

تأثیر گوگرد عنصری و باکتری تیوباسیلوس بر برخی از ویژگی‌های شیمیایی خاک و جذب عناصر غذایی توسط گیاه ذرت (*Zea mays* L.)

جلال قادری^{۱*}، محمد جعفر ملکوتی^۲، کاظم خاوازی^۳، محمد حسین داوودی^۳

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۵/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۲/۱۱)

چکیده

پایین بودن قابلیت دسترسی به عناصر غذایی در خاک‌های آهکی یکی از مهم‌ترین عوامل بروز کمبود آن‌ها در گیاهان می‌باشد. لذا ارائه راهکارهای مدیریتی با هدف افزایش قابلیت دسترسی به عناصر غذایی توسط گیاهان ضروری می‌باشد. در این راستا پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر گوگرد عنصری همراه با باکتری تیوباسیلوس بر برخی از ویژگی‌های شیمیایی خاک (pH، هدایت الکتریکی، فسفر، گوگرد، روی و آهن قابل استفاده) و جذب عناصر غذایی توسط گیاه ذرت (رقم سینگل کراس ۷۰۴) برنامه‌ریزی شد. برای این منظور آزمایشی شامل چهار تیمار مصرف گوگرد عنصری (صفر، ۲۵۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) همراه با باکتری تیوباسیلوس، در سه تکرار و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، در چهار مزرعه با مقدار گوگرد قابل جذب متفاوت (۷، ۱۳، ۱۸ و ۲۷ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، در مناطق مختلف استان کرمانشاه (چغا نرگس، ایستگاه تحقیقاتی ماهیدشت، نجف‌آباد و قمشه) و در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴، اجرا شد. نمونه‌برداری از خاک در دو مرحله از رشد ذرت (شش تا هفت برگی و قبل از ظهور گل‌های نر) و پس از برداشت آن انجام شد. نتایج نشان داد که در تمام خاک‌های مورد آزمایش، تأثیر مقادیر مختلف گوگرد عنصری همراه با باکتری تیوباسیلوس بر کاهش pH خاک، افزایش هدایت الکتریکی، فسفر، گوگرد، آهن و روی قابل استفاده خاک در مرحله شش تا هفت برگی، قبل از ظهور گل‌های نر و پس از برداشت ذرت در مقایسه با تیمار شاهد در مزارع چغانرگس، ایستگاه تحقیقاتی ماهیدشت اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد ($p < 0.01$) و در نجف‌آباد و قمشه در سطح پنج درصد ($p < 0.05$) وجود داشت. کم‌ترین مقدار pH خاک و بیش‌ترین مقدار هدایت الکتریکی، فسفر، گوگرد، آهن و روی قابل استفاده در تمام مزارع آزمایشی در مرحله قبل از ظهور گل‌های نر و با مصرف ۱۰۰۰ کیلوگرم گوگرد عنصری در هکتار مشاهده شد. به‌طوریکه pH خاک چغانرگس، ایستگاه تحقیقاتی ماهیدشت، نجف‌آباد و قمشه به ترتیب ۰/۶۲، ۰/۶۰، ۰/۳۳ و ۰/۲۴ نسبت به شاهد کاهش یافت. هدایت الکتریکی نیز ۱/۰۱، ۰/۹۱، ۰/۶۹ و ۰/۷۰ دسی‌زیمنس بر متر، فسفر ۲/۴، ۳/۷، ۱/۵ و ۱، گوگرد ۱۸، ۱۶، ۱۵/۷ و ۲۴، آهن ۱/۴، ۱/۴۸، ۱/۳ و ۰/۹ و روی قابل استفاده ۰/۵۱، ۰/۵۸، ۰/۳۴ و ۰/۱۸ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک نسبت به شاهد به ترتیب در خاک‌های مذکور افزایش یافت. پس از برداشت محصول، به‌علت کاهش مقدار اکسیداسیون گوگرد و ظرفیت بافری، pH خاک و عناصر غذایی به‌طور تدریجی به مقدار اولیه نزدیک شدند. هم‌چنین با مصرف گوگرد عنصری مقدار جذب عناصر غذایی (نیترژن، فسفر، گوگرد، آهن و روی) به‌طور معنی‌داری در دانه ذرت در هر چهار مزرعه افزایش یافت و بیش‌ترین مقدار جذب این عناصر با مصرف ۱۰۰۰ کیلوگرم گوگرد عنصری در هکتار همراه با باکتری تیوباسیلوس بود.

واژه‌های کلیدی: pH، آهن، روی، فسفر، گوگرد، هدایت الکتریکی

۱- دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس و عضو هیات علمی بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران (مکاتبه کننده).

۲- استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، ایران

۳- عضو هیات علمی مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران

*پست الکترونیک: ghaderij@yahoo.com

مقدمه

مقدار کم عناصر غذایی در محصولات کشاورزی یکی از عوامل سوء تغذیه در جامعه است (Mayer *et al.*, 2008). پایین بودن قابلیت دسترسی به عناصر غذایی یکی از مهم‌ترین عوامل بروز کمبود آن‌ها در گیاهان می‌باشد که در خاک‌های آهکی عمدتاً متأثر از مقدار آهک و pH بالای خاک است (Kaya *et al.*, 2009; EL-Fatah & Khaled, 2010). به خوبی مشخص شده است که فراهمی عناصر غذایی در خاک بر عملکرد و اجزای آن در گیاهان تأثیر می‌گذارد (Ye *et al.*, 2011).

کوددهی و افزودن اصلاح‌کننده‌های اسیدی از روش‌های رایج در خاک‌های با pH بالا، برای افزایش حلالیت و قابلیت استفاده از عناصر غذایی و بهبود عملکرد گیاهان می‌باشند (Karimizarchi *et al.*, 2014a). امروزه به دلیل قیمت بالا و اثرات مخرب مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی بر محیط زیست و کمیّت و کیفیت محصولات کشاورزی، استفاده از گوگرد عنصری به‌عنوان یک عنصر غذایی و اسیدی‌کننده خاک، نقش آن در اصلاح خاک و تولید محصولات کشاورزی مورد توجه زیادی قرار گرفته است (Erdal & Tarakcioglu, 2000). گوگرد پس از عناصر پرمصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم چهارمین عنصر عمده مورد نیاز اکثر گیاهان زراعی می‌باشد. این عنصر یک جزء تشکیل‌دهنده اسیدهای آمینه سیستمین و متیونین و بخشی از پروتئین‌ها است که نقش مهمی را در ساخت ویتامین‌ها و کلروفیل در سلول‌های گیاهی ایفا می‌کند (Marschner, 1995) و در نتیجه کمبود آن، رشد گیاهان به تأخیر و عملکرد کمی و کیفی آن‌ها کاهش می‌یابد (Motior *et al.*, 2011). اثربخشی گوگرد عنصری بستگی به مقدار اکسیداسیون آن داشته که فرآیندی شیمیایی و بیولوژیکی است. اکسیداسیون گوگرد عنصری در خاک‌های آهکی تحت تأثیر عوامل متعددی مانند اندازه گوگرد عنصری، رطوبت خاک، درجه حرارت، pH، مقدار عناصر غذایی و فعالیت‌های میکروبی در خاک قرار می‌گیرد (Janzen & Bettany, 1987). مصرف گوگرد و تولید اسیدسولفوریک در نتیجه اکسایش آن، باعث کاهش pH خاک، تأمین سولفات مورد نیاز گیاهان، افزایش قابلیت جذب فسفر و عناصر کم‌مصرف در خاک‌ها، مقدار کلروفیل و تشکیل گره در ریشه‌ها و نهایتاً عملکرد گیاهان می‌شود (El-Kholy *et al.*, 2014; Gholami & Ansori, 2014).

