیشترین میزان کاهش pH خاک (0/49 واحد کاهش نسبت به شاهد) و بیشترین میزان سولفات قابل جذب خاک (143 میلی‌گرم در کیلوگرم) در تیمار مصرف 3000 کیلوگرم گوگرد در هکتار در سال دوم شش ماه پس از کشت بدست آمد. همچنین بیشترین میزان فسفر قابل جذب خاک (34 میلی‌گرم در کیلوگرم) نیز در تیمار مصرف 1500 و 3000 کیلوگرم گوگرد در هکتار در سال دوم بدست آمد.

واژه‌های کلیدی: اسیدیته، سولفات، فسفر قابل جذب، گندم

¹ نویسنده مسئول، آدرس: قزوین، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان قزوین، بخش تحقیقات خاک و آب

مقدمه

گوگرد یکی محصولات فرعی پالایشگاه‌های گاز و پتروشیمی می‌باشد (جانسن و همکاران¹، 1999) که در کشورهای تولیدکننده نفت و گاز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در ایران با آغاز تولید گوگرد در حوزه گازی پارس جنوبی و اجرای فازهای بعدی، تولید سالیانه آن به بالغ بر دو میلیون تن رسیده است. این در حالی است که بخش عمده خاک‌های کشور آهکی بوده (ملکوتی، 1382) و با مصرف گوگرد و متعاقباً اکسیداسیون آن توسط اکسیدکننده‌های گوگرد، ضمن تأمین سولفات مورد نیاز گیاه (آناندھام و همکاران²، 2007) pH در میکروسایت‌های ریزوسفریکاهش یافته و اختلالات تغذیه‌ای مانند جذب فسفر، آهن و سایر ریزومغذی‌ها نیز مرتفع می‌گردد (جاگی و همکاران³، 2005؛ براتی و پونگاتای⁴، 2008؛ کایا و همکاران⁵، 2009).

در بسیاری از خاک‌های ایران به دلیل مقدار کربنات کلسیم و pH بالا، فرم قابل استفاده برخی از عناصر غذایی کمتر از مقدار لازم برای رشد مناسب گیاه می‌باشد به همین دلیل حتی با وجود مصرف زیاد کود در اراضی کشاورزی به دلیل فراهم نبودن شرایط جذب عناصر توسط گیاه، عملکرد محصول پایین می‌باشد. pH خاک یکی از مهمترین خصوصیات شیمیایی خاک می‌باشد که ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد و در فعالیت عناصر غذایی، حلالیت و انتقال یون‌ها، واکنش‌های اکسیداسیون و احیاء و تبادل یونی، فعالیت میکروب‌ها، فعالیت ریشه و آنزیم‌ها نیز مؤثر است (بردی و ویل⁶، 2002؛ ملکوتی و رضایی، 1380). در خصوص تأثیر pH در خاک‌های ایران و نقش آن در جذب و عناصر غذایی تحقیقات گسترده‌ای انجام شده است (کریمی نیا و شعبانپور شهرستانی، 1382؛ نجف‌زاده و همکاران، 1384). برای اسیدی کردن اراضی از ترکیبات مختلفی چون گوگرد عنصری، دی اکسید گوگرد، اسیدسولفوریک، سولفات آهن، پلی-سولفید آمونیم و غیره می‌توان استفاده کرد (ملکوتی و رضایی، 1380). گوگرد عنصری از مهمترین ترکیبات مورد استفاده در اسیدی کردن خاک می‌باشد. که در شرایط مناسب رطوبت، حرارت، تهویه و سایر شرایط

توسط باکتری‌های گوگردی شیمیولیتوتروف از جنس *Thiobacillus* به فرم سولفات اکسید می‌گردد. از بین آنها باکتری‌های *Thiobacillus thiooxidans* نقش مهمی در اکسایش گوگرد در خاک‌های زراعی ایفاء می‌کند (روپلا و تائورا⁷، 1973؛ تات⁸، 1995). این باکتری در خاک‌های ایران به دلیل پایین بودن ماده آلی و عدم استفاده از گوگرد و مایه تیوباسیلوس در خاک ناچیز می‌باشد (کریمی نیا و شعبانپور شهرستانی، 1382). در صورتیکه جمعیت این باکتری در خاک پایین باشد، مصرف گوگرد همراه با این باکتری در خاک‌های قلیایی و آهکی اثرات سودمندی را به دنبال خواهد داشت (بشارتی کلایه، 1377؛ کاپلان و اورمان⁹، 1998؛ حیدرنژاد و همکاران¹⁰، 2012). گوگرد به دلیل ظرفیت اسیدی شدن و تولید اسید سولفوریک، پتانسیل لازم برای کاهش pH خاک را حداقل در مقیاس کوچک اطراف ذرات خود را دارا بوده بنابراین می‌تواند به خصوص در منطقه ریزوسفر در انحلال عناصر غذایی نامحلول و آزاد شدن عناصر غذایی ضروری مؤثر واقع شود.

لذا استفاده از مواد اسیدزا (گوگرد، اسید سولفوریک و ...) جهت کاهش pH خاک (حتی به طور موضعی) به عنوان یک روش مؤثر برای افزایش قابلیت جذب و دسترسی عناصر غذایی در خاک‌های با pH بالا می‌باشد (جاگی و همکاران¹¹، 2005؛ براتی و پونگاتای¹²، 2008؛ کایا و همکاران¹³، 2009). گزارش‌های متعددی از تأثیر مثبت گوگرد به عنوان یک ماده ارزان قیمت و فراوان در افزایش فرم محلول و قابل جذب عناصر غذایی مورد نیاز گیاه در خاک و بهبود وضعیت تغذیه گیاهان ارائه گردیده است. نتایج پژوهش‌ها نشان داده است مصرف گوگرد نه تنها به عنوان عنصر غذایی مورد نیاز گیاه، بلکه بیشتر به لحاظ اثرات مفید این عنصر در اسیدی کردن موضعی خاک و افزایش قابلیت استفاده عناصر غذایی از جمله فسفر، منگنز، آهن، روی و مس اهمیت دارد (ترابیلی و همکاران¹⁴، 2006؛ ملک زاده و همکاران، 1394). تغییرات pH خاک در اثر استفاده از کودهای گوگردی که توسط (اسکیوراسکا و همکاران¹⁵، 2008)

⁷ Rupela and Taura

⁸ Tate

⁹ Kaplan and Orman

¹⁰ Heydarnezhad and et al

¹¹ Jaggi and et al

¹² Bharathi and Poongothai

¹³ Kaya and et al

¹⁴ Tarabily and et al

¹⁵ Skwierawska and et al

¹ Janssen and et al

² Anandham and et al

³ Jaggi and et al

⁴ Bharathi and Poongothai

⁵ Kaya and et al

⁶ Brady and Weil

مشاهده شد. حیدرنژاد و همکاران⁶ (2012) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند.

