بررسی تأثیر مقادیر مختلف گوگرد بر قابلیت جذب عناصر غذایی در گندم

سارا نوروزی[1]، اکبر سهرابی، کاظم خاوازی و حمیدرضا متین فر

دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران؛ **norouzi_sa85@yahoo.com**

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

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

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

دریافت: **95/8/1** و پذیرش: **96/4/12**

چکیده

وضعیت عناصر غذایی در برخی خاکها نشان می‌دهد که علیرغم وجود مقادیر فراوان برخی از عناصر غذایی در این خاکها، به دلیل بالا بودن مقدار pH، فرم محلول و قابل جذب این عناصر کمتر از مقدار لازم برای رشد و نمو مناسب گیاه می‌باشد. 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. در شرایط مناسب رطوبت، حرارت و تهویه گوگرد عنصری توسط موجودات ذره‌بینی خاک به اسیدسولفوریک تبدیل می‌شود. این تحقیق به منظور بررسی تأثیرگوگرد بر قابلیت جذب عناصر غذایی خاک به مدت دو سال به صورت طرح پایه بلوک کامل تصادفی با پنج تیمار مصرف گوگرد(بدون مصرف، 500، 750، 1500 و 3000 کیلوگرم در هکتار) در سه تکرار بر روی گندم در قزوین انجام شد. نتایج سال اول و دوم نشان داد که اثر تیمارهای مختلف بر pH، غلظت سولفات، عناصر قابل جذب فسفر، پتاسیم، آهن و منگنز خاک در سطح یک درصد(α=1%) معنی‌دار بود. علاوه بر این، در سال دوم نیز عناصر قابل جذب روی در سطح یک درصد(α=1%) و مس در سطح پنج درصد(α=5%) معنی‌دار بود. بیشترین میزان فسفر(34/567 میلی‌گرم در کیلوگرم)، آهن(5/64 میلی‌گرم در کیلوگرم)، در تیمار 1500 کیلوگرم گوگرد در هکتار در سال اول و بیشترین میزان روی(4/107 میلی‌گرم در کیلوگرم) در تیمار 1500 کیلوگرم گوگرد در هکتار، منگنز(19/38 میلی‌گرم در کیلوگرم) و مس(1/143 میلی‌گرم در کیلوگرم)، در تیمار 3000 کیلوگرم گوگرد در هکتار در سال دوم بدست آمد.

واژه‌های کلیدی: گوگرد، عناصرغذایی قابل جذب، گندم

[1] نویسنده مسئول، آدرس: خرم آباد، دانشگاه لرستان، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، گروه علوم و مهندسی خاک

مقدمه

در بسیاری از خاک‌های ایران به دلیل بالا بودن مقدار کربنات کلسیم و pH، فرم قابل استفاده برخی از عناصر غذایی کمتر از مقدار لازم برای رشد مناسب گیاه می‌باشد (ملکوتی و رضایی، 1380). انجام آزمون خاک جهت تعیین وضعیت عناصر غذایی در برخی خاک‌ها نشان می‌دهد که علیرغم وجود مقادیر فراوان برخی از عناصر غذایی(P, Zn, Fe,...) در این خاک‌ها، فرم محلول و قابل جذب این عناصر کمتر از مقدار لازم برای رشد و نمو مناسب گیاه می‌باشد. کمبود عناصر غذایی یکی از عوامل محدود کننده محصول با کمیت و کیفیت بالا در این خاک‌ها محسوب می‌شود (تیسدال و همکاران، 1993؛ کاپلان و اورمان، 1998؛ اوبرزا و همکاران، 2003). 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 از مهمترین خصوصیات شیمیایی خاک می‌باشد که فعالیت اکثر عناصر غذایی در خاک به آن وابسته است، که نه تنها در حلالیت و انتقال یونها بلکه در فعالیت میکروب‌ها، فعالیت ریشه و آنزیم‌ها نیز مؤثر است. علاوه بر این pH خاک حلالیت چندین ترکیب مهم خاک همانند کربنات‌ها، سلیکات‌ها، فسفات‌ها و اکسیدهای آهن و آلومینیم را کنترل می‌کند. pH خاک در واکنش‌های اکسیداسیون و احیاء و تبادل یونی مؤثر می‌باشد.

بدین منظور تنظیم pH خاک در کشاورزی بسیار حائز اهمیت می‌باشد. در مناطق خشک و نیمه خشک، مواد آلی و ترکیبات تولید کننده اسید برای کاهش pH، به خاک اضافه می‌کنند (ملکوتی و رضایی، 1380). برای اسیدی کردن اراضی از ترکیبات مختلفی چون گوگرد عنصری، دی اکسید گوگرد، اسید سولفوریک، سولفات آهن، پلی سولفیدآمونیم و ... می‌توان استفاده کرد. گوگرد عنصری از مهمترین ترکیبات مورد استفاده در اسیدی کردن خاک می‌باشد. در شرایطی که رطوبت، حرارت، تهویه و سایر شرایط مناسب باشد گوگرد عنصری توسط موجودات ذره بینی خاک (اتوتروف و هتروتروف) به اسیدسولفوریک تبدیل می‌شود. شرط اصلی اثربخشی گوگرد، سرعت مناسب اکسایش آن در خاک است، به نحوی که بتواند در طی دوره رویشی گیاه علاوه بر تأمین سولفات، با خاصیت اسیدزایی و کاهش pH، حداقل در مقیاس میکروسایت‌های ریزوسفری، قابلیت دسترسی سایر عناصر غذایی مانند فسفر و آهن را نیز بهبود ببخشد (جاگی و همکاران، 2005؛ براتی و پونگاتای، 2008؛ کایا و همکاران، 2009؛ طباطبائی، 1986). تحقق این شرط مستلزم وجود جمعیت بالایی از میکروارگانیسم‌های اکسیدکننده گوگرد عنصری است که باکتری‌های جنس *تیوباسیلوس* از مؤثرترین انواع آنها هستند. متأسفانه به دلیل کاهش شدید درصد مواد آلی در خاک‌های زراعی ایران، و عدم استفاده از گوگرد و مایه *تیوباسیلوس* تعداد این باکتری‌ها کاهش یافته است (کریمی‌نیا و شعبانپور شهرستانی، 1382). تحقیقات متعددی مصرف همزمان گوگرد و *تیوباسیلوس* را بررسی نموده‌اند (دلوکا و همکاران، 1989؛ بردیا و همکاران، 1972؛ پاتیرانا و همکاران، 1989؛ کریمی‌نیا و شعبانپور شهرستانی، 1382). این باکتری‌ها قادر به اکسیداسیون ترکیبات آهن‌دار نیز می‌باشند (دوناتی، 1997). البته اکسیداسیون شیمیایی نیز در خاک اتفاق می‌افتد ولی سرعت واکنش این اکسیداسیون نسبت به اکسیداسیون بیوشیمیایی بسیار کم بوده و از اهمیت کمتری برخوردار است (استیونسون، 1967؛ عبادی، 1368). طیف وسیعی از میکروارگانیسم‌ها قادر به اکسایش گوگرد می‌باشند که از بین آنها باکتری-های *Thiobacillus tiooxidant* نقش مهمی در اکسایش گوگرد در خاک‌های زراعی ایفاء می‌کند (تات، 1995).