2015). اردال و همکاران (Erdal *et al.*, 2000) گزارش کردند که با مصرف گوگرد عنصری، علاوه بر کاهش pH خاک بین 0/11 الی 0/37 واحد، غلظت و مقدار جذب فسفر و عملکرد ذرت افزایش یافت. با مصرف گوگرد عنصری در مراحل مختلف رشد گندم آبی، pH خاک در مراحل جوانه‌زنی و ساقه رفتن به‌طور معنی‌داری کاهش و هدایت الکتریکی خاک افزایش و سپس به تدریج در مرحله بلوغ، آن‌ها به حالت اولیه نزدیک شدند (EL-Fatah & Khaled, 2010). کریمی و همکاران (Karimi *et al.*, 2012) گزارش کردند که کم‌ترین مقدار pH و بیش‌ترین مقدار فسفر قابل استفاده با مصرف 4500 کیلوگرم در هکتار گوگرد و 50 تن در هکتار کود کمپوست حاصل شد. هم‌چنین کریمی زارچی و همکاران (Karimizarchi *et al.*, 2014a) نیز گزارش کردند که با مصرف گوگرد عنصری pH از 7/03 به 6/29 کاهش و منگنز و روی قابل استفاده در خاک به ترتیب 0/38 و 0/91 درصد افزایش یافت. با توجه به آهکی بودن خاک‌های استان کرمانشاه، خطرات زیست‌محیطی مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی و تولید سالانه نزدیک بیش از دو میلیون تن گوگرد مازاد در صنایع گاز و نفت کشور، تحقیقات گسترده‌تری در خصوص نقش گوگرد عنصری در تأمین نیازهای غذایی ذرت با توجه به سطح زیرکشت آن (در سال زراعی 95-1394 برابر 16 هزار هکتار) صورت گیرد. لذا هدف از اجرای این پژوهش بررسی تأثیر گوگرد عنصری همراه با باکتری تیوباسیلوس بر تغییرات pH، هدایت الکتریکی، فسفر، گوگرد، روی و آهن قابل استفاده در خاک‌های زیرکشت ذرت و جذب عناصر غذایی توسط آن در چهار منطقه از خاک‌های این استان با گوگرد قابل جذب متفاوت بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی 95-1394 و در چهار منطقه استان کرمانشاه (چغانرگس، ایستگاه تحقیقاتی ماهیدشت، نجف‌آباد و قمشه) که خاک‌های مزارع آزمایشی از مقادیر مختلف گوگرد قابل جذب (7، 13، 18 و 27 میلی‌گرم در کیلوگرم) برخوردار بودند، روی گیاه ذرت دانه‌ای رقم سینگل کراس 704 انجام شد. این آزمایش شامل چهار تیمار گوگرد عنصری (صفر، 250، 500 و 1000 کیلوگرم در هکتار) همراه با مصرف باکتری تیوباسیلوس، بود که در

غذایی آماده شد که توسط آب معمولی و سپس با آب مقطر شستشو داده و در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک و توسط آسیاب پودر شدند. سپس مقدار ۰/۵ گرم از نمونه آسیاب شده به روش هضم مرطوب روی اجاق الکتریکی در دمای ۲۰۰ الی ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده و نیتروژن کل به روش کجلدال (Buresh *et al.*, 1982)، فسفر به روش طیف سنجی و با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۷۰ نانومتر، گوگرد به روش کدورت سنجی و با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۲۰ نانومتر، آهن و روی به روش خاکستر کردن خشک و با دستگاه جذب اتمی (Ryan *et al.*, 2002) قرائت شدند. مقدار جذب عناصر غذایی بر حسب کیلوگرم در هکتار برای نیتروژن، فسفر و گوگرد و برای آهن و روی بر حسب گرم در هکتار از حاصل ضرب عملکرد در غلظت عناصر غذایی محاسبه شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C و مقایسه داده‌ها با روش دانکن در سطح پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه خاک‌های محل اجرای آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است. بررسی نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که کاربرد گوگرد عنصری همراه با باکتری‌های تیوباسیلوس در خاک، سبب ایجاد تغییرات معنی‌داری در متغیرهای اندازه‌گیری شده در خاک (pH خاک، قابلیت هدایت الکتریکی، گوگرد، فسفر، آهن و روی قابل استفاده در خاک) نسبت به تیمار شاهد (بدون مصرف گوگرد) شده است. همچنین با افزایش سطوح گوگرد، روند صعودی غلظت فسفر، گوگرد، آهن و روی قابل جذب نیز در خاک‌های مورد آزمایش مشاهده شد.

pH خاک: نتایج آزمایش نشان داد که تیمارهای مختلف مصرف گوگرد عنصری در خاک‌های مورد آزمایش باعث کاهش معنی‌داری pH خاک‌های چغانرگس، ماهیدشت (در سطح یک درصد) و نجف‌آباد و ماهیدشت (در سطح پنج درصد) در خاک‌های زیر کشت ذرت در مراحل مختلف رشد آن در مقایسه با شاهد شدند (جدول ۳). در خاک‌های چغانرگس، ماهیدشت، نجف‌آباد و قمشه، بیش‌ترین مقدار کاهش pH خاک با تیمار ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد عنصری در مرحله قبل از ظهور گل‌های

سه تکرار و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی به اجرا درآمد. قبل از کاشت یک نمونه خاک مرکب از عمق صفر الی ۳۰ سانتی‌متری از هر چهار مزرعه برای تعیین ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک تهیه که نتایج تجزیه آن‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است. گوگرد عنصری به‌صورت پودری بر اساس تیمارهای کودی همراه با باکتری تیوباسیلوس قبل از کاشت کاملاً با خاک مخلوط شد. در این آزمایش به‌ازای هر ۱۰۰ کیلوگرم کود گوگرد مصرفی در هکتار، چهار کیلوگرم باکتری تیوباسیلوس از گونه *T. neapolitanous* که حامل آن پرلیت و توسط بخش تحقیقات بیولوژی موسسه تحقیقات خاک و آب تهیه شده بود، استفاده شد. کاربرد کودهای شیمیایی نیتروژنه و فسفاته بر اساس تجزیه خاک و کود حیوانی پوسیده شده به مقدار پنج تن در هکتار به‌طور یکنواخت در تمام تیمارها و ۲۰ روز قبل از کاشت مصرف شدند. هر کرت ۱۶ مترمربع (چهار متر طول و چهار متر عرض) با پنج ردیف، فاصله فاروها و بذور به‌ترتیب از هم ۷۵ و ۱۷ سانتی‌متر بود. آبیاری در هر چهار مزرعه با استفاده از روش بارانی بود. سایر عملیات زراعی شامل وجین علف‌های هرز، تنک کردن و مبارزه با آفات و بیماری‌ها بر اساس نیاز انجام شد. همچنین نمونه‌برداری از خاک در سه مرحله برای تعیین pH، هدایت الکتریکی، فسفر، گوگرد، روی و آهن قابل استفاده انجام شد. نمونه-برداری اول از خاک در مرحله رشد سریع (شش تا هفت برگی)، نمونه‌برداری دوم در آغاز گلدهی (قبل از ظهور گل‌های نر) و نمونه‌برداری سوم در مرحله رسیدن فیزیولوژیکی (پس از برداشت) ذرت بود. در نمونه‌های خاک، بافت به روش هیدرومتری (Bouyoucos, 1962)، کربن آلی خاک به روش والکلی و بلک (Walkley & Black, 1934)، pH گل اشباع به‌وسیله الکتروود شیشه‌ای (McLean, 1982)، هدایت الکتریکی عصاره اشباع با دستگاه هدایت‌سنج (Black *et al.*, 1965)، فسفر قابل جذب با روش اولسن (Olsen *et al.*, 1954)، آهن و روی با عصاره‌گیر DTPA (Lindsay & Norvell, 1978) و با دستگاه جذب اتمی و گوگرد به روش منو کلسیم فسفات (Fox *et al.*, 1964) اندازه‌گیری شد. در زمان برداشت برای حذف اثر حاشیه‌ای سه ردیف وسط با حذف ۰/۵ متر از هر انتها برداشت شدند. پس از برداشت محصول و محاسبه عملکرد، نمونه‌های دانه برای اندازه‌گیری عناصر