بنابراین در خصوص تأثیر گوگرد در کاهش pH در خاک‌های ایران و نقش آن در جذب عناصر غذایی، تحقیقات گسترده‌ای انجام شده است. ولی با توجه به اینکه سولفات حاصل از اکسیداسیون گوگرد در کاهش pH خاک مؤثر است لذا هدف این تحقیق بررسی میزان سولفات تولید شده و تأثیر آن بر روند تغییرات pH خاک در زمان‌های مختلف در طول رشد گیاه و همبستگی بین آنها که در تحقیقات گذشته کمتر بدان پرداخته شده است، می‌باشد. همچنین در این تحقیق از نوعی گوگرد بنتونیت-دار (محصول شرکت گاز) که در شرایط خشک گرانوله شده برای اولین بار استفاده شده است که تفاوت آن با گوگردهایی که در سابق در شرایط مرطوب گرانوله می‌شد (در این گوگردها به راحتی بنتونیت پخشیده⁷ نمی‌شود) در این است که در این گوگرد، بنتونیت به محض دریافت رطوبت در خاک پخشیده شده و گوگرد در خاک در معرض اکسید قرار می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در ایستگاه تحقیقات اسماعیل آباد مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی قزوین طی سال‌های 1392 لغایت 1394 به اجرا درآمد. به منظور بررسی مصرف گوگرد بر روند تغییرات pH و قابلیت جذب فسفر خاک در گندم، آزمایش به صورت طرح پایه بلوک کامل تصادفی با پنج سطح مصرف کود گوگرد (T1، T2، T3، T4 و T5) در دو سال در سه تکرار به اجرا درآمد. تیمارهای T1 تا T5 به ترتیب بدون مصرف و مصرف 500، 750، 1500 و 3000 کیلوگرم گوگرد در هکتار بود. پس از آماده سازی زمین و قبل از کشت از عمق صفر تا 30 سانتی‌متر خاک محل اجرای آزمایش، نمونه‌برداری و تجزیه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بر اساس روش‌های مرسوم مؤسسه تحقیقات خاک و آب (علی‌احیایی و بهبهانی زاده، 1372) انجام شد (جدول 1).

انجام شد نشان داد که در طول سه سال آزمایش اضافه کردن سولفات به خاک به طور معنی‌داری باعث کاهش pH در عمق صفر تا 40 سانتی متر شد. نتایج تحقیقات یانگ و همکاران¹ (2008) نیز نشان داد که با مصرف گوگرد pH خاک بعد از 15 روز اول به سرعت کاهش یافت و از 7/6 به 6/4 رسید. پسندیده و همکاران (1382) نیز نشان دادند که که با مصرف گوگرد pH چالکودها از 7/13 به 6/46 کاهش و غلظت فسفر قابل جذب از 63 به 103/7 میلی‌گرم در کیلوگرم افزایش یافت. جاگی و همکاران² (2005)، در نتیجه مصرف گوگرد عنصری بر تغییرات pH و قابلیت دسترسی فسفر در سه نوع خاک، اسیدی، خنثی و قلیایی نشان دادند که اکسیداسیون گوگرد باعث کاهش pH خاک قلیایی گردید و در نتیجه باعث افزایش غلظت فسفر قابل دسترس شد.

خواواری و همکاران³ (2001) با بررسی اثر گوگرد و تیوباسیلوس در ذرت نشان دادند که استفاده از گوگرد باعث افزایش قابلیت جذب فسفر شد. امانی و رئیس⁴ (1387) نشان دادند که کاهش pH ناشی از مصرف گوگرد، سبب افزایش رشد و افزایش جذب فسفر توسط سویا شد. در آزمایش گلخانه‌ای با استفاده از مایکوریزا و تیوباسیلوس غلظت سولفات، نیتروژن، فسفر و پتاسیم را در ناحیه ریزوسفر بعد از 60 و 90 روز بعد از کشت به طور معنی‌داری افزایش یافت (محمد و همکاران⁴، 2014). صباغ و همکاران (2014) نیز با مصرف (صفر، 250 و 500 کیلوگرم گوگرد در هکتار) و باکتری تیوباسیلوس و کود حیوانی بر قابلیت جذب عناصر غذایی و pH خاک در سیر نشان دادند اثر متقابل مصرف گوگرد و کود حیوانی به طور معنی‌داری با بیشترین کاهش در pH خاک باعث افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی فسفر، پتاسیم، منگنز، آهن و روی در خاک شد. در تحقیقی دیگر هاشم نژاد و همکاران⁵ (2012) نیز با مصرف گوگرد عنصری در سطوح (0/25، 0/50 و 1/0 گرم در کیلوگرم خاک) و کمپوست در یک آزمایش گلخانه‌ای بر روی pH و قابلیت جذب فسفر در خاک‌های رسی نشان دادند که بیشترین کاهش pH مربوط به تیمار مصرف یک گرم گوگرد در هر کیلوگرم خاک بعد از 16 هفته بود و بیشترین فسفر قابل جذب خاک نیز پس از هشت هفته

1. Yang and et al

2. Jaggi and et al

3. Khavazi and et al

4. Mohamed and et al

5. Hashemimajd and et al

6. Heydarnezhad and et al

7. Disperse

جدول 1- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از آزمایش

عمق	pH	EC	OC	SP	TNV	K	P	Fe	Zn	Cu	Mn	بافت
cm		dS m ⁻¹		(%)				mg kg ⁻¹				
0-30	7/8	1/53	0/59	31	7/5	250	7/18	2/2	1/82	1/92	5/20	لوم

SO₄²⁻ قابل جذب خاک در مراحل مختلف رشد گیاه، در گندم، دو، چهار، شش و هشت ماه پس از کشت (همزمان با برداشت) نمونه برداری از عمق صفر تا 20 سانتی متری انجام گرفت. آزمون تجزیه خاک شامل اندازه گیری pH در گل اشباع خاک، SO₄²⁻ قابل جذب به روش عصاره گیری با مونوکلسیم فسفات و رسوب با کلرید باریم انجام شد. فسفر قابل جذب نیز به روش اولسن (علی احیایی و بهبهانی زاده، 1372) در نمونه های برداشت شده، هشت ماه پس از کشت (همزمان با برداشت) اندازه گیری شد داده- های بدست آمده با استفاده از نرم افزار SAS 9.3 و SPSS 21 به صورت تجزیه مرکب دو ساله مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و مقایسه میانگین ها به روش آزمون چند دامنه ای دانکن (D.M.R.T) ارزیابی شد. برای رسم نمودارها نیز از نرم افزار Excel 2007 استفاده شد.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس مرکب دو ساله گندم نشان داد که اثر سال، تیمار مصرف گوگرد و اثر متقابل سال در مصرف مقادیر مختلف گوگرد بر pH، SO₄²⁻ و فسفر قابل جذب خاک در فواصل زمانی، دو، چهار، شش و هشت ماه پس از کشت گندم در سطح یک درصد (p<0.01) معنی دار بود (جدول 2).

ابعاد هر کرت 6 × 10 متر در نظر گرفته شد و گوگرد با توجه به میزان مورد نیاز در هر تیمار در سطح کرت پخش شده و با دیسک با خاک مخلوط گردید. کود گوگردی مورد استفاده گوگرد پاستیلی (بتونیت دار) محصول شرکت گاز بود (گوگرد استفاده شده در شرایط خشک گرانوله شده و برای اولین بار در این تحقیق استفاده می گردید) که قبل از مصرف در خاک با تیوباسیلوس تهیه شده توسط مؤسسه تحقیقات خاک و آب (*Halothiobacillus neapolitanus*) به میزان دو درصد گوگرد مصرفی مخلوط شد. عناصر مورد نیاز گیاه در هر کشت، از جمله نیتروژن (300 کیلوگرم در هکتار، اوره)، فسفر (200 کیلوگرم در هکتار، سوپرفسفات تریپل)، آهن (60 کیلوگرم در هکتار، سولفات آهن)، منگنز (40 کیلوگرم در هکتار، سولفات منگنز)، با توجه به آزمایش قبل از کشت تعیین و به صورت یکسان قبل از کشت در همه تیمارها مصرف گردید. رقم گندم مورد استفاده با توجه به رقم کشت غالب منطقه، رقم پیشتاز انتخاب شد. تمامی مراقبت های زراعی از جمله آبیاری و مبارزه به موقع با علف های هرز و غیره با توجه به روش مرسوم و متداول در محل انجام شد. با توجه به اینکه رشد و فعالیت ریشه در اکسیداسیون گوگرد و تغییرات pH بسیار مؤثر می باشد. لذا به منظور بررسی تغییرات pH و