گزارش‌های متعددی از تأثیر مثبت گوگرد به عنوان یک ماده ارزان قیمت و فراوان بر افزایش فرم محلول و قابل جذب عناصر غذایی مورد نیاز گیاه در خاک و بهبود وضعیت تغذیه گیاهان ارائه گردیده است. نتایج پژوهش‌ها نشان داده‌است 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 همکاران، 2006؛ داوود و همکاران، 1985؛ ملک زاده و همکاران، 1394). در بررسی انجام گرفته توسط لطف الهی و همکاران (1379) مشخص گردید بیشترین عملکرد ذرت علوفه‌ای از تیمار حاوی خاک فسفات، مواد آلی، گوگرد و *تیوباسیلوس* به مقدار 72/8 تن در هکتار بدست آمد.

تغییرات pH خاک در اثر استفاده از کودهای گوگردی که توسط اسکیوراسکا و همکاران (2008) انجام شد نشان داد که در طول سه سال آزمایش اضافه کردن گوگرد به خاک به طور معنی‌داری باعث کاهش pH در عمق صفر تا 40 سانتی‌متر می‌شود. یوچی و همکاران (2012) کاربرد سولفورهیومیک‌اسید 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 محسوتر می‌باشد. همچنین در آزمایشی دیگر با مصرف گوگرد به

میزان 15 میلی‌گرم در گرم خاک، در یک دوره 15 روزه به مدت 7 بارکه بعداز هر دوره 7/5 میلی‌گرم آهک در خاک اضافه شد، نتایج نشان داد pH خاک بعد از 15 روز اول به سرعت کاهش یافت و از 7/6 به 5/3 رسید. بکاربردن آهک بر روی اکسیداسیون گوگرد تأثیر داشت و pH را به 6/4 رساند. میزان سولفات با بکاربردن گوگرد پس از ششمین بار مصرف افزایش داشت و بعد از آن به طور معنی‌داری کاهش یافت (یانگ و همکاران، 2008).

در این تحقیق از گوگردی برای اولین بار استفاده شده است که در شرایط خشک گرانوله شده است. مزیت این گوگرد نسبت به گوگردهای بنتونیت دار سابق که در شرایط مرطوب گرانول شده‌اند در این است که بنتونیت گرانوله به راحتی در خاک پراکنده شده و گوگرد آزاد شده در معرض اکسیداسیون قرار می‌گیرد. علاوه بر این در این تحقیق میزان سولفات قابل جذب خاک در اثر مصرف گوگرد در سطوح مختلف که در تغییرات pH خاک مؤثر است اندازه‌گیری شده است، همچنین همبستگی بین سولفات قابل جذب، pH و عناصر غذایی قابل جذب خاک مورد بررسی قرار می‌گیرد. که این امر در تحقیقات گذشته کمتر بدان پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در ایستگاه تحقیقات اسماعیل‌آباد مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی قزوین طی سال‌های 1392 لغایت 1394 به منظور بررسی تأثیر مقادیر مختلف گوگرد بر قابلیت جذب عناصر غذایی خاک به صورت طرح پایه بلوک کامل تصادفی با پنج تیمار در سه تکرار به مدت دو سال بر روی گندم به اجرا درآمد. تیمارها شامل؛ T1، بدون مصرف گوگرد، تیمارهای T2 تا T5، به ترتیب 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 (علی احیایی و بهبهانی زاده، 1372) انجام شد (جدول 1). طول هر کرت 10 متر و عرض آن 6 متر (مساحت هر کرت 60 مترمربع) در نظر گرفته شد و گوگرد با توجه به تیمار در سطح کرت پخش شده و با دیسک با خاک مخلوط شد. کود گوگردی مورد استفاده گوگرد پاستیلی (بنتونیت دار) بود که قبل از مصرف در خاک با *تیوباسیلوس* تهیه شده توسط مؤسسه تحقیقات خاک و آب *(Halothiobacillus neapolitanus)* به میزان دو درصد گوگرد مصرفی (طبق دستورالعمل مؤسسه تحقیقات خاک و آب) 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 گردید. تمامی مراقبت‌های زراعی از جمله آبیاری و مبارزه به موقع با علف های هرز و ... با توجه به روش مرسوم و متداول در محل انجام شد. پس از برداشت محصول به منظور بررسی تغییرات قابلیت جذب عناصر غذایی قابل جذب در خاک نمونه برداری از عمق صفر تا 20 سانتی‌متری از بغل پشته در کنار گیاه محل داغ آب و با استفاده از مته (آگر) صورت گرفت. اندازه‌گیری‌ها شامل pH، سولفات قابل جذب، درصد نیتروژن، میزان فسفر، پتاسیم، آهن، روی، منگنز و مس قابل جذب خاک بود.

آزمون تجزیه خاک شامل سولفات (SO_4^{-2}) قابل جذب به روش کدورت سنجی، فسفر قابل جذب به روش اولسن، درصد نیتروژن به وسیله کجلدال، پتاسیم قابل جذب به روش عصاره‌گیری بااستات آمونیم و دستگاه فلم فتومتر و عناصر کم مصرف (Fe, Zn, Mn, Cu) به روش DTPA انجام شد (علی‌احیایی و بهبهانی-زاده، 1372). داده‌های بدست‌آمده با استفاده از نرم‌افزار SAS و SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرارگرفت و مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن (D.M.R.T) ارزیابی شد. برای رسم نمودارها نیز از نرم افزار Excel 2007 استفاده شد.

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

عمق	pH	EC	کربن آلی	نیتروژن	رطوبت اشباع	آهک	پتاسیم	فسفر	آهن	روی	مس	منگنز	بافت
cm		$dS.m^{-1}$	%	%	%	%	$mg.kg^{-1}$						
0-30	7/8	1/53	0/59	0/059	31	7/5	250	7/18	2/2	1/82	1/92	5/2	لوم

همه عناصر غذایی در جدول به فرم قابل جذب می‌باشد.

pH خاک در گل اشباع و EC در عصاره اشباع خاک اندازه‌گیری شده است

نتایج

نتایج تجزیه واریانس گندم در سال اول (جدول 2) نشان داد که اثر تیمارهای مختلف بر میزان pH، مقدار قابل جذب سولفات (SO_4^{-2})، فسفر، پتاسیم، آهن و منگنز خاک در سطح یک درصد (α=%1) معنی‌دار بود ولی بر درصد نیتروژن (N)، روی (Zn) و مس (Cu) قابل جذب خاک تأثیر معنی‌داری نداشت. نتایج گندم سال دوم (جدول 2) نیز نشان داد که اثر تیمارهای مختلف بر میزان pH، مقدار قابل جذب سولفات (SO_4^{-2})، فسفر (P)، پتاسیم (K)، آهن (Fe)، روی (Zn)، منگنز (Mn) و مس (Cu) خاک در سطح یک درصد (α=%1) معنی‌دار بود ولی درصد نیتروژن (N) خاک اختلاف معنی‌داری نشان نداد.