که خاک مزرعه چغانرگس دارای مقدار آهک کم‌تر و ماده آلی بیش‌تری در مقایسه با سایر مزارع می‌باشد که ماده آلی آن باعث افزایش فعالیت ریزجانداران و در نتیجه مقدار اکسیداسیون گوگرد و کاهش بیش‌تر pH خاک شد.

نر بود که مقدار آن به ترتیب ۰/۶۲، ۰/۶۰، ۰/۳۳ و ۰/۲۴ واحد نسبت به شاهد کاهش یافت. در حضور باکتری‌های تیوباسیلوس، گوگرد در خاک اکسید شده و با تولید اسید سولفوریک باعث کاهش pH خاک می‌شود. مشاهده شد

جدول ۱- بعضی از ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک‌های مورد مطالعه

Table 1. Some physical and chemical properties of used soils in this study

Soil Texture	Zn	Fe	S	P	OC	Total N	CaCO ₃	EC** (dS m ⁻¹)	pH*	Location
	mg kg ⁻¹				(%)					
Silty clay	0.8	6.30	7	13	1.17	0.11	16	0.56	7.8	Chogha Narges
Silty clay loam	0.7	7.30	13	9.6	1.14	0.11	25	0.6	7.9	Mahidasht
Silty clay loam	0.92	7.7	18	11	1.06	0.1	30	0.85	7.8	Najaf Abad
Silty clay	0.95	7.50	27	15	0.97	0.09	35	1	7.9	Ghomsheh

*گل اشباع (saturated paste) **عصاره گل اشباع (saturated paste extract).

مزرعه‌ای، بیش‌ترین کاهش pH خاک در ۱۰ هفتگی و در شرایط گلخانه‌ای در پنج هفتگی بوده و این در نتیجه خنثی شدن کربنات‌های آزاد در خاک می‌باشد که بعد از آن مجدداً افزایش می‌یابد. نتایج این پژوهش نشان داد که خاکی که دارای مقدار گوگرد قابل جذب بیش‌تری بوده (خاک قمشه)، کاربرد مقادیر مختلف گوگرد عنصری در آن بر کاهش pH خاک، تأثیر کم‌تری داشته که این نتایج با پژوهش‌های حامد و همکاران (Hammad *et al.*, 2007) مطابقت داشت.

هدایت الکتریکی خاک: مصرف گوگرد عنصری باعث افزایش معنی‌داری شوری خاک‌های چغانرگس و ماهیدشت (در سطح آماری یک درصد) و در نجف آباد و قمشه (در سطح پنج درصد) در خاک‌های زیر کشت ذرت دانه‌ای در مراحل مختلف رشد آن در مقایسه با شاهد شد (جدول ۳). در خاک‌های چغانرگس، ماهیدشت، نجف‌آباد و قمشه بیش‌ترین مقدار هدایت الکتریکی خاک با مصرف ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد عنصری در مرحله قبل از ظهور گل‌های نر بود که مقدار آن به ترتیب ۱/۰۱، ۰/۹۱، ۰/۶۹ و ۰/۷۰ دسی زیمنس برمتر نسبت به شاهد افزایش یافت. در اثر اکسایش گوگرد در خاک اسید سولفوریک تولید شده با کربنات و بی‌کربنات‌های خاک (به‌ویژه کربنات‌های کلسیم و منیزیم که در خاک‌های آهکی فراوان هستند) واکنش داده و موجب انحلال آن‌ها می‌شود. در نتیجه تشکیل املاح محلول و تشکیل سولفات‌های کلسیم و منیزیم در خاک، هدایت الکتریکی خاک افزایش می‌یابد (Lindemann & Cifuentes, 1993). افزایش شوری شوری خاک توسط صفا و همکاران (Safaa *et al.*,

هم‌چنین در این تحقیق در هر چهار مزرعه که در تیمار شاهد کود گوگرد عنصری مصرف نشد، pH خاک نیز کاهش یافت که می‌توان آن را به مدیریت مصرف آب و کود و اثر برهم‌کنش میان خاک و گیاه در طول فصل رشد نسبت داد. نتیجه این پژوهش با نتایج پژوهش‌گرانی نظیر (Erdal *et al.*, 2004; Motior *et al.*, 2011) مطابقت داشت. در مرحله پس از برداشت در تمام خاک‌ها مجدداً pH خاک به علت کاهش مقدار اکسیداسیون گوگرد روند افزایشی داشت که ناشی از وجود ظرفیت بافری و مقدار کربنات کلسیم بالای خاک است. خاصیت بافری خاک به وجود رس، مواد آلی، آهک، ترکیبات فسفره و بسیاری از ترکیبات شیمیایی دیگر برمی‌گردد. هرگاه مقدار اسید تولید شده در اثر اکسیداسیون 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 غیرفعال بوده (آهک درشتی که توسط عوامل پوشش دهنده مانند رس، مواد آلی پوشیده شده است) و در واکنش خنثی کردن شرکت نکرده نیز وجود دارد (Besharati, 1998). تیسدل و نلسون (Tisdale & Nelson, 1958) گزارش کردند که با مصرف گوگرد، pH خاک‌های آهکی مورد آزمایش به‌شدت تا حدود هفت هفته کاهش و در هشت هفتگی به یک حد ثابت می‌رسد و بعد از ۱۶ هفته مجدداً شروع به افزایش می‌کند. هم‌چنین کاپلان و اورمان (Kaplan & Omran, 1998) گزارش کردند که با مصرف گوگرد عنصری، در شرایط

2013) نیز گزارش شده است بنابراین علت افزایش هدایت الکتریکی را می‌توان به تجمع نمک‌های حاصل از اکسایش گوگرد نسبت داد. نتایج تجزیه مرکب تأثیر عوامل آزمایش

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس مرکب تأثیر مقادیر مختلف گوگرد عنصری بر برخی از خصوصیات شیمیایی خاک در مکان‌های مختلف
Table 2. Combined analysis of variance for effect of different levels of S⁰ on some chemical properties of soil in the different locations