جدول 2- میانگین مربعات pH و SO₄²⁻ و فسفر قابل جذب خاک در مراحل مختلف رشد گندم (1394-1392)

منابع تغییرات	درجه آزادی	pH	SO ₄ ²⁻	pH	SO ₄ ²⁻	pH	SO ₄ ²⁻	pH	SO ₄ ²⁻	فسفر
			mg Kg ⁻¹		mg Kg ⁻¹		mg Kg ⁻¹		mg Kg ⁻¹	
			8 ماه پس از کشت	6 ماه پس از کشت	4 ماه پس از کشت	2 ماه پس از کشت				
سال	1	0/117**	20155**	0/033**	21351**	0/139**	20681**	0/000**	770**	1409**
گوگرد	4	0/090**	3008**	0/049**	3701**	0/083**	5595**	0/020**	1164**	347**
سال × گوگرد	4	0/023**	2300**	0/004**	2793**	0/013**	3054**	0/004**	243**	95/3**
خطا	18	0/000	3/05	0/000	2/20	0/001	16/1	0/000	2/72	0/298
ضریب تغییرات		0/130	4/29	0/190	3/56	0/450	8/54	0/280	6/36	2/57

** معنی دار در سطح یک درصد

همراه داشته است. بیشترین افزایش سولفات قابل جذب خاک (73/3 میلی‌گرم در کیلوگرم) در سال دوم به میزان 3/5 برابر نسبت به سال اول، همچنین کاهش pH، به میزان 0/14 واحد کاهش نسبت به سال اول بعد از شش ماه پس از کشت بدست آمد. و فسفر قابل خاک نیز در سال دوم به حدود دو برابر نسبت به سال اول افزایش یافت (جدول 3).

اثر اصلی سال
نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که اثر اصلی سال، تأثیر مثبتی بر اکسیداسیون گوگرد و آزادسازی سولفات و کاهش pH خاک داشته است. نتایج مصرف گوگرد نشان داد که با مصرف گوگرد طی دو سال متوالی میزان سولفات بیشتری در خاک آزاد شده است. که متعاقب آن کاهش بیشتر pH و افزایش جذب فسفر را به

جدول 3- مقایسه میانگین اثر اصلی سال بر pH و SO_4^{2-} و فسفر قابل جذب خاک در کشت گندم (1392-1394)

سال	pH	SO_4^{2-} mg Kg ⁻¹	pH	SO_4^{2-} mg Kg ⁻¹	pH	SO_4^{2-} mg Kg ⁻¹	pH	SO_4^{2-} mg Kg ⁻¹
		هشت ماه پس از کشت		شش ماه پس از کشت		چهار ماه پس از کشت		دو ماه پس از کشت
اول	7/76a	14/7b	7/75a	7/78a	7/75a	15/0b	7/77a	7/76a
دوم	7/63b	66/6a	7/68b	7/64b	7/68b	68/4a	7/68b	7/63b

حروف مشترک در هر ستون نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشد

اثر اصلی مصرف گوگرد

بدست آمد. همچنین مصرف گوگرد به همراه تیوباسیلوس در هر چهار مرحله اندازه‌گیری در خاک باعث کاهش pH خاک شد و با افزایش مصرف گوگرد میزان کاهش بیشتر بود. بیشترین میزان کاهش pH، شش ماه پس از کشت (0/33 واحد کاهش نسبت به شاهد) بدست آمد. بیشترین میزان فسفر قابل جذب خاک نیز به میزان 25 میلی‌گرم در کیلوگرم با مصرف 1500 و 3000 کیلوگرم گوگرد در هکتار بدست آمد (جدول 4).

نتایج جدول مقایسه میانگین‌ها در دو سال نشان داد که مصرف گوگرد به همراه تیوباسیلوس در هر چهار مرحله اندازه‌گیری در خاک باعث افزایش میزان سولفات قابل جذب خاک شد و این افزایش با افزایش مصرف گوگرد بیشتر بود. بیشترین تولید سولفات در تمامی مراحل اندازه‌گیری مربوط به تیمار مصرف 3000 کیلوگرم گوگرد در هکتار بود. بیشترین میزان تولید سولفات در خاک شش ماه پس از کشت (به میزان 86/1 میلی‌گرم در کیلوگرم) با مصرف 3000 کیلوگرم گوگرد در هکتار

جدول 4- مقایسه میانگین اثر اصلی مصرف گوگرد بر pH، SO_4^{2-} و فسفر قابل جذب خاک در کشت گندم (1392-1394)

سطوح مصرف گوگرد	pH	SO_4^{2-} mg Kg ⁻¹	pH	SO_4^{2-} mg Kg ⁻¹	pH	SO_4^{2-} mg Kg ⁻¹	pH	SO_4^{2-} mg Kg ⁻¹
		هشت ماه پس از کشت		شش ماه پس از کشت		چهار ماه پس از کشت		دو ماه پس از کشت
T1	7/87a	10/6e	7/86a	7/88a	7/86a	10/2e	7/87a	10/6e
T2	7/76b	29/7d	7/72c	7/73b	7/72c	26/9d	7/76b	29/7d
T3	7/72c	38/9c	7/73b	7/72bc	7/73b	39/7c	7/72c	38/9c
T4	7/59d	56/2b	7/67d	7/68c	7/67d	59/1b	7/59d	56/2b
T5	7/57e	67/8a	7/61e	7/56d	7/61e	72/6a	7/57e	67/8a

حروف مشترک در هر ستون نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشد

T1 تا T5 به ترتیب بدون مصرف و مصرف 500، 750، 1500 و 3000 کیلوگرم گوگرد در هکتار

اثر متقابل سال در مصرف گوگرد

شد و این بدان معنی می‌باشد که با گذشت زمان آزادسازی سولفات بیشتر بوده همچنین اثر باقیمانده گوگرد در سال بعد نیز حفظ شده است. بیشترین میزان کاهش pH خاک (0/49 واحد کاهش نسبت به شاهد) و بیشترین میزان سولفات قابل جذب خاک (143 میلی‌گرم

اثر متقابل سال در مصرف گوگرد نشان داد که بیشترین میزان تولید سولفات و فسفر قابل جذب خاک همچنین بیشترین کاهش pH خاک در سال دوم حاصل

در کیلوگرم) در تیمار مصرف 3000 کیلوگرم گوگرد در هکتار در سال دوم و شش ماه پس از کشت بدست آمد. همچنین بیشترین میزان فسفر قابل جذب خاک (34 میلی‌گرم در کیلوگرم) نیز در تیمار مصرف 1500 و 3000 کیلوگرم گوگرد در هکتار در سال دوم حاصل شد (جدول 5).