جدول 2- نتایج تجزیه واریانس سطوح مصرف گوگرد بر برخی از خصوصیات شیمیایی خاک در کشت گندم طی سالهای 1392 لغایت 1394

منابع تغییر	درجه آزادی	سال	pH	SO_4^{-2}	N	P	K	Fe	Zn	Cu	Mn
				mg.Kg^{-1}	%	mg.Kg^{-1}					
تیمار	4	اول	0/ 04 **	197/ 283 **	0/00 ns	398/ 873 **	1321/ 167 **	3/ 772 **	0/01 ns	0/ 004 ns	10/ 331 **
خطا	8		0/001	3/335	0/000	0/086	1/117	0/104	0/003	0/006	0/071
ضریب تغییرات			0/31	8/75	0/13	1/05	0/42	7/62	13/45	7/76	2/42
تیمار	4	دوم	0/ 02 **	1210/ 0 **	0/00 ns	43/809 **	897/ 822 **	1/ 523 **	5/321 **	0/ 004 **	47/ 641 **
خطا	8		0/000	2/628	00/0	0/560	4/165	0/025	0/002	0/000	3/202
ضریب تغییرات			0/26	5/23	8/85	5/20	1/00	3/68	2/26	1/74	12/70

اعداد داخل جدول میانگین مربعات تیمار و خطای آزمایشی می‌باشد

**، * و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح 1 و 5 درصد و بدون اختلاف معنی‌دار

جدول 3- مقایسه میانگین سطوح مصرف گوگرد بر برخی از خصوصیات شیمیایی خاک در کشت گندم طی سالهای 1392 لغایت 1394

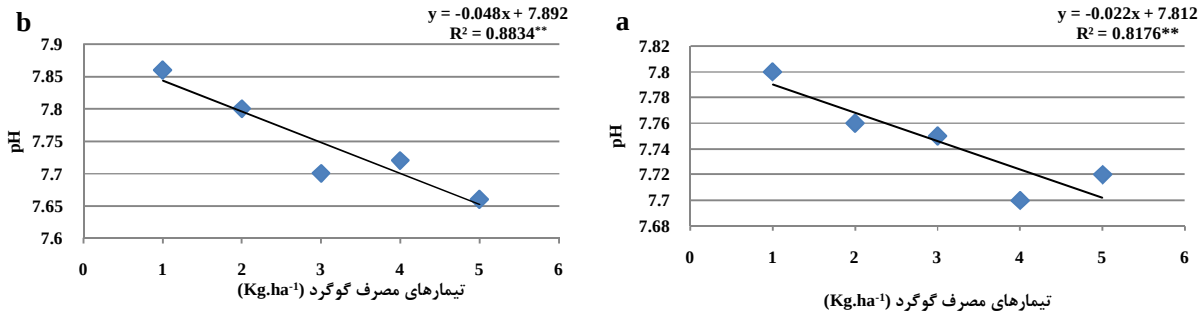
سال	تیمار مصرف کود گوگرد	pH	SO_4^{-2}	P	K	Fe	Mn	Zn	Cu
	Kg.ha^{-1}					mg.Kg^{-1}			
اول	T1(بدون مصرف)	7/8 a	10/117c	7/6 c	230/0 d	2/587 d	7/753 c		
	T2(500)	7/76ab	16/500b	32/133b	247/0b	4/44b	11/580b		
	T3(750)	7/75 ab	20/075 b	31/70 b	285/0 a	4/65 b	12/473 a		
	T4(1500)	7/70 b	28/450 a	34/567 a	247/0 b	5/64 a	11/660 b		
	T5(3000)	7/72 ab	29/250a	34/467 a	239/0 c	3/88 c	11/540 b		
دوم	T1(بدون مصرف)	7/767 a	11/17 e	7/880 c	179/8 d	3/073 b	8/527 c	0/733 d	1/087d
	T2(500)	7/797 b	16/42 d	14/16 b	210/1 b	4/470 a	14/350 ab	1/447 b	1/127 c
	T3(750)	7/03 d	24/56 c	17/12 a	219/2 a	4/813 a	12/600 bc	1/447 b	1/060 e
	T4(1500)	7/723 c	43/39 b	16/89 a	218/8 a	4/753 a	15/610 ab	4/107 a	1/140 b
	T5(3000)	7/660 e	59/50 a	15/890 ab	192/8 c	4/473 a	19/380 a	1/173 c	1/143 a

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد به روش آزمون دانکن می‌باشند

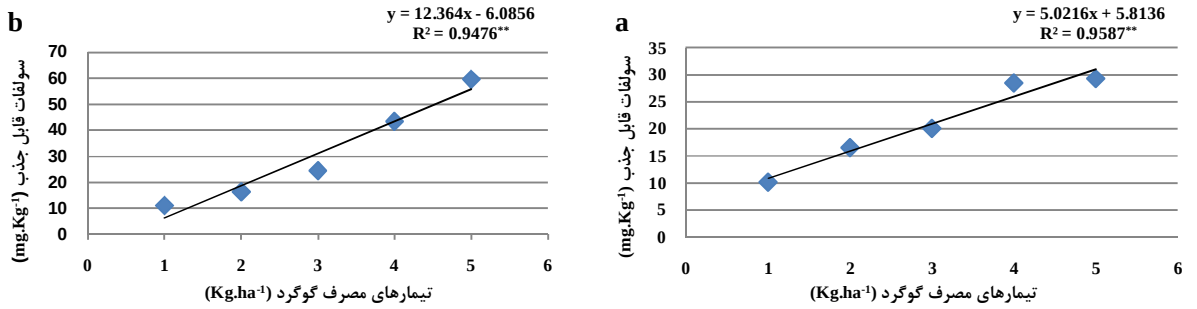
نقش گوگرد در کاهش pH و افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی

مصرف گوگرد و تأثیر آن بر pH خاک

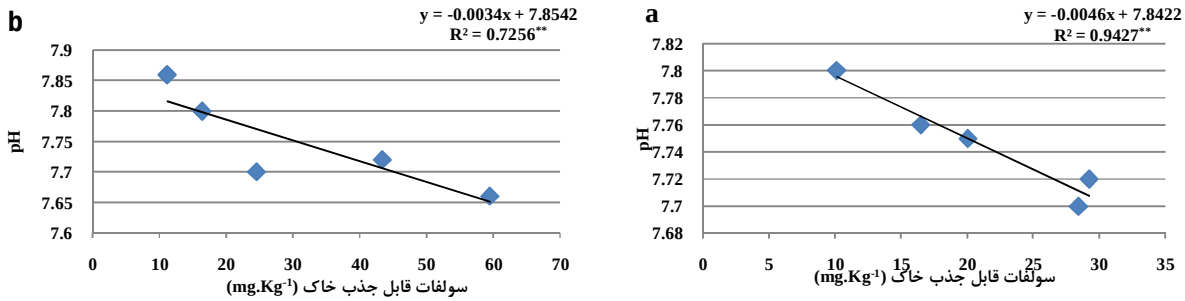
نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که مصرف گوگرد به همراه *تیوباسیلوس* در تمامی سطوح مصرف گوگرد اثر مثبتی بر اکسیداسیون گوگرد و آزادسازی سولفات و کاهش pH داشته‌است. نتایج سال اول نشان داد که مصرف گوگرد به همراه *تیوباسیلوس* باعث افزایش میزان سولفات قابل جذب خاک شد و این افزایش با افزایش مصرف گوگرد بیشتر بود. بیشترین تولید سولفات در سال اول مربوط به تیمار 1500 و 3000 کیلوگرم در هکتار مصرف گوگرد و در سال دوم مربوط به تیمار 3000 کیلوگرم در هکتار مصرف گوگرد بود. همچنین بیشترین میزان کاهش pH در در سال اول مربوط به تیمار 1500 کیلوگرم در هکتار مصرف گوگرد و در سال دوم مربوط به تیمار 3000 کیلوگرم در هکتار مصرف گوگرد بود (جدول3)، که با نتایج بشارتی و صالح راستین (1378) و صیامی و بشارتی (1391) هماهنگی دارد. همچنین مصرف گوگرد در هر دو سال با میزان pH، رابطه رگرسیونی معنی‌دار خطی و معکوس، با غلظت سولفات، رابطه خطی مستقیم در سطح یک درصد (α=%1) نشان داد (شکل 1 و 2) بدین معنی که هرچه مصرف گوگرد بیشتر می‌شود غلظت سولفات بیشتر افزایش می‌یابد. همچنین همبستگی بین pH و غلظت سولفات در هر دو سال نشان داد که میزان pH، همبستگی معنی‌دار خطی و معکوس با غلظت سولفات، در سطح یک درصد (α=%1) داشت. بدین معنی که با افزایش مصرف گوگرد غلظت سولفات افزایش یافته و pH به طور خطی کاهش می‌یابد (شکل 3).



شکل 1- رگرسیون بین مقادیر مختلف مصرف گوگرد با pH خاک در کشت گندم، سال اول (a) دوم (b) (تیمار 1 تا 5 به ترتیب بدون مصرف گوگرد، 500، 750، 1500 و 3000 کیلوگرم گوگرد در هکتار)



شکل 2- رگرسیون بین مقادیر مختلف مصرف گوگرد با سولفات قابل جذب خاک در کشت گندم، سال اول (a) دوم (b) (تیمار 1 تا 5 به ترتیب بدون مصرف گوگرد، 500، 750، 1500 و 3000 کیلوگرم گوگرد در هکتار)



شکل 3- همبستگی بین غلظت سولفات قابل جذب و pH خاک در کشت گندم، سال اول(a) دوم(b)

غلظت فسفر و پتاسیم قابل جذب در خاک

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که حضور *تیوباسیلوس* در تمامی سطوح مصرف گوگرد اثر مثبتی بر روی میزان فسفر قابل جذب داشته‌است. این نتیجه مؤید آن است که باکتری *تیوباسیلوس* با اکسیداسیون گوگرد تأثیر مثبتی بر روی کاهش pH داشته و در نتیجه میزان فسفر قابل جذب را افزایش داده‌است. بیشترین میزان فسفردر خاک با میانگین 34/57 و 34/47 میلی‌گرم در کیلوگرم در سال اول به ترتیب در تیمار 1500 و 3000 کیلوگرم مصرف گوگرد بدست آمد. در سال دوم نیز بیشترین میزان فسفر در خاک با میانگین 17/12 و 16/89 میلی‌گرم در کیلوگرم به ترتیب در تیمار مصرف 750 و 1500 کیلوگرم گوگرد در هکتار بدست آمد. نتایج مقایسه میانگین‌ها در خصوص پتاسیم نیز نشان می‌دهد که حضور *تیوباسیلوس* اثر مثبتی بر روی میزان پتاسیم داشته‌است. نتایج سال اول نشان می‌دهد که میزان پتاسیم قابل جذب تا مصرف 750 کیلوگرم در هکتار گوگرد افزایش معنی داری داشت و پس از آن با افزایش مصرف کاهش یافت. در سال دوم نیز میزان پتاسیم قابل جذب تا مصرف 1500 کیلوگرم در هکتار گوگرد افزایش معنی‌داری داشت و پس از آن با افزایش مصرف کاهش یافت. بیشترین میزان پتاسیم در خاک با میانگین 285 میلی‌گرم در کیلوگرم در تیمار مصرف 750 کیلوگرم گوگرد در هکتار در سال اول بدست آمد (جدول 3).

میزان آهن در خاک

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که حضور *تیوباسیلوس* در تمامی سطوح مصرف گوگرد اثر مثبتی بر روی میزان آهن قابل جذب داشته است. این نتیجه مؤید آن است که باکتری *تیوباسیلوس* با اکسیداسیون گوگرد تأثیر مثبتی بر روی کاهش pH داشته و در نتیجه میزان آهن قابل جذب را افزایش داده‌است. نتایج سال اول نشان می‌دهد که میزان آهن قابل جذب تا مصرف 1500 کیلوگرم در هکتار گوگرد افزایش معنی‌داری داشت و پس از آن با افزایش مصرف کاهش یافت. در سال دوم نیز تمامی سطوح مصرف گوگرد بیشترین میزان آهن قابل جذب را نشان دادند و باهم اختلاف معنی‌داری نداشتند. بیشترین میزان آهن در خاک با میانگین 5/64 میلی‌گرم در کیلوگرم در سال اول در تیمار 1500 کیلوگرم مصرف گوگرد بدست آمد (جدول 3).