Source	df	(Mean Square)					
		pH	EC	P	S	Fe	Zn
(Replication)	2	0.001 ^{ns}	0.062 ^{ns}	1.268 ^{ns}	12.104*	0.003 ^{ns}	0.002 ^{ns}
(Sulfur)	3	0.776**	2.584**	18.521**	918.857**	3.012**	0.588**
(Error)	6	0.002	0.002	0.616	1.282	0.003	0.002
(Location)	3	0.774**	0.417**	142.433**	3123.127**	16.206**	0.268**
(Sulfur * Location)	9	0.041**	0.012**	0.565 ^{ns}	15.586**	0.022 ^{ns}	0.042**
(Error)	24	0.041	0.008	0.840	5.358	0.022	0.002
(Time)	2	0.097**	0.823**	2.063**	561.596**	1.380**	0.161**
(Sulfur * Time)	6	0.004**	0.065**	0.486*	40.781**	0.012*	0.012**
(Location * Time)	6	0.013**	0.004 ^{ns}	0.719 ^{ns}	7.425**	0.012*	0.015**
(Sulfur * Location * Time)	18	0.002**	0.004 ^{ns}	0.176 ^{ns}	2.755 ^{ns}	0.006 ^{ns}	0.004**
(Error)	64	0.001	0.004	0.192	0.855	0.004	0.004
(Coefficient of Variation)		0.27	5.32	3.37	3.79	0.83	3.46

*معنی‌دار در سطح یک درصد (Significant at 1% probability level). * معنی‌دار در سطح پنج درصد (Significant at 5% probability level).
ns: عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد (No significant different at 5% probability level).

جدول ۳- مقایسه میانگین تأثیر مقادیر مختلف گوگرد عنصری بر pH و هدایت الکتریکی خاک در مکان‌های مختلف زیر کشت ذرت
Table 3. Mean comparison results for effect of different levels of S⁰ on pH and EC in the different locations of maize farms

S (kg h ⁻¹)	pH			EC (dS m ⁻¹)		
	6-7 leaf	silking	after harvest	6-7 leaf	silking	after harvest
(Chogha Narges)						
0	7.7a	7.68	a	7.7a	0.6d	0.7d
250	7.5b	7.39	b	7.5 b	0.92c	1.08c
500	7.3c	7.28	c	7.3bc	1.07b	1.22b
1000	7.2c	7.18	d	7.22 c	1.2a	1.44a
(Mahidasht)						
0	7.88a	7.8a		7.83a	0.7d	0.8d
250	7.7b	7.54b		7.61b	0.89c	1.25c
500	7.62bc	7.4c		7.44c	1.13b	1.5b
1000	7.54c	7.3d		7.35d	1.37a	1.61a
(Najaf Abad)						
0	7.76a	7.74a6		7.74a	0.9b	0.98b
250	7.7ab	7.58b		7.59b	0.98b	1.27a
500	7.64ab	7.54bc		7.53bc	1.14a	1.48a
1000	7.52b	7.47c		7.47cc	1.26a	1.67a
(Ghomsheh)						
0	7.87a	7.85a		7.84b	1.04c	1.08d
250	7.81ab	7.75b		7.76ab	1.17bc	1.41c
500	7.75b	7.69c		7.7bc	1.28ab	1.59b
1000	7.72b	7.62d		7.66c	1.43a	1.78a

* حروف مشابه در هر ستون در چغانرگس و ماهیدشت بین تیمارهای کودی نشانه عدم اختلاف معنی‌دار در سطح یک و در نجف‌آباد و قمشه در سطح پنج درصد.
*Means followed by the common letters in each column at Chogha Narges and Mahidasht not significant at 1% level of probability, and Najaf Abad and Ghomsheh at 5% level according to the Duncan's Multiple Range Test.

فسفر قابل استفاده خاک: مصرف گوگرد عنصری در خاک‌های مورد آزمایش باعث افزایش معنی‌داری در مقدار فسفر قابل استفاده خاک‌های چغانرگس، ماهیدشت (در سطح یک درصد) و نجف‌آباد (در سطح پنج درصد) در خاک‌های زیر کشت ذرت دانه‌ای در مراحل مختلف رشد آن در مقایسه با شاهد شدند، ولی در خاک قمشه علی‌رغم

فسفر قابل استفاده خاک: مصرف گوگرد عنصری در خاک‌های مورد آزمایش باعث افزایش معنی‌داری در مقدار فسفر قابل استفاده خاک‌های چغانرگس، ماهیدشت (در

میلی‌گرم در کیلوگرم نسبت به شاهد افزایش یافتند (جدول ۴). نتایج نشان می‌دهد که مقدار گوگرد قابل استفاده در تمامی خاک‌های مورد آزمایش با افزایش گوگرد عنصری افزایش یافت که این ناشی از اکسیداسیون آن و تبدیل به اسیدسولفوریک به‌وسیله ریزجانداران خاک است. ال‌کولی و همکاران (El-Kholy *et al.*, 2014) به این نتیجه رسیدند که مصرف گوگرد عنصری به‌طور معنی‌داری مقداری شوری، حلالیت سولفات، فسفر، پتاسیم و آهن را در خاک‌های مورد آزمایش افزایش داد. نتایج این پژوهش با یافته‌های پژوهش‌گرانی نظیر (Khan *et al.*, 2014; Imran *et al.*, 2006) تطابق داشت که گزارش کردند که با مصرف گوگرد عنصری، بیش‌ترین غلظت فسفر و سولفات قابل استفاده در خاک‌های زیرکشت ذرت در مرحله قبل از ظهور گل‌های نر بوده و پس از برداشت محصول، غلظت آن کاهش یافت.

آهن قابل استفاده خاک: نتایج به‌دست آمده از این آزمایش نشان داد که با افزایش مقدار مصرف گوگرد عنصری، مقدار آهن قابل استفاده در خاک‌های مورد آزمایش افزایش یافت که ناشی از اکسیداسیون گوگرد و تولید اسیدسولفوریک و در نتیجه کاهش pH خاک است (جدول ۵). مصرف گوگرد عنصری در خاک‌های مورد آزمایش باعث افزایش معنی‌داری در مقدار آهن قابل استفاده در خاک‌های چغانرگس، ماهیدشت (در سطح آماری یک درصد)، نجف‌آباد و قمشه (در سطح پنج درصد) در خاک‌های زیر کشت ذرت دانه‌ای در مراحل مختلف رشد آن در مقایسه با شاهد شدند. در خاک‌های چغانرگس، ماهیدشت، نجف‌آباد و قمشه بیش‌ترین مقدار آهن قابل استفاده با مصرف ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد عنصری در مرحله قبل از ظهور گل‌های نر بود که مقدار آن به‌ترتیب ۱/۴، ۱/۴۸، ۱/۳ و ۰/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم نسبت به شاهد افزایش یافتند و در مرحله پس از برداشت به‌علت کاهش مقدار اکسیداسیون گوگرد عنصری، مقدار آن کاهش یافت. آهن یکی از عناصری است که قابلیت جذب آن در خاک شدیداً وابسته به pH خاک است. به‌طوری‌که با یک واحد افزایش در pH خاک فعالیت Fe^{+2} و Fe^{+3} به‌ترتیب ۱۰۰ و ۱۰۰۰ برابر کاهش می‌یابد. به‌همین دلیل کمبود آهن در خاک‌های آهکی و با pH بالا بروز می‌کند. به‌طور کلی حلالیت ترکیبات آهن در خاک‌هایی با pH برابر ۸ و بالاتر، کم‌تر از ترکیبات روی و