جدول 5- مقایسه میانگین اثر متقابل سال در مصرف گوگرد بر pH، SO_4^{2-} و فسفر قابل جذب خاک در کشت گندم (1392-1394)

سال	سطوح مصرف گوگرد	دو ماه پس از کشت		چهار ماه پس از کشت		شش ماه پس از کشت		هشت ماه پس از کشت	
		SO_4^{2-}	pH	SO_4^{2-}	pH	SO_4^{2-}	pH	SO_4^{2-}	pH
اول	T1	10/8f	7/85b	10/5g	7/90a	10/5f	7/80b	10/1f	7/88e
	T2	14/1f	7/77c	14/4f	7/79bc	15/5f	7/76d	16/5e	14/2d
	T3	14/4f	7/77c	14/5f	7/77cd	19/7ef	7/75e	20/1e	17/1c
	T4	14/6f	7/72e	15/2f	7/73cde	28/9de	7/70i	28/5c	16/9c
	T5	19/7e	7/68f	20/6e	7/70de	29/2de	7/72g	29/2c	15/9c
دوم	T1	10/3f	7/87a	10/0g	7/86ab	10/5f	7/86a	11/2f	7/60e
	T2	45/3d	7/74d	39/5d	7/67ef	35/5d	7/79c	16/4e	32/1b
	T3	63/5c	7/66g	64/8c	7/66ef	72/1c	7/70h	24/6d	31/7b
	T4	97/9b	7/45h	103b	7/62f	105b	7/72f	43/4b	34/6a
	T5	116a	7/45h	125a	7/41g	143a	7/66j	59/5a	34/5a

حروف مشترک در هر ستون نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار می‌باشد

T1 تا T5 به ترتیب بدون مصرف و مصرف 500، 750، 1500 و 3000 کیلوگرم گوگرد در هکتار

الف- روند اکسیداسیون گوگرد و تولید سولفات قابل جذب در خاک

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که مصرف گوگرد به همراه تیوباسیلوس در تمامی سطوح مصرف گوگرد اثر مثبتی بر اکسیداسیون گوگرد و آزادسازی سولفات داشته است. همچنین با گذشت زمان و افزایش مقدار گوگرد مصرفی غلظت سولفات تولید شده روند صعودی داشت (جدول 5)

ب- تغییرات pH خاک

مطابق نتایج تجزیه واریانس (جدول 2) اثر تیمارهای مختلف مصرف گوگرد به همراه تیوباسیلوس در طی دو سال بر pH خاک در مراحل مختلف رشد گندم در سطح یک درصد معنی دار شد ($p \leq 0.01$). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد مصرف گوگرد به همراه تیوباسیلوس در تمامی سطوح مصرف گوگرد اثر مثبتی بر اکسیداسیون گوگرد و کاهش pH داشته است. نتایج در سال اول نشان داد که مصرف گوگرد به همراه تیوباسیلوس در هر چهار مرحله اندازه‌گیری در خاک باعث کاهش pH شد و با افزایش مصرف گوگرد میزان کاهش بیشتر بود. بیشترین میزان کاهش pH، شش ماه پس از کشت (0/20 کاهش نسبت به شاهد) بدست آمد. نتایج در سال دوم نیز نشان داد که مصرف گوگرد به همراه تیوباسیلوس در هر چهار مرحله اندازه‌گیری در خاک باعث کاهش pH شد و با

افزایش مصرف گوگرد میزان کاهش بیشتر بود. در مرحله اول نمونه برداری که دو ماه پس از کشت صورت گرفت نتایج نشان داد که تیمارهای مصرف 1500 و 3000 کیلوگرم گوگرد در هکتار، بیشترین کاهش pH را داشتند و بین آنها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (0/42 واحد کاهش نسبت به شاهد). در مرحله دوم، سوم و چهارم نمونه برداری که چهار، شش و هشت ماه پس از کشت صورت گرفت نتایج نشان داد که تیمار مصرف 3000 کیلوگرم گوگرد در هکتار بیشترین کاهش pH خاک را نشان داد (جدول 5).

ج- قابلیت جذب فسفر خاک

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که مصرف گوگرد به همراه تیوباسیلوس در تمامی سطوح مصرف گوگرد اثر مثبتی بر اکسیداسیون گوگرد، کاهش pH و متعاقباً افزایش فسفر قابل جذب خاک داشته است. نتایج در سال اول نشان داد که بیشترین میزان فسفر قابل جذب در خاک با میانگین 17/1، 16/9 و 15/9 میلی‌گرم در کیلوگرم به ترتیب در تیمارهای مصرف 750 و 1500 و 3000 کیلوگرم گوگرد در هکتار بدست آمد و باهم اختلاف معنی‌داری نداشتند. در سال دوم افزایش قابل توجهی در میزان فسفر قابل جذب خاک مشاهده شد و در تمامی تیمارهای مصرف گوگرد تقریباً به میزان دو برابر نسبت به سال اول افزایش یافت. بیشترین

رابطه رگرسیونی مصرف گوگرد با pH و سولفات قابل جذب خاک

نتایج دو سال رابطه رگرسیونی بین مصرف گوگرد با pH و سولفات قابل جذب خاک در مراحل مختلف رشد گندم در سطح یک درصد ($p \leq 0/01$) معنی-دار شد (جدول 6).

میزان فسفر با میانگین 34/5 و 34/6 میلی‌گرم در کیلوگرم به ترتیب در تیمار مصرف 1500 و 3000 کیلوگرم گوگرد در هکتار بدست آمد. و باهم اختلاف معنی‌داری نداشتند (جدول 5).

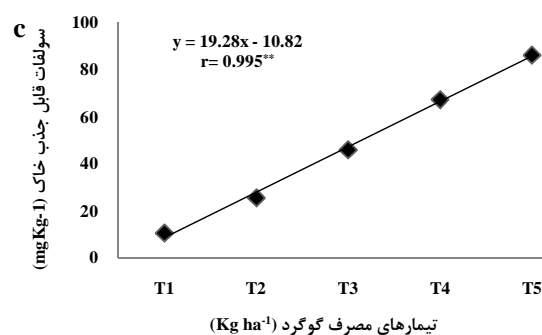
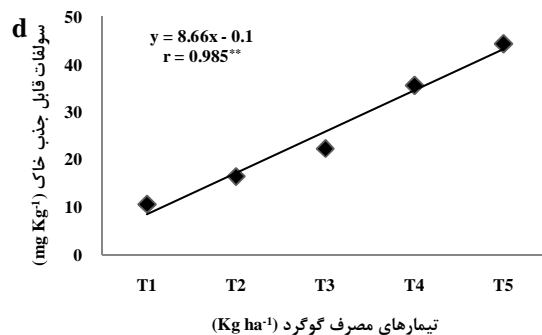
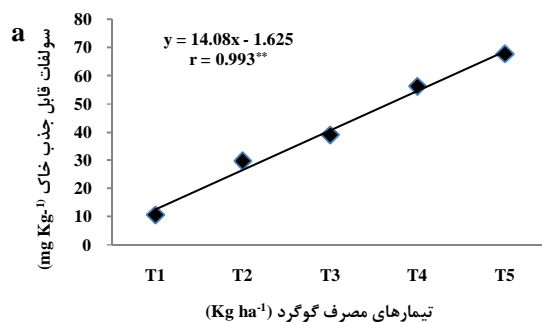
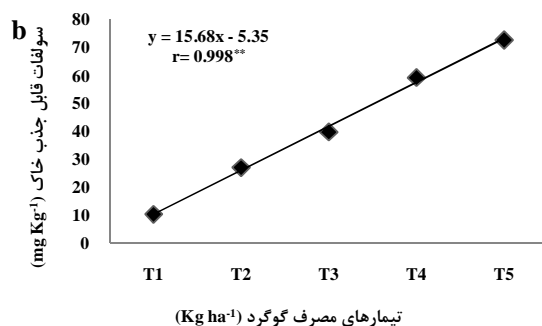
جدول 6- میانگین مربعات رگرسیون مصرف گوگرد با pH و SO_4^{2-} قابل جذب خاک در کشت گندم (1392-1394)

منابع تغییرات		درجه آزادی		SO_4^{2-}		pH	
mg Kg ⁻¹		mg Kg ⁻¹		mg Kg ⁻¹		mg Kg ⁻¹	
2 ماه پس از کشت		4 ماه پس از کشت		6 ماه پس از کشت		8 ماه پس از کشت	
رگرسیون	1	0/173**	5956**	0/088**	7377**	0/151**	11155**
باقیمانده	13	0/001	6/33	0/001	2/84	0/002	8/28

** معنی‌دار در سطح یک درصد

جذب خاک (86/86 میلی‌گرم در کیلوگرم) شش ماه پس از کشت در تیمار مصرف 3000 کیلوگرم گوگرد در هکتار بدست آمد (شکل 1).