میزان منگنز در خاک

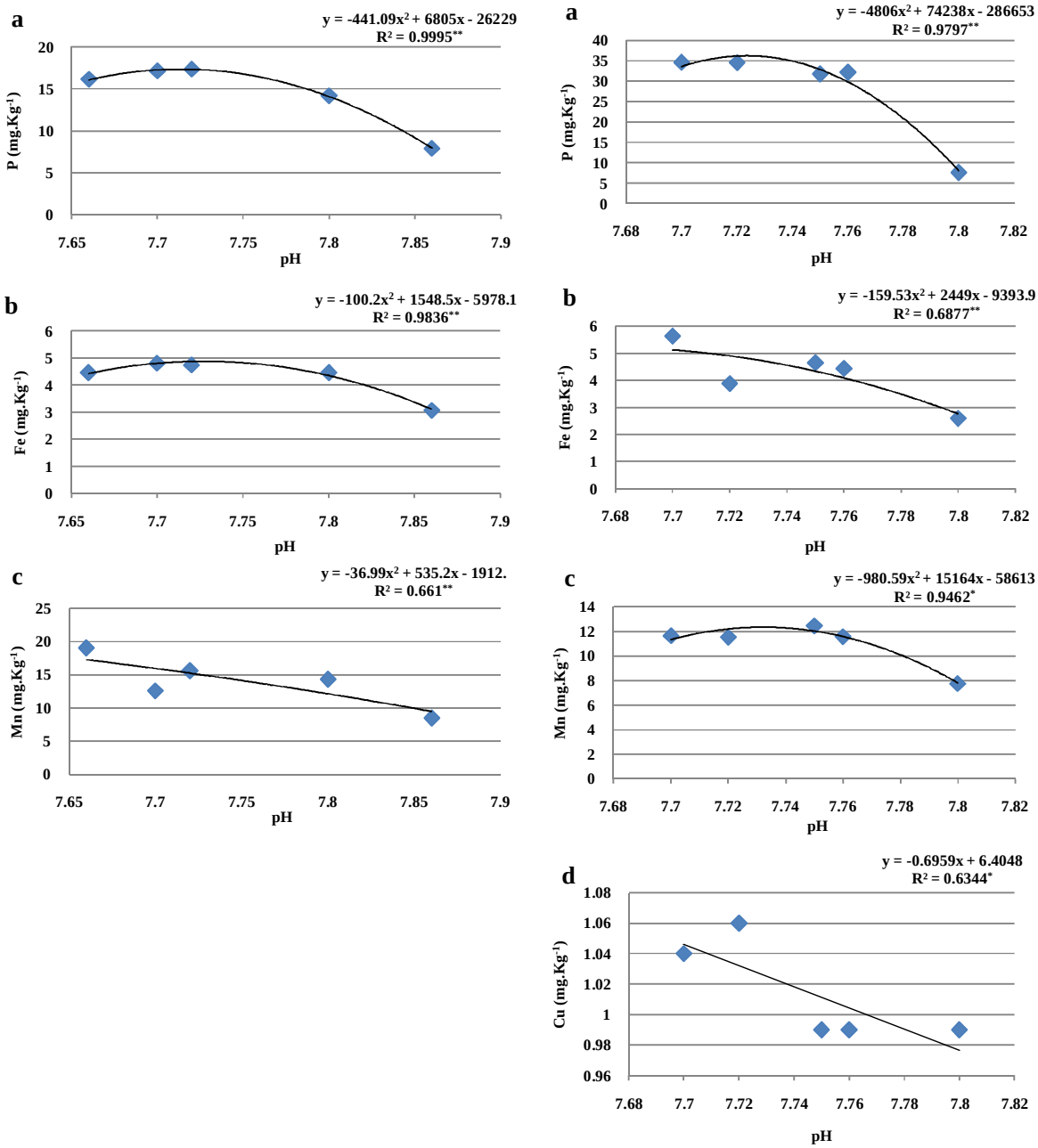
نتایج مقایسه میانگین‌ها در خصوص منگنز قابل جذب در خاک نیز نشان می‌دهد که حضور *تیوباسیلوس* در تمامی سطوح مصرف گوگرد اثر مثبتی بر روی میزان منگنز قابل جذب داشته‌است. این نتیجه مؤید آن است که باکتری *تیوباسیلوس* با اکسیداسیون گوگرد تأثیر مثبتی بر روی کاهش pH داشته و در نتیجه میزان منگنز قابل جذب را افزایش داده است. بیشترین میزان منگنز قابل جذب (به میزان 12/47 میلی‌گرم در کیلوگرم) در سال اول در تیمار مصرف 750 کیلوگرم در هکتار گوگرد بدست آمد و همچنین بیشترین میزان منگنز قابل جذب (به میزان 19/38 میلی‌گرم درکیلوگرم) در سال دوم در تیمار مصرف 3000 کیلوگرم در هکتار گوگرد حاصل شد (جدول 3).

میزان روی و مس در خاک

نتایج مقایسه میانگین‌ها در خصوص روی و مس قابل جذب در خاک نیز نشان می‌دهد که در سال اول بین تیمارهای مصرفی گوگرد تأثیر معنی‌داری مشاهده نشد ولی در سال دوم این اختلاف معنی‌دار بود به طوریکه بیشترین میزان روی قابل جذب (به میزان 4/107 میلی‌گرم در کیلوگرم) حدود پنج برابر تیمار شاهد در تیمار مصرف 1500 کیلوگرم در هکتار گوگرد بدست آمد. همچنین بیشترین میزان مس قابل جذب (به میزان 1/14 میلی‌گرم در کیلوگرم) در تیمار مصرف 3000 کیلوگرم در هکتار گوگرد حاصل شد (جدول 3).

همبستگی بین متغیر pH، و عناصر غذایی قابل جذب خاک نیز در سال اول نشان داد که میزان pH، همبستگی معنی‌دار غیر خطی و معکوس با عناصر قابل

جذب فسفر، آهن، در سطح یک درصد (α=%1) و با منگنز رابطه غیر خطی و معکوس و با مس رابطه خطی و معکوس در سطح پنج درصد (α=%5) داشت. ولی با درصد نیتروژن، پتاسیم و روی همبستگی معنی‌داری مشاهده نشد. در سال دوم نیز میزان pH، همبستگی معنی‌دار غیر خطی و معکوس با عناصر قابل جذب فسفر، آهن، منگنز در سطح یک درصد (α=%1) نشان داد. بدین معنی که با کاهش pH خاک قابلیت جذب این عناصر در خاک به صورت غیر خطی افزیش می‌یابد. ولی با درصد نیتروژن، پتاسیم و روی و مس همبستگی معنی‌داری مشاهده نشد (شکل 4).