افزایش، فقط در مرحله شش تا هفت برگی اختلاف معنی‌داری وجود داشت و در سایر مراحل اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۴). در خاک‌های چغانرگس، ماهیدشت، نجف‌آباد و قمشه بیش‌ترین مقدار فسفر قابل استفاده با مصرف ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد عنصری در مرحله قبل از ظهور گل‌های نر بود که مقدار آن به‌ترتیب ۲/۴، ۳/۷، ۱/۵ و یک میلی‌گرم در کیلوگرم نسبت به شاهد افزایش یافتند که ناشی از اکسیداسیون گوگرد عنصری، تولید اسیدسولفوریک و کاهش pH خاک است. در مرحله پس از برداشت به‌علت کاهش مقدار اکسیداسیون گوگرد عنصری و در نتیجه افزایش pH خاک، مقدار آن در تمام خاک‌ها در مقایسه با دو مرحله دیگر کاهش یافت. در خاک‌های آهکی بخش اعظم فسفر موجود در خاک به شکل غیر قابل جذب از قبیل آپاتیت یا خاک فسفات ذخیره شده و گیاه قادر نیست از آن به‌عنوان منبع فسفر استفاده نماید. درحالی‌که مصرف مواد اسیدزا از قبیل گوگرد عنصری با کاهش موضعی pH خاک، می‌تواند بخش مهمی از فسفر ذخیره شده در خاک را برای گیاه آزاد نماید (Saleh, 2001; Abdel-Fattah *et al.*, 2005). مهدیش و همکاران (Modaihsh *et al.*, 1989) گزارش کردند که در خاک‌های با مقادیر کم‌تر کربنات کلسیم، کاهش pH خاک و افزایش مقدار فسفر، منگنز، آهن و مس قابل‌استفاده در خاک ناشی از مصرف گوگرد، بیش‌تر بود. گزارش شده است با مصرف گوگرد عنصری، بیش‌ترین غلظت فسفر قابل استفاده در خاک‌های زیرکشت ذرت در مرحله قبل از گل‌های نر بوده و پس از برداشت محصول غلظت آن کاهش یافت (Erdal *et al.*, 2000; Imran *et al.*, 2014) که با نتایج این پژوهش مطابقت داشت.

گوگرد قابل استفاده خاک: مصرف گوگرد عنصری در خاک‌های مورد آزمایش، باعث افزایش معنی‌داری در مقدار گوگرد قابل استفاده در خاک‌های چغانرگس، ماهیدشت (در سطح آماری یک درصد) و نجف‌آباد و قمشه (در سطح پنج درصد)، در خاک‌های زیر کشت ذرت دانه‌ای در مراحل مختلف رشد آن در مقایسه با شاهد شدند. در خاک‌های چغانرگس، ماهیدشت، نجف‌آباد و قمشه بیش‌ترین مقدار گوگرد قابل استفاده با مصرف ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد عنصری در مرحله قبل از ظهور گل‌های نر بود که مقدار آن به‌ترتیب ۱۸، ۱۶، ۱۵/۷ و ۲۴

در برگ آن‌ها، غیرمتحرک و در دسترس نبودن ترکیبات آهن موجود در برگ می‌باشد (Bavaresco *et al.*, 1999; Besharati & Rastin, 1999). هم‌چنین گزارش شده است که مصرف گوگرد عنصری در خاک‌های آهکی، pH و غلظت بی‌کربنات را کاهش و مقدار آهن قابل استفاده را در خاک افزایش داد (Kalbasi *et al.*, 1998; Safaa *et al.*, 2013).

منگنز است. بنابراین نقش ترکیبات معدنی آهن در تأمین نیاز غذایی گیاهان، بسیار اندک می‌باشد. قسمت عمده آهن محلول موجود در خاک، به صورت کمپلکس‌های طبیعی با ترکیبات آلی موجود در خاک می‌باشد. در خاک‌های آهکی، تأثیر یون بیکربنات در کاهش جذب آهن و انتقال آن به برگ‌های گیاه است. یون بی‌کربنات در اثر واکنش دی‌اکسید کربن و آهک تولید می‌شود و در پاره‌ای موارد علت زردی برگ گیاهان، با وجود غلظت زیاد آهن

جدول ۴- مقایسه میانگین تأثیر مقادیر مختلف گوگرد عنصری بر فسفر و گوگرد قابل استفاده خاک در مکان‌های مختلف زیر کشت ذرت

Table 4. Mean comparison results for different levels of S^o on SO₄-S and phosphorus concentration in the different locations of maize farms

S (kg h ⁻¹)	(P, mg kg ⁻¹)			(S, mg kg ⁻¹)		
	6-7 leaf	silking	after harvest	6-7 leaf	Silking	after harvest
(Chogha Narges)						
0	130.4d	13.43d	13.22c	7.7c	8.5c	8.1c
250	13.7c	14.1c	13.7bc	11.7b	20.7 b	15.3b
500	14.1b	14.7b	14.37b	14b	24a	17.5b
1000	14.53a	15.4a	15.2a	10.3b	25a	21.7a
(Mahidasht)						
0	9.6d	10.07c	9.9c	13.9d	15.2d	14.7d
250	10.07c	10.8bc	10.5b	15.7c	22c	16.9c
500	10.7b	11.73ab	11.3a	16.73b	24.3b	21.5b
1000	11.3a	12.7a	11.9a	17.4a	29a	24.4a
(Najaf Abad)						
0	11.14c	11.3c	11.26c	18.3b	21c	19.8c
250	11.53b	12.07b	11.8b	21b	26.3b	24ab
500	11.9ab	12.3ab	12.1b	23.3ab	29.7b	26.7ab
1000	12.2a	12.5a	12.47a	27.5b	33.7a	32a
(Ghomsheh)						
0	15.1b	15.3c	15.2b	28d	30.5d	29d
250	15.3ab	15.5b	15.4ab	31.8c	39.3c	34.8c
500	15.4ab	15.6b	15.6ab	34.7b	45b	38.7b
1000	15.6a	16a	15.9a	38.5a	51a	43a

* حروف مشابه در هر ستون در چغانرگس و ماهیدشت بین تیمارهای کودی نشانه عدم اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ و در نجف آباد و قمشه در سطح ۵ درصد.

*Means followed by the common letters in each column at Chogha Narges and Mahidasht not significant at 1% level of probability, and Najaf Abad and Ghomsheh at 5% level according to the Duncan's Multiple Range Test.

افزایش یافت که این ناشی از اکسیداسیون گوگرد عنصری، کاهش pH خاک و در نتیجه افزایش روی قابل استفاده است و در مرحله بعد از برداشت به علت کاهش فعالیت ریزجانداران، اکسیداسیون گوگرد عنصری و در نتیجه افزایش pH خاک، مقدار آن کاهش یافت. pH خاک مهم-ترین فاکتور موثر بر روی قابل استفاده در خاک‌های آهکی است. کمبود آن وابسته به pH و غلظت آن در محلول خاک به ازای هر واحد افزایش pH، ۱۰۰ برابر کاهش می‌یابد. در سطوح بالای pH، روی به فرم ترکیبات نامحلولی نظیر هیدروکسی های روی (Zn(OH)₂ و (Ca,Zn(OH)₄) و کربنات روی، در خاک رسوب می‌کند (Brady & Weil,

روی قابل استفاده خاک: مصرف گوگرد عنصری در خاک‌های مورد آزمایش باعث افزایش معنی‌داری مقدار روی قابل استفاده در خاک‌های چغانرگس، ماهیدشت (در سطح آماری یک درصد) و نجف‌آباد و قمشه (در سطح پنج درصد) در خاک‌های زیرکشت ذرت دانه‌ای در مراحل مختلف رشد آن در مقایسه با شاهد شدند (جدول ۵).