بین مصرف گوگرد با سولفات قابل جذب خاک یک رابطه رگرسیونی مستقیم و خطی مشاهده شد. آزادسازی سولفات قابل جذب خاک در تمامی مراحل اندازه‌گیری معنی‌دار بود. بیشترین میانگین سولفات قابل



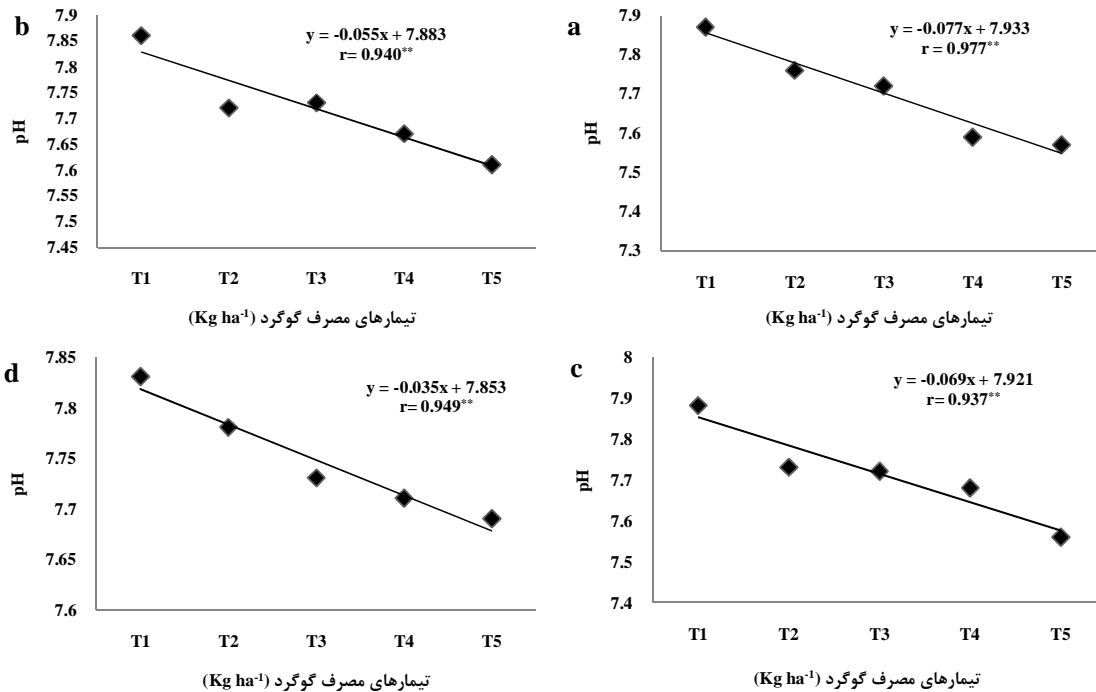
شکل 1- رابطه رگرسیونی مصرف گوگرد و تولید سولفات قابل جذب در خاک در مراحل مختلف رشد گندم (1394-1392) دو (a)، چهار (b)، شش (c) و هشت (d) ماه پس از کشت

گیاه در سطح یک درصد ($p \leq 0/01$) معنی‌دار شد (جدول 6). بین مصرف گوگرد و pH خاک یک رابطه رگرسیونی

نتایج دو سال رابطه رگرسیونی بین مصرف گوگرد و تغییرات pH خاک نیز در مراحل مختلف رشد

تیمار مصرف 3000 کیلوگرم گوگرد در هکتار بدست آمد (شکل 2).

معکوس و خطی مشاهده شد. روند تغییرات pH خاک در مراحل مختلف رشد گیاه نیز نشان می‌دهد که کمترین میانگین pH خاک (7/56) شش ماه پس از کشت، در



شکل 2- رابطه رگرسيون مصرف گوگرد و تغييرات pH خاک در مراحل مختلف رشد گندم (1392-1394) دو (a)، چهار (b)، شش (c) و هشت (d) ماه پس از کشت

رابطه همبستگی pH با فسفر قابل جذب خاک

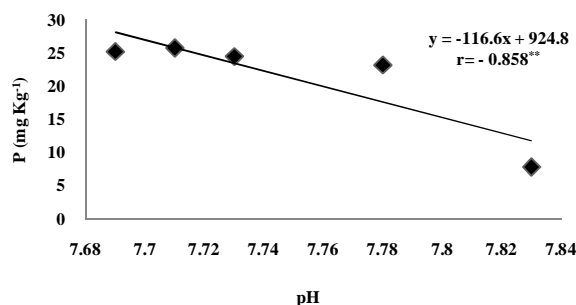
pH و فسفر قابل جذب خاک یک رابطه همبستگی منفی (معکوس) و خطی معنی‌دار در سطح یک درصد ($p \leq 0/01$) مشاهده شد (جدول 7). بدین معنی که با کاهش pH، فسفر قابل جذب خاک به صورت خطی افزایش می‌یابد (شکل 3).

نتایج دو سال رابطه همبستگی بین pH با فسفر قابل جذب خاک نیز به روش پیرسون نشان داد که بین

جدول 7- ضریب همبستگی دو طرفه pH با فسفر قابل جذب خاک در کشت گندم به روش پیرسون (1392-1394)

فسفر قابل جذب خاک هشت ماه پس از کشت	pH خاک هشت ماه پس از کشت
- 0/858**	

** معنی دار در سطح یک درصد



شکل 3- رابطه همبستگی بین pH خاک (همزمان با برداشت) و فسفر قابل جذب خاک (1392-1394)

بحث

گرفت و نتایج نشان داد که بیشترین کاهش pH خاک شش ماه پس از کشت گندم (فروردین ماه) مشاهده شد. بنابراین می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که با توجه به اینکه در اوایل رشد و نمو گندم که گیاه بیشترین نیاز را به جذب عناصر غذایی از جمله فسفر دارد لذا با کاهش pH خاک این مهم فراهم می‌گردد. نتایج تحقیق حاضر که طی دو سال متوالی در گندم انجام شد نشان داد که بین مصرف گوگرد و تولید سولفات در خاک یک رابطه رگرسیون (مستقیم) خطی معنی‌داری مشاهده شد و با مصرف گوگرد و تولید سولفات، pH خاک کاهش یافت. و این کاهش با افزایش مصرف گوگرد بیشتر بود. نتایج این تحقیق با تحقیقات سایر محققین نیز همخوانی دارد. مشابه این تحقیق ولی شریعت پناهی و همکاران⁴ (2016) نیز با بررسی تأثیر گوگرد در سطوح مصرف (صفر، 1000 و 5000 کیلوگرم در هکتار) در ناحیه ریزوسفر گندم در خاک‌های آهکی شمال خراسان نشان دادند که مصرف گوگرد نه تنها بر تنظیم pH خاک در سطح یک درصد مؤثر بود بلکه میزان سولفات خاک را نیز به طور معنی‌داری افزایش داد.