شکل 4- همبستگی بین pH خاک و عناصر قابل جذب فسفر(a)، آهن(b)، منگنز(c) و مس(d) قابل جذب در کشت گندم، سال اول(راست) سال دوم(چپ)

بحث

گوگرد عنصری است که تحت شرایط هوازی با اکسیداسیون زیستی تبدیل به سولفات می شود که سبب کاهش pH خاک و حلالیت عناصر غذایی غیر محلول می‌گردد (ترابیلی و همکاران، 2006؛ آنانندهام و همکاران، 2007؛ سیفنتس و لیندمن، 1993؛ ویشتاک و سانتر، 1957). نتایج تحقیق حاضر نشان داد که بین مصرف گوگرد و کاهش pH رابطه رگرسیونی معنی‌داری مشاهده شد و با مصرف گوگرد pH خاک کاهش یافت. و این کاهش با افزایش مصرف گوگرد بیشتر بود. علاوه بر این با کاهش pH خاک، قابلیت جذب عناصر غذایی در خاک افزایش یافت به طوریکه بین کاهش pH و افزایش جذب عناصر غذایی به خصوص فسفر، آهن، منگنز و مس رابطه همبستگی معنی‌داری مشاهده شد که با نتایج تحقیقات محققین دیگر نیز مطابقت دارد. در واقع اسید سولفوریک حاصل از اکسایش سریع گوگرد، با کاهش pH خاک موجب حلالیت ترکیبات فسفاتی نامحلول و عناصر کم مصرف آهن، روی، منگنز و مس می‌شود (حسن و اولسان، 1966؛ دلوکا و همکاران، 1989؛ پاتیرانا و همکاران، 1989؛ خاوازی، 2001).

میزان پتاسیم قابل جذب در سال اول تا مصرف 750 کیلوگرم در هکتار گوگرد افزایش معنی‌داری داشت و پس از آن با افزایش مصرف کاهش یافت. به نظر می‌رسد این امر بدان علت است که افزایش مصرف گوگرد با افزایش غلظت سولفات در خاک باعث افزایش شوری خاک می‌گردد (کاپلان و اورمان، 1998؛ ملک زاده و همکاران، 1394) لذا در مورد پتاسیم، قابلیت جذب این عنصر کاهش می‌یابد. شوری، غلظت کاتیون‌های پتاسیم، کلسیم و منیزیم را در خاک کاهش می‌دهد. و این کاهش در مورد پتاسیم شدیدتر است (دمیرال، 2005؛ چارتزولاکیس و همکاران، 2002). در سال دوم نیز میزان پتاسیم قابل جذب تا مصرف 1500 کیلوگرم در هکتار گوگرد افزایش معنی‌داری داشت و پس از آن با افزایش مصرف کاهش یافت. میزان آهن قابل جذب نیز در سال اول نشان داد که تا مصرف 1500 کیلوگرم در هکتار گوگرد افزایش معنی‌داری داشت و پس از آن با افزایش مصرف کاهش یافت. که این امر بدان علت است که افزایش مصرف گوگرد به بیش از 1500 کیلوگرم در هکتار باعث کمی افزایش pH خاک شده است. لذا در مورد آهن، قابلیت جذب این عنصر را کاهش داده است. pH خاک مهمترین فاکتور در قابلیت جذب آهن در خاک می‌باشد و قابلیت جذب آن در خاک شدیداً وابسته به pH است، به طوری که با یک واحد افزایش در pH خاک، فعالیت Fe^{3+} و Fe^{2+} به ترتیب 1000 و 100 برابر کاهش می‌یابد. بنابراین اکسایش گوگرد باعث کاهش pH خاک و افزایش جذب آهن در خاک می‌گردد. در خاک‌های آهکی مقداری یون بیکربنات در اثر واکنش دی اکسید کربن و آهک تولید می‌شود که این یون با افزایش pH خاک باعث کاهش آهن قابل جذب می‌شود (اودا و مهادین، 2008؛ لیندسی، 1979). بشارتی و صالح راستین (1378) طی آزمایشی بر روی ذرت به همین نتایج دست یافتند و دلیل آن را اینگونه بیان کردند که در اثر بکارگیری گوگرد تلقیح شده با *تیوباسیلوس*، pH خاک کاهش یافته و در نتیجه میزان آهن در خاک افزایش می‌یابد. مدیهش و همکاران (1989) به منظور بررسی اثر گوگرد بر خصوصیات شیمیایی و قابلیت دسترسی عناصر غذایی در خاک‌های آهکی آزمایش گلخانه ای انجام دادند و به سه خاک آهکی که از نظر بافت، مقدار آهک، مقدار فسفر و عناصر کم مصرف با یکدیگر تفاوت داشتند، مقادیر مختلفی گوگرد اضافه کردند.

نتایج نشان داد که در هر سه نوع خاک pH نسبت به شاهد به طور معنی‌داری کاهش یافته و مقدار آهن، مس، منگنز، و فسفر قابل دسترس افزایش معنی‌دار داشته‌است. نورقلی پور و همکاران (1380) گزارش نمودند که در صورت اسیدی کردن آب آبیاری و با کمک باکتری‌های *تیوباسیلوس* و گوگرد بر قابلیت جذب فسفر از منبع خاک فسفات افزوده می‌گردد. نورقلی پور و همکاران (1385) و گودرزی (1383) در تحقیقات جداگانه به ترتیب روی ذرت و سویا و گندم به نتایجی مشابه دست یافتند. ملکوتی و رضایی (1380) 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 پای درختان از 8/2 به 7/8 کاهش یافت و باعث افزایش جذب فسفر و عناصر ریزمغذی گردید. همچنین تأثیر 300 گرم سکوسترین آهن و 10 و 20 کیلوگرم گوگرد به ازاء هر درخت در رفع کلروز هلو مؤثر بود. بعد از یکسال مصرف 10 و 20 کیلوگرم گوگرد، به ترتیب باعث کاهش اسیدیته از 8/2 به 6/6 و 6/4 گردید و بدین‌ترتیب زردبرگی ناشی از کمبود آهن بهبود یافت (ملکوتی، 1382).

بشارتی (1377) در آزمایش گلخانه‌ای در خاک آهکی که بر روی ذرت انجام شد نشان داد که مصرف 0/5 درصد وزنی گوگرد عنصری در مقایسه با شاهد pH خاک را 1/3 واحد کاهش داد. همچنین فسفر قابل جذب