در این تحقیق در خاک‌های چغانرگس، ماهیدشت، نجف‌آباد و قمشه بیشترین مقدار روی قابل استفاده با مصرف ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد عنصری در مرحله قبل از ظهور گل‌های نر بود که مقدار آن به ترتیب ۰/۵۱، ۰/۳۴، ۰/۱۸ و میلی‌گرم در کیلوگرم نسبت به شاهد

El-Tarabily *et al.*, 2006). نتیجه این پژوهش با نتایج پژوهش‌های عبدو و همکاران (Abou *et al.*, 2011) نیز مطابقت داشت.

2002). بنابراین pH بالا و حضور کربنات کلسیم سبب کاهش مقدار روی قابل جذب می‌شود. گوگرد عنصری، تحت شرایط هوایی با اکسیداسیون بیولوژیکی تبدیل به سولفات می‌شود که سبب کاهش pH خاک و حلالیت

جدول ۵- مقایسه میانگین تأثیر مقادیر مختلف گوگرد عنصری بر آهن و روی قابل استفاده خاک در مکان‌های مختلف زیر کشت ذرت
Table 5. Mean comparison results for effect of different levels of S^o on Fe and Zn concentration in the different locations of maize farms

S (kg h ⁻¹)	(Fe, mg kg ⁻¹)			(Zn, mg kg ⁻¹)		
	6-7 leaf	silking	after harvest	6-7 leaf	Silking	after harvest
(Chogha Narges)						
0	6.37d	6.5c	6.4c	0.81b	0.82b	0.8b
250	6.6c	7b	6.9b	0.94ab	1.17a	1.1ab
500	6.8b	7.2ab	7ab	1.09ab	1.26a	1.2a
1000	7a	7.4a	7.27a	1.2a	1.31a	1.27a
(Mahidasht)						
0	7.5d	7.9c	7.8c	0.73c	0.76c	0.74c
250	7.7c	8.1b	7.9b	0.80b	0.98b	0.83bc
500	7.9b	8.3ab	8.17ab	0.86ab	1.13ab	0.98b
1000	8.13a	8.48a	8.4a	0.92a	1.28a	1.14a
(Najaf Abad)						
0	7.9b	8.1c	8.03c	0.97c	1b	0.98c
250	8.2ab	8.4b	8.3b	1.05b	1.11ab	1.13b
500	8.4ab	8.6b	8.6a	1.15ab	1.24a	1.20ab
1000	8.5a	8.9a	8.8a	1.2a	1.29a	1.28a
(Ghomsheh)						
0	7.6b	7.8d	7.7b	1c	1.05b	1.03b
250	7.7b	8.1c	7.8b	1.03b	1.06b	1.04b
500	7.9b	8.3b	8a	1.05b	1.12ab	1.05b
1000	8.1a	8.5a	8.1a	1.1a	1.18a	1.14a

*حروف مشابه در هر ستون در چغانرگس و ماهیدشت بین تیمارهای کودی نشانه عدم اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ و در نجف آباد و قمشه در سطح ۵ درصد
*Means followed by the common letters in each column at Chogha Narges and Mahidasht not significant at 1% level of probability, and Najaf Abad and Ghomsheh at 5% level according to the Duncan's Multiple Range Test.

در محلول خاک و در نتیجه کاهش دسترسی به عناصر غذایی می‌شود. مصرف گوگرد عنصری و اکسایش آن در شرایط محیطی مناسب که عمدتاً به صورت بیولوژیک انجام می‌شود، می‌تواند سبب افزایش حلالیت عناصر غذایی در خاک شود که نتایج این پژوهش آن را اثبات می‌نماید. بیش‌ترین مقدار جذب نیتروژن، فسفر، گوگرد، آهن و روی در دانه ذرت در چغانرگس به ترتیب ۲۲/۵، ۶/۷۹، ۵/۲۶، ۳۵/۱، ۹/۸۴، ۹/۴۱ کیلوگرم در هکتار، ۷۷ و ۱۲۹ گرم در هکتار، در نجف آباد ۲۰/۲۹، ۵/۷۳، ۵/۹۶ کیلوگرم در هکتار، ۵۴ و ۴۲/۵ گرم در هکتار و در قمشه ۱۰/۹، ۵، ۵۳/۵ کیلوگرم در هکتار، ۴۸/۵ و ۳۱ گرم در هکتار نسبت به شاهد افزایش یافتند. کاربرد گوگرد همراه با باکتری‌های تیوباسیلوس در خاک، باعث تشدید اکسیداسیون گوگرد شده و با کاهش موضعی pH خاک در اطراف ریشه‌های گیاه،

تأثیر گوگرد عنصری بر مقدار جذب عناصر غذایی در دانه ذرت: نتایج این آزمایش نشان داد که تیمارهای مختلف مصرف گوگرد عنصری همراه با باکتری تیوباسیلوس، باعث افزایش معنی‌داری در مقدار جذب عناصر غذایی نیتروژن، فسفر، گوگرد، آهن و روی در مزارع ذرت چغانرگس، ماهیدشت در سطح آماری یک درصد و نجف آباد و قمشه در سطح پنج درصد شدند و بیش‌ترین مقدار جذب این عناصر با کاربرد ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد عنصری بود (جدول ۶). مهم‌ترین آثار سوء زیادی آهک در خاک‌های زراعی، واکنش آن با بعضی از عناصر کودی و تبدیل آن‌ها به ترکیبات تقریباً نامحلول و غیرقابل استفاده توسط گیاه می‌باشد. همچنین وجود شرایط نامناسب خاک نظیر بافت سنگین و فشردگی خاک، رطوبت بالا، زهکشی ضعیف، فعالیت بالای ریزجانداران و تنفس ریشه گیاهان با افزایش فشار جزئی CO₂ در خاک، باعث افزایش غلظت بی‌کربنات

مواد فتوسنتزی بیشتر در گیاه شده و در نتیجه جذب عناصر غذایی افزایش یافت. همچنین نتایج تجزیه مرکب تأثیر عوامل آزمایش و اثرات برهم‌کنش آن بر مقدار جذب عناصر غذایی در جدول ۷ نشان داده شده است.

به حلالیت عناصر تثبیت شده در خاک‌های آهکی و در نهایت به افزایش جذب عناصر توسط گیاه کمک می‌کند (Basharati *et al.*, 1998). در پژوهش حاضر به نظر می‌رسد که همین عامل موجب افزایش حلالیت عناصر غذایی و تولید

جدول ۶- مقایسه میانگین تأثیر مقادیر مختلف گوگرد عنصری بر مقدار جذب عناصر غذایی در مکان‌های مختلف زیر کشت ذرت
Table 7. Mean comparison results for effect of different levels of S^o on nutrients uptake in the different locations of maize farms

S ^o (Kg ha ⁻¹)	(N)	(P)	(S)	(Fe)	(Zn)
	(Kg ha ⁻¹)			(g ha ⁻¹)	
(Chogha Narges)					
0	139c	19.84c	22.89b	250c	171c
250	145bc	23.21b	27.32b	273b	188bc
500	151.5 b	26.74ab	27.01a	291b	207ab
1000	161.5 a	26.63a	28.15a	314a	231a
(Mahidasht)					
0	139.5d	22.56c	18.83d	259d	182c
250	149c	26.4bc	22.17c	311c	201c
500	163.8b	29.53ab	25.6b	347b	227b
1000	174.6a	32.40a	28.24a	388a	259a
(Najaf Abad)					
0	153.23c	23.07d	21.36d	282d	206.5d
250	161.28b	25.37c	23.32c	299c	227c
500	165.88b	26.4b	25.7b	323.5b	240b
1000	173.52a	28.8a	27.32a	336a	249a
(Ghomsheh)					
0	141.5c	22.6c	19.97b	286.5c	207d
250	145.8bc	24bc	21.8b	307b	218c
500	150.8ab	26ab	24.2a	325ab	231b
1000	152.4a	27.6a	25.5a	335a	238a

* حروف مشابه در هر ستون در چغانرگس و ماهیدشت بین تیمارهای کودی نشانه عدم اختلاف معنی‌دار در سطح یک و در نجف آباد و قمشه در سطح پنج درصد.