همچنین استمفورد و همکاران⁵ (2015) نیز با بررسی تأثیر گیج و گوگرد عنصری به طور همزمان به نتایج مشابهی در کاهش pH خاک دست یافتند. در تحقیقی دیگر که توسط صیامی و بشارتی (1391) انجام شد مشابه تحقیق حاضر در زمان‌های مختلف رشد گیاه کاهش pH خاک اندازه‌گیری شد، نتایج نشان داد که با مصرف گوگرد pH خاک که در فواصل صفر، 15، 30، و 60 روز اندازه‌گیری شد، به موازات افزایش گوگرد مصرفی پس از 60 روز کاهش یافت و با 0/33 واحد کاهش از 7/6 به 7/27 رسید. محققین دیگر نیز به نتایج مشابهی دست یافتند از

باکتری‌های جنس تیوباسیلوس که مهمترین اکسیدکنندگان گوگرد در خاک‌های زراعی محسوب می‌شوند. با اکسایش گوگرد و تولید اسیدسولفوریک در محیط، کاهش قابل ملاحظه‌ای در pH خاک ایجاد می‌نماید. گوگرد عنصری تحت شرایط هوازی با اکسیداسیون بیولوژیکی تبدیل به سولفات می‌شود که سبب کاهش pH خاک و حلالیت عناصر غذایی می‌گردد (ترابیلی و همکاران¹، 2006؛ آناندهام و همکاران²، 2007). تلقیح خاک با این باکتری‌ها باعث افزایش سرعت اکسیداسیون گوگرد خواهد شد. در یک بررسی مشخص شد که میزان اکسیداسیون گوگرد در خاک‌های تلقیح شده با باکتری‌های تیوباسیلوس حدود 11 برابر بیشتر از خاک‌های تلقیح نشده است. در شرایط مزرعه گاهی تلقیح، کمتر مؤثر واقع می‌شود زیرا اکثر خاک‌های زراعی دارای میکروارگانیسم‌های اکسیدکننده گوگرد هستند ولی تعداد این میکروارگانیسم‌ها به دلیل فقدان ترکیبات گوگردی ناچیز است.

مصرف گوگرد موجب افزایش تعداد آنها و بالا رفتن توان اکسایش گوگرد در خاک می‌شود (تیسدال و همکاران³، 1993). لذا در این تحقیق مقادیر مختلف گوگرد مورد بررسی قرار گرفت تا میزان اکسایش گوگرد و تولید سولفات با مقادیر مختلف مصرف گوگرد مورد بررسی قرار گیرد. از طرفی با توجه به اینکه هدف از تولید سولفات بیشتر، کاهش بیشتر pH بود لذا مشاهده کردیم که با افزایش گوگرد و تولید سولفات بیشتر، کاهش pH نیز بیشتر بود. علاوه بر این در این تحقیق در زمانهای مختلف رشد گیاه اندازه‌گیری pH خاک صورت

1. Tarabily and *et al*

2. Anandham and *et al*

3. Tisdale and *et al*

4. Vali ShariatPanahi and *et al*

5. Stamford and *et al*

شد نشان داد که مصرف 0/5 درصد وزنی گوگرد عنصری، فسفر قابل جذب را بر اثر کاهش pH خاک از 4/99 در تیمار شاهد به 12/9 میلی‌گرم در کیلوگرم افزایش داد. اخوان و فلاح نصرت آباد (1392) با کاربرد گوگرد به میزان صفر، 200، 600، 800 و 1000 کیلوگرم در هکتار، کاهش pH را به میزان 1/05 واحد در مقایسه با خاک اولیه گزارش کردند و همچنین فسفر قابل جذب به میزان 33/3 درصد در مقایسه با شاهد افزایش یافت. کاپلان و اورمان⁶ (1998) در یک خاک آهکی با مصرف مقادیر صفر، 500، 1000 و 1500 کیلوگرم گوگرد در هکتار، در یک آزمایش گلدانی در سورگوم نشان دادند که مصرف گوگرد باعث کاهش pH خاک و افزایش قابلیت جذب فسفر شد. به طوری که 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 بدست آمد. حیدر نژاد و همکاران⁷ (2012) نیز با بررسی تأثیر گوگرد بر قابلیت جذب عناصر غذایی در خاک‌های آهکی شرق آذربایجان نشان دادند که مصرف گوگرد باعث افزایش حلالیت فسفر، آهن و روی در خاک بعد از 60 روز شد. مشابه این تحقیق هاشم نژاد و همکاران⁸ (2012) نیز با مصرف گوگرد عنصری در سطوح 0/25، 0/50 و 1/0 گرم در کیلوگرم خاک) در خاک‌های رسی نشان دادند که بیشترین کاهش pH مربوط به تیمار مصرف یک گرم گوگرد در هر کیلوگرم خاک بعد از 16 هفته بود و بیشترین فسفر قابل جذب خاک نیز پس از هشت هفته مشاهده شد. صباغ و همکاران⁹ (2014) نیز با مصرف (صفر، 250 و 500 کیلوگرم گوگرد در هکتار) و باکتری تیوباسیلوس و محمد و همکاران¹⁰ (2014) با استفاده همزمان از مایکوریزا و تیوباسیلوس به نتایج مشابهی در افزایش قابلیت جذب فسفر دست یافتند.

نتیجه گیری

مصرف گوگرد به همراه تیوباسیلوس با تولید اسیدسولفوریک حاصل از اکسایش آن باعث تولید سولفات در خاک شد و این امر باعث کاهش pH و افزایش قابلیت جذب فسفر در خاک شد. جمع‌بندی نتایج نشان داد که هر چه مصرف گوگرد بیشتر شد غلظت سولفات قابل جذب در خاک افزایش یافته و بر خاصیت اسیدی خاک افزوده و متعاقباً کاهش pH بیشتر است. با

جمله ایسپیکاوا و همکاران¹ (2012) با بررسی تأثیر کاربرد گوگرد در خاک‌های شور و قلیا با pH بالا در شمال چین نشان دادند که مصرف گوگرد بعد سه ماه pH خاک را به طور معنی‌داری کاهش داد. ملکوتی و رضایی (1380) نیز گزارش کردند که کاربرد گوگرد در اصلاح pH خاک‌های آهکی بسیار مفید بوده و با مصرف سالیانه یک کیلوگرم گوگرد به همراه کود حیوانی در مرکبات جهرم به مدت پنج سال، pH ناحیه ریشه از 8/2 به 7/8 کاهش یافت. یوچی² (2012) نیز کاربرد سولفور هیومیک اسید را در خاک‌های تحت کشت انگور بررسی کردند، نتایج نشان داد که هم در خاک‌های شور و هم در خاک‌های قلیا، pH خاک کاهش یافته و این کاهش در خاک‌های با pH بالاتر محسوستر بود. در تحقیقی دیگر با بکاربردن گوگرد در شرایط گلخانه به میزان 20 گرم در کیلوگرم خاک، pH خاک 3 واحد کاهش یافت (وانگ و همکاران³، 2008).