خاک بر اثر کاهش pH، از 4/99 به 12/87 و آهن قابل جذب نیز را از 2/7 به 3/82 میلی‌گرم در کیلوگرم افزایش یافت. بشارتی و صالح راستین (1378) نیز گزارش کردند، بیشترین کاهش pH و افزایش جذب فسفر و آهن توسط گیاه ذرت در اثر کاربرد گوگرد به همراه *تیوباسیلوس* حاصل شد. اخوان و فلاح نصرت آباد (1392) با کاربرد گوگرد به میزان 0، 200، 600، 800 و 1000 کیلوگرم در هکتار، کاهش pH را به میزان 1/05 واحد در مقایسه با خاک اولیه گزارش کردند. همچنین در این تحقیق فسفر قابل جذب به میزان 33/33 درصد در مقایسه با شاهد افزایش یافت. در تحقیقی دیگر توسط صیامی و بشارتی (1391) با بررسی روند آزادسازی آهن و روی بر اثر اکسایش زیستی گوگرد که در فواصل 0، 15، 30، و 60 روز اندازه‌گیری شد، نشان دادند که pH خاک به موازات افزایش گوگرد مصرفی پس از 60 روز کاهش یافت و با 0/33 واحد کاهش از 7/6 به 7/27 رسید و مصرف گوگرد باعث افزایش معنی‌داری در غلظت سولفات و قابلیت جذب آهن و روی شد. کاپلان و اورمان (1998) با مصرف گوگرد به میزان 0، 500، 1000 و 1500 کیلوگرم در هکتار به صورت آزمایش گلخانه‌ای در یک خاک آهکی نشان دادند که pH به طور معنی‌داری کاهش یافت و به ترتیب از 7/9 در شاهد به 7/67، 7/62 و 7/55 در تیمارهای مصرفی رسید. همچنین فسفر قابل جذب نیز به طور معنی‌داری افزایش یافت و از 2/45 در شاهد به ترتیب به 3/51، 4/05 و 4/33 در تیمارهای مصرفی رسید. در تحقیقی با بکاربردن گوگرد در شرایط گلخانه به میزان 20 گرم در کیلوگرم گوگرد، pH خاک 3 واحد کاهش یافت و حلالیت مس و روی به طور معنی‌داری بعد از 64 روز افزایش یافت (وانگ و همکاران، 2008). در آزمایش گلخانه‌ای دیگر در خاک‌های شنی که بر روی دو محصول ذرت و پیاز انجام شد تأثیر *مایکوریزا* و *تیوباسیلوس* مورد بررسی قرار گرفت نتایج نشان داد که استفاده همزمان از *مایکوریزا* و *تیوباسیلوس*، غلظت گوگرد، نیتروژن، فسفر و پتاسیم را در ناحیه ریزوسفر را بعد از 60 و 90 روز بعد از کشت به طور معنی‌داری افزایش داد (محمد و همکاران، 2014).

نتیجه‌گیری

مصرف گوگرد به همراه *تیوباسیلوس* با تولید اسیدسولفوریک که در نتیجه اکسایش آن حاصل شد باعث تولید سولفات در خاک شد و این امر باعث کاهش pH و افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی از جمله فسفر، پتاسیم، آهن، منگنز، روی و مس در خاک گردید. همبستگی معنی‌دار بین سولفات قابل جذب و pH خاک نیز نشان می‌دهد که با افزایش غلظت سولفات (SO_4^{-2}) قابل جذب در خاک، pH کاهش می‌یابد و این کاهش، با افزایش گوگرد مصرفی که متعاقب آن سولفات بیشتری نیز تولید می‌گردد، بیشتر است. همبستگی معنی‌دار بین pH و عناصر غذایی قابل جذب خاک نیز مؤید آن است که با افزایش گوگرد مصرفی و تولید سولفات بیشتر، pH بیشتر کاهش یافته و قابلیت جذب عناصر غذایی خاک (فسفر، آهن، منگنز و مس) نیز بیشتر افزایش می‌یابد.

فهرست منابع:

1. 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، جلد 3، شماره 1، تهران، ایران.
2. بشارتی، ح. 1377. بررسی اثرات کاربرد گوگرد همراه با گونه‌های *تیوباسیلوس* در افزایش جذب برخی از عناصر غذایی در خاک. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران. ایران
3. بشارتی، ح. و ن. صالح راستین. 1378. بررسی تأثیر کاربرد مایه تلقیح *تیوباسیلوس* همراه با گوگرد در افزایش قابلیت جذب فسفر. مجله علوم خاک و آب، جلد 13، شماره 1، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران.
4. صیامی، آ. و ح. بشارتی. 1391. روند آزادسازی آهن و روی بر اثر اکسایش زیستی گوگرد. مجله علوم خاک و آب، جلد 26، شماره 3، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران.
5. عبادی، ع. 1368. گوگرد و مصارف آن در کشاورزی. جهاد دانشگاهی، تهران، ایران.
6. علی‌احیایی، م. و ع. ا. بهبهانی. 1372. شرح روش‌های تجزیه شیمیایی خاک. نشریه فنی شماره 893. موسسه 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، جلد 17، شماره 1، ص 69-79.
8. گودرزی، ک. 1383. بررسی اثرات گوگرد و کمپوست بر افزایش جذب عناصر غذایی و عملکرد گندم. دفتر طرح خودکفایی گندم. روش‌های نوین تغذیه گندم (مجموعه مقالات). وزارت جهاد کشاورزی، تهران، ایران.
9. لطف الهی، م.، م. ج. ملکوتی، ک. خاوازی و ح. بشارتی. 1379. روشهای مصرف مستقیم خاک فسفات در افزایش عملکرد ذرت علوفه‌ای در کرج. مجله خاک و آب. ویژه نامه *تیوباسیلوس*. جلد 12 شماره 11. صفحه 55 تا 59.
10. نورقلی‌پور، ف.، ک. خاوازی، ح. بشارتی و ع. ا. فلاح. 1385. بررسی تأثیر کاربرد خاک فسفات، گوگرد و باکتری *تیوباسیلوس* بر عملکرد کمی و کیفی سویا و اثرات باقیمانده آن بر ذرت. مجله خاک و آب. جلد 20 شماره 1. صفحه 122 - 132.
11. نورقلی‌پور، ف.، م. ج. ملکوتی و ک. خاوازی. 1380. روش‌های کاربری مستقیم خاک فسفات در مزارع و باغ‌های کشور. نشریه فنی شماره 191، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، نشر آموزش کشاورزی، کرج، ایران.
12. ملک زاده، ط.، ح. بشارتی، غ. ثوابقی. 1394. تاثیر مصرف گوگرد و باکتری *تیوباسیلوس* بر فراهمی برخی عناصر غذایی در خاک‌هایی با ظرفیت بافری مختلف. نشریه زیست شناسی خاک، جلد 3، شماره 2، ص 187-202.
13. 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.
14. 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.
15. Anandham, R., Sridar, R., Nalayini, P., Poonguzhali, S., Madhaiyan, M., 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*. Microbiol. Res. 162: 139-153.
16. Bardiya, M.C., N. Naruka and S.R. Vyas. 1972. Effect of inoculation of *Thiobacillus* on the crop (*Medicago sativa* L.) grown in alkali soils. Haryana Agricultural University Journal of Research. 2 (4):286-290.
17. Bharathi, C. and S. Poongothai. 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
18. Brady, N. C. and Weil. R. R. 2002. The nature and properties of soil, 13th ed. Springer Netherlands, 249 pp.
19. Chartzoulakis, K., Loupassaki, M., Bertaki, M. and I. Androulakis. 2002. Effects of NaCl salinity on growth, ion content and CO2 assimilation rate of six olive cultivars. Scientia Horticulturae, 96:235-247.
20. Cifuentes, F. R., Lindman, W. C. 1993. Organic matter stimulation of elemental sulfur oxidation in a calcareous soil. Soil Microbiology and Biochemistry 57: 727-731.
21. Dawood, F., S. M. Al-Omaqri, and N. Murtatha. 1985. High level of sulfur affecting availability of some micronutriens in calcareous soil. Proceeding of Secondary Regional Conference on sulfur and its usage in Arab countries. pp. 55-68.
22. Deluca, T.H., E.O. Skogley and R.E. Engle. 1989. Band-applied elemental sulfur to enhance the phytoavailability of phosphorous in alkalin calcareous soils. Biol. Fertil. Soils. 7: 346-350.
23. Demiral, M.A. 2005. Comparative response of two olive (*Olea europaea* L.) cultivars to salinity. Turkish Journal of Agriculture, 29:267-274.