*Means followed by the common letters in each column at Chogha Narges and Mahidasht not significant at 1% level of probability, and Najaf Abad and Ghomsheh at 5% level according to the Duncan's Multiple Range Test.

جدول ۷- نتایج تجزیه واریانس مرکب تأثیر مقادیر مختلف گوگرد عنصری بر غلظت عناصر غذایی در مکان‌های مختلف زیر کشت ذرت
Table 6. Combined analysis of variance for effect of different levels of S^o on nutrients uptake in the different locations of maize farms

Source	df	(Mean Square)				
		N	P	S	Fe	Zn
(Location)	3	637.375*	20.503 ^{ns}	16.43 ^{ns}	4171.301*	2132.969*
(Location)	8	63.107	10.19	4.924	891.396	385.67
(sulfur)	3	1093.221**	126.788**	100.472**	12172.99**	6177.72**
(Location * Sulfur)	9	61.728**	4.032 ^{ns}	1.973**	728.064**	256.158**
(Error)	24	5.332	1.93	0.52	67.004	40.401
(Coefficient of Variation)		1.5	5.37	2.99	2.66	2.92

**معنی‌دار در سطح یک درصد (Significant at 1% probability level). * معنی‌دار در سطح پنج درصد (Significant at 5% probability level).

ns: عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد (No significant different at 5% probability level).

توسط ذرت شد. اثربخشی گوگرد منوط به آکسایش آن و تولید اسید سولفوریک است که به ویژگی‌هایی همچون مقدار آهک و گوگرد اولیه خاک بستگی دارد. مشخص شد که خاکی که مقدار گوگرد اولیه آن پایین بود (مثلاً چغانرگس در مقایسه با قمشه)، با مصرف گوگرد عنصری

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این آزمایش نشان داد که در تمامی خاک‌های مورد آزمایش، مصرف گوگرد عنصری و اکسیداسیون آن باعث کاهش pH خاک و افزایش غلظت عناصر غذایی قابل استفاده در خاک، غلظت و مقدار جذب عناصر غذایی

نجف آباد ۲۵۰ تا ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد عنصری همراه با باکتری تیوباسیلوس پیشنهاد می‌شود. ضروری است به‌منظور مدیریت مصرف بهینه گوگرد و رعایت جنبه‌های اقتصادی، قبل از کاشت محصولات زراعی مقدار گوگرد قابل جذب خاک اندازه‌گیری و صرفاً نایستی فقط به آهکی بودن خاک‌ها اکتفا کرد. همچنین پیشنهاد می‌نماید حد بحرانی گوگرد در محصولات گوگرد دوست نظیر ذرت و دانه‌های روغنی در مناطقی که از سطح کشت قابل توجهی برخوردارند، تعیین شود.

همراه با باکتری تیوباسیلوس، مقدار کاهش pH و افزایش حلالیت عناصر غذایی در آن بیش‌تر بود. تأثیر گوگرد همراه با باکتری‌های تیوباسیلوس بر ویژگی‌های شیمیایی خاک و مقدار جذب عناصر غذایی توسط ذرت امیدوارکننده بود و این بیانگر پتانسیل خوب آن برای کاربرد در بخش کشاورزی می‌باشد. بنابراین در خاک‌های چغانرگس و ماهیدشت برای رسیدن به عملکرد مطلوب و کیفیت مناسب ذرت دانه‌ای در صورت مصرف بهینه سایر عناصر غذایی، مصرف ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار و برای

References

- Abdel-Fattah A., Rasheed M.A., and Shafei A.M. 2005. Phosphorus availability as influenced by different application rates of elemental sulfur to soils. *Egyptian Journal of Soil Science*, 45(2): 199-208.
- Abdou A., Soaud A.A., Al Darwish F.H., Saleh M. E., El-Tarabily K.A., Sofian-Azirun M., and Motior R.M. 2011. Effects of elemental sulfur, phosphorus, micronutrients and *Paracoccus versutus* on nutrient availability of calcareous soils. *Australian Journal of Crop Science*, 5(5):554-561.
- Besharati H. 1999. Evaluation of sulfur application and *Thiobacillus* on some nutrients uptake in soil. MSc Thesis. Faculty of Agriculture, Tehran University. 176p. (In Persian)
- Besharati H., and Rastin N. 1998. Effect of application *Thiobacillus spp.* Inoculants and elemental sulfur on pH and phosphorus availability. *Iranian Journal of Soil and Water Science*, 13: 23-39. (In Persian)
- Bouyoucos G. J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. *Agronomy Journal*, 54(5): 464-465.
- Black C. A., Evans D. D., and Dinauer R. C. 1965. Methods of Soil Analysis. American Society of Agronomy, Madison, WI, pp. 653-708.
- Brady N. C., and Weil R. R. 2002. The Nature and Properties of Soils. 14th Ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Buresh R. J., Austin E. R., and Craswell E. T. 1982. Analytical methods in N-15 research. *Fertilizer Research*, 3: 37-62.
- Cifuentes F.R., and Lindemann W. C. 1993. Organic matter stimulation of elemental sulfur oxidation in a calcareous soil. *Soil Science Society of American Journal*, 57: 727-731.
- El-Fatah M. S., and Khaled S. M. 2010. Influence of organic matter and different rates of sulfur and nitrogen on dry matter and mineral composition of wheat plant in new reclaimed sandy soil. *Journal of American Science*, 6(11): 1078-1084.
- El-Kholy A. M., Ali O. M., El-Sikhry E. M., and Mohamed A. I. 2013. Effect of sulfur application on the availability of some nutrients in Egyptian soils. *Egyptian Journal of Soil Science*, 53(3): 361-377.
- El-Tarabily K. A., Soaud A. A., Saleh M. E., and 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.
- Erdal D., Gülser F., Tüfenkçi S., Sağlam M., and Karaca S. 2000. Influence of sulfur fertilization on Corn (*Zea mays L.*) plant growth and phosphorus uptake in a calcareous soil. Yüzüncü Yıl University. *Journal of Natural and Applied Science*, 7(1): 37-42.
- Erdal I., Kepenek K., and Kızılgöz I. 2004. Effect of elemental sulfur and sulfur containing waste on the iron nutrition of strawberry plants grown in a calcareous soil. *Biological Agriculture and Horticulture*, 23: 263-272.
- Fox R. L., Alson R. A., and Rhoades H. F. 1964. Evaluating the sulfur status of soils by plants and soil tests. *Soil Science Society of American, Proceedings*, 21: 287-292.