این تحقیق علاوه بر کاهش pH خاک، قابلیت جذب فسفر خاک افزایش یافت به طوری که بین کاهش pH و افزایش قابلیت جذب فسفر همبستگی (معکوس) خطی معنی‌داری مشاهده شد بدین معنی که با کاهش pH خاک فسفر قابل جذب خاک افزایش یافت. یکی از مسائل مهم در خاک‌های ایران عدم جذب کافی عناصر غذایی به خصوص فسفر در نتیجه آهکی بودن خاک می باشد. زمانیکه گوگرد با خاک مخلوط می‌گردد مواضع کوچک و پراکنده اسیدی بوجود می‌آید و می‌تواند محیط مناسبی برای انحلال و جذب بیشتر و سریعتر عناصر دیگر از جمله فسفر و عناصر ریزمغذی فراهم نماید (ملکوتی و رضایی، 1380). در واقع اسید سولفوریک حاصل از اکسایش سریع گوگرد، موجب حلالیت ترکیبات فسفاتی نامحلول می‌شود (دلوکا و همکاران⁴، 1989؛ خاوازی و همکاران⁵، 2001). میانگین افزایش قابلیت جذب فسفر در در پایان دو سال در این تحقیق نسبت به شاهد حدود سه و نیم برابر بود که با نتایج محققین دیگر مطابقت دارد. از جمله نورقلی پور و همکاران (1380) گزارش نمودند که در صورت اسیدی کردن آب آبیاری و با کمک باکتری های تیوباسیلوس و گوگرد بر قابلیت جذب فسفر از منبع خاک فسفات افزوده گردید. بشارتی کلایه (1377) در آزمایش گلخانه‌ای که در خاک آهکی بر روی ذرت انجام

⁶ Kaplan and Orman

⁷ Heydarnezhad and *et al*

⁸ Hashemimajd and *et al*

⁹ Sabagh and *et al*

¹⁰ Mohamed and *et al*

¹ Ishikawa and *et al*

² Yuchi

³ Wang and *et al*

⁴ Deluca and *et al*

⁵ Khavazi and *et al*

قابلیت جذب فسفر نیز بیشتر افزایش یافت. تیمار مصرف 3000 کیلوگرم گوگرد در هکتار در تمامی مراحل اندازه‌گیری بیشترین کاهش pH خاک را نشان داد. در خصوص افزایش فسفر قابل جذب خاک نیز در تمامی تیمارهای مصرف گوگرد افزایش معنی‌دار قابلیت جذب فسفر خاک (بالا‌تر از حد بحرانی خاک) نسبت به شاهد مشاهده شد. با توجه به اینکه تیمار مصرف 1500 و 3000 کیلوگرم گوگرد در هکتار در میزان قابلیت جذب فسفر باهم اختلاف معنی‌داری نداشتند لذا مصرف 1500 کیلوگرم گوگرد در هکتار قبل از کشت توصیه می‌شود.

توجه به اینکه در مراحل رشد گیاه اندازه‌گیری سولفات قابل جذب و pH انجام شد، می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که بیشترین آزادسازی سولفات و کاهش pH مربوط به اواسط دوره رشد گیاه می‌باشد. لذا کاهش pH در این دوره می‌تواند در جذب فسفر در گیاه مؤثر باشد. بیشترین میزان تولید سولفات و فسفر قابل جذب خاک همچنین بیشترین کاهش pH خاک در سال دوم حاصل شد و این بدان معنی می‌باشد که با گذشت زمان آزادسازی سولفات بیشتر بوده همچنین اثر باقیمانده گوگرد در سال بعد نیز حفظ شده است. همبستگی معنی‌دار بین pH و فسفر قابل جذب خاک نیز مؤید آن است که با افزایش گوگرد مصرفی و تولید سولفات بیشتر، pH بیشتر کاهش یافته و

فهرست منابع:

1. احیایی، م. و ع. ا. بهبهانی. 1372. شرح روش‌های تجزیه شیمیایی خاک. نشریه فنی شماره 893. موسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران.
2. اخوان، ز. و ع. ر. فلاح نصرت آباد. 1392. تأثیر گوگرد و مایه تلقیح تیوباسیلوس بر pH خاک، وزن خشک و قابلیت جذب فسفر در کلزا. نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار، 3 (1)، تهران، ایران.
3. امانی، ف. و ف. رئیس. 1387. نقش و اهمیت گوگرد در رشد ارقام سویا و جذب فسفر از یک خاک آهکی. چکیده مقالات نهمین کنگره زراعت و اصلاح نباتات ایران. دانشگاه تهران، پردیس ابوریحان.
4. بشارتی کلایه، ح. 1377. بررسی اثرات کاربرد گوگرد همراه با گونه‌های تیوباسیلوس در افزایش جذب برخی از عناصر غذایی در خاک. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران. ایران.
5. پسندیده، م. م. ج. ملکوتی و پ. کشاورز. 1382. بررسی اثر گوگرد و مایه تلقیح تیوباسیلوس بر اکسایش گوگرد، pH محتویات چالکود و فراهمی فسفر از کود بیوفسففات طلائی. اولین سمینار ملی تولید و مصرف گوگرد در کشور، مشهد، ایران.
6. صیامی، آ. و ح. بشارتی. 1391. روند آزادسازی آهن و روی بر اثر اکسایش زیستی گوگرد. مجله علوم خاک و آب، 26 (3)، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران.
7. کریمی نیا، آ. و م. شعبانپور شهرستانی. 1382. ارزیابی توان اکسایش گوگرد توسط میکروارگانیسم‌های هتروتروف در خاک‌های مختلف. مجله علوم خاک و آب، 17 (1): 69-79.
8. نورقلی‌پور، ف. م. ج. ملکوتی و ک. خاوازی. 1380. روش‌های کاربردی مستقیم خاک فسفات در مزارع و باغهای کشور. نشریه فنی شماره 191، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، نشر آموزش کشاورزی، کرج، ایران.
9. نجف زاده، ز. م. شعبانپور شهرستانی و آ. کریمی نیا. 1384. بررسی تأثیر کاربرد ماده آلی و گوگرد بر قابلیت جذب فسفر و عناصر کم مصرف در خاک. نهمین کنگره علوم خاک ایران، تهران، ایران.
10. ملک زاده، ط. ح. بشارتی، غ. ثوابقی. 1394. تأثیر مصرف گوگرد و باکتری تیوباسیلوس بر فراهمی برخی عناصر غذایی در خاک‌هایی با ظرفیت بافری مختلف. نشریه زیست‌شناسی خاک، 3 (2): 187-202.

11. ملکوتی، م. ج. 1382. ضرورت ارتقاء جایگاه تغذیه‌ای گوگرد به منظور افزایش عملکرد کمی و کیفی محصولات کشاورزی در کشور. نشریه فنی شماره 315، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، نشر آموزش کشاورزی، کرج، ایران.
12. ملکوتی، م. ج. و ح. رضایی. 1380. نقش گوگرد، کلسیم و منیزیم در افزایش و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی. مؤسسه تحقیقات خاک و آب، نشر آموزش کشاورزی، کرج، ایران.
13. Anandham, R., Sridar, R., Nalayini, P., Poonguzhali, S., Madhaiyan, M. and Tongmin, S. 2007. Potential for plant growth promotion in groundnut (*Arachis hypogaea* L.) Cv. ALR-2 by co-inoculation of sulfur – oxidizing bacteria and Rhizobium. *Microbiology Research*. 162: 139-153.
14. Bharathi, C. and Poongothai S. 2008. Direct and residual effect of sulphur on growth, nutrient uptake, yield and its use efficiency in maize and subsequent greengram. *Research Journal of Agriculture*
15. Brady, N.C. and Weil. R.R. 2002. The nature and properties of soil, 13th ed. Springer Netherlands, 249 pp.
16. Deluca, T.H., Skogley, E.O. and Engle, R.E. 1989. Band-applied elemental sulfur to enhance the phytoavailability of phosphorous in alkaline calcareous soils. *Biol. Fertility Soils*. 7: 346-350.
17. Hashemimajd, K. Mohamadifarani, T. and Jamaati-e-Somarin, S. 2012. Effect of elemental sulphur and compost on pH, electrical conductivity and phosphorus availability of one clay soil. *African Journal of Biotechnology* 11(6): 1425-1432.
18. Heydarnezhad, F. Shahinrokhsar, P. ShokriVahed, H. and Besharati, H. 2012. Influence of Elemental Sulfur and Sulfur Oxidizing Bacteria on Some Nutrient Deficiency in Calcareous Soils. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences* 4(12): 735-739.
19. Ishikawa, Y. Fukushima, J. Sakurai, K. Niu, S. Wang, S. Inoue, M. Shoji, T. Hayakawa, A. and Hidaka, S. 2012. Effect of Sulfur-humic Acid on Agricultural Production Including Grape Growth on Saline-alkali Soil in Gansu Province, P. R. China. *Journal of Arid Land Studies* 22(1): 103 -106.
20. 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. *Biology Fertilizer Soils* 41: 52-58.
21. Janssen, A.J.H., Lettinga, G. and Keizer, A. 1999. Removal of hydrogen sulfide from wastewater and waste gases by biological conversion to elemental sulfur particles. *Colloids Surf.* 151: 389-397.
22. Kaplan, M. and Orman, S. 1998. Effect of elemental sulfur on sulfur containing waste in a calcareous soil in turkey. *Jurnal Plant Nutrition* 21 (8): 1655-1665.
23. Kaya, M., Kucukyumuk, Z. and Erdal, I. 2009. Effects of elemental sulfur and sulfur-containing waste on nutrient concentrations and grown on calcareous soil. *African Journal of Biotechnology* 8(18): 4481-4489.
24. Khavazi, K., Nougholipour, F. and Malakouti, M.J. 2001. Effect of thiobacillus and phosphate solubilizing bacteria on increasing P availability from rock phosphate for corn. *International Meeting on Direct Application of Rock Phosphate and related Technology*, Kuala Lumpur, Malaysia.
25. Mohamed, A.A., Eweda, W.E.E., Heggo, A.M. and Hassan, E.A. 2014. Effect of dual inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi and sulphur-oxidising bacteria on onion (*Allium cepa* L.) and maize (*Zea mays* L.) grown in sandy soil under greenhouse conditions. *Annals of Agricultural Sciences* 59(1): 109–118.
26. Rupela, O. P., Taura, P. 1973. Isolation and characterization of thiobacillus from alkali soil. *Biology & Biochemistry* 5: 91-897.

27. Sabagh, H. Khoramivafa, M. Honarmand, S.J. and Beheshti, Al- Agha, A. 2014. Effect of Thiobacillus bacteria, sulfur and manure on the nutrient and pH of soil in garlic (*Allium sativum*). *International Journal of Biosciences* 5(4): 186-193.
28. Skwierawska, M., Zawartka, L. and Zawadzki, B. 2008. The effect of different rates and forms of sulfur applied on changes of soil agrochemical properties. *Plant Soil and Environment* 54: 171-177.
29. Stamford, N.P. Figueiredo, V.B. da Silva Junior, S. Freitas, R.S. 2015. Effect of gypsum and sulfur with *Acidithiobacillus* on soil salinity alleviation and on cowpea biomass and nutrient status as affected by PK rock biofertilizer. *Scientia Horticulturae* 192: 287–292.
30. Tarabily, K.A., Soaud, A.A., Saleh, M.E., Matsumoto, S. 2006. Isolation and characterization of sulfur oxidizing bacteria, including strains of *Rhizobium*, from calcareous sandy soils and their effects on nutrient uptake and growth of maize (*Zea mays* L). *Australian Journal of Agricultural Research* 57 (1): 101-111.
31. Tate, R.L. 1995. The sulfur and related biogeochemical cycle. *Soil Microbiology*. pp. 359-372.
32. Tisdal, S.I., Nelson, W.I. Beaton, J.D. and Havlin, J.I. 1993. *Soil Fertility and Fertilizer*. 5th eds. Mc millan. Pub. Co. New York.
33. Vali ShariatPanahi, S. Moshiri, F. and Ardakani, M.R. 2016. Sulfur application effect on pH measurement of wheat rhizosphere in calcareous soils. *Biological Forum – An International Journal* 8(1): 199-203.
34. Wang, Y.P., Li, Q.B., Hui, W., Shi, J.Y., Lin, Q. and Chen, X.Y. 2008. Effect of sulphur on soil Cu/Zn availability and microbial community composition. *Journal of Hazardous Materials* 159(2–3): 385–389.
35. Yang, Z., Haneklaus, S., Singh, B.R. and Schnug, E. 2008. Effect of Repeated Applications of Elemental Sulfur on Microbial Population, Sulfate Concentration, and pH in Soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 39: 124–140.
36. Yuchi, I. 2012. Effect of sulfur-humic acid on agricultural production including grape growth on saline -alkali soil in Gansu Province, P. R. China. *Journal of Arid Land Studies* 22(1): 103 -106.

Effect of Sulfur Application on Soil pH and Phosphorus Availability for Wheat (*Triticum aestivum* L.)

S. Norouzi¹, A. Sohrabi, K. Khavazi and H. R. Matinfar

Researcher, Soil and Water Research Department, Qazvin Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Qazvin, Iran ; E-mail: Norouzi_sa85@yahoo.com

Assistant Professor. Soil Science Department, Lorestan University, Khoramabad, Iran;

E-mail: Akbarsohrabi.as@gmail.com

Professor. Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran; E-mail: kkhavazi@yahoo.com

Associate Professor. Soil Science Department, Lorestan University, Khoramabad, Iran;

E-mail: Matinfar44@gmail.com

Received: February, 2017 & Accepted: March, 2018

Abstract

In many part of Iran, soils have high content of calcium carbonate and it is the main reason for high pH value. In that condition, most essential elements for plant growth are normally below the Critical Nutrient Levels. Soil pH is one of the most important chemical properties that affects the solubility and allocation of ions in soil solution. In arid and semi-arid lands, organic matter and acid-forming compounds are applied to the soils for lessening the soil pH. Elemental sulfur (S) is one of the most important compounds used for soil acidification. This study was carried out in a randomized complete block design (RCBD) with five levels of S application (0, 500, 750, 1500 and 3000 Kg ha⁻¹) and three replications to investigate the effect of S application on soil pH and phosphorus availability for wheat during two years in Qazvin. The results from two consecutive years showed that the soil pH, the concentrations of the available phosphate and sulfate were significantly ($P < 0.01$) different during the plant growth period. The highest amount of available sulfate (143 mg Kg⁻¹) measured in the second year in 3000 Kg ha⁻¹ treatment when soil pH was at the lowest level. Also the highest amount of available phosphorus (34 mg Kg⁻¹) was found in 1500 and 3000 Kg ha⁻¹ S treatments in the second year.

Keyword: Acidity, Sulfate, Phosphorus availability, Wheat (*Triticum aestivum* L.)

¹: Corresponding author: Soil and Water Research Department, Qazvin Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Qazvin, Iran