24. Donati, E., Pogliani, C. and J. Boiardi. 1997. Anaerobic leaching of covellite by *Thiobacillus* ferrooxidans. Journal of Applied Microbiology Biotechnology. 47: 636-639.
25. Hassan, N. And R.A. Olsan. 1966. Influence of applied sulfur on availability of soil nutrients for corn (*Zea mays* L.) nutrition. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 30: 284-286.
26. Jaggi, R.C., M.S. Aulakh, and R. Sharma. 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.
27. Kaplan, M. and S. Orman. 1998. Effect of elemental sulfur an sulfur containing waste in a calcareous soil in turkey. J. Plant Nutrition. 21 (8): 1655-1665.
28. Kaya, M., Z. Kucukyumuk and I. Erdal. 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.
29. Khavazi, K., F. Nougholipour and M. J. Malakouti. 2001. Effect of *Thiobacillus* and phosphate solubilizing bacteria on increasing P availability from rock phosphate for corn. International Meeting on Direcct Application of Rock Phosphate and related Tecnology, Kuala Lumpur, Malaysia.
30. Lindsay, W.L. 1979. Chemical Equilibria in Soils. John Wiley & Sons, New York.USA.
31. Modaihsh, S., Al-mustafa, W. A. and Metwally A. E.. 1989. Effect of elemental sulfur on chemical changes and nutrient availability in calcareous soils. Plant and Soil. 116:95-101.
32. Mohamed, A. A., W. E. E. Eweda, A. M. Heggo and E. A. Hassan. 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 green house conditions. Annals of Agricultural Sciences. 59(1): 109–118.
33. Obreza, T.A., Alva, A.K., Calvert, D.V. 2003. Citrus fertilizer management on calcareous soils. University of Florida IFAS Extension, pp: 10.
34. Ouda, B. A. and Mahadeen, A. Y. 2008. Effect of fertilizers on growth, yield, yield components, quality and certain nutrient contents in broccoli (*Brassica oleracea*). Int. J. Agr. Biol. 10: 627-632.
35. Pathiratna, L. S. S., U. P. De, S.Waidyanatha, and O. S. Peries. 1989. The effect of appatite and elemental sulfur mixtures on growth and P content of Centrocema pubescens. Fertilizer Research. 21: 37-43.
36. Skwierawska, M., L. Zawartka, B. Zawadzki. 2008. The effect of different rates and forms of sulfur applied on changes of soil agrochemical properties. Plant Soil and Environment. 54: 171-177.
37. Stevenson, F. J. 1967. Organic acids in soil. In D. A. McLaren and G. H. Peterson, eds. Soil Biochemistry, pp. 119-146. New York, USA, Marcel Dekker Inc.
38. Tabatabai, M.A. 1986. Sulfur in agriculture. Am. Soc. Of Agronomy Inc., Madison, wis. U.S.A.
39. 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.
40. Tate, R. L. 1995. The sulfur and related biogeochemical cycle. Soil Microbiology. pp. 359-372.
41. Tisdale, S.L., W. L. Nelson, J. D. Beaton and J. L. Havlin. 1993. Soil Fertility and Fertilizers. 5th ed. Mcmillon Publishing Co., New York.
42. Vishniac, W. and Santer, M.1957. The *Thiobacilli*. Bacteriol. Rev., 21: 195-213.

43. Wang , Y. P., Q. B. Li, W. Hui, J. Y., Shi, Q. Lin, XY. Chen and .X. Chen. 2008. Effect of sulphur on soil Cu/Zn availability and microbial community composition. Journal of Hazardous Materials. 159(2–3): 385–389.
44. Yang, Z., S. Haneklaus, B.R. Singh and E. Schnug. 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
45. 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 nutrients uptake by wheat

S. Norouzi[1], A. Sohrabi, K. Khavazi and H. R. Matinfar
PhD Student of Soil Science Department, Lorestan University, Khoramabad, Iran;
E-mail: Norouzi_sa85@yahoo.com
Assistant Professor. Soil Science Department, Lorestan University, Khoramabad, Iran;
E-mail: Akbarsohrabi.as@gmail.com
Associate Professor. Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran; E-mail: Kazemkhavazi@yahoo.com
Associate Professor. Soil Science Department, Lorestan University, Khoramabad, Iran;
E-mail: Matinfar44@gmail.com
Received: October, 2016 & Accepted: July, 2017

Abstract

Nutrient status in some soils shows that in some high-nutrient soils, nutrient availability is not enough for optimum growth and development of plants because of high soil pH. For that reason, in arid and semi-arid regions, organic matter and acid compounds is added to reduce the soil pH. Elemental sulfur (S) is the most important compound used to acidify soil. In the suitable conditions of humidity, temperature, ventilation, elemental sulfur is being converted to sulfuric acid by microorganisms. This study was carried out to investigate the effects of sulfur on nutrient availability by wheat in a randomized completely block design with five levels of sulfur (no, 500, 750, 1500 and 3000 $Kgha^{-1}$ (as elemental sulfur)) in three replications for two years under farm conditions. First and second year results showed that the different treatment had significant effects ($p<0.01$) on soil pH, sulfate concentration, availability of phosphorus, potassium, iron and manganese. Moreover, in second year, the results indicated that the availability of zinc ($p<0.01$) and the availability of copper also increased significantly ($p<0.05$). The most phosphorus (34.567 $mgKg^{-1}$) and iron (5.64 $mgKg^{-1}$) content obtained in treatment with 1500 $Kgha^{-1}$ of sulfur in the first year. Whereas the most zinc (4.107 $mg.Kg^{-1}$) obtained in 1500 $Kgha^{-1}$ of Sulfur treatment and the most manganese (19.38 $mgKg^{-1}$) and copper (1.143 $mgKg^{-1}$) obtained in 3000 $Kg.ha^{-1}$ Sulfur treatment in second year.

Keyword: Nutrient availability, Sulfur, Wheat

[1] Corresponding author: Department of Soil Science, College of Agricultural and Natural Resources, Lorestan University, Khoramabad, Iran