- Gholami A., and Ansori A. 2015. Improved nutrient uptake and growth of maize in response to inoculation with *Thiobacillus* and *Mycorrhiza* on an alkaline soil. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, 46 (17): 2111-2126.
- Hammad S. A., El-Hamdi K. H., Abou El-Soud M. A., and El-Sanat G. M. A. 2007. Effect of some soil amendments application on the productivity of wheat and soybean, mobility and availability of nitrogen. *Journal of Agriculture Science*, 32 (9): 7953- 7965.
- Janzen H. H., and Bettany J. R. 1987. Oxidation of elemental sulfur under field conditions in central Saskatchewan. *Canadian Journal of Soil Science*, 67:609-618.
- Kalbasi M., Filsoof F., and Rezai-Nejad Y. 1988. Effect of sulfur treatments on yield and uptake of Fe, Zn and Mn by corn, sorghum and soybeans. *Journal of Plant Nutrition*, 11: 1353-1360.
- Kaplan M., and Orman S. 1998. Effect of elemental sulfur and sulfur containing waste in a calcareous soil in Turkey. *Journal of Plant Nutrition*, 21: 1655-1665.
- Karimi F., Bahmanyar M. A., and Shahabi M. 2012. Investigation the effects of sulfur and cattle manure application on macronutrient availability in calcareous soil and accumulation in leaf and seed of canola. *European Journal of Experimental Biology*, 2 (3): 836-842.
- Karimizarchi M., Aminuddin H., Khanif M. Y., and Radziah O. 2014a. Elemental sulfur application effects on nutrient availability and sweet maize response (*Zea mays* L.) in a high pH soil of Malaysia. *Malaysian Journal of Soil Science*, 18: 75-86.
- Kaya M., Zeliha K., and Erdal I. 2009. Effects of elemental sulfur and sulfur-containing waste on nutrient concentrations and growth of bean and corn plants grown on a calcareous soil. *African Journal of Biotechnology*, 8(18): 4481-4489.
- Khan M. J., Khan M. H., Khattak R. A., and Jan M.T. 2006. Response of maize to different levels of sulfur. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, 37(1-2): 41-51.
- Imran M., Sajida P., Amjad A., Fazli W. A., and Fayaz A. 2014. Influence of sulfur rates on phosphorus and sulfur content of maize crop and its utilization in soil. *International Journal of Farming and Allied Science*, 3(11): 1194-1200.
- Lindsay W. L., and Norvell W. A. 1978. Development of a DTPA test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal*, 42: 421-428.
- Marschner H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd Ed. Academic Press. San Diego, USA, 880p.
- McLean, E. 1982. Soil pH and lime requirement. In: Klute A. (Ed.). Methods of Soil Analysis- Part 2. Chemical and Microbiological properties. *Agronomy Monograph*, 9.2, pp. 199-224.
- Modaihsh A. S., Al-Mustafa W. A., and Metwally A. I. 1989. Effect of elemental sulfur on chemical changes and nutrient availability in calcareous soils. *Journal of Plant and Soil*, 16: 95-101.
- Mayer J. E., Pfeiffer W. H., and Beyer P. 2008. Biofortified crops to alleviate micronutrient malnutrition. *Current Opinion in Plant Biology*, 11(2): 166-170.
- Motior M. R., Abdou A. S., Fareed H. A. D., and Sofian M. A. 2011. Responses of sulfur, nitrogen and irrigation water on *Zea mays* growth and nutrients uptake. *Australian Journal of Crop Science*, 5(3): 347-357.
- Olsen S. R., Cole C. V., Watanabe F. S., and Dean L. A. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. U. S. Department of Agriculture Circular, pp: 939.
- Ryan J, Estefan G., and Rashid A. 2007. Soil and Plant Analysis Laboratory Manual, Icarda, 172p.
- Safaa M. M., Khaled S. M., and Hanan S. 2013. Effect of elemental sulfur on solubility of soil nutrients and soil heavy metals and their uptake by maize plants. *Journal of American Science*, 9(12): 19-24.
- Saleh M. E. 2001. Some agricultural application for biologically produced sulfur recovered from sour Gases. I- Effect on soil nutrients availability in highly calcareous soils. *International Symposium on Elemental Sulfur for Agronomic Application and Desert Greening*, UAE University, Abu Dhabi, UAE, 24-25 February.
- Tisdale S. L., and Nelson W. L. 1958. Soil Fertility and Fertilizers. 2nd Ed. McMillan Publishing Company. New York, USA.
- Walkley A., and Black I. A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37(1): 29-38.
- Ye R., Wright A. L., and McCray J. M. 2011. Seasonal changes in nutrient availability for sulfur - amended everglades soils under sugarcane. *Journal of Plant Nutrition*, 34(14): 2095-2113.

Effect of elemental sulfur and *Thiobacillus* bacteria on some chemical properties of soil and nutrients uptake by maize (*Zea mays* L.) crop

Jalal ghaderi^{1*}, Mohammad Jafar Malakouti², Kazem Khvazi³, Mohammad Hossein Davoodi³

(Received: August 2016

Accepted: May 2017)

Abstract

Low availability of some nutrients is one of the major factors for the widespread occurrence of plant nutrient deficiency in calcareous soils. Therefore, any strategy for solution of this problem is important. This study aimed to evaluate the elemental sulfur (S^0) effect along with *Thiobacillus* bacteria on some chemical properties of soil (pH, EC, P, S-SO₄, Fe and Zn) and nutrients uptake by maize (Single Cross 704). For this purpose, an experiment was carried out in four sites (Chogha Narges, Mahidasht, Najaf Abad and Ghomsheh) with different levels of available sulfur (7, 13, 18, 27 mg kg⁻¹soil) in Kermanshah Province. Sulfur was applied at 0, 250, 500, and 1000 kg ha⁻¹ as S^0 and *Thiobacillus neapolitanous* inoculation using randomized complete block design with three replications in a during cropping season 2015-2016. Soil samples at 6-7 leaf, silking and post harvesting stage from each treatment plot was collected for determining pH, EC, P, S-SO₄, Fe and Zn. The result showed that S^0 significantly decreased the soil pH and adversely, increased EC, P, S-SO₄, soil DTPA- extractable Fe, and Zn in the Chogha Narges, Mahidasht ($p < 0.01$) and in Najaf Abad and Ghomsheh ($p < 0.05$) at 6-7 leaves, silking and post harvesting stage compared with the control. The lowest pH and highest EC, P, S-SO₄, Fe and Zn value was observed with 1000 kg ha⁻¹ S^0 at silking stage. Soil pH of Chogha Narges, Mahidasht, Najaf Abad and Ghomsheh, respectively 0.62, 0.6, 0.33, 0.24 decreased compared with the control. In contrast, soil EC 1.01, 0.91, 0.69 and 0.7 dS m⁻¹, respectively was enhanced. P also in levels of 2.4, 3.7, 1.5 and 1, available sulfur 18, 16, 15.7 and 24, Fe 1.4, 1.48, 1.3 and 0.9, Zn 0.51, 0.57, 0.34 and 0.18 mg kg⁻¹soil increased compared with control. After harvesting due to the reduced amount of sulfur oxidation and buffering capacity of soil, pH and nutrients gradually returned to its initial state. However, N, P, S-SO₄, Fe and Zn uptake by maize was significantly increased with the application of S^0 compared with the control. The highest nutrients uptake was observed with 1000 kg ha⁻¹ S^0 along with *Thiobacillus* bacteria.

Keywords: Electro conductivity, Iron, pH, Phosphorous, Sulfur, Zinc

1- Ph.D Student, Department of Soil Science, Tarbiat Modares University and Staff Member of Soil and Water Research Department, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Iran

2- Professor, Department of Soil Science, Tarbiat Modares University

3- Staff Member of Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Iran

* Corresponding Author Email: ghaderij@yahoo